

voit que l'oxyde de carbone est un gaz éminemment toxique. D'après les expériences que nous avons données en dernier lieu, si leur résultat se confirme, on voit que ce gaz, quoique peu soluble, est absorbable dans le sang beaucoup plus que dans l'eau. Enfin nous voyons que, bien que l'oxyde de carbone donne au sang une belle couleur rutilante artérielle, il lui communique cependant en même temps des propriétés vénéneuses qui tuent par un mécanisme que nous étudierons dans la prochaine leçon.

ONZIÈME LEÇON.

18 AVRIL 1856.

SOMMAIRE : Le sang devient rutilant au contact de l'oxyde de carbone, et cette coloration persiste. — L'oxyde de carbone tue et empêche le sang artériel de devenir veineux : il paralyse les globules et met obstacle aux échanges gazeux dont ils sont les agents. — Théories par lesquelles on a cherché à expliquer les effets de ce gaz.

MESSIEURS,

Depuis la dernière leçon, nous avons complété la série des expériences qui peuvent établir l'innocuité de l'oxyde de carbone introduit lentement dans le système veineux général par absorption ou directement en l'injectant. Nous avons introduit 16 centimètres cubes de ce gaz dans le tissu cellulaire d'un lapin, et 32 centimètres cubes dans la plèvre d'un chien. Ces animaux n'ont aucunement souffert de l'opération et n'en ont éprouvé aucun symptôme fâcheux.

Aujourd'hui, nous aborderons la théorie de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone, sur le mécanisme duquel nous insisterons particulièrement.

Déjà, en mettant dans des éprouvettes du sang en contact avec l'acide carbonique et avec l'oxyde de carbone, nous avons vu ce sang devenir noir dans le premier cas, et devenir rutilant dans le second. De plus, l'acide carbonique a été absorbé par le sang qui en a pris quelquefois un volume égal au sien tandis que l'oxyde de carbone l'a été relativement beaucoup moins.

La réaction rutilante que nous a présentée le sang hors de l'animal, nous la retrouverons en opérant sur l'animal vivant. Quand on empoisonne un animal par l'oxyde de carbone, son sang présente aussitôt cette coloration rouge caractéristique.

Voici un chien auquel nous allons faire respirer de l'oxyde de carbone. Pour cela, nous lui coiffons le

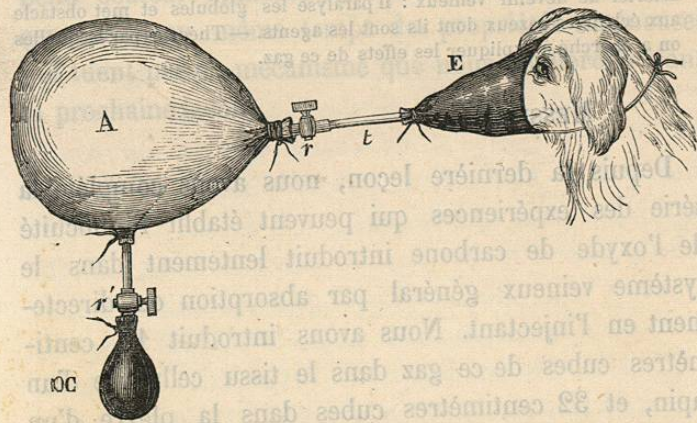


FIG. 8.

musseau d'un entonnoir en caoutchouc E, communiquant avec une vessie A pleine d'air (fig. 8). Une seconde vessie en caoutchouc OC, et communiquant avec la première par un tube et un robinet r', renferme de l'oxyde de carbone qu'on peut, par une pression ménagée, mélanger, en proportion variable, à l'air respiré par l'animal. Nous lui découvrons maintenant la veine jugulaire, que nous ouvrons : le sang qui s'en écoule est recueilli dans des tubes. Dans ce premier tube, l'animal respirant encore l'air normal, vous voyez que le sang est noir et offre toutes les apparences

du sang veineux. Ouvrant maintenant le robinet et plaçant un autre tube sous la plaie, nous recueillons un sang plus rouge; dans un troisième tube, cette coloration est encore plus vive; le sang qui remplit le quatrième tube est tout à fait vermeil. Nous suspendons maintenant les inspirations toxiques, afin de conserver l'animal s'il en est encore temps.

