

c'est elle que l'on sent dans le voisinage d'une machine électrique qui fonctionne depuis quelque temps.

L'ozone oxyde l'azote en présence des bases et forme de l'acide azotique; en présence de l'eau, il oxyde à froid la plupart des métaux, et même le mercure et l'argent. Il décompose l'iodure de potassium en mettant l'iode en liberté. Quelques gouttes de dissolution ammoniacale, versées dans un flacon d'ozone, donnent immédiatement naissance à des fumées blanches d'azotate d'ammoniaque.

Il décolore l'indigo, le tournesol et la plupart des matières colorées; il attaque presque toutes les substances organiques, par exemple, le liège et le caoutchouc, ce qui oblige à le préparer dans des appareils en verre, dont les diverses parties sont soudées.

Schœnbein pensait que la présence de l'azote était nécessaire à la production de l'ozone, et que par suite ce gaz était un composé azoté. Plus tard MM. Marignac et de la Rive établirent que l'ozone est de l'oxygène modifié par l'électricité. Ce fait a été rigoureusement démontré par des expériences qui prouvent qu'un volume déterminé d'oxygène pur, soumis pendant plusieurs jours à l'influence d'une série d'étincelles électriques, devient entièrement absorbable à froid par l'argent ou l'iodure de potassium humides (fig. 8) (Ed. Becquerel et Fremy).

Il paraît résulter de recherches récentes que l'ozone est de l'oxygène condensé. Quand on fait traverser de l'oxygène par des étincelles électriques, le volume du gaz diminue à mesure que croît la proportion d'ozone formée, et, d'autre part, on retrouve le volume primitif lorsqu'on décompose l'ozone qui s'est produit, soit par la chaleur, soit par l'intervention d'un corps incapable de l'absorber (MM. Andrews, Tait, de Babo et Soret).

Préparation de l'ozone. — On peut obtenir de l'oxygène contenant de petites quantités d'ozone :

1° En recueillant le gaz qui se dégage au pôle positif dans la décomposition de l'eau par la pile;

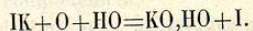
2° En soumettant de l'oxygène à l'influence de décharges électriques. L'expérience a appris que, pour obtenir le maximum d'effet, il fallait employer, non pas des étincelles brillantes, mais des décharges obscures, comme celles qui se produisent entre les plateaux d'un condensateur (MM. Andrews, de Babo, Houzeau, Tait, P. et A. Thenard).

3° L'oxydation lente du phosphore, au contact de l'air humide, est toujours accompagnée de la production d'une certaine quantité d'ozone (Schœnbein). De même, lorsqu'on expose au soleil un flacon contenant un peu d'essence de térébenthine et de l'air, cette essence s'oxyde lentement, et l'oxygène de l'air s'ozonise.

4° Lorsqu'on fait agir l'acide sulfurique concentré sur du bioxyde

de baryum ou du permanganate de potasse, à la température la plus basse possible, on obtient un dégagement d'oxygène assez riche en ozone (M. Houzeau).

Présence de l'ozone dans l'air. — Nous avons vu que l'ozone décompose l'iodure de potassium et met l'iode en liberté.



L'iode jouissant de la propriété de colorer l'amidon en bleu intense, Schœnbein fonda sur cette propriété une méthode permettant de constater facilement la présence de très-faibles proportions d'ozone. Elle consiste dans l'emploi de papier ordinaire, collé à l'amidon et imbibé d'une solution d'iodure de potassium; ce papier bleuit aussitôt qu'il est placé dans une atmosphère contenant des traces d'ozone.

Cette coloration se produisant presque toujours, lorsque le papier, dont nous venons d'indiquer la préparation, est exposé à l'air, Schœnbein avait cru pouvoir en conclure la présence normale de l'ozone dans l'atmosphère. Mais il a été reconnu que diverses influences autres que l'ozone déterminaient la coloration du papier ioduré amidonné, telles sont les vapeurs nitreuses, les huiles essentielles exhalées par certaines plantes et même une vive insolation (M. Cloëz).

