

les deux sangs. Les cristaux de l'hémoglobine combinée avec l'oxyde de carbone sont alors d'un rouge violacé, tandis que les cristaux d'hémoglobine combinée avec l'oxygène sont d'un rouge ocreux. Cette différence de coloration est surtout bien marquée dans les cristaux tétraédriques de l'hémoglobine du cochon d'Inde.

La question si complexe de l'asphyxie par le charbon se trouve donc dès à présent ramenée à un phénomène chimique simple et bien défini.

J'ai beaucoup insisté, et à dessein, sur cette partie chimique de la question qui nous occupe, parce que nous pouvons trouver dans cette action curieuse de l'oxyde de carbone que nous venons d'étudier un exemple remarquable qui nous montre jusqu'à quelle limite il faut pousser les investigations dans les recherches physiologiques.

Mais on n'arrive là que par une méthode expérimentale, analytique, complexe et longue. Avant d'en arriver aux éléments, il faut porter l'analyse expérimentale sur les appareils, les organes, les tissus et jusque dans les éléments des tissus eux-mêmes. Ainsi, nous savons maintenant que le grand principe est de ne s'arrêter que lorsqu'on est arrivé à donner, des phénomènes que l'on étudie, l'explication physico-chimique qui leur convient.

Tel est le résultat auquel nous sommes arrivés aujourd'hui pour l'asphyxie par la vapeur du charbon, et tel est le but que l'on doit toujours chercher à atteindre dans toutes les études physiologiques.

## CINQUIÈME LEÇON

SOMMAIRE : Marche de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. — Effet anesthésique de l'oxyde de carbone : il n'y a pas là une anesthésie proprement dite. — Signes qui permettent de reconnaître l'asphyxie par les vapeurs de charbon, — Examen spectroscopique du sang ; divers spectres de l'hémoglobine oxygénée, réduite ; de l'hémoglobine oxycarbonée. — Applications médico-légales de ces recherches. — Étude de l'absorption et de l'élimination de l'oxyde de carbone. — Théorie des symptômes observés dans l'asphyxie par l'oxyde de carbone.

MESSIEURS,

Connaissant la nature chimique, le fait intime, le dernier terme auquel puisse être réduite l'étude de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone, nous pouvons maintenant étudier la marche de cet empoisonnement et nous rendre compte de tous les phénomènes qu'il présente. En même temps s'offre à nous une question relativement incidente, mais d'une haute importance au point de vue médico-légal : la question de reconnaître et de caractériser un empoisonnement par l'oxyde de carbone.

Quand on asphyxie un animal comme nous le faisons ici devant vous, comment se présente cette asphyxie ; quels sont les symptômes qui l'accompagnent ? Puis ces symptômes une fois bien constatés, il faudra essayer de nous en rendre compte physiologiquement.

L'animal perd d'abord sa sensibilité, puis il tombe : je dois vous signaler particulièrement ce fait d'insensibilité ;

parce qu'on a proposé l'oxyde de carbone comme anesthésique, et M. Tourdes (de Strasbourg) a même comparé son action à celle du chloroforme (1). — Il est vrai que l'oxyde de carbone peut être anesthésique, mais à ce titre l'acide carbonique le serait de même. Or, le mot anesthésique ainsi généralisé pourrait s'appliquer à une foule de substances. En effet, l'hémorrhagie elle-même est un anesthésique, puisque son premier effet est de détruire la sensibilité. Mais je crois qu'on doit réserver ce nom aux substances qui produisent l'anesthésie sans faire courir de grands dangers pour l'existence.

Dans nos premières leçons (voy. particulièrement leçon quatrième), consacrées aux anesthésiques, nous avons traité ces diverses questions. Rappelons seulement que beaucoup d'auteurs ont soutenu que l'anesthésie n'était pas autre chose qu'un commencement d'asphyxie.

Le genre de mort asphyxique est en réalité le plus ordinaire. Dans presque toutes les manières de mourir, les nerfs de sensibilité sont d'abord atteints; dans la mort par le curare elle-même, qui nous présente un exemple précisément opposé, en ce sens que les nerfs moteurs sont atteints les premiers, la mort survient encore par asphyxie et par insensibilité par suite de la paralysie des nerfs respiratoires.

