

SEPTIÈME LEÇON

SOMMAIRE : Élimination de l'oxyde de carbone. — Caractères spectroscopiques du sang incomplètement intoxiqué. — Spectre de réduction partielle. — Hypothèses et théories diverses. — Sous quelle forme s'élimine l'oxyde de carbone. — Nouvelles recherches. — Transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique dans l'économie. — Étude de la chaleur animale dans ses rapports avec l'asphyxie. — Expériences. — Distinction de l'asphyxie par CO_2 et de l'empoisonnement par CO . — Signes de l'asphyxie mixte. — Moyens de rappeler à la vie dans l'asphyxie.

MESSIEURS,

Nous avons vu que le sang intoxiqué sur l'animal vivant et retiré de l'économie conservait les propriétés physiques et les propriétés physiologiques du sang intoxiqué artificiellement, c'est-à-dire qu'il était devenu impropre et à vivre et à entretenir la vitalité des autres tissus.

En 1855, lors de mes premières expériences, j'étais arrivé à émettre l'opinion que le globule, une fois atteint par l'oxyde de carbone, devait être tué et ne pouvait plus reprendre ses propriétés physiologiques; de sorte qu'il devait nécessairement être éliminé de l'économie.

Cette supposition, du reste, était plausible, et l'on pouvait se figurer le globule sanguin en quelque sorte comme minéralisé et devenu inerte. — Je me fondais, pour émettre cette opinion, sur ce fait que je viens de vous rappeler, à savoir que le sang d'un animal empoisonné très-complètement, mort par l'oxyde de carbone, de même que le sang intoxiqué artificiellement et saturé d'oxyde de carbone, conserve sa couleur rouge pendant

très-longtemps après la mort. Or, le fait est toujours aussi exact que par le passé, il n'a pas changé; mais l'opinion que je m'en étais faite a dû se modifier devant de nouvelles expériences exécutées dans d'autres conditions. En effet, si le sang, lorsqu'il est sorti de l'économie, conserve longtemps sa couleur et par suite l'oxyde de carbone qu'il avait absorbé, nous venons de voir qu'il n'en est plus de même lorsque l'empoisonnement n'est pas complet, et surtout lorsque le sang continue à circuler dans le corps de l'animal. C'est ainsi que ce lapin, sur lequel nous venons d'expérimenter, a pu, dans l'espace de trois quarts d'heure, se débarrasser complètement de l'oxyde de carbone qu'il avait absorbé. Or, il n'est pas possible d'admettre que tout son sang ait pu se renouveler en si peu de temps.

Voici du reste quelques expériences qui montrent la disparition de l'oxyde de carbone du sang d'animaux intoxiqués :

I. Chez un chien on injecte 46 centimètres cubes d'oxyde de carbone dans le bout central de la veine jugulaire : une demi-heure après on découvre l'artère carotide pour y prendre du sang.

100 centimètres cubes contenaient alors 2 centimètres cubes d'oxyde de carbone.

Le lendemain, vingt-quatre heures après, 100 centimètres cubes de sang pris à l'animal ne renferment plus d'oxyde de carbone.

II. On fait respirer à un chien un mélange de 2 litres d'air et de 50 centimètres cubes d'oxyde de carbone, pendant deux minutes.

Dix minutes après, on retire de l'artère fémorale 100 centimètres cubes de sang artériel, qui contiennent 2 centimètres cubes d'oxyde de carbone; six heures après, 100 centimètres cubes de sang extraits du même vaisseau ne contiennent que 1^{cc},33 d'oxyde de carbone.

Trois jours après, 300 centimètres cubes de sang n'ont plus donné, par l'acide sulfurique en excès et à 100 degrés, trace d'oxyde de carbone.

