

par beaucoup d'autres causes. Relativement à la vapeur de charbon, M. Leblanc a bien constaté que l'oxyde de carbone jouait le rôle toxique essentiel dans les asphyxies par la vapeur de charbon. Il a montré que 2 à 3 millièmes de ce gaz dans l'air suffiraient pour donner la mort à un chien, et qu'il ne fallait pas plus de 1 millième pour asphyxier un oiseau. Depuis ces expériences si concluantes, on a définitivement classé l'oxyde de carbone parmi les gaz toxiques; tout le monde s'est rangé à cette opinion, personne ne la conteste. Mais M. Leblanc est chimiste, et comme tel il s'est contenté d'exposer ses résultats chimiques, et il n'a nullement abordé la question physiologique de savoir comment l'oxyde de carbone pouvait produire la mort.

De quelle nature est l'action de l'oxyde de carbone? On a émis l'opinion, que ce gaz doit être rangé parmi les poisons narcotiques. Mais en admettant que cela soit un poison narcotique, ce qui est d'ailleurs fort mal défini, cela n'explique nullement son mode d'action ni le rôle important qu'il joue dans l'asphyxie.

En 1854, M. Chenot (1) aborde cette question et cherche à donner une explication chimique de l'action de l'oxyde de carbone sur l'économie; il admet deux conséquences de l'action de ce gaz sur l'organisme, une fois qu'il a pénétré dans le sang; il prend l'oxygène du sang pour s'oxyder et passe à l'état d'acide carbonique. La seconde conséquence est que cette oxydation de l'oxyde de carbone amène une élévation de température qu'il considère comme

(1) Chenot, *Note sur l'oxyde de carbone considéré comme poison* (Compt. rend. de l'Acad. des sc., t. XXXVIII, p. 735, 830).

pouvant s'élever jusqu'à 6000 calories dans le corps animal, ce qui amène naturellement une sorte d'inflammation de tous les organes et des tissus. Ces vues reposent sur des faits chimiques bien connus et dont l'auteur suppose la réalisation dans l'économie; mais elles sont purement théoriques et ne s'appuient sur aucune expérience faite sur les animaux vivants. M. Chenot est métallurgiste, et il admet que l'oxyde de carbone joue dans le sang le rôle de corps réducteur comme dans la métallurgie.

Viennent enfin mes travaux propres sur ce même sujet. J'avais déjà remarqué, vers 1842, que les animaux asphyxiés par l'oxyde de carbone avaient le sang veineux rouge semblable au sang artériel. Je vous ai déjà annoncé précédemment que Troja avait déjà observé et signalé le même fait. D'un autre côté, le docteur Marye avait observé chez l'homme que dans le cas d'asphyxie par le charbon le sang veineux se montrait tout à fait vermeil et rutilant. Ce caractère tiré de la couleur du sang serait donc en résumé assez net et important pour faire reconnaître un cas d'asphyxie par la vapeur de charbon et surtout par l'oxyde de carbone, tout aussi bien chez l'homme que chez les animaux. Toutefois, nous savons que dans certaines asphyxies par la vapeur de charbon, quand des conditions complémentaires surviennent, ce caractère peut manquer.

Toutefois ce n'est que dans mon cours que j'ai professé en 1855-56 et publié en 1857 (1) sur les substances toxi-

(1) Voy. *Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses*. Paris, 1857, troisième leçon, p. 202.

ques et médicamenteuses que j'ai abordé le mécanisme de la mort par l'oxyde de carbone.

Avant tout, je dois d'abord vous faire connaître la méthode que j'ai employée pour atteindre ce résultat. Vous comprendrez mieux de cette façon, je l'espère, le but que nous poursuivons.

Ce n'est pas d'aujourd'hui qu'on cherche à étudier l'action des poisons et des substances médicamenteuses sur l'économie. Mais jusqu'alors on avait généralement cherché à localiser cette action sur des systèmes, des appareils ou des organes. Or, voici le principe fondamental que j'ai posé dans l'ouvrage que je rappelais tout à l'heure, et qu'il ne faut pas perdre de vue : toutes les substances médicamenteuses ou toxiques qui modifient l'économie agissent sur les éléments mêmes dont sont constitués nos tissus.

Nous n'en sommes plus au temps sans doute de croire qu'un poison agit sur la vie, qu'un médicament agit sur une diathèse. Cependant on dit encore aujourd'hui, parmi les médecins, que le sulfate de quinine agit sur la fièvre. Or, la fièvre est un mot, et pour résoudre la question il faudra trouver sur quel élément organique la quinine porte ses effets et de quelle manière elle exerce son action.