Toutefois, dans l'insensibilité ou l'anesthésie, quelle qu'en soit la cause, il ne faut jamais oublier qu'il y a une marche physiologique constante qui est partout la même.

(1) Tourdes (Gabriel), *Du gaz oxyde de carbone comme agent anesthésique* (*Gaz. méd. de Strasbourg*, 1857); voyez encore, du même, *Expériences sur l'éthérisation* (*Ibid.*, 1847, p. 60).

D'abord, ce sont les éléments sensitifs les plus élevés qui sont atteints et ensuite successivement ceux qui sont en quelque sorte moins délicats. La conscience disparaît d'abord; on perd connaissance, comme on le dit vulgairement. Les perceptions sensorielles s'éteignent ensuite, alors que les nerfs de sensibilité générale conservent encore leurs propriétés et que leur oscillation peut déterminer des mouvements réflexes. Je vous ai rendus témoins de ce fait sur un lapin empoisonné par la vapeur de charbon, dont nous avons fait l'autopsie devant vous.

Revenant à l'asphyxie par la vapeur de charbon, si nous jetons un coup d'œil rétrospectif, afin de mesurer pour ainsi dire le chemin parcouru, nous avons vu l'asphyxie apparaître d'abord comme une question des plus complexes, toutes les asphyxies étaient confondues; l'asphyxie par la vapeur de charbon elle-même, que nous avons distinguée pour en faire l'objet plus spécial de nos études, était loin d'être exactement définie. Jusqu'à la fin du siècle dernier on était resté dans le vague, discutant encore la question de savoir si la vapeur de charbon était nuisible ou non à la santé. Ce n'est que lorsque l'expérimentation s'est introduite dans le sujet qu'on a commencé à faire des progrès, et pour cela il fallait que les sciences tributaires de la physiologie et de la médecine, ainsi que les moyens d'investigation qu'elles leur fournissent, eussent eu le temps de se développer. C'est seulement dans ces derniers temps que l'expérimentation nous a conduits à une analyse profonde des phénomènes et qu'il nous a été permis de réduire finalement la question si complexe de

l'asphyxie à un simple phénomène chimique, à une seule condition élémentaire initiale, la combinaison de l'hémoglobine avec l'oxyde de carbone.

Le fait de cette combinaison de l'oxyde de carbone avec l'hémoglobine étant connu, cherchons maintenant si les propriétés de cette hémoglobine modifiée nous donneront l'explication de tous les phénomènes si variés de l'asphyxie, et si, comme je vous l'ai dit, nous pourrons prouver ainsi que les généralités doivent partir des détails mêmes et de l'examen approfondi des phénomènes et non se déduire de leur vue d'ensemble superficiellement envisagées.

Voyons d'abord si nous pourrons reconnaître avec certitude l'asphyxie par le charbon.

Il est de la plus haute importance, en médecine légale, de pouvoir spécifier à quel genre de mort un individu a succombé. Ce problème est posé depuis longtemps; Portal et Troja avaient déjà donné des caractères tirés de l'examen du cadavre, mais peu certains. Nos connaissances actuelles sur la combinaison chimique que forme l'hémoglobine avec l'oxyde de carbone nous permettent de chercher si cette combinaison offre des caractères spécifiques positifs et irrécusables.

Troja paraît être le premier qui ait observé, au siècle dernier, que le sang des animaux asphyxiés par la vapeur de charbon est parfois rutilant dans tous les vaisseaux, et nous savons maintenant que cette coloration est due à la combinaison de l'hémoglobine avec l'oxyde de carbone. Cependant Troja accorda peu d'attention à ce caractère. Toutefois, le sang ne devient pas toujours aussi rouge

lorsqu'il survient certaines conditions accidentelles dans l'expérience.

Mais il faut dire que le véritable caractère de cet état rutilant du sang quand l'expérience est bien complète, c'est de conserver sa couleur même après avoir subi l'action de l'acide carbonique.