Nous voici donc en face de deux résultats bien distincts : lorsque le sang d'un animal asphyxié par l'oxyde de carbone reste dans le corps de cet animal et que la mort ne s'ensuit pas, il peut se débarrasser au bout de quelque temps de tout l'oxyde de carbone qu'il avait absorbé. Si au contraire l'empoisonnement est entier, si la mort est survenue ou si l'on a retiré le sang de l'économie et qu'on l'ait intoxiqué artificiellement d'une manière complète, il ne se débarrasse plus de la même manière de son oxyde de carbone. Que se passe-t-il donc dans l'organisme? Comment se fait cette élimination? sous quelle forme et à quel état cet oxyde de carbone abandonne-t-il la combinaison qu'il formait avec l'hémoglobine : passe-t-il à l'état d'acide formique, d'acide carbonique, etc., pour être ensuite expulsé par les voies respiratoires ou par les urines?

Diverses théories ont été émises pour expliquer ce fait de l'élimination de l'oxyde de carbone; nous les examinerons et nous chercherons par des expériences nouvelles à élucider et à fixer cette question. D'ailleurs, comme cette élimination constitue un phénomène purement physique et chimique, on doit pouvoir, en se mettant dans

des conditions convenables, le réaliser aussi bien au dehors qu'au dedans de l'économie; nous avons déjà entrepris quelques expériences à ce sujet, et nous allons vous en rendre compte en les répétant devant vous.

Lorsque nous mettons un animal dans notre boîte à asphyxie, il se trouve aussitôt sous l'influence toxique du gaz de la combustion, et cependant il ne tombe sur le flanc que cinq ou dix minutes après le commencement de l'expérience. Que se passe-t-il dans cet intervalle de temps? L'animal commence immédiatement à absorber l'oxyde de carbone qui se trouve dans l'atmosphère vicié; mais ce gaz n'existe d'abord dans le sang qu'en très-faible quantité; et nous savons qu'il y existe bien avant que l'animal tombe.

En effet, les phénomènes toxiques ne se manifesteront que lorsque l'oxyde de carbone absorbé se trouvera être en proportion suffisante dans le liquide sanguin. Toutes les substances toxiques ne sont telles, qu'à une certaine dose déterminée : les médicaments et les poisons ne diffèrent en réalité que par la dose employée; en d'autres termes, pour qu'une substance agisse sur l'économie, soit comme médicament, soit comme poison, il faut l'administrer à une dose efficace, sinon elle ne produira pas l'effet qu'on en attend. L'oxyde de carbone rentre dans le cas de toutes les substances toxiques ou médicamenteuses. Voici, par exemple, un lapin que nous venons de soumettre à l'action de ce gaz toxique, et aussitôt, bien longtemps avant qu'il ne tombe, nous prenons un peu de son sang par une piqûre faite à l'oreille, et nous l'examinons au spectroscope. Nous trouvons qu'il renferme déjà un

peu d'oxyde de carbone, et cependant l'animal n'éprouve encore aucun symptôme toxique. Supposons maintenant que cette dose première de gaz délétère ne soit pas augmentée, l'animal continuera à vivre sans avoir éprouvé de phénomènes d'intoxication. Cela arrivera d'ailleurs toujours lorsque l'oxyde de carbone existera en très-faible proportion dans l'air d'une salle.

Cependant, si, sous l'influence de cette faible quantité de gaz délétère on ne voit pas d'accidents toxiques rapides et appréciables par les caractères ordinaires, on n'en éprouve pas moins des effets réels, et nous verrons plus tard qu'un séjour trop continu dans une atmosphère ainsi constituée peut, à la longue, avoir des inconvénients et produire des troubles qui deviennent avec le temps manifestes dans l'économie. Il est donc, sous ce rapport, très-utile de savoir déceler des traces d'oxyde de carbone dans l'air d'un appartement.

Or, les réactifs chimiques que l'on emploie généralement dans ce but sont trop peu sensibles ou trop difficilement applicables. Le meilleur à mon avis est encore le sang des animaux. Depuis très-longtemps j'ai émis cette idée qu'un animal était le meilleur réactif pour déceler la présence de l'oxyde de carbone dans une atmosphère où il est en très-faible proportion (1).