Il est remarquable que, dans l'action de l'oxyde de carbone sur le sang, cette coloration rutilante, que nous avons déjà fait connaître dans nos leçons, il y a environ dix ans, soit le seul effet produit d'une manière appréciable. Le sang ainsi modifié n'a perdu aucune de ses autres propriétés apparentes : il se coagule comme auparavant, et se sépare encore en sérum et en caillot lorsqu'on l'abandonne à lui-même.

L'action de l'oxyde de carbone sur le sang se présente cependant avec un caractère qui empêchera de la confondre avec l'action de l'oxygène. Vous savez qu'au contact de l'oxygène le sang devient aussi rutilant ou artériel, comme on dit; et qu'abandonné à lui-même, ce sang reprend la coloration noire du sang veineux; seulement, le sang reste rouge à sa surface, au contact de l'air, tandis que l'intérieur du caillot est devenu noir. Cela tient sans doute à ce que l'oxygène que contenait le sang se change peu à peu en acide carbonique. La même chose n'a pas lieu lorsque le sang doit sa coloration vermeille à son contact avec l'oxyde de carbone. Si l'action de l'oxyde de carbone sur le sang a été complète, la coloration rutilante est très-tenace, et je l'ai vue alors persister quelquefois pendant plus

de trois semaines. Il y a donc dans cette durée de la coloration un caractère différentiel bien marqué, qui empêchera toujours de confondre l'action rutilante de l'oxyde de carbone avec celle de l'oxygène.

Cette coloration ne suffit cependant pas à désigner exclusivement l'oxyde de carbone; nous verrons qu'elle appartient aussi à plusieurs substances, à l'acide prussique, entre autres, qui se rapproche peut-être de l'oxyde de carbone par plusieurs autres points.

L'oxyde de carbone empoisonne en empêchant le sang artériel de devenir veineux. Il ne l'empêche pas de devenir artériel dans le passage du sang à travers le poumon: il n'asphyxie donc pas, c'est-à-dire qu'il n'empêche pas d'abord l'oxygène d'être absorbé. Mais vous savez, Messieurs, que, quelque indispensable que soit à la vie la fonction qui artérialise le sang, il faut accorder au moins autant d'importance aux actes intimes de la désartérialisation; or ce sont ces derniers actes qui sont abolis dans l'empoisonnement par l'oxyde de carbone.

Je vous ferai remarquer toutefois que cette désartérialisation qui noircit le sang veineux offre une remarquable exception dans le rein où le sang veineux est rouge à l'état normal. Plus tard, nous aurons à expliquer ce fait; je me contenterai aujourd'hui de vous indiquer que le moyen qui fait distinguer le sang, physiologiquement artérialisé, du sang rendu rutilant par l'oxyde de carbone, nous servira également à reconnaître que ce gaz toxique n'est pour rien dans la coloration vermeille du sang de la veine rénale.

En effet, ce sang, abandonné à lui-même pendant vingt-quatre heures, redevient noir.

Maintenant quelles modifications l'oxyde de carbone amène-t-il dans le sang? Comment ces modifications produisent-elles la mort?

L'étude physiologique des éléments du sang conduirait à reconnaître qu'en vertu de leurs propriétés spéciales, le rôle qui paraît devoir être attribué aux globules est de présider aux phénomènes d'échanges gazeux. Eh bien, l'examen comparatif du sang artériel normal et du sang qui a été mis en contact avec l'oxyde de carbone, montre que l'action de ce gaz a changé les conditions fonctionnelles des globules.

Quand on met du sang en présence d'un gaz, de l'acide carbonique, de l'oxygène et même de l'azote, il y a échange des gaz du sang avec les premiers; c'est même par ce procédé qu'on opère le déplacement des gaz du sang. L'oxyde de carbone trouble ou empêche cet échange; sous son influence, les globules, étant altérés physiologiquement, ne prennent plus des gaz au milieu dans lequel ils se trouvent, et ne lui cèdent pas les gaz qu'ils renferment.

