

rieur, il se refroidit lui-même un peu, et il peut finir par mourir des suites de la réfrigération. De même s'il est placé dans un milieu plus chaud que son corps, la température animale s'élève et l'animal peut finir par mourir de cet échauffement.

Nos expériences nous ont appris qu'un animal peut supporter quelque temps une température assez élevée, de 60 et même de 100 degrés, à la condition toutefois que l'air dans lequel il se trouve soit parfaitement sec ; si l'air devient humide, les effets de la chaleur seront beaucoup plus nuisibles. Quand l'animal meurt dans une étuve sèche, on voit la température de son corps s'élever peu à peu, et toujours l'animal périt aussitôt que la chaleur normale de son sang s'est élevée de 5 degrés. La mort survient subitement par un arrêt instantané du cœur et une rigidité musculaire générale qui se manifeste presque aussitôt. Une pareille mort n'a aucun rapport avec les phases de l'asphyxie par les vapeurs de charbon.

Nous allons maintenant faire les deux expériences comparatives que je vous ai indiquées au commencement de la leçon. Nous faisons dans un cas refroidir la vapeur de charbon, soit en faisant passer sur son tube conducteur un courant d'eau froide, soit en la faisant arriver dans une sorte de tambour de zinc que nous avons fait construire, et qui la retient pendant un certain temps avant qu'elle pénètre dans la caisse.

Vous voyez que les animaux sur lesquels nous avons expérimenté comparativement sont sensiblement morts dans le même temps. Dans le gaz chaud comme dans le gaz refroidi, ils sont morts en cinq à six minutes, c'est-à-

dire par une action tellement rapide que la chaleur n'aurait pas pu agir dans cet espace de temps aussi court. La chaleur ne doit donc pas être mise en cause dans l'asphyxie par le charbon, parce que ses effets sont beaucoup plus lents, et que dans les conditions dans lesquelles nous sommes placés, l'asphyxie a été un phénomène tout à fait indépendant.

En résumé, nous pouvons, ainsi que je vous l'avais annoncé, considérer l'effet de la chaleur comme nul dans ces circonstances, et par suite, éliminer cette cause de mort dans l'étude de l'asphyxie que nous allons entreprendre.

Arrivons maintenant à l'action des différents gaz produits par la combustion : nous commencerons par les effets de l'acide carbonique.

Ce gaz est-il vénéneux ou ne l'est-il pas ? C'est là une question importante qui a été longtemps discutée et qui peut-être n'est pas encore absolument résolue.

L'acide carbonique est certainement nuisible et détermine la mort quand il existe en certaine quantité dans l'air que nous respirons. Nous savons que la vie est impossible dans certains lieux où ce gaz se dégage d'une manière constante : tout le monde connaît l'histoire de la grotte du chien ; mais on a conclu de ces faits que dans l'asphyxie par le charbon, où il se produit de l'acide carbonique, la mort devait être déterminée par la présence de ce gaz, que l'on a dès lors considéré comme un gaz toxique. Or, il importe d'examiner ici à quelle dose l'acide carbonique peut occasionner la mort, et comment il agit quand il manifeste ses effets délétères.

D'abord, doit-on considérer simplement l'acide carbonique comme un gaz irrespirable ou comme un gaz toxique ? Nous allons chercher à répondre à cette question, et je vous avouerai tout d'abord qu'il est assez difficile de la résoudre, à cause de la facilité que présentent les gaz de s'éliminer par le poumon.