Il est indispensable toutefois, pour appliquer cette méthode d'investigation à nos recherches, d'examiner fréquemment et successivement le sang, puisque nous savons maintenant que l'oxyde de carbone s'accumule, disparaît

(1) Voyez l'appendice à la fin du volume.

ou s'élimine peu à peu. Toutefois, cette élimination doit être lente dans l'air vicié, et elle doit être d'autant plus lente, par suite de la loi de la diffusion, que l'atmosphère ambiante renferme plus de ce gaz délétère. Il faut donc que l'animal accumule l'oxyde de carbone dans son sang, et c'est lorsque tous ses globules en sont saturés et sont empoisonnés qu'il tombe, comme cela arriverait s'il avait perdu à peu près tout son sang. — Cependant si la saturation n'est pas encore complète, cet animal ne meurt pas ; s'il est brusquement soustrait à l'action de ce gaz et si l'élimination peut se produire, il revient : pour que la mort arrive, il faut que les autres éléments de l'animal meurent à leur tour, et ce résultat se produit successivement pour chacun d'eux dans ce cas comme dans le cas de mort normale ou par hémorrhagie. — La mort par asphyxie par l'oxyde de carbone nous présente donc en réalité une série de symptômes bien nets, que grâce à l'emploi du spectroscope nous pouvons maintenant suivre pas à pas. Nous avons reconnu, en effet, que cet appareil permet de distinguer, soit une réduction incomplète, soit une réduction complète, soit enfin l'absence de toute réduction dans le sang, ce qui correspond à un envahissement plus ou moins complet du sang par le poison.

Ce sont ces trois caractères qui vont nous permettre de suivre avec précision l'évolution des phénomènes occasionnés par la vapeur de charbon et l'accumulation successive de l'oxyde de carbone dans le sang, ainsi que son élimination graduelle lorsque l'animal est soustrait à l'atmosphère toxique.

Lorsque l'animal tombe sous l'influence de l'oxyde de

carbone et qu'on examine immédiatement son sang au spectroscope, il paraît complètement envahi et l'on ne peut plus constater la moindre apparence de réduction par le fer réduit ou par le sulfhydrate d'ammoniaque (voy. fig. 6, p. 429). Mais faut-il en conclure que ce sang ne contient plus la moindre trace d'oxygène? Évidemment non, il faudrait s'appuyer sur des analyses chimiques exécutées avec beaucoup de soin pour le démontrer. L'oxygène diminue peu à peu dans le sang à mesure que l'oxyde de carbone s'y accumule; il est à son minimum quand l'animal tombe. Toutefois il en reste cependant encore, mais en quantité insuffisante pour entretenir la vie des tissus et particulièrement l'activité des éléments nerveux.

Dès que l'animal se trouve soustrait à l'atmosphère viciée et qu'il respire de l'air pur, alors les conditions d'élimination de l'oxyde de carbone sont les meilleures possibles, et l'animal revient peu à peu. Bientôt le sang, qui ne présentait aucune trace de réduction au moment où l'animal est tombé, offre au spectroscope des caractères évidents d'une réduction commençant (voy. fig. 7, p. 457) qui s'accroît peu à peu jusqu'à ce qu'elle devienne complète.

Mais il est nécessaire que je vous montre ici en quoi consiste ce caractère de réduction partielle. Il est probable, ainsi que je vous l'ai déjà dit, que les globules du sang sont tous atteints à la fois dans l'empoisonnement par l'oxyde de carbone, et qu'il n'en reste pas de sains à côté d'autres qui seraient complètement intoxiqués. Seulement, lorsqu'il y a une réduction incomplète, c'est que l'intoxi-

cation du globule est incomplète elle-même. Nous savons que l'hémoglobine saturée d'oxyde de carbone donne deux bandes d'absorption à peu près comme l'hémoglobine oxygénée du sang normal: mais vous vous souvenez que ce qui les distingue, c'est que, tandis que les deux bandes d'absorption de l'hémoglobine intoxiquée sont irréductibles, les deux bandes de l'hémoglobine oxygénée sont réductibles en une seule bande qui donne le caractère de l'hémoglobine pure. Or, suivant que le sang renferme des proportions différentes d'hémoglobine oxygénée ou oxycarbonée, il y aura des demi-réductions qu'il sera possible d'apprécier par la coïncidence simultanée des deux ordres de caractères de la réductibilité et de l'irréductibilité de l'hémoglobine du sang. C'est ce qu'on peut voir facilement dans la figure comparative ci-jointe (voy. fig. 7, 4-3).