Je vous rappellerai que, dans la dernière séance, 5 centimètres cubes de sang avaient été agités séparément avec 39 centimètres cubes d'acide carbonique et 39^{cc} d'oxyde de carbone. Nous avons vu que le volume de l'acide carbonique avait diminué de 5 centimètres cubes qui avaient été absorbés par le sang, et que le volume de l'oxyde de carbone ne s'était pas sensiblement réduit: c'est que l'exhalation d'oxy-

gène avait masqué l'absorption d'oxyde de carbone.

En effet, on a pris ensuite ces deux sangs et on les a mis en présence de l'oxygène, pour voir s'ils pourraient en absorber. Après ce contact, il y a eu absorption d'oxygène, mais seulement par le sang qui avait été mis en présence de l'acide carbonique.

Le sang chargé de 5 centimètres cubes d'acide carbonique, mélangé avec l'oxygène, formait un volume de 32^{cc},33, qui s'est réduit à 28^{cc},42; ce qui donnait, pour l'oxygène absorbé, 3^{cc},91, chiffre considérable.

Le sang qui avait été au contact de l'oxyde de carbone représentait, avec l'oxygène en présence duquel on l'a mis ensuite, 29 centimètres cubes, qui se sont réduits par l'acide pyrogallique à 28^{cc},75. La quantité d'oxygène absorbée, 0^{cc},25, est donc presque insensible.

Lorsque, au lieu d'agir à l'état de pureté, l'oxyde de carbone agit mélangé avec une certaine quantité d'air, ainsi que cela arrive quand on le respire, son action sur le sang est de la même nature.

On mit dans une cloche 20 centimètres cubes de sang et 49 centimètres cubes d'air, plus 3 centimètres cubes d'oxyde de carbone, donnant un total de 52 centimètres cubes de gaz. Après une heure de contact, on relut et on ne trouva plus que 48 centimètres cubes de gaz, ce qui prouvait qu'il y en avait eu 4 centimètres cubes d'absorbés.

On prit de cet air 94,5 volumes qui, traités par la potasse, ne diminuèrent pas : il ne contenait donc pas d'acide carbonique. Traité par l'acide pyrogallique, le

gaz se réduisait à 75 volumes, ce qui montrait qu'il avait disparu 19,5 volumes d'oxygène.

Ramenant ces chiffres à ce qu'ils seraient pour 100 volumes, nous trouvons pour la composition centésimale de l'air vicié par l'oxyde de carbone resté en contact une heure avec le sang :

Oxygène.....	20,60
Azote.....	79,40

Il n'y avait dans cet air ni acide carbonique ni oxyde de carbone.

On a analysé ensuite l'oxyde de carbone dont on s'était servi dans cette expérience.

Pour cela on a pris 91,5 volumes de ce gaz, qui, traités par la potasse, se sont réduits à 91,5, et repris par l'acide pyrogallique, se sont réduits à 87,5, abandonnant ainsi 4 volumes d'oxygène.

Ces 4 volumes d'oxygène, étant fournis par la présence accidentelle d'une certaine quantité d'air, supposent 14,1 volumes d'azote. Les 91,5 volumes du gaz employé contenaient donc 18,1 volumes d'air, et par conséquent 73,4 seulement d'oxyde de carbone.

Partant de ce rapport 91,5 : 73,4, on trouve que les 3 centimètres cubes de gaz employé ne contenaient que 2^{cc},4 d'oxyde de carbone.

Les 49 centimètres cubes d'air mis en contact avec le sang contenaient 10^{cc},19 d'oxygène; les 48 centimètres cubes restant n'en renferment plus que 9^{cc},88 : donc les 20 centimètres cubes de sang ont absorbé seulement 0^{cc},3 d'oxygène et 0^{cc},69 d'azote, puisqu'il y a eu

diminution de volume de 1 centimètre cube (de 49 à 48); de plus, tout l'oxyde de carbone a été absorbé: l'analyse eudiométrique n'en a pas montré la présence.