Il est bien établi que l'acide carbonique n'a aucune action délétère quand il est injecté dans le tissu cellulaire sous-cutané ; mais quand il est appliqué sur la peau, il occasionnerait la mort dans certains cas suivant quelques auteurs, qui concluent de là que l'acide carbonique est un gaz toxique. Quant à moi, je pense que l'acide carbonique appliqué sur toute la peau peut agir comme un corps capable d'intercepter l'action de l'air qui est indispensable à l'activité vitale. C'est ainsi que si l'on met toute la surface extérieure du corps d'un animal en contact avec un enduit imperméable, on obtient le même effet, même avec les enduits les plus innocents, tels que l'huile, la glycérine. Quelques observateurs ont cru voir dans ces phénomènes une sorte d'asphyxie. M. Gerlach (de Berlin), ayant mis une quantité déterminée d'air en contact direct avec une certaine étendue de la peau d'un cheval, observa, au bout de quelque temps, qu'une partie de l'oxygène de cet air avait été absorbée, et que de l'acide carbonique avait apparu comme dans l'acte de la respiration. Ce fait prouverait donc que les animaux absorbent normalement l'oxygène de l'air par la peau tout aussi bien que par les poumons, dans l'acte de la respiration. Mais de plus on a constaté qu'il se produisait un refroidissement considérable dans le corps de l'animal quand la

peau est entièrement soustraite au contact de l'air. L'acide carbonique pourrait peut-être agir comme un véritable enduit gazeux qui empêcherait l'arrivée de l'oxygène au contact de la peau.

On a répété autrefois ces expériences, à l'école d'Alfort, sur les enduits appliqués à toute la surface du corps chez le cheval, et l'on reconnut que, si au moment où les symptômes morbides commençaient, on venait à mettre à nu une certaine surface de la peau, même assez peu étendue, en rasant les poils à cet endroit, l'animal revenait et ne mourait pas.

Il n'est donc pas possible de mettre en doute l'importance de l'accès de l'air sur la peau ; mais quant à l'action délétère de l'acide carbonique expliquée par son absorption cutanée, je ne la comprendrais pas, puisque ce gaz peut être absorbé très-facilement, ainsi que je vous l'ai dit, par le tissu cellulaire sous-cutané et en quantité même très-considérable, sans produire le moindre accident.

Ainsi, vous voyez ici un lapin sous la peau duquel on a insufflé plus d'un litre d'acide carbonique, cet animal n'en est rien affecté : au bout de peu de temps, le gaz sera absorbé, et il n'en restera plus de trace.

On peut même injecter l'acide carbonique dans le sang par les veines, il se dissout rapidement sans produire d'accident. J'ai aussi poussé de l'acide carbonique par une artère dans le cerveau ou dans l'aorte sans observer d'effet funeste. Il faut remarquer toutefois ici que ces expériences ne contredisent point celles qui prouvent que le sang veineux est impropre à entretenir la vie. En

effet, le sang veineux est du sang qui, non-seulement est plus riche en acide carbonique, mais c'est aussi du sang appauvri en oxygène; tandis que dans les expériences que je viens de citer, le sang artériel contenait sa proportion normale d'oxygène, seulement il renfermait plus d'acide carbonique qu'à l'ordinaire.

J'ai varié l'expérience d'une autre manière. J'ai fait absorber de l'acide carbonique par un seul poumon, tandis que l'autre poumon continuait à respirer l'air ordinaire à l'aide d'un appareil que je vous décrirai plus tard.

Nous avons pu ainsi faire absorber par un seul des deux poumons une dizaine de litres d'acide carbonique, sans que la mort de l'animal s'ensuive; l'acide carbonique peut donc passer impunément dans le système artériel.

En résumé, voici ce que les faits établissent :

1° L'acide carbonique peut être injecté impunément, à forte proportion, dans le tissu cellulaire et dans le sang.

2° L'acide carbonique est cependant nuisible à la respiration s'il existe en certaine quantité dans l'air. Quand la proportion de ce gaz s'élève dans l'atmosphère à environ 10 pour 100, la respiration d'un mammifère ordinaire y devient impossible.

Il faut maintenant expliquer par quel mécanisme l'acide carbonique peut gêner la respiration, et voir si, à ce point de vue, il ne pourrait pas intervenir dans l'asphyxie par le charbon.

