

électriques comme jouant le rôle le plus important dans la production de l'ozone.

Voici, d'après M. Quetelet, les rapports qui existeraient entre l'état électrique de l'atmosphère et les autres conditions météorologiques.

1° La courbe des variations électriques a une marche à peu près inverse de celle des températures de l'air.

2° Cette même courbe est en relation à peu près directe avec la marche de l'état hygrométrique.

3° Enfin la différence entre le maximum et le minimum de l'électricité est, en général, beaucoup plus sensible par les temps sereins que par les temps couverts.

Cette espèce de coïncidence entre la courbe de l'ozone et celle de l'état électrique serait un fait bien intéressant à établir par des recherches plus étendues. D'ailleurs, tout ce qui touche à cette question n'est encore qu'indiqué, et il y a sans doute là un curieux sujet d'études.

Messieurs, les considérations qui ont fait l'objet de nos quatre dernières leçons n'étaient qu'une introduction destinée à fixer l'influence des conditions générales dans lesquelles se trouve placé l'organisme. Dans la prochaine séance, nous aborderons l'étude des gaz toxiques.

DIXIÈME LEÇON.

16 AVRIL 1856.

SOMMAIRE : Oxyde de carbone. — Composition d'un milieu confiné rendu mortel par de la vapeur de charbon. — Expériences. — De la mort mécanique par introduction d'un gaz insoluble dans le système circulatoire. — L'oxyde de carbone est très-vénéneux. — Expériences sur la solubilité des gaz dans le sang.

MESSIEURS,

L'oxyde de carbone, dont nous allons aujourd'hui aborder l'étude, est un des gaz les plus toxiques que l'on connaisse; souvent ses effets délétères ont pu être constatés sur l'homme, car c'est à lui qu'il faut accorder la part la plus large dans les empoisonnements par la vapeur de charbon. Tout le monde sait que dans un air confiné aux dépens duquel s'entretient une combustion quelconque; dans une chambre bien close où les besoins domestiques, l'éclairage, le chauffage, font brûler des quantités de carbone plus ou moins considérables, l'homme périt assez vite avec un ensemble de symptômes que nous n'avons pas à décrire en ce moment. Or, pendant longtemps, on a cru que dans cette circonstance il y avait empoisonnement par l'acide carbonique qui, dans toutes les combustions, est produit en quantité assez notable. Plus récemment, en examinant avec plus de soin, on reconnut qu'outre l'acide carbonique, il y avait dans ces cas formation d'un gaz très-délétère : l'oxyde de carbone. L'acide carbonique fut dès lors regardé comme tout à fait

innocent par la plupart de ceux qui admirent que dans l'empoisonnement par la vapeur de charbon l'agent toxique était l'oxyde de carbone. Nous avons vu dans une leçon précédente ce qu'il fallait penser de ces vues exclusives et comment, suivant les circonstances, la mort pouvait arriver de l'une ou l'autre façon, par empoisonnement ou par asphyxie.

Les recherches auxquelles nous nous livrons ici ayant surtout pour but de conduire à des conclusions pratiques, nous aurons à revenir sur cette question lorsqu'après avoir examiné les phénomènes séparément, il nous faudra les réunir pour arriver à constituer les conditions qui se présentent habituellement.

Des résultats d'expériences étant ce qu'il y a de plus propre à fixer les idées sur un sujet de la nature de celui qui nous occupe, je vous rapporterai une expérience de M. Félix Leblanc, destinée à établir la composition d'un milieu confiné rendu mortel par la réunion des conditions qui concourent d'ordinaire à ce résultat. L'expérience a été faite en brûlant un poids déterminé de braise de boulanger dans une pièce fermée, de capacité connue; une vitre enchâssée dans la porte permettait d'observer du dehors les effets de la combustion sur un chien de forte taille placé dans cette atmosphère. Un tube flexible traversait la porte, et pouvait, à un moment donné, appeler l'air de l'enceinte dans des ballons vides en ouvrant leur robinet. Quelques morceaux de braise incandescente étant placés dans les fourneaux, on chargea ceux-ci de braise non allumée et l'on ferma la porte. Au bout de cinq à six

minutes la flamme surmontait le combustible; le malaise de l'animal était déjà visible; au bout de dix minutes, il tomba épuisé; au bout de vingt minutes le chien succomba après quelques instants de râle. A cet instant, la bougie brûlait encore dans la pièce avec le même éclat. Ce n'est que dix minutes après la mort de l'animal que la bougie s'éteignit après avoir pâli de plus en plus. A ce moment on recueillit l'air dans les ballons, et l'on en fit l'analyse qui donna le résultat suivant :

Hydrogène carboné.....	0,04
Oxygène.....	19,19
Azote.....	75,62
Acide carbonique.....	4,61
Oxyde de carbone.....	0,54
	100,00

Dans ce mélange gazeux, vous trouvez, outre les éléments ordinaires de l'air : de l'hydrogène carboné, de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, peut-être même, d'après M. Leblanc, un peu de gaz oléfiant qui aurait pu être absorbé par l'acide sulfurique.