Je vous ai déjà fait connaître les opinions qui avaient été émises, je vous ai dit que Portal et Troja attribuaient la cause de la mort dans l'asphyxie par la vapeur de charbon, l'un à une action de cette vapeur sur les nerfs, l'autre à son action sur le poumon. Ces localisations étaient fautive, et d'ailleurs elles ne donnent pas l'explication de

l'action toxique en elle-même. Pour arriver à la connaissance exacte de ces divers phénomènes, il faut donc non-seulement localiser les actions des substances toxiques sur les éléments constitutifs, mais encore donner le mécanisme physico-chimique de cette action.

L'histologie nous a appris en effet que nos organes sont constitués par des éléments distincts et autonomes possédant une vie qui leur est propre. Nous savons que chacun de ces éléments de tissus sont doués de propriétés physiologiques différentes. Ils ont aussi des poisons distincts. L'étude de cette science importante des propriétés spéciales de nos tissus fut commencée par Haller dans les recherches mémorables qu'il fit sur l'irritabilité musculaire. Ces vues nouvelles changèrent la face de la physiologie et firent définitivement abandonner les idées sur les esprits animaux qu'avait encore soutenues Descartes.

Après Haller est venu Bichat, et depuis ce temps on admet que toutes les propriétés vitales sont des causes d'action qui sont inhérentes aux tissus. C'est ainsi que la propriété de se contracter que possède le muscle lui est essentiellement propre et tient à sa nature intime. De même, les glandes sécrètent par elles-mêmes et en raison des propriétés du tissu qui les constitue. Nous pouvons en effet, par des expériences, retrouver toutes ces propriétés dans les tissus, dans les éléments, et c'est même l'action harmonique de tous ces tissus qui entretient la vie.

Il existe donc en réalité un ensemble de propriétés vitales dont l'agencement et la concordance constituent le mécanisme de la vie ; mais vient-on, par un procédé quelconque, à détruire une seule de ces propriétés, la

chaîne se trouve immédiatement rompue, et je dirai même plus, il suffit d'un seul élément détruit dans tous ses représentants pour occasionner la mort.

Lorsqu'un poison se trouve ingéré dans l'économie, il agit donc sur un élément spécial, et c'est précisément la nature de cet élément atteint qui donne la nature de la mort. Maintenant nous pouvons ajouter que c'est seulement par la connaissance du mécanisme de la mort que nous arriverons à la connaissance du mécanisme de la vie. C'est enfin sur ce même élément qu'il faut encore réagir si l'on veut combattre ensuite l'action toxique.

D'un autre côté, que la mort survienne par suite de conditions pathologiques ou toxiques, elle arrivera toujours de la même façon. Quand un malade meurt, il meurt parce qu'un de ses éléments vient de cesser d'agir; en un mot, il faut qu'il y ait une rupture dans cette chaîne vitale; il faut qu'un élément cesse ses fonctions pour que la dislocation de l'organisme s'opère et entraîne la mort.

Pour trouver le vrai mécanisme de la mort, il faut donc remonter à cet élément primitivement atteint. Or, il nous est impossible de faire cette étude sur les malades lorsqu'ils succombent, parce que la loi ne nous permet de pratiquer les autopsies que vingt-quatre heures après la mort. Après un laps de temps aussi considérable, il ne nous est plus possible de découvrir les altérations physiologiques des tissus auxquelles on doit attribuer la mort. L'autopsie, dans ce cas, ne nous montre que des lésions anatomiques plus ou moins anciennes qui parfois, quand elles se sont produites lentement, ont pu permettre la persistance de la vie pendant longtemps.

Toutes ces expériences ou ces études analytiques qu'il nous est impossible de faire chez l'homme, nous les pouvons réaliser sur les animaux.

La méthode que nous allons suivre est donc celle-ci : empoisonner un animal, et, dès qu'il est atteint ou qu'il est mort, pratiquer l'autopsie et examiner aussitôt les propriétés physiologiques de tous les tissus ou éléments de tissus les uns après les autres.

Il est enfin une précaution importante à prendre dans ce genre de recherches pour éviter toute erreur, c'est de faire toujours deux expériences comparatives : on prend deux animaux aussi identiques que possible et on les fait mourir, l'un de mort que nous appellerons normale, c'est-à-dire en le sacrifiant par hémorragie ou autrement, mais sans introduire aucun poison dans son corps, l'autre par la substance toxique dont on veut étudier l'action.