Nous savons que lorsque l'acide carbonique est introduit sous la peau ou dans les veines, il ne produit pas d'accident parce qu'il se dissout dans le liquide sanguin et est emporté dans le ventricule droit du cœur, et de là

arrive au poumon qui l'élimine; et, en effet, il ne faut pas oublier que ce gaz existe normalement dans le sang, et qu'il s'en va par la surface pulmonaire. Dans les cas précédents, si l'on analyse l'air expiré par les animaux ayant ainsi absorbé de grandes quantités d'acide carbonique, on trouve que cet air en contient plus que normalement.

Rappelons ce que nous avons déjà dit à plusieurs reprises, à savoir que les substances toxiques ou autres, qui ne peuvent agir sur nos organes que par l'intermédiaire du sang artériel, lorsqu'elles sont capables d'être entièrement éliminées par les poumons, ne sont pas vénéneuses.

L'hydrogène sulfuré, par exemple, gaz très-toxique lorsqu'il est introduit directement dans les poumons par les voies respiratoires, cesse de l'être s'il est injecté sous la peau: car, dans ce cas, il est rejeté par la respiration, ce dont il est facile de se convaincre en mettant un papier imbibé d'acétate de plomb sur le trajet des gaz expirés. Toutefois, si l'on injectait une trop forte proportion d'hydrogène sulfuré, l'animal pourrait être tué, parce que tout le gaz ne pouvant s'éliminer par la surface pulmonaire, la partie non éliminée passant dans le système artériel empoisonnerait l'animal. Nous avons, dans le cours des leçons précédentes (voy. deuxième leçon, p. 65), assez insisté sur ces phénomènes et sur leur théorie, pour qu'il soit inutile d'y revenir ici, autrement que pour les rappeler et montrer leur analogie avec ceux auxquels peut donner lieu l'acide carbonique.

Maintenant, pourquoi les animaux meurent-ils lorsqu'ils

respirent l'acide carbonique par les deux poumons à la fois, et ne sont-ils pas affectés lorsqu'un seul de leurs poumons en absorbe des quantités considérables. Cette expérience me semble de nature à faire écarter l'opinion que ce gaz serait doué de propriétés toxiques, pour faire admettre l'idée qu'il exerce dans l'échange des gaz respiratoires une action purement mécanique troublant l'exercice de la fonction.

En effet, dans la respiration normale, pour qu'il y ait échange possible entre l'oxygène de l'air et l'acide carbonique contenue dans le sang, échange indispensable à l'entretien de la vie, il faut nécessairement que ces gaz soient inégalement répandus dans les deux atmosphères en présence c'est-à-dire dans le sang et dans l'air atmosphérique.

S'il en est autrement, tout échange devient impossible, et la respiration doit évidemment cesser à ce point de vue : tel serait le rôle de l'acide carbonique, lorsqu'il existe en quantité notable dans l'air atmosphérique, d'empêcher tout échange et d'arrêter les phénomènes essentiels de la respiration, c'est-à-dire l'entrée de l'oxygène dans le sang et surtout la sortie de l'acide carbonique du sang. Ce n'est certainement pas par défaut d'oxygène que la mort arrive, car un animal meurt aussitôt dans un mélange de 50 pour 100 d'oxygène et d'acide carbonique (1).

(1) Voyez nos *Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses*, 1857. Nous avons montré alors qu'un animal placé dans une atmosphère très-oxygénée y périt, en laissant une quantité de gaz comburant bien supérieure à celle qui existe dans l'air ordinaire, mais après avoir formé une proportion considérable d'acide carbonique. Depuis cette époque, M. P. Bert a repris ces expériences (*Leçons sur la physiologie comparée de la respira-*

C'est pourquoi l'action de l'acide carbonique, lorsqu'il est respiré par un seul poumon, n'est pas toxique, l'animal pouvant absorber l'oxygène par l'autre surface pulmonaire.