La proportion d'hydrogène carboné est bien faible pour qu'on doive lui attribuer une influence importante dans les accidents auxquels le chien a succombé. La proportion d'acide carbonique n'explique pas non plus la mort; elle est manifestement insuffisante pour donner lieu aussi rapidement à des effets délétères. L'empoisonnement doit donc être attribué à l'oxyde de carbone.

L'oxyde de carbone est un gaz incolore, in-

dore, neutre, qui n'a pas encore été liquéfié; sa densité est de 0,967. L'oxyde de carbone est un gaz combustible qui brûle avec une flamme bleuâtre caractéristique en se transformant en acide carbonique. On prépare ce gaz en faisant bouillir dans un petit ballon un mélange d'une partie d'acide oxalique et de cinq parties d'acide sulfurique ordinaire. Le gaz qui se dégage est dirigé dans un flacon contenant une dissolution alcaline, et de là il passe dans les éprouvettes. Ainsi préparé, l'oxyde de carbone est très-pur, et c'est ainsi que nous avons obtenu celui sur lequel nous avons opéré dans nos expériences.

L'oxyde de carbone est un gaz très-peu soluble dans le sang, comme nous le verrons plus tard, et Nysten avait fait des expériences qui l'avaient conduit à admettre que ce gaz n'était pas vénéneux par lui-même, mais qu'injecté dans les veines il tuait mécaniquement, et que mêlé aux gaz respirés il tuait par absence de propriétés propres à alimenter la vie.

Pour ne pas être tenté de rapporter à la viciation de l'atmosphère les phénomènes toxiques produits par l'oxyde de carbone, Nysten l'injectait dans la veine jugulaire. Quand il poussait l'injection un peu vite, l'animal mourait; quand il allait lentement, l'animal ne mourait pas.

Dans le premier cas, il voyait une mort mécanique tenant au peu de solubilité du gaz injecté, qui dès lors gêne la respiration, aussi avait-il noté que le sang était noir dans les artères, ce que nous n'observerons pas en opérant dans d'autres conditions. En effet, lors-

qu'on introduit l'oxyde de carbone par le poumon, il est en contact avec le sang par une vaste surface et le rend rutilant, comme vous le verrez bientôt; cela n'a plus lieu quand on l'injecte par les artères.

Voici une expérience que nous avons faite et qui s'accorde avec celles de Nysten (1). Nous avons injecté 10 à 12 cent. cub. d'oxyde de carbone dans le cœur droit, et 4 à 5 dans l'aorte sur un chien de moyenne taille. L'animal a poussé des cris, il est resté couché sur le flanc, et a eu des mouvements convulsifs dans les membres inférieurs et dans les muscles abdominaux. Sa respiration est devenue plus lente, sa température était moins élevée, ses fonctions allaient s'abaissant toujours. Au bout de quatre heures de cet état, l'animal fut sacrifié par la section du tube rachidien, et l'on trouva dans le ventricule droit, dans l'oreillette droite, dans la veine azygos et refluant jusque dans les deux veines caves, de grosses bulles du gaz injecté qui se trouvaient en contact avec du sang noir. On avait noté, du reste, que, lors de l'injection de l'oxyde de carbone, le sang veineux n'était pas devenu rutilant, comme nous verrons que cela arrive quand les animaux le respirent. Ce chien, qui était en digestion, avait, à la suite de l'injection, vomé une partie de ses aliments. A l'autopsie, on trouva les chylofères blancs, se vidant difficilement, comme cela a lieu chez les animaux qui meurent lentement. Le foie contenait une grande quantité de sucre; on en trouva aussi dans l'urine:

(1) *Recherches de physiologie et de chimie pathologiques*. Paris, 1811. in-8.

l'animal avait donc été rendu diabétique, fait curieux et que nous aurons à interpréter à un autre point de vue. Le cœur gauche ne renfermait pas de bulles de gaz ; celui-ci s'arrêtait à l'entrée des capillaires du poumon. Notons enfin, que, pour produire cette mort mécanique, il n'est pas nécessaire d'opérer sur un gaz toxique. On n'a pas recherché s'il y avait de l'air dans les artères, mais il est probable que le gaz injecté dans la crosse de l'aorte était remonté par les artères carotides et vertébrales, et s'était ensuite arrêté dans les capillaires du cerveau : ce qui pourrait expliquer les accidents nerveux que l'animal a éprouvés.