Depuis, M. Houzeau a proposé d'employer comme réactif du papier rouge de tournesol, imprégné d'iodure de potassium, lequel devra bleuir sous l'action de la potasse mise en liberté par l'ozone; mais encore dans ce cas la présence des vapeurs nitreuses pourrait induire en erreur (M. Cloëz). Il en résulte que jusqu'ici l'existence de l'ozone dans l'atmosphère n'a pu être démontrée d'une façon incontestable.

HYDROGÈNE

Équivalent en poids = 1. Équivalent en volume = 2 vol.

Historique. — L'hydrogène a été découvert au commencement du dix-septième siècle, mais il n'est bien connu que depuis l'année 1777, époque à laquelle Cavendish a décrit ses principales propriétés.

Ce gaz a été nommé d'abord *air inflammable*, puis *hydrogène* (générateur de l'eau), des deux mots grecs ἕδωρ, eau, et γεννάω, j'engendre, parce qu'il est un des éléments de l'eau.

Etat naturel. — L'hydrogène se rencontre parmi les gaz qui se dégagent dans les éruptions volcaniques, dans les *suffioni* de la Toscane, etc. On a constaté sa présence dans le soleil.

Combiné à l'oxygène, il forme l'eau; uni au carbone, à l'oxygène et aussi à l'azote, il constitue les différentes substances organiques.

Propriétés physiques. — L'hydrogène est un gaz incolore, insipide, inodore lorsqu'il a été purifié : souvent il exhale une odeur légèrement alliagée due à la présence de traces d'acide sulfhydrique et d'hydrogène arsénié ou phosphoré. On le rend inodore en le faisant passer dans des dissolutions de sels de plomb, d'argent ou de mercure.

L'hydrogène est le plus léger de tous les corps. La densité de l'air étant prise pour unité, à la température de 0° et sous la pression normale de $0^{\text{m}},76$, celle de l'hydrogène est $0,06926$ (M. Regnault). Un litre d'hydrogène pèse $0^{\text{gr}},08957$.

Ce gaz est donc environ quatorze fois et demie plus léger que l'air.

Pour constater la légèreté de ce gaz, on prend une éprouvette remplie d'hydrogène, que l'on sort de l'eau verticalement et que l'on renverse ensuite. L'hydrogène s'échappe aussitôt, et l'air atmosphérique prend sa place.

Si, au contraire, on soulève l'éprouvette en laissant son orifice tourné du côté de l'eau, l'hydrogène y reste pendant un certain temps.

Enfin, si l'on met l'éprouvette contenant l'hydrogène en communication, par son orifice, avec une autre éprouvette remplie d'air atmosphérique, en renversant les deux éprouvettes de telle sorte que celle qui contenait l'air se trouve en dessus, et l'éprouvette d'hydrogène en dessous, on reconnaît que l'hydrogène a pris la place de l'air atmosphérique, et l'air celle de l'hydrogène (fig. 9). Une bougie enflamme l'hydrogène dès qu'on l'approche de l'éprouvette supérieure.



Fig. 9.

Tous les gaz peuvent traverser plus ou moins facilement les membranes poreuses. C'est en cela que consiste le phénomène de l'endosmose des gaz. L'hydrogène possède cette propriété au plus haut degré en raison de sa faible pesanteur spécifique. On sait, en effet, que les quantités de gaz qui traversent une membrane sont en raison inverse des racines carrées de leurs densités. Or la densité de l'hydrogène étant 14 fois et demie moindre que la densité de l'air, il passera dans le même temps 3 fois et demie plus d'hydrogène que d'air. Cette propriété de l'hydrogène explique pourquoi les ballons gonflés au moyen de ce gaz se dégonflent si rapidement ; elle nous permettra encore d'interpréter les deux observations suivantes.

Si l'on place une feuille de papier à une petite distance d'un orifice par lequel de l'hydrogène se dégage, le courant gazeux traverse le papier sans changer de direction, et on peut l'enflammer de l'autre côté de la feuille de papier. L'hydrogène que l'on conserve dans une éprouvette fêlée, sur l'eau ou sur le mercure, finit par s'échapper complètement.

L'hydrogène n'entretient pas la combustion, mais il est très-combustible : ainsi, une bougie plongée dans l'hydrogène enflamme les premières couches de gaz, qui sont en contact avec l'air, puis s'éteint en pénétrant dans son intérieur.