Dans cette expérience il était resté dans la cloche 19 centimètres cubes de gaz qu'on analysa le lendemain. Ce gaz n'avait pas changé de volume; en l'analysant, on trouva que ces 19 centimètres renfermaient:

Acide carbonique.....	0,32
Oxygène.....	3,70

Vingt-quatre heures auparavant, il n'y avait pas d'acide carbonique; et les 19 centimètres cubes d'air restant contenaient d'oxygène 3^{cc},80. Il y a donc eu après ce temps 0^{cc},4 d'oxygène absorbé, et 0^{cc},32 d'acide carbonique exhalé.

On a mis comparativement à l'expérience précédente 20 centimètres cubes de sang avec de l'air, et on a trouvé, en le traitant de la même manière, que, après une heure, il y avait eu de l'oxygène absorbé, et de l'acide carbonique, et peut-être un peu d'azote, exhalés.

Il m'avait semblé, dans certaines expériences faites avec de l'oxyde de carbone, qu'il y avait eu, au bout d'un certain temps, du gaz exhalé.

Pour vérifier cette question, j'ai fait faire un instrument, qui peut d'ailleurs servir aussi pour d'autres analyses du sang. Cet instrument (fig. 9) se compose d'un tube en verre gradué A, qui peut se dévisser, comme on le voit en A'. Ce tube A doit être rempli de sang et d'air à l'aide de notre seringue précédemment décrite (fig. 8). On remplit complètement le tube de

sang, de façon qu'il ne reste pas de mercure; puis on visse sous le mercure le robinet R au tube A; puis, le robinet étant fermé, on peut agiter le sang et l'air, et les laisser ensuite en contact aussi prolongé que l'on voudra. Quand on désirera savoir s'il y a eu du gaz exhalé ou absorbé, il faudra visser à l'autre extrémité du robinet R le tube B, qui porte à son extrémité libre un autre robinet de fer r, préalablement rempli de mercure et placé sous ce mercure. Il est certain que, si, en ouvrant le robinet R, le mercure monte dans le tube A, il y a eu absorption; si, au contraire, le gaz descend dans le tube B, il y a eu exhalation, et dans les deux cas on pourra mesurer la quantité de gaz exhalé ou absorbé.

En résumé, toutes les expériences qui précèdent montrent que, lorsque le sang a été mis en contact avec l'oxyde de carbone les globules ne peuvent plus fonctionner; ce qui rend compte de l'arrêt des phénomènes physiologiques de respiration qui amène la mort.

Les phénomènes de l'intoxication par l'oxyde de carbone ne se réduisent cependant pas entièrement à cette asphyxie par suppression des propriétés du liquide sur lequel opère l'acte respiratoire; ils offrent encore à étudier une action se-

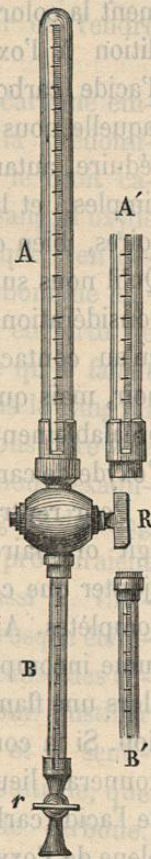


Fig. 9.

condaire sur le système nerveux, action sur laquelle nous reviendrons.

Prochainement nous aurons encore à examiner comment la coloration du sang peut être modifiée par l'addition à l'oxyde de carbone d'une forte proportion d'acide carbonique. Dans l'appréciation théorique à laquelle nous nous arrêtons aujourd'hui, nous avons dû réduire, autant que possible, la question à ses éléments simples, et la dégager de toutes les influences accessoires, bien qu'il ne faille pas négliger ces dernières. Qu'il nous suffise de vous rappeler, pour compléter les considérations relatives à une réaction très-importante, qu'au contact de l'acide carbonique le sang devient noir, mais que cela n'a pas lieu pour le sang qu'on a préalablement rendu rutilant en l'agitant au contact de l'oxyde de carbone.