J'ai vu, en effet, dans d'autres circonstances, qu'en injectant de l'air dans les artères carotides du côté de la tête, on pouvait produire des accidents nerveux et même la mort subite par obstruction des capillaires artériels au moyen des bulles de gaz non dissous. Si l'on injectait de l'air dans les artères des autres parties du corps, dans l'artère crurale par exemple, on ne produirait pas la mort, mais seulement une gêne plus ou moins grande dans les fonctions du membre, dont parfois on détermine l'œdème et même la gangrène.

Dans l'absence d'accidents consécutifs à une injection lente dans le système veineux, Nysten voyait une preuve de l'innocuité de l'oxyde de carbone. Vous savez aujourd'hui, Messieurs, comment doit être expliquée cette innocuité, qui tient à ce que le gaz injecté dans les veines avec ménagement pourrait être éliminé lors de son passage dans le poumon.

Quant à la mort mécanique causée par l'injection brusque d'une certaine quantité de gaz dans le système veineux, le fait est exact. Si l'on ouvre la jugulaire d'un cheval ou d'un chien, et qu'on y introduise de l'air, on entend bientôt un glouglou immédiatement suivi de mouvements convulsifs de peu de durée et de la mort de l'animal. Qu'au lieu d'air on injecte de l'oxygène, de l'azote, de l'hydrogène, les mêmes phénomènes se produisent ; mais on ne les observera pas si l'on injecte dans les mêmes conditions de l'acide carbonique, qui est très-soluble.

Voici un lapin dont nous ouvrons la veine jugulaire dans laquelle nous soufflons de l'air. Vous voyez l'animal se renverser dans un mouvement convulsif et succomber. Comment est-il mort ? Il est mort parce qu'après être passées de la veine jugulaire dans l'oreillette droite, de celle-ci dans le ventricule et du ventricule dans le poumon par l'artère pulmonaire et ses divisions, des bulles d'air nombreuses ont, par leur volume, bouché les capillaires du poumon et arrêté complètement la circulation.

On admettait autrefois, pour expliquer la mort causée par l'introduction de l'air dans le système veineux, qu'en arrivant dans le cœur, où il trouvait une température plus élevée, l'air se dilatait et paralysait l'organe par la distension forcée qu'il lui faisait subir. Cette manière de voir est erronée : l'obstacle est dans le poumon. Le cœur de notre lapin mis à découvert se contracte encore ; le ventricule droit jusque dans les veines caves est plein d'une écume sanguine fine et rose. Nous avons vu

toutefois que chez l'animal où nous l'avions injecté dans les veines, l'oxyde de carbone ne s'était pas divisé autant et n'avait pas donné au sang cette couleur vermeille que l'air lui donne ici. Le ventricule gauche est d'un rouge foncé et vide. Si l'injection avait été poussée plus fort, quelques bulles d'air auraient cependant pu y passer. Jamais il n'en passe quand l'air entre dans la veine par la simple aspiration qui se fait au moment de la dilatation de la poitrine dans l'inspiration. Les vaisseaux qui sortent du cœur gauche présentent un sang d'une coloration plus foncée. Nysten avait donc raison de dire qu'injecté brusquement l'oxyde de carbone pouvait être un agent mécanique de mort.

Les choses se passent autrement lorsque l'oxyde de carbone est mêlé aux gaz respirés, comme cela se présente dans les empoisonnements par la vapeur de charbon. Il est alors introduit dans les bronches et mis par une vaste surface en contact avec le sang. Son mélange se trouve alors effectué dans le poumon. L'oxyde de carbone respiré ainsi est vénéneux même à dose très-faible.

Voici, Messieurs, une cloche de 2 litres 320 de capacité, renfermant de l'air. Nous y faisons passer une quantité d'oxyde de carbone qui représente les 6 centièmes de sa capacité. Après des convulsions qui durent environ trois minutes, vous voyez l'oiseau que nous introduisons sous cette cloche y succomber. Et remarquez bien qu'il n'y est pas mort, comme dans l'acide carbonique, par un obstacle progressif aux actes d'une fonction nécessaire; il a été pris dès le début de con-

vulsions qui constituent un symptôme anormal, une expression pathologique spéciale; tandis que l'asphyxie dans un gaz irrespirable n'offre en général que des signes négatifs.

L'oxyde de carbone est très-peu soluble. L'eau en dissout environ 1/16 de son volume. Voyons s'il est moins ou plus soluble dans le sang.

Voici deux éprouvettes contenant : l'une, 30 centimètres cubes d'oxyde de carbone; l'autre, 30 centimètres cubes d'acide carbonique. Nous allons y faire passer une certaine quantité de sang emprunté à ce chien.