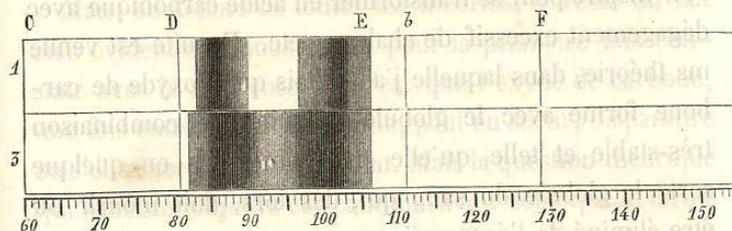


FIG. 7. — Comparaison des spectres de l'hémoglobine oxygénée et de l'hémoglobine à demi réduite (mélange d'une partie de sang rouge et d'une partie de sang oxycarboné réduit par le sulfhydrate).

Peut-être aussi pourrait-on faire l'hypothèse que l'hémoglobine de certains globules est saturée d'oxyde de carbone, tandis que celle de quelques autres est encore saturée d'oxygène, puisque chacun de ces gaz semble fournir avec l'hémoglobine une combinaison définie. Le

spectre de la demi-réduction serait alors le résultat de la combinaison des deux spectres de l'hémoglobine oxy-carbonée et de l'hémoglobine réduite. Le résultat serait le même dans les deux cas, et nous n'avons pas besoin, pour le moment, de préciser davantage le point de vue théorique.

Maintenant, ce qui nous intéresse particulièrement, c'est de savoir ce que devient l'oxyde de carbone une fois qu'il est entré dans l'économie, et de nous rendre compte de la manière suivant laquelle il s'élimine. Sur ce point, diverses opinions ont été émises.

Je vous ai déjà dit que M. Chenot, le premier à ma connaissance qui nous ait donné une théorie de l'action de l'oxyde de carbone, avait supposé que si l'oxyde de carbone était nuisible, c'était uniquement parce que, une fois introduit dans le sang, il se combinait à l'oxygène de l'air inspiré pour se transformer en acide carbonique avec dégagement excessif de chaleur, etc. Ensuite est venue ma théorie, dans laquelle j'admettais que l'oxyde de carbone forme avec le globule sanguin une combinaison très-stable et telle qu'elle tue, minéralise en quelque sorte le globule du sang qui, dès lors, doit mourir ou être éliminé de l'économie.

Mais un physiologiste russe, dont nous aurons plusieurs fois à citer le nom dans le cours de ces études, M. Pokrowski, a repris l'idée, sinon la théorie de M. Chenot (1). Après avoir constaté que des animaux asphyxiés par

(1) Voy. Pokrowsky *Ueber die Vergiftung mit Kohlenoxydgaz* (*Virchow's Arch.*, 1864, t. XXV), p. 526 et 540); *Zur Frage über das Schicksal des Kohlenoxyds bei Co-Vergiftungen* (*Ibid.*, 1866, t. XXXVI, p. 482).

l'oxyde de carbone pouvaient souvent être ramenés à la vie, si l'on pratiquait à temps sur eux la respiration artificielle, ce physiologiste a admis que l'oxyde de carbone introduit dans l'organisme se change lentement en acide carbonique, et que c'est sous cette forme qu'il est éliminé. Il appuie du reste cette opinion sur des expériences dans lesquelles il dit avoir constaté une plus grande quantité d'acide carbonique dans l'air exhalé par les poumons, à mesure que l'oxyde de carbone s'éliminait du sang de l'animal.

Mais sans mettre complètement en doute la rigueur de ces expériences, elles ne sont cependant pas absolument concluantes, et l'auteur en convient lui-même, à cause de la difficulté presque insurmontable d'éviter toutes les causes d'erreurs multiples qui peuvent faire varier l'exhalation de l'acide carbonique.

Mais, en dehors de toutes les théories, il reste un fait bien évident que nous avons pour la première fois constaté avec le spectroscope, c'est que l'oxyde de carbone, une fois entré dans l'économie, peut en sortir, disparaître ou s'éliminer assez rapidement. Mais la question théorique qui subsiste toujours est celle de savoir sous quelle forme se fait cette disparition ou cette élimination? Est-ce à l'état d'acide formique, ou de formiate? Est-ce en nature sous forme d'oxyde de carbone? Est-ce enfin sous forme d'acide carbonique?