Pour mieux vous faire comprendre combien cette méthode est indispensable et à quelles erreurs on peut être amené en ne faisant pas immédiatement les autopsies, je vais vous en donner en quelque sorte un spécimen en expérimentant avec le curare.

Voici, par exemple, une grenouille normale que nous venons de faire mourir en la sacrifiant et en la préparant suivant la méthode de Galvani. Examinons maintenant l'état de ses nerfs et de ses muscles, et pour cela recourons à l'électricité. Sous l'influence de cet agent, les muscles de cette grenouille sacrifiée se contractent; agissons maintenant sur les nerfs, nous voyons encore les muscles se contracter.

Voilà ce que nous avons constaté en opérant sur un animal mort normalement.

Prenons maintenant cette autre grenouille que nous venons d'empoisonner par le curare, préparons-la de même et examinons, ainsi que nous l'avons fait précédemment, l'état de ses nerfs et de ses muscles; il est évident que toutes les différences que nous trouverons ici, soit en plus soit en moins, seront dues au curare. Or, si nous faisons agir l'électricité sur le muscle, nous voyons qu'il se contracte encore comme dans l'expérience précédente; mais si nous agissons sur le nerf, nous ne produisons plus la contraction du muscle: donc, le nerf a perdu la propriété d'exciter le muscle et d'éveiller en lui la propriété contractile.

La différence que nous constatons à ce point de vue entre ces deux animaux morts, l'un normalement et l'autre empoisonné par le curare, consiste donc dans la perte d'action de l'électricité sur les nerfs de ce dernier. En réalité, dans ce cas, c'est le système nerveux moteur qui se trouve détruit, puisque le curare a respecté les muscles et n'a tué que les nerfs qui les animent. Comme je viens de vous le faire constater, ce fait est extrêmement facile à observer si nous avons la précaution de faire l'autopsie immédiatement après la mort; mais si nous avons attendu vingt-quatre heures, nous n'aurions absolument rien vu.

Si je suis revenu sur ces considérations générales, dont je vous ai déjà fait part à plusieurs reprises; si j'ai répété, à un point de vue spécial, l'expérience bien connue aujourd'hui de l'empoisonnement par le curare, c'est que je voulais vous faire bien comprendre toute l'importance

qu'il y a à faire dans les expériences physiologiques les autopsies immédiatement après la mort. C'est la seule méthode possible à suivre si l'on veut arriver sûrement à la connaissance exacte des propriétés physiologiques des différents tissus et de l'action des substances toxiques sur l'économie.

C'est donc la marche que nous suivrons dans nos recherches et que nous appliquerons à l'étude de l'asphyxie par la vapeur de charbon.

Notre méthode est une méthode générale; c'est la même que l'on doit toujours employer, quelle que soit la substance toxique dont on veuille étudier l'action. C'est la méthode des éléments organiques, comme je vous l'ai déjà dit: elle revient, comme vous savez, à rechercher avec tous les moyens d'investigation que la science nous fournit aujourd'hui l'élément des tissus sur lequel la substance toxique ou morbide a primitivement porté son action. Maintenant nous allons mettre cette méthode en pratique pour l'oxyde de carbone, car dans la question qui nous occupe, c'est l'action toxique de ce gaz qui est en jeu. Nous allons donc faire des expériences sur des animaux, soit avec de la vapeur de charbon, soit avec de l'oxyde de carbone pur, et nous chercherons aussitôt après la mort si les propriétés de quelque élément de tissu n'auront pas été modifiées.

Il faut, en outre, ajouter que dans ces expériences il ne sera pas indifférent d'opérer de préférence sur certaines espèces animales: il en est, en effet, qui sont plus ou moins impressionnables à l'action de l'oxyde de carbone. De tous les animaux, ce sont les oiseaux que ce gaz

affecte le plus rapidement. Viennent ensuite les mammifères : les animaux à sang froid, enfin, sont presque insensibles à cette action toxique, surtout pendant la saison d'hiver. Nous examinerons, du reste, par la suite, quelle action l'oxyde de carbone exerce sur les animaux invertébrés qui, comme on le sait n'ont pas de globules rouges dans leur sang. Enfin, l'oxyde de carbone exerce-t-il une action aussi rapide sur tous les animaux d'une même race quel que soit leur âge? le plus jeune sera-t-il plus impressionnable ou le sera-t-il moins que le plus vieux? les animaux à jeun et en digestion sont-ils également atteints? Nous ignorons *à priori* toutes ces choses; l'expérience seule peut y répondre, et ce sont des questions qui intéressent à la fois le physiologiste et le médecin.