En résumé, d'après toutes ces raisons, je crois que l'acide carbonique n'exerce pas un effet réellement toxique sur l'économie : son action me paraît être de nature purement physique et empêchant l'absorption de l'oxygène. Néanmoins, à ce titre, l'acide carbonique peut intervenir, dans une certaine mesure, dans les phénomènes de l'asphyxie ; mais il nous sera toujours possible de nous en rendre compte et de voir la part qu'on pourra lui attri-

tion, vingt-huitième leçon), et les a appliquées à la solution de la question suivante : dans l'asphyxie en vase clos, à quelle altération de l'atmosphère est due la mort : à l'oxygène disparu ou à l'acide carbonique accumulé ? M. Paul Bert arrive à cette conclusion que pour les animaux à sang chaud et dans les circonstances ordinaires, la mort est due à l'oxygène disparu. En effet, la proportion de 11 à 14 pour 100 d'acide carbonique est celle qui amène d'ordinaire la mort dans une atmosphère artificielle (suroxygénée) formée de 10 d'acide carbonique pour 100 d'oxygène. Mais quand la pression de l'acide carbonique devient considérable, la mort est due à ce que cette pression empêche la sortie du gaz carbonique contenu dans le sang. Pour augmenter cette pression, il suffit d'élever la température ambiante, sans augmenter notablement la proportion d'acide carbonique dans le milieu ambiant. Les animaux meurent alors comme s'ils avaient été placés dans une atmosphère très-riche à la fois en oxygène et en acide carbonique. Ces exemples, qui montrent combien il faut chercher à varier les conditions expérimentales, font voir en même temps combien il est important de préciser toutes les circonstances dans lesquelles peut s'accomplir un phénomène, avant de s'attacher à formuler une loi générale. Ainsi, dans les recherches que nous venons de rappeler, M. P. Bert arrive également à cette conclusion, que la mort dans l'air confiné est déterminé : chez les animaux à sang chaud, par la privation d'oxygène ; chez les animaux à sang froid, par la présence en excès de l'acide carbonique. Mais il fait, de plus, remarquer que si la température ambiante est très-basse, la pression extérieure de l'acide carbonique diminue, et l'animal à sang froid peut alors épuiser une bien plus grande proportion de l'oxygène de l'air.

buer, puisque nous savons qu'elle ne peut se manifester qu'à une dose déterminée.

Quels sont maintenant les autres éléments que nous pouvons incriminer dans l'empoisonnement par le charbon ?

M. Félix Leblanc a examiné, dans un travail sur lequel nous reviendrons, la composition de l'air sortant d'une fournaise contenant du charbon en ignition. Voici les résultats de cette analyse.

Oxygène.....	= 49,79
Azote.....	= 75,02
Acide carbonique.....	= 4,61
Oxyde de carbone.....	= 0,54
Hydrogène carboné.....	= 0,04

400

L'acide carbonique étant éliminé il ne nous reste donc, d'après l'analyse ci-jointe, que l'oxyde de carbone et l'hydrogène carboné comme gaz toxiques : je vais vous montrer que ce dernier gaz n'est pas à proprement parler un gaz toxique.

1° L'hydrogène carboné existe du reste, ainsi qu'on le voit, en très-petite quantité dans les gaz de combustion : mais en réalité, ce n'est pas un gaz toxique, il est simplement irrespirable. Plongés dans une atmosphère de ce gaz, les animaux y meurent par suffocation et par privation d'air ou d'oxygène, mais ils ne sont pas empoisonnés. Voici par exemple un oiseau que nous plaçons sous cette cloche, et nous faisons arriver un peu d'hydrogène carboné, l'animal ne paraît même pas en souffrir. L'hydrogène carboné n'est donc pas un gaz toxique, tandis qu'une quantité très-minime d'oxyde de carbone tue aussitôt.

2° L'oxyde de carbone est un gaz incolore, inodore, découvert par Priestley ; il brûle avec une flamme bleue caractéristique. Comme l'acide carbonique, il est composé de carbone et d'oxygène, mais combinés en proportions différentes.

C'est un des produits de la combustion du charbon : il se forme toujours lorsque le courant d'air qui doit alimenter le foyer est insuffisant. L'acide carbonique formé primitivement se transforme en oxyde de carbone en traversant les charbons incandescents ; si au contraire la quantité d'air fournie au foyer est considérable, la combustion du charbon est complète, et l'on n'obtient plus que de l'acide carbonique comme produit final de la combustion.