Ce gaz est impropre à la respiration, sans pourtant être délétère : un animal ne meurt dans l'hydrogène que faute d'oxygène ; introduit dans les poumons, il n'y produit aucun désordre.

Ce gaz, en brûlant dans l'air, se combine avec l'oxygène et forme de l'eau : sa flamme est jaune et peu éclairante, parce qu'elle ne contient aucune particule solide.

L'hydrogène est à peine soluble dans l'eau, qui n'en dissout qu'un centième et demi de son volume. On peut donc le recueillir sur l'eau ; mais pour l'obtenir pur il faut le recueillir sur le mercure, parce que l'eau tient en dissolution de l'oxygène, de l'azote et de l'acide carbonique, qu'elle laisse dégager en partie, lorsqu'elle est traversée par un courant de gaz.

D'après les expériences récentes de M. Magnus, l'hydrogène est le seul gaz doué de conductibilité appréciable pour la chaleur ; à l'inverse des autres gaz, sa conductibilité augmente avec la pression. Cette propriété physique rapproche l'hydrogène des métaux, auxquels il ressemble d'ailleurs par ses propriétés chimiques.

Action de l'hydrogène sur l'oxygène. — L'oxygène et l'hydrogène n'exercent l'un sur l'autre aucune action à la température ordinaire ; mais à 300 ou 400 degrés, les deux gaz se combinent avec détonation et produisent de l'eau.

On observe que cette combinaison se fait dans le rapport de 2 volumes d'hydrogène à 1 volume d'oxygène.

Pour faire l'expérience, on enflamme, à l'aide d'une bougie, le mélange des deux gaz contenu dans un flacon de verre. Il se produit une violente explosion, qui quelquefois détermine la rupture du flacon : aussi doit-on prendre la précaution de l'entourer d'un linge mouillé.

On peut expliquer facilement l'explosion produite par l'inflammation de ce mélange. L'hydrogène et l'oxygène, en se combinant, donnent naissance à de l'eau en produisant une très-grande quantité de chaleur. Aussi l'eau est-elle, au moment de la combinaison, à l'état de vapeur tellement dilatée, que le flacon est insuf-

fisant pour la contenir. Une grande partie de cette vapeur s'échappe donc au dehors en poussant violemment l'air devant elle, mais aussitôt la vapeur qui reste dans le flacon se condense à l'état d'eau liquide par suite du contact des parois froides, l'air extérieur se précipite alors dans le flacon; de là un double ébranlement de l'air, qui produit le bruit intense que perçoit l'oreille.

La combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène se produit aussi sous l'influence de l'étincelle électrique ou de la mousse de platine.

L'hydrogène, en se combinant avec l'oxygène, produit une température très-élevée. La chaleur dégagée par la combustion d'un kilogramme d'hydrogène porterait de 0° à 100° 345 kilogrammes d'eau, ce que l'on exprime en disant que l'hydrogène dégage en brûlant 34 500 calories. Cette chaleur a été utilisée par M. H. Sainte-Claire Deville pour fondre les corps les plus réfractaires, par MM. Deville et Debray pour modifier complètement la métallurgie du platine, et par M. Desbassyns de Richemond pour opérer la soudure des métaux au moyen de ces métaux eux-mêmes coulés sur les deux surfaces à réunir. Cette soudure faite sans le secours d'aucun métal étranger, comme le sont les soudures ordinaires, se nomme *soudure autogène*.

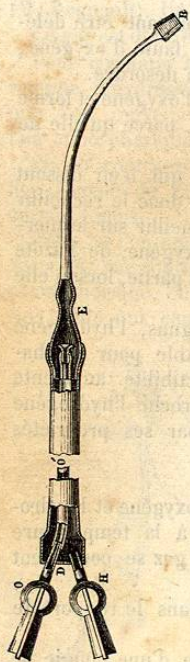


Fig. 10.

Pour opérer la fusion du platine et d'autres corps réfractaires, on place ces substances dans une cavité creusée à la surface d'un morceau de chaux vive, et au moyen d'un chalumeau (fig. 10) on dirige dans cette cavité le dard produit par la combustion des deux gaz oxygène et hydrogène, contenus dans deux récipients séparés, en ayant soin de régler l'ouverture des robinets d'émission pour que les volumes débités soient dans le rapport de deux d'hydrogène pour un d'oxygène.