Il existe, en effet, une expérience de cours, répétée journellement, qui consiste à montrer que le sang veineux prend une couleur rutilante sous l'action de l'oxygène, et que ce sang rouge ou artériel redevient noir ou sang veineux si on le fait traverser par un courant d'acide carbonique. Or, si l'on cherche à faire la même épreuve avec le sang rouge intoxiqué par l'oxyde de carbone, ce sang ne noircit plus sous l'influence de l'acide carbonique (1). Ce caractère est d'autant plus important que si l'intoxication du sang est bien complète, la combinaison définie que forme l'oxyde de carbone avec l'hémoglobine est assez stable et paraît se conserver longtemps sans se décomposer.

J'ai autrefois insisté sur cette propriété que possède l'oxyde de carbone d'empêcher le sang de s'altérer. J'ai vu aussi que le sang le plus complètement intoxiqué gardait sa couleur rouge plus longtemps et se putréfiait très-

(1) Il faut cependant préciser certaines circonstances particulières, qui peuvent rendre peu ou pas sensible le changement de couleur du sang saturé d'acide carbonique et qui prouvent en même temps que ce changement de couleur est dû moins à l'absence d'oxygène qu'à la présence de l'acide carbonique. Nous faisons allusion à l'expérience suivante : on prend du sang refroidi à 8 degrés, on y fait passer un courant d'acide carbonique; ce sang ne noircit pas. Si on le chauffe, et le ramène à la température d'un animal à sang chaud, il noircit par l'action d'un courant d'acide carbonique.

tardivement. J'ai même indiqué l'intoxication par l'oxyde de carbone comme moyen de conservation du sang, qui constitue la partie la plus corruptible de la chair, ainsi qu'on le sait depuis longtemps, puisque la loi de Moïse le mentionne déjà. Enfin, dans ces derniers temps, on s'est fondé sur les faits que j'avais fait connaître relativement à la propriété antiputride de l'oxyde de carbone pour proposer des procédés applicables à une grande question d'hygiène publique, celle de la conservation des viandes. On l'a même essayé avec quelque succès pour la conservation des cadavres, soit comme procédé d'embaumement, soit au point de vue des services anatomiques et des salles de dissection. Dans tous ces cas l'oxyde de carbone conserve à la viande, aux muscles leur couleur normale plus ou moins rutilante.

Il faut examiner maintenant comment le sang empoisonné par l'oxyde de carbone se comporte aux réactifs. Voyons d'abord l'action de la chaleur. Si l'on chauffe le sang normal dans un tube il noircit rapidement, tandis que le sang intoxiqué reste rouge. Mais cette coloration du sang combiné avec l'oxyde de carbone devient un caractère beaucoup plus important encore si l'on a recours à d'autres réactifs. En effet, tandis que le sang normal devient immédiatement noir sous l'action de la potasse ou de la soude caustique, M. Hoppe-Seyler (1) a vu que le sang intoxiqué ne change pas de couleur au contact de ces alcalis, ou du moins change bien plus lentement. Ces diverses propriétés appartiennent en propre à la combi-

(1) Hoppe-Seyler, *Jahresb.*, 1865, p. 745. Pakrowski et W. Kühne, *Ibid.*

naison définie que forme l'hémoglobine avec l'oxyde de carbone et permettent de caractériser facilement le sang qui a été mis en contact avec l'oxyde de carbone (1). Elles sont surtout précieuses en ce sens qu'on les retrouve, dans certaines circonstances que nous essayerons de préciser plus tard, non-seulement chez l'animal qui vient de mourir, mais longtemps encore après la mort ; il serait même possible de les manifester sur du sang de cadavres putréfiés ou sur du sang depuis longtemps desséché. M. Eulenberg a proposé de remplacer les alcalis caustiques par un mélange de chlorure de calcium et de soude, et de verser ce réactif sur le sang étendu dans une assiette. Mais ce n'est qu'une modification dans le mode opératoire destinée à rendre la réaction plus manifeste.