On n'a jamais pu constater la formation d'aucune trace d'acide formique pendant cette élimination ou cette disparition d'oxyde de carbone: il faut donc écarter de suite cette première hypothèse.

Voyons maintenant si l'oxyde de carbone s'élimine en nature. L'expérience seule pourra nous répondre à cette question. Et, en effet, il est permis de supposer *a priori* que le poumon peut être doué de ce pouvoir éliminatoire. Je vous ai déjà fait voir que certains gaz, et en particulier l'hydrogène sulfuré, introduits sous la peau d'un animal, s'éliminent en grande partie en nature par les poumons. En est-il de même pour l'oxyde de carbone? — Cela pouvait être; car si ce gaz n'a pas la faculté de se dégager facilement du sang extrait de l'organisme, il pourrait se faire que les tissus pulmonaires ou autres exerçassent une action propre dans cette élimination.

J'avais, en effet, depuis longtemps observé qu'il réside dans le poumon une action toute spéciale favorisant certaines décompositions et par suite certaines éliminations. Ainsi, par exemple, en expérimentant sur les cyanures métalliques injectés dans le sang, j'avais remarqué que ces sels empoisonnent par l'acide cyanhydrique qu'ils dégagent en passant au contact du tissu pulmonaire.

Il serait donc possible que le tissu pulmonaire pût dégager l'oxyde de carbone de sa combinaison avec l'hémoglobine et mît ce gaz en liberté pour lui permettre de se dégager par le poumon. L'expérience seule peut, vous l'ai-je dit, répondre à cette hypothèse. J'ai prié M. Gréhant d'instituer diverses expériences pour rechercher si chez un animal il se dégage de l'oxyde de carbone en nature par les poumons après l'intoxication. Mais il n'a jamais pu constater la présence de l'oxyde de carbone dans l'air expiré par les animaux sains, préalablement

soumis à l'intoxication par ce gaz, ou du moins, s'il en a constaté dans quelques cas, ce ne sont que des traces et dans des conditions exceptionnelles qui ne permettraient pas de penser que l'élimination de l'oxyde de carbone ainsi absorbée fût ainsi éliminée en totalité. D'ailleurs, M. Pokrowski n'a pas pu constater non plus cette élimination dans des expériences qu'il a tentées à ce sujet (1).

Cherchons maintenant s'il nous sera possible de démontrer que c'est à l'état d'acide carbonique que se fait

(1) Depuis cette époque M. Gréhant a repris ses expériences sur la détermination quantitative de l'oxyde de carbone combiné avec l'hémoglobine et sur le mode d'élimination de l'oxyde de carbone (*Compt. rend. de l'Acad. des sciences*, 27 janv. 1873). Pour déterminer la quantité d'oxyde de carbone qui est combinée avec l'hémoglobine dans un cas d'empoisonnement partiel ou complet, M. Gréhant a employé un procédé qui consiste à évaluer le *plus grand volume d'oxygène* que le sang puisse absorber. Cette évaluation est faite sur une première prise de sang, l'animal étant à l'état normal, puis sur une seconde prise de sang faite à l'animal après respiration d'oxyde de carbone. Le second nombre est évidemment toujours plus petit que le premier, et la différence fait aussitôt connaître quel est le volume d'oxyde de carbone qui est combiné avec l'hémoglobine, puisque nous savons que dans cette combinaison un volume d'oxyde de carbone remplace un volume d'oxygène.