Pour rentrer dans les circonstances dans lesquelles agit ordinairement l'oxyde de carbone, nous devons ajouter que ce gaz se produit dans les combustions incomplètes. Ainsi voici un réchaud dans lequel se consume incomplètement du charbon de bois. On aperçoit alors une flamme bleuâtre qui est le signe de sa production. Si la combustion était plus vive et complète, elle donnerait lieu, non plus à l'oxyde de carbone, mais à de l'acide carbonique, et l'on ne verrait plus la flamme bleue de l'oxyde de carbone. Nous maintenons pendant quelques secondes une cloche au-dessus de ce réchaud, nous la plaçons sur une assiette ; puis nous y introduisons un oiseau, qui entre en convulsions, mourra bientôt, et dont vous verrez les chairs d'un beau rouge.

Mais je reviens à la théorie que je vous ai donnée de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. Cette explication de son mode d'action n'avait été encore, je crois, signalée nulle part, bien que plusieurs théories aient été déjà faites pour en rendre compte.

M. Cheneau a prétendu que l'oxyde de carbone empoisonnait de plusieurs manières, suivant la prédominance de l'un ou de l'autre des effets qu'il le croit capable de produire. Il pense que, dans le sang, l'oxyde de carbone se transforme en acide carbonique, en désoxydant le sang, et que cette acide carbonique empoisonne ensuite, comme acide carbonique, en vertu de ses propriétés délétères. Nous avons vu ce qu'il fallait penser de l'action de l'acide carbonique dans le sang ; il n'est pas nécessaire d'y revenir ici, pour vous faire voir toute l'in vraisemblance de la théorie que nous examinons maintenant. Cette soustraction de l'oxygène du sang et son emploi à la suroxydation du carbone produiraient une quantité de chaleur considérable. Aussi M. Cheneau pense-t-il qu'il y a dans ce cas une brusque élévation de température, qui peut aussi être la cause des accidents qu'on observe. On a invoqué, pour justifier cette dernière hypothèse, les maux de tête et le sentiment d'arrachement dans l'intérieur de la poitrine, que l'on éprouve sous l'influence de l'oxyde de carbone. Mais ces maux de tête se retrouvent, au même degré, chez les sujets soumis à l'action de l'hydrogène carboné de l'acide carbonique, etc. Quant à la douleur lacérante de la poitrine, je l'ai éprouvée extrêmement

violente après avoir respiré un peu brusquement de l'acide cyanhydrique.

Lorsqu'on saigne un animal de façon à lui faire perdre tout ou presque tout son sang, il meurt dans des convulsions qui rappellent celles de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. Quelque différentes que soient dans leur nature les causes des phénomènes morbides que l'on observe dans les deux cas, on doit reconnaître entre leurs effets un certain rapport. Sous l'influence de l'oxyde de carbone, les globules sont en quelque sorte paralysés; ils deviennent alors comme s'ils n'existaient pas; les effets de leur destruction physiologique ne pourraient-ils pas être, avec quelque raison, rapprochés de ceux que produit leur sortie de l'organisme?

DOUZIÈME LEÇON.

23 AVRIL 1856.

SOMMAIRE : Sous l'influence de l'oxyde de carbone, la séparation du sérum semble être plus parfaite. — Les globules ne sont pas altérés anatomiquement; leur conservation paraît être plus prolongée. — Analogies entre l'action de l'oxyde de carbone et celle de l'acide cyanhydrique. — L'oxyde de carbone est un poison qui agit sur le sang. — Effets consécutifs de son action. — Son influence sur les fermentations. — Sur la germination.

MESSIEURS,

Dans l'examen auquel nous nous sommes livrés sur les effets de l'intoxication par l'oxyde de carbone, nous nous sommes particulièrement arrêtés à une coloration rutilante particulière du sang, qui se rencontre constamment.

Dans ces deux tubes, on a recueilli le sang d'un chien en santé, et du sang de ce même chien pendant qu'il était soumis à des inhalations d'oxyde de carbone. On va vous les faire passer, et vous pourrez, indépendamment de la coloration que je vous ai signalée, constater encore que dans les deux sangs le caillot s'est parfaitement formé, avec une égale consistance. La coagulation a semblé même se faire plus vite pour le sang rendu rutilant par l'oxyde de carbone; la séparation en caillot et en sérum a été extrêmement prompte; elle présente, en outre, ici ce caractère remarquable