Les moyens chimiques que je viens de vous indiquer pour reconnaître dans le sang la présence de la combinaison que forme l'hémoglobine avec l'oxyde de carbone sont importants à connaître ; mais pour pouvoir être appliqués, ils exigent une certaine quantité de sang déjà appréciable. Le procédé que je vais maintenant vous décrire est purement physique ; il permet de retrouver les moindres traces de la combinaison chimique formée par l'hémoglobine, et quelques gouttes de sang suffisent pour le mettre en pratique. Ce procédé consiste dans l'application du spectroscope à l'analyse du sang. Cet instrument si ingénieux, inventé dans ces dernières années par

(1) C'est que l'oxyde de carbone forme avec l'hémoglobuline une combinaison entièrement analogue à celle que donne l'oxygène (voy. quatrième leçon [deuxième partie]), mais beaucoup plus stable. Ces cristaux d'hémoglobine oxycarbonée sont un peu moins solubles que ceux de l'hémoglobine oxygénée, ou oxyhémoglobine.

MM. Bunsen et Kirkoff, qui a déjà rendu de si grands services à la chimie minérale et qui, tout récemment, a été appliqué à l'étude de la constitution chimique du soleil et de plusieurs étoiles, s'est aussi introduit dans la physiologie à laquelle il a déjà fourni des renseignements remarquables.

Je n'entrerai dans aucun détail sur la théorie et la construction du spectroscope. Il me suffira de vous montrer que l'analyse spectrale, dont la netteté et la sensibilité sont si précieuses dans l'analyse minérale, s'applique merveilleusement aussi à l'étude de certaines humeurs, telles que la bile et le sang.

Avant de vous donner le détail des expériences spectroscopiques sur le sang intoxiqué par l'oxyde de carbone, il est bon de rappeler en quelques mots comment se comporte le globule rouge du sang qu'on mêle à l'eau pour le soumettre à cette opération. On peut considérer les globules rouges du sang comme composés de deux substances : l'une, insoluble ou peu soluble dans l'eau, forme le *stroma* du globule, c'est la globuline (nous avons déjà parlé ailleurs de la paraglobuline) (1); l'autre, très-solu-

(1) Voy. quatrième leçon. Des travaux successifs et parfois simultanés qui ont été entrepris par divers chimistes et physiologistes sur les substances albuminoïdes du globule rouge, ont amené une certaine confusion dans les termes, des expressions différentes étant souvent employées pour désigner les mêmes substances. Nous empruntons au récent traité de chimie de M. A. Gautier (*op. cit.*, t. I, p. 456), la note suivante destinée à bien fixer ces diverses synonymies.

« Berzelius avait donné à la substance qui forme la masse principale du globule le nom de *globuline*. Füncke ayant démontré plus tard que, si elle n'est pas altérée, la globuline de Berzelius est cristallisable, le nom de globuline fut changé en celui d'*hémato-cristalline*. Hoppe-Seyler démontra que l'hémato-

ble, imprègne le globule, lui donne sa coloration rouge, c'est l'hémoglobine. Dans l'état normal, l'hémoglobine ne se dissout pas, ou à peine, dans la liqueur du sang; mais aussitôt que l'on place les globules dans de l'eau, il se fait une diffusion de l'hémoglobine dans ce liquide qui se colore en rouge. Le stroma du globule devient incolore, mais il n'est pas détruit; car, par l'iode, on le fait apparaître avec une teinte jaune.

A l'état normal, l'hémoglobine n'existe pas libre dans le sang; elle est en combinaison avec l'oxygène, aussi bien dans le sang artériel que dans le sang veineux. C'est dans les poumons, au contact de l'air inspiré, que cette combinaison s'effectue. Le sang, devenu artériel, se change peu à peu, pendant son parcours à travers les tissus, en sang noir ou veineux; mais jamais cependant il ne perd la totalité de son oxygène. En réalité, le sang renferme donc toujours de la matière colorante à l'état de combinaison avec l'oxygène (oxyhémoglobine). Nous avons vu, d'un autre côté, que l'oxyde de carbone mis en contact avec le sang détruit cette combinaison, se substitue volume à volume à l'oxygène, et forme avec l'hémo-

cristalline de Füncke n'était pas une substance pure; qu'elle était seulement en très-grande partie formée d'une matière colorante albuminoïde rouge, ferrugineuse, à laquelle il donna le nom d'*hémoglobine*. Denis (de Commercy) avait, bien avant Rollet, établi qu'il existe dans les globules rouges une matière albuminoïde incolore et insoluble à laquelle ils doivent leur forme, et lui avait donné le nom de *globuline*. La *globuline* de Denis (qui forme le *stroma* de Rollet) et l'*hémoglobine* de Hoppe-Seyler constituent, par leur mélange, l'hémato-cristalline impure de Füncke. Lehmann et A. Schmidt ont en outre appelé *globuline* une substance analogue à la caséine, qu'ils ont rencontrée dans le sérum. C'est celle à laquelle Kühne donne le nom de *paraglobuline* et qu'il suppose provenir du globule sanguin.

globine une nouvelle combinaison beaucoup plus stable que la combinaison oxygénée.