Quant à l'élimination de l'oxyde de carbone, M. Gréhant est arrivé à une opinion différente de celle qu'avaient donnée MM. Chenot et Pokrowski. A l'aide d'un appareil spécial, il analyse le gaz de l'expiration d'un animal qui a absorbé de l'oxyde de carbone. Ce gaz passe d'abord sur de la pierre ponce imbibée de potasse, qui lui enlève entièrement son acide carbonique, ainsi que le montre un tube témoin à eau de baryte. Le gaz de l'expiration passe ensuite dans un tube de verre rempli d'oxyde de cuivre, et chauffé au rouge sur la grille à analyse, en arrivant ensuite dans un barboteur à eau de baryte placé à la suite du tube à oxyde de cuivre, le gaz produit un précipité abondant de carbonate de baryte. M. Gréhant considère l'acide carbonique ainsi obtenu comme le produit de l'oxydation complète de l'oxyde de carbone que le gaz expiré avait contenu. Mais parmi les produits de la respiration, il est tant de matières organiques dont la combustion peut produire de l'acide carbonique, que dans ces expériences on doit toujours conclure avec beaucoup de réserve.

cette élimination de l'oxyde de carbone. Nous pouvons dire tout d'abord que s'il y a transformation de l'oxyde de carbone dans le sang en acide carbonique, ce doit être par une réaction purement chimique, capable de s'opérer non-seulement dans l'économie, mais que nous pourrions aussi réaliser en dehors d'elle, si nous nous plaçons dans des conditions aussi identiques que possible avec celles qui se rencontrent dans l'organisme.

Voici un chien que l'on a soumis ce matin à l'action de la vapeur de charbon : il est tombé sur le flanc à neuf heures : à ce moment, il n'y avait plus trace de réduction de son sang, ce qui prouve qu'il était bien intoxiqué. L'animal a été laissé ensuite à l'air pur, et il est revenu à la vie. A midi trente minutes, son sang nouvellement examiné se réduisait complètement, ce qui montre que l'oxyde de carbone en avait été complètement éliminé.

Mais au moment où l'animal est tombé sous l'influence délétère du gaz, on avait eu la précaution de lui soustraire un peu de sang intoxiqué, qui a été divisé en trois parties.

La première, abandonnée à elle-même dans un vase, ne présente encore aucune trace de réduction.

La seconde partie a été placée dans un flacon, et l'on a fait depuis ce matin barboter à son intérieur un courant d'air froid pris à la température ambiante. Ce sang ne paraît avoir subi encore aucune modification : la réduction de l'hémoglobine est encore impossible.

Quant à la troisième portion, on l'a maintenue à une température de 38 degrés environ, température moyenne du corps vivant, et on l'a fait traverser par un courant

d'air chaud à la même température. Nous pouvons dans ce cas constater déjà une réduction incomplète : il y a donc eu dans ces conditions transformation ou élimination d'une portion de l'oxyde de carbone contenu primitivement dans le sang. Cependant l'action n'a pas été aussi rapide que dans l'organisme, puisque le sang du chien n'offre plus maintenant aucune trace d'oxyde de carbone.

Nous avons répété à plusieurs reprises l'expérience dont nous venons de vous rendre compte, et nous avons par là reconnu que la réunion d'une certaine température et d'un courant d'air sont deux conditions indispensables pour faire disparaître l'oxyde de carbone. Or, nous n'avons pas fait autre chose qu'une sorte de respiration artificielle. Ces faits nous prouvent donc ce que je vous ai dit au début de ces expériences ; ils nous montrent que les réactions se passent aussi bien dans l'organisme qu'au dehors, si l'on a soin toutefois de se placer dans des conditions physico-chimiques identiques (1).

Mais il nous reste toujours la même question. Nous avons prouvé seulement que l'oxyde de carbone disparaît

(1) On peut cependant se demander encore à quoi tient cette manière différente de se comporter en présence de l'oxyde de carbone, du sang de vivant et du sang de cadavre. Le premier formant une combinaison assez rapidement détruite, le second une combinaison presque permanente. Il faut voir là une influence des tissus, des tissus vivants.

Parmi ces tissus, le tissu musculaire joue probablement le premier rôle pendant la vie. Il est du reste facile de s'en assurer. On comparera le sang qui entre dans le muscle chez un animal soumis à l'influence de l'oxyde de carbone et celui qui en sort. Le liquide sanguin doit être rutilant à l'entrée ; c'est un caractère de l'asphyxie que nous étudions. Mais si dans les profondeurs du tissu l'oxyde de carbone s'est transformé en acide carbonique, le liquide