La flamme que produit en brûlant le mélange d'hydrogène et d'oxygène est très-pâle, mais comme elle est excessivement chaude, si on la dirige sur certains corps solides, tels que le platine ou mieux la chaux, elle les porte au rouge blanc et produit ainsi une lumière très-éclatante, que l'œil supporte avec peine. Cette lumière, produite pour la première fois par Drummond, a été appliquée à l'éclairage des microscopes dits *microscopes à gaz*.

Si on enflamme l'hydrogène qui se dégage à l'extrémité effilée

d'un tube de verre droit, adapté sur un appareil producteur de ce gaz, et si on entoure la flamme d'un tube de verre que l'on abaisse peu à peu (fig. 11), on la voit d'abord se rétrécir, sans augmenter beaucoup de longueur, puis on entend un son déchirant ou agréable, suivant la position de la flamme dans l'intérieur du tube. En même temps, les bords de celle-ci présentent des dentelures visiblement animées d'un mouvement de vibration. Faraday explique la production du son, en admettant que le courant d'air ascendant entraîne avec lui de l'hydrogène et produit un mélange



Fig. 11.

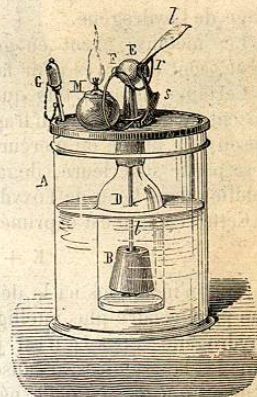


Fig. 12.

qui s'enflamme un instant après, au-dessus de la flamme, en produisant une série d'explosions très-rapprochées, d'où résulte le son. La masse gazeuse du tuyau doit donc entrer en vibration, de là le tremblement de la flamme; son rétrécissement serait dû à ce qu'une portion de l'hydrogène est entraînée par l'air qui est au contact de la flamme et ne détone qu'au-dessus.

L'appareil employé pour cette expérience porte le nom d'*harmonica chimique*.

La propriété que possède la mousse de platine d'enflammer l'hydrogène a été utilisée pour la construction d'un briquet particulier, qui porte le nom de *briquet à hydrogène*, et dont l'invention est due à Gay-Lussac (fig. 12).

Cet appareil se compose d'une cloche D, contenant un cylindre

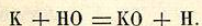
de zinc B suspendu par une tige *t*, que l'on fait plonger dans un vase A rempli d'eau acidulée. Le zinc, au contact de ce liquide, dégage de l'hydrogène, qui remplit la cloche, en déprimant le niveau de l'eau, jusqu'à ce que le métal soit soustrait à son action. En pressant sur la tige *l*, on ouvre le robinet *r*, le gaz s'échappe, va rencontrer de la mousse de platine, placée dans une petite cage G, la porte au rouge et prend feu. La mèche d'une petite lampe à huile M se trouve alors dans ce jet enflammé et s'allume. Si maintenant on ferme le robinet *r*, le gaz, cessant de se dégager, remplit de nouveau la cloche, refoule le liquide et par suite fait cesser la réaction.

Préparation de l'hydrogène. — L'hydrogène s'extrait de l'eau, qui est formée d'oxygène et d'hydrogène. Ce liquide, mis en contact avec un corps très-avide d'oxygène, se décompose et dégage de l'hydrogène.

Les métaux, ayant en général une grande affinité pour l'oxygène, sont employés pour la préparation de l'hydrogène.

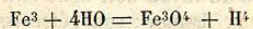
Certains métaux, tels que le potassium et le sodium, décomposent l'eau à froid : un fragment de potassium introduit sous une éprouvette pleine de mercure qui contient une petite quantité d'eau à sa partie supérieure, dégage de l'hydrogène, et il reste en dissolution dans l'eau de l'oxyde de potassium (potasse).