M. Félix Leblanc a montré dans ses expériences que l'oxyde de carbone était un gaz toxique et qu'il l'était même à de très-faibles doses. D'après ce chimiste, il suffirait de la présence de 1 millième de ce gaz dans l'air pour donner la mort. Or, dans l'analyse citée plus haut il en existe 5 millièmes, quantité évidemment plus que suffisante pour déterminer l'asphyxie.

Nous allons maintenant faire quelques expériences comparatives avec ces deux gaz, oxyde de carbone et acide carbonique, en les employant isolément et à l'état de pureté, tels qu'on les prépare dans les laboratoires, afin de vous montrer qu'il est facile de distinguer ces deux genres d'asphyxie. Voici deux oiseaux que nous avons fait mourir, l'un par l'oxyde de carbone, et l'autre par l'acide carbonique : il est facile de constater que chez le premier la chair est rouge, le sang est rouge dans toutes

les parties du corps; dans le second, au contraire, le sang est d'une couleur beaucoup plus foncée et noire (1).

Or, je vous ai déjà dit précédemment que Troja avait remarqué que le sang des animaux asphyxiés par la vapeur de charbon était parfois vermeil et rutilant, tandis que lui-même et d'autres auteurs ont avancé qu'il y avait des circonstances dans lesquelles le sang est au contraire noir ou d'une couleur foncée.

L'explication de ces divergences semblerait maintenant bien facile à donner. En effet, comme il peut arriver dans quelques cas que l'asphyxie soit produite à la fois par l'acide carbonique et par l'oxyde de carbone, on comprendrait que si l'acide carbonique domine, le sang sera noir, tandis que si l'oxyde de carbone agit exclusivement, le sang sera naturellement rouge, ainsi que vous venez de le constater dans l'expérience précédente; cependant des circonstances de température peuvent encore intervenir. En général, on peut dire que quand l'asphyxie a lieu dans un milieu où la température est élevée et où l'acide

(1) Non-seulement le sang, mais les muscles sont de couleur foncée dans l'asphyxie par l'acide carbonique; c'est que tous les tissus sont alors saturés de ce gaz. Voyez à ce sujet les récentes recherches de P. Bert. (*Recherches expérimentales sur l'influence que les modifications dans la pression barométrique exercent sur les phénomènes de la vie.* Paris, 1874. *Ann. des sc. nat.*) « Les tissus, dit-il, sont chargés d'acide carbonique. J'en ai la preuve en laissant séjourner pendant vingt-quatre heures dans une solution de potasse un certain poids de muscles, par exemple, puis en faisant, par la pompe à mercure, en présence d'acide sulfurique, l'extraction de l'acide carbonique contenu dans ce liquide et aussi dans la solution type. Je trouve ainsi que les muscles qui, d'ordinaire, ne contiennent pour 100 volumes d'eau que 45 à 20 volumes de ce gaz, en donnent alors jusqu'à 60 volumes; on en extrait moins du cerveau; mais j'en ai vu jusqu'à 100 volumes dans 100 volumes d'urine, et l'estomac en est souvent gonflé et distendu » (*op. cit.*, p. 99).

carbonique augmente en même temps que l'oxygène diminue par défaut de renouvellement de l'air, le sang a plus de tendance à prendre une coloration noire, bien que l'asphyxie soit toujours principalement due à l'action toxique de l'oxyde de carbone.

Nous devons conclure de tout ce qui précède que, dans l'asphyxie par la vapeur du charbon, c'est à l'oxyde de carbone qu'il faut principalement attribuer la mort; bien que l'influence de l'acide carbonique qui se produit dans ce cas puisse aussi se faire ressentir secondairement et en quelque sorte accessoirement.