Voici un lapin que nous venons d'asphyxier au moyen de l'oxyde de carbone pur, afin d'agir dans les meilleures conditions possibles. Il est mort très-rapidement, avec les symptômes ordinaires : maintenant il ne respire plus, il est dans une résolution générale, mais il est encore tout chaud. Les éléments organiques sont encore pourvus de leurs propriétés; faisons l'autopsie de l'animal et constatons ces propriétés. J'incise la peau de l'abdomen et je la détache des tissus sous-jacents, vous voyez aussitôt l'animal faire des mouvements réflexes violents qui ne sont pas autre chose qu'une réaction sur les nerfs moteurs des nerfs sensitifs, que j'irrite mécaniquement. Donc, les nerfs de la sensibilité ne sont pas atteints; ils sont restés intacts de même que les nerfs de mouvement. L'oxyde de carbone n'affecte pas les muscles eux-mêmes, car ces trois ordres de tissu ont été mis en jeu dans la production

des mouvements réflexes. En résumé, l'oxyde de carbone laisse intacts tous les tissus composant les organes de la vie de relation. A l'aide de l'électricité, on a, du reste, un moyen très-commode de constater la persistance des propriétés physiologiques des muscles et des nerfs.

Examinons maintenant les organes de la vie de nutrition, à savoir le sang et les glandes diverses, cherchons sur lequel de ces éléments s'est portée l'action du gaz toxique. Or, d'après ce que nous avons déjà vu et d'après ce que vous constatez sur ce lapin, nous avons des présomptions pour penser que le sang a été affecté par l'oxyde de carbone. En effet, vous pouvez immédiatement reconnaître que le sang de ce lapin est uniformément rutilant dans toutes les parties du corps, ce qui n'est pas le cas normal; les tissus eux-mêmes qui en sont injectés sont aussi très-rouges : le foie est évidemment d'un rouge plus vif que de coutume : il en est de même des poumons; la rate seule semble conserver une teinte plus livide.

Cette coloration plus vive de tous les tissus est certainement un indice de modification produite dans le sang sous l'influence de l'oxyde de carbone; mais nous ne devons cependant pas nous contenter de cette apparence et en rester là.

En effet, je vous ai déjà fait voir que la couleur du sang était si susceptible de varier suivant les organes et suivant une foule de circonstances, que nous ne pouvons nous contenter de ce caractère.

Il faut donc étudier en détail les propriétés physiologiques du sang et voir si quelques-unes d'entre elles pré-

sentent des modifications capables de nous rendre compte de l'action toxique de l'oxyde de carbone. Cette étude physiologique et pathologique, car on peut ici lui donner les deux noms, il faut bien l'avouer, est chose moins facile à faire que celle des nerfs et des muscles, qu'il suffit d'exciter à l'aide d'un excitant électrique ou mécanique quelconque. Notre étude exigerait une connaissance parfaite des propriétés physiologiques du sang, et elle nécessite des moyens d'investigation plus complexes empruntés à la chimie et à la physique.

C'est toujours, ici comme partout, la physiologie qui doit nous servir de point d'appui dans nos explications pathologiques; et si la physiologie n'est pas bien établie elle-même, nos déductions pathologiques ne pourront avoir aucune solidité.

Quelle est donc la fonction principale que le sang est chargé de remplir dans l'organisme?

Une des principales fonctions du sang est d'absorber l'oxygène de l'air, de le transporter dans l'économie, pour y remplir un rôle que nous ne connaissons que très-imparfaitement, mais qui est indispensable à l'entretien de la vie. Nous savons encore que, parallèlement à cette absorption d'oxygène, il doit y avoir expulsion au dehors de l'acide carbonique produit par la combustion organique intérieure. — Or, dans cet échange continu de gaz, les globules du sang jouent un rôle capital; et chez les animaux à sang chaud, ce sont des organes de perfectionnement de l'appareil respiratoire. Ils n'existent d'ailleurs que chez les animaux vertébrés.

Il s'agit donc de savoir si cette fonction se trouve mo-

difiée sous l'influence de l'oxyde de carbone. Voilà ce que nous allons chercher, et pour cela nous n'avons qu'une chose à faire: prendre dans le ventricule droit le sang veineux qui arrive au cœur chez cet animal asphyxié par l'oxyde de carbone, et voir si ce sang possède, comme à l'ordinaire, la propriété d'absorber l'oxygène.