Cette réaction est exprimée par la formule suivante :



Nous n'indiquons ici la décomposition de l'eau par le potassium que pour rendre plus intelligible la théorie de la préparation de l'hydrogène ; mais ce n'est jamais ainsi que l'on obtient ce gaz dans les laboratoires, à cause du prix élevé du potassium et des dangers que présente l'expérience.

On peut préparer l'hydrogène en faisant passer de la vapeur d'eau sur du fer chauffé au rouge ; l'eau est décomposée, son oxygène se combine au fer pour former de l'oxyde de fer magnétique, et il se dégage de l'hydrogène :



Oxyde de fer magnétique.

L'appareil que l'on emploie se compose d'un tube de porcelaine AB, contenant des fils de fer et chauffé dans un fourneau long, H. Le tube de porcelaine communique, d'un côté, avec une petite cornue de verre C, placée sur un petit fourneau D, dans laquelle on a introduit de l'eau, et de l'autre côté, avec un tube de dégagement E qui s'engage sous une éprouvette F remplie d'eau (fig. 13).

On commence par faire rougir le tube de porcelaine, et l'on

fait ensuite passer la vapeur d'eau sur le fer, en plaçant quelques charbons sous la cornue de verre : on voit bientôt l'hydrogène se dégager avec rapidité.

Le zinc décompose l'eau à une température moins élevée que

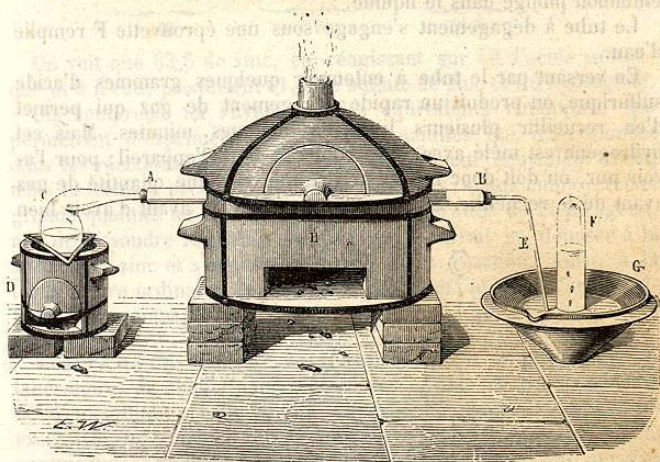


Fig. 13.

le fer ; à 100° la décomposition de l'eau par le zinc commence à être sensible : il se forme ainsi du protoxyde de zinc et de l'hydrogène :



On n'emploie pas le zinc au lieu du fer dans l'expérience précédente, parce que le zinc entrerait facilement en fusion et coulerait sur les bouchons A et B.

On prépare toujours l'hydrogène dans les laboratoires en décomposant l'eau par le zinc en présence de l'acide sulfurique.

Le zinc seul n'ayant pas assez d'affinité pour l'oxygène pour décomposer l'eau à la température ordinaire, on ajoute de l'acide sulfurique au mélange d'eau et de zinc : l'eau est alors décomposée par le zinc sous l'influence de l'acide sulfurique ; son oxygène se combine avec le métal, pour former de l'oxyde de zinc, et celui-ci, s'unissant à l'acide sulfurique, produit du sulfate de zinc qui reste en dissolution dans l'eau ; l'hydrogène se dégage.

C'est ce que représente l'équation suivante :



L'appareil se compose d'un flacon A à deux tubulures B, C, dans

lequel on introduit du zinc en grenaille ou en lames (fig. 14).

On adapte à l'une des tubulures D du flacon un tube E destiné à recueillir les gaz, et à l'autre B un tube à entonnoir D, par lequel on verse de l'eau, en ayant soin que l'extrémité du tube à entonnoir plonge dans le liquide.

Le tube à dégagement s'engage sous une éprouvette F remplie d'eau.