Vous vous rappelez que je vous ai dit qu'il était possible d'injecter de grandes quantités d'acide carbonique sous la peau ou dans le sang, sans occasionner la mort, parce qu'il est rapidement absorbé et rejeté par les poumons. Voyons s'il en est de même avec l'oxyde de carbone.

Nous avons injecté de l'oxyde de carbone sous la peau de grenouilles, et après vingt-quatre heures je les ai trouvées mortes avec le sang rutilant dans tous les vaisseaux. Nous avons ajouté de l'oxyde de carbone dans le tissu cellulaire sous-cutané de divers lapins, les uns sont morts et les autres ont survécu. Nous avons vu que l'oxyde de carbone sous la peau n'est toxique qu'à forte dose; lorsqu'on injecte 2 litres de gaz, par exemple, l'animal meurt au bout de huit à dix heures et présente tous les caractères de la mort par l'oxyde de carbone; mais si l'on n'injecte qu'un litre ou qu'un demi-litre de gaz sous la peau, l'animal peut survivre et n'être pas empoisonné.

Pour expliquer ces résultats, il nous suffit de rappeler ce que nous avons obtenu dans les mêmes circonstances

avec l'hydrogène sulfuré (voy. p. 65 et suiv., deuxième leçon); vous vous rappelez que ce gaz, injecté dans les veines ou dans la peau, est éliminé; s'il est injecté en faible quantité, il est entièrement éliminé, comme on le constate avec un papier imbibé d'acétate de plomb; s'il est injecté en très-grande quantité, l'élimination est incomplète, il en reste dans le sang artériel, les éléments anatomiques sont atteints et l'animal périt. Il en est de même ou à peu près de même pour l'oxyde de carbone; nous disons à peu près de même, parce que nous verrons d'une part qu'il est très-difficile de constater de petites quantités d'oxyde de carbone dans l'air, et que d'autre part ce gaz présente une particularité relativement à son élimination. Lorsque je vous montrerai plus tard comment ce gaz tue, ce sera le moment de revenir sur le point que je laisse maintenant en suspens.

En résumé, nous voici arrivés à pouvoir établir dès maintenant les faits suivants: il y a dans la vapeur de charbon plusieurs gaz, et le plus toxique d'entre eux est l'oxyde de carbone. Ce résultat nous a été fourni par l'analyse chimique. Il nous reste à étudier physiologiquement l'action toxique de ce gaz, sur lequel doivent se concentrer maintenant toutes nos recherches.

## TROISIÈME LEÇON

SOMMAIRE: De l'oxyde de carbone. — Anciennes recherches sur ses propriétés délétères: Nysten, Félix Leblanc, Chenot. — Mécanisme de la mort en général. — Importance des autopsies immédiates. — L'oxyde de carbone laisse intactes les propriétés des muscles et des nerfs. — Il agit sur le sang. — Il s'oppose à l'absorption de l'oxygène. — Il enlève par suite au sang la propriété d'entretenir la vitalité des tissus. — Sur quel élément du sang agit l'oxyde de carbone? — Il agit uniquement sur les globules rouges.

### MESSIEURS,

De nombreuses études ont été faites sur l'action de l'oxyde de carbone et sur ses propriétés toxiques. Sa propriété délétère était déjà connue au siècle dernier; mais les expériences qui l'ont précisée sont toutes modernes. En 1811, Nysten croit encore que l'oxyde de carbone agit sur le système nerveux. D'un autre côté cependant il a remarqué que ce gaz injecté dans les veines ne se dissolvait pas, ce qui l'a conduit aussi à lui attribuer une action purement mécanique. Enfin, dans d'autres expériences, il se contente de le considérer comme un gaz purement irrespirable.

C'est en 1842 que M. Félix Leblanc (1) a fait ses premières recherches sur la viciation de l'air par la combustion du charbon. Le mémoire que ce chimiste a publié sur ce sujet est très-considérable et se rapporte à l'air vicié

(1) *Recherches sur la composition de l'air confiné*, par M. Félix Leblanc (*Ann. de chim. et de physique*, 3<sup>e</sup> sér., 1842, t. V).