Voici cette expérience qui se fait devant vos yeux, et vous constaterez facilement que ce sang a perdu à peu près complètement sa propriété absorbante par l'oxygène. Nous sommes donc arrivés par cette expérience à découvrir un caractère de ce mode essentiel d'empoisonnement. C'est en 1855 que j'ai fait cette expérience fondamentale, qui m'a servi à donner l'explication de la mort par l'oxyde de carbone; explication qui a été depuis adoptée par tous les physiologistes. Je vis dans mon premier essai que le sang d'un animal empoisonné par l'oxyde de carbone avait absorbé cinq fois moins d'oxygène qu'à l'état normal. Voici, du reste, les résultats d'une analyse que M. Gréhan vient de faire devant vous sur un animal intoxiqué par l'oxyde de carbone. Une certaine quantité de sang veineux non intoxiqué ayant été pris sur un chien a absorbé 5,5 d'oxygène et exhalé 3,0 d'acide carbonique. Alors on empoisonne l'animal jusqu'à ce qu'il tombe sur le flanc, et le sang pris dans le même vaisseau, après intoxication par l'oxyde de carbone, n'a plus absorbé que 1,3 d'oxygène et exhalé 0,5 d'acide carbonique.

Le sang veineux d'un animal asphyxié par l'oxyde de carbone a donc, comme vous le voyez, perdu en majeure partie et peut même perdre en totalité la propriété d'absorber l'oxygène de l'air. Voilà un fait acquis

désormais à nos connaissances et que nous expliquerons plus tard.

Il s'agit maintenant de savoir si la perte de cette propriété absorbante de l'oxygène a enlevé au sang sa faculté physiologique d'entretenir la vitalité des tissus.

Ainsi, par exemple, un animal qui meurt par hémorrhagie, ne meurt que par la suppression d'un élément indispensable à l'existence de tous ses tissus : mais ces tissus eux-mêmes ne sont pas encore morts aussitôt après la soustraction du sang : ils ne meurent que quelques instants après. Aussi, si pendant qu'il en est temps encore, on injecte du sang normal dans les vaisseaux, on voit les propriétés des tissus se réveiller à mesure que la transfusion s'opère. — Voyons donc si le sang d'un animal asphyxié par l'oxyde de carbone peut servir à la transfusion comme le sang normal. Voyons s'il peut, comme ce dernier, entretenir, réveiller les propriétés de ces organes, de ces tissus, ou de ces éléments organiques.

Voilà comment nous allons exécuter devant vous cette expérience.

Nous prenons du sang à un chien en lui pratiquant une saignée. Nous asphyxions ensuite l'animal par l'oxyde de carbone, et, quand il est mort, nous lui reprenons de son sang : de cette façon, nous avons deux échantillons de sang provenant du même animal, mais différents entre eux par la raison que l'un d'eux a été pris sur l'animal à l'état sain et que l'autre a été retiré après l'intoxication par l'oxyde de carbone.

Cela fait, nous allons injecter chacun de ces sangs défrinés et convenablement préparés dans chacune des

deux pattes de devant de l'animal : voilà ce qui arrive. — Si nous examinons d'abord le membre injecté avec le sang normal, nous voyons que les propriétés des muscles, des nerfs, qui n'étaient point encore perdues, mais peut-être diminuées, sont réveillées et se conservent.

Mais si nous passons maintenant au membre injecté avec le sang intoxiqué, nous constaterons que toutes les propriétés des tissus nerveux et musculaires s'éteignent peu à peu et finissent par se perdre. — Cette expérience me paraît concluante pour vous montrer que le sang d'un animal asphyxié par l'oxyde de carbone est devenu impropre à révivifier les propriétés des tissus.

En résumé, sous l'influence du gaz toxique, le sang perd donc non-seulement la propriété d'absorber l'oxygène et de le transporter dans l'économie, mais, de plus, il a complètement perdu le pouvoir physiologique d'entretenir les propriétés vitales des tissus.

L'expérience vient donc de nous montrer que le sang normal, injecté dans un membre d'un animal, entretient les propriétés vitales des muscles et des nerfs ; tandis que si l'on remplace le sang oxygéné par du sang intoxiqué par l'oxyde de carbone, toutes ces propriétés disparaissent. Cette expérience nous permet encore de constater un autre fait : à l'état normal, vous savez que le sang, après être devenu artériel, c'est-à-dire s'être chargé d'oxygène, se dépouille de ce gaz en circulant dans les tissus et revient par les veines, tenant en dissolution de l'acide carbonique. Ce changement survenu dans la composition des gaz du sang est accompagné d'un changement dans sa couleur.