Pour nous procurer le sang, nous avons recours au procédé le plus commode toutes les fois qu'on en veut obtenir une certaine quantité. Ce procédé (fig. 7) consiste à introduire, par la jugulaire ouverte, une sonde *c* jusque dans l'oreillette droite et à aspirer doucement avec une seringue *S'* engagée dans l'extrémité de la sonde. La seringue une fois pleine, nous la retirons et nous remplaçons sa canule par un tube de fer recourbé *T* au moyen duquel, opérant sur le mercure, nous faisons passer facilement le sang dans des tubes gradués qui contiennent le gaz sur lequel on expérimente. Nous faisons ainsi passer 5 centimètres cubes de sang dans chacun des tubes, puis nous agitons pour faciliter le mélange. Vous voyez que le sang devient rutilant au contact de l'oxyde de carbone, comme si c'était de l'oxygène, tandis qu'il noircit en présence de l'acide carbonique. Cette couleur rutilante du sang, remarquable chez l'oiseau qui a succombé tout à l'heure

dans cette cloche, est un caractère de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. Vous pouvez voir, en effet, en dépouillant cet autre oiseau mort dans l'acide

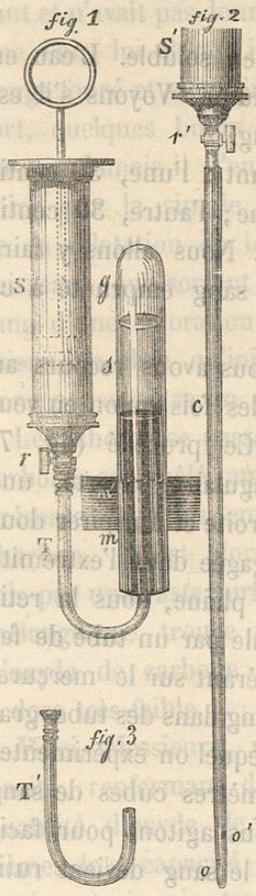


Fig. 7. — Appareil pour recueillir du sang et le mettre en contact avec divers gaz sans qu'il ait le contact de l'air.

c, sonde en gomme élastique qui doit être plongée par la veine jugulaire droite jusque dans l'oreillette ou dans le ventricule droit du cœur, en prenant les précautions convenables pour empêcher la pénétration de l'air. Quand la sonde est arrivée dans le cœur, on aspire doucement avec la seringue *S* le sang qui pénètre par les ouvertures *o*, *o'*, puis on ferme le robinet *r'*, on dévisse la seringue et on y ajuste le tube en fer *T*, qui est plongé sous le mercure *m'*, pour faire passer le sang dans le tube gradué *m*. On peut du reste mesurer le sang dans la seringue, dont la tige du piston est graduée.

Fig. 1. — L'appareil est représenté en action: *S*, seringue dont la tige du piston est graduée; — *T*, tube en fer; — *r*, robinet; — *m*, tube placé sur la cuve à mercure, et préalablement rempli de mercure: — *g*, gaz; — *s*, sang.

Fig. 2. — *S'*, seringue dont la canule est fixée à une sonde en gomme élastique; — *r'*, robinet; — *c*, sonde; — *o*, *o'*, ouvertures dans lesquelles le sang pénètre dans la sonde et puis dans la seringue.

Fig. 4. — *T'*, tube recourbé et fer séparé de la seringue.

FIG. 7.

carbonique, le contraste qu'offrent ses chairs noires avec la coloration rutilante de celles de l'oiseau mort dans l'oxyde de carbone. Un oiseau sain, que nous

venons de décapiter et qui a respiré dans l'air atmosphérique, présente des chairs dont la teinte rouge est intermédiaire aux deux précédentes.

Dans les empoisonnements par les gaz, la mort est ordinairement la conséquence de leur absorption par le poumon. Cette voie d'intoxication les distingue des poisons administrés sous forme liquide et qui arrivent à produire leurs effets, par quelque voie qu'on les introduise dans l'économie.

Après un temps suffisant pour que l'absorption ait pu se faire autant que possible, nous voyons que les 5 centimètres cubes de sang introduits dans le tube qui contient l'acide carbonique ont absorbé 5 centimètres cubes de ce gaz, c'est-à-dire un volume égal. Le même volume de sang ne semble pas avoir absorbé une quantité appréciable d'oxyde de carbone. Mais comme le sang pourrait avoir exhalé un autre gaz en quantité égale à celle de l'oxyde de carbone absorbé, il faut faire l'expérience dans d'autres conditions.

Voici les résultats que nous ont donnés des expériences que nous avons faites en nous plaçant dans les conditions indiquées plus loin. Ces expériences portent non-seulement sur l'oxyde de carbone, mais sur d'autres gaz dont il est important aussi de connaître le degré d'absorption.

Nous avons donc institué quelques expériences directes dans le but de déterminer la capacité absorbante du sang pour ces gaz.

Pour cela, 20 centimètres cubes d'un sang qui avait été tiré, à l'aide d'une seringue, de l'oreillette droite