En versant par le tube à entonnoir quelques grammes d'acide sulfurique, on produit un rapide dégagement de gaz qui permet d'en recueillir plusieurs litres en quelques minutes. Mais cet hydrogène est mêlé avec l'air contenu dans l'appareil; pour l'avoir pur, on doit donc laisser perdre une certaine quantité de gaz avant de le recueillir. Si l'on enflammait le gaz avant d'avoir bien

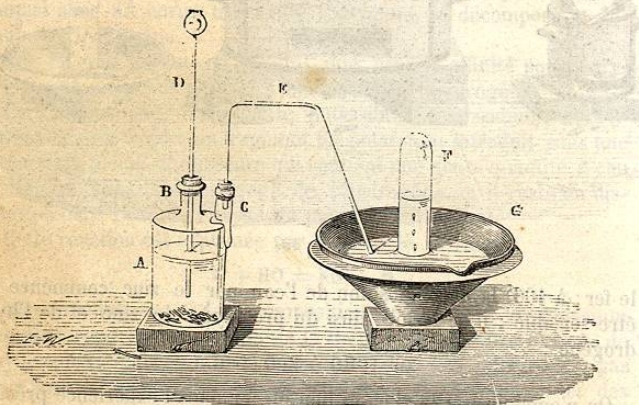


Fig. 14.

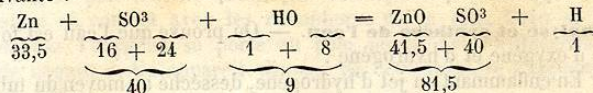
expulsé l'air des vaisseaux, l'hydrogène formant avec l'oxygène de l'air un mélange détonant, on aurait à craindre une détonation suivie d'accidents graves.

Cette précaution s'applique du reste à la préparation de tous les gaz : on peut dire d'une manière générale que, pour obtenir un gaz pur, on doit en perdre un volume huit à dix fois plus considérable que celui de l'air contenu dans les appareils.

On détermine à l'aide des équivalents la quantité pondérale d'hydrogène produite par des poids connus d'acide sulfurique, de zinc et d'eau.

L'eau est formée d'un équivalent d'hydrogène = 1 et d'un équivalent d'oxygène = 8; l'équivalent du zinc est 33,5; et l'acide sulfurique contient un équivalent de soufre = 16, plus

trois équivalents d'oxygène = 24. On peut donc poser la formule suivante :



On voit que 33,5 de zinc, en réagissant sur 40 d'acide sulfurique et 9 d'eau, produisent 81,5 de sulfate de zinc et 1 d'hydrogène.

On comprend ici l'avantage des équivalents chimiques, qui permettent d'exprimer en poids les quantités qui interviennent dans les réactions. Quoiqu'il n'entre qu'un seul équivalent d'eau dans la formule précédente, il n'en faut pas moins employer une grande quantité de ce liquide dans la préparation de l'hydrogène, afin de dissoudre le sulfate de zinc qui pourrait se déposer à la surface du zinc et s'opposerait bientôt à la réaction. Ainsi, à la température ordinaire, le zinc est à peine attaqué par l'acide sulfurique concentré.

Usages de l'hydrogène. — L'hydrogène est employé dans les laboratoires de chimie pour réduire les oxydes et les ramener à l'état métallique; l'affinité de l'hydrogène pour l'oxygène est excessive, un courant rapide de gaz hydrogène passant sur du sesquioxyde de fer légèrement chauffé s'empare de son oxygène pour former de l'eau qui se dégage; le résidu est le fer *pyrophorique* (de Magnus), ainsi nommé parce qu'il s'enflamme spontanément quand on le projette dans l'air, à la température ordinaire. Les métaux réduits par l'hydrogène sont en général très-purs. L'hydrogène sert encore à isoler quelques métaux de leurs combinaisons avec le chlore et le soufre.

On emploie l'hydrogène dans la construction des aérostats; toutefois, dans cette dernière application, on le remplace souvent par le gaz provenant de la distillation de la houille, formé en grande partie d'hydrogènes protocarboné et bicarboné.

COMBINAISONS DE L'HYDROGÈNE AVEC L'OXYGÈNE

EAU. HO.

Équivalent en poids = 9.

Équivalent de la vapeur en vol. = 2 vol.

L'eau a été, ainsi que l'air, considérée comme un élément jusqu'à la fin du siècle dernier.

Vers l'année 1781, Priestley, Watt et Cavendish reconnurent que l'hydrogène, en brûlant dans l'air, produit de l'eau. En 1789, Lavoisier démontra que l'eau est composée d'hydrogène et d'oxy-