Nous devons donc considérer, pour notre sujet, l'hémoglobine sous trois états :

- 1° Hémoglobine pure, désoxygénée ou réduite.
- 2° Hémoglobine combinée avec l'oxygène.
- 3° Hémoglobine combinée avec l'oxyde de carbone.

Lorsqu'on examine au spectroscope une dissolution étendue de sang normal artériel ou veineux, on voit apparaître deux bandes d'absorption. Ces deux bandes noires (II, fig. 6) sont situées dans la partie jaune du spectre. La présence de ces deux bandes constitue le caractère du sang oxygéné ou de la combinaison de l'hémoglobine avec l'oxygène. Mais si l'on vient à enlever cet oxygène, c'est-à-dire lorsque, par un procédé chimique, on réduit le sang, l'hémoglobine se trouve dégagée de la combinaison, et alors, si l'on examine la dissolution au spectroscope, on n'observe plus qu'une seule bande noire plus large, comme si elle résultait du déplacement et de la fusion des deux premières : tel est le caractère de l'hémoglobine réduite. Les substances que l'on emploie généralement pour obtenir cette réduction sont le fer récemment réduit par l'hydrogène ou le sulfhydrate d'ammoniaque. Il faut avoir soin de ne pas ajouter une trop grande quantité de ce dernier réactif, sans quoi, outre la raie de l'hémoglobine réduite, on observe entre C et D une raie accusant un commencement de décomposition de l'hémoglobine. On se sert avec le plus d'avantage, pour opérer cette réduction, d'une solution de protoxyde de fer à laquelle on ajoute d'abord une certaine quantité d'acide tartrique,

puis une quantité d'ammoniaque suffisante pour neutraliser l'acide tartrique. L'acide tartrique a pour but d'empêcher la précipitation du sulfate de fer par les alcalis; et la so-

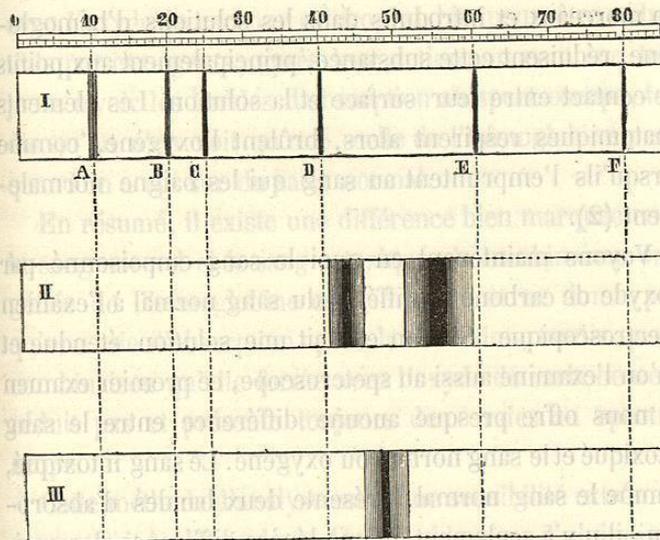


FIG. 6. — Spectres d'absorption des matières colorantes du sang (hémoglobine). — I, spectre solaire montrant la position des raies de Fraunhofer. — II, spectre de l'hémoglobine montrant les deux raies caractéristiques situées entre les raies D et E. — III, spectre de l'hémoglobine après l'action d'agents réducteurs; les deux raies du spectre précédent ont été remplacées par une raie unique de position intermédiaire.

lution étant neutralisée par l'ammoniaque, peut être ajoutée au sang sans avoir d'autre effet que de réduire l'hémoglobine (1).

Les solutions tartro-ammoniacales de chlorure d'étain

(1) Voy. V. Fumouze, *Les spectres d'absorption du sang*. Paris, 1871.