

SIXIÈME LEÇON

SOMMAIRE : Suite de l'étude spectroscopique du sang. — Le spectroscope appliqué à l'étude de l'asphyxie par l'oxyde de carbone. — Fixation et élimination de l'oxyde de carbone. — Sa combinaison avec l'hémoglobine. — Analyse des symptômes graduels de cette intoxication. — Mécanisme du retour à la vie. — Intoxication chronique.

MESSIEURS,

Nous pouvons abandonner la question médico-légale, du moment que nous avons les moyens d'extraire du sang intoxiqué l'oxyde de carbone. Nous allons continuer, au point de vue purement physiologique, et avec les secours nouveaux que nous présente la spectroscopie, l'étude de l'absorption et de l'élimination de l'oxyde de carbone.

Le spectroscope, grâce à la rapidité avec laquelle il permet d'opérer les analyses sur de petites quantités de sang, nous donne le moyen de suivre pas à pas le globule intoxiqué dans l'économie à toutes les périodes de l'asphyxie. Nous devons donc maintenant chercher à comprendre le mécanisme de cet empoisonnement.

Voici une première expérience dont je vais vous rendre compte. On a placé ce lapin à midi dans la boîte à expérience, où il s'est trouvé exposé à l'action de la vapeur de charbon. On avait eu soin primitivement de lui prendre quelques gouttes de sang en faisant une inci-

sion à l'oreille, et de l'examiner au spectroscope. Le sang se réduisait complètement : donc il était normal et ne contenait pas de traces d'oxyde de carbone. Le lapin est tombé sur le flanc à midi et cinq minutes. Il était curieux de voir l'état du sang au moment où le lapin a éprouvé les premiers symptômes de l'empoisonnement. On l'a donc retiré de la boîte, et lui ayant repris un peu de sang par le même vaisseau de l'oreille, on a constaté la présence de l'oxyde de carbone dans les globules : ce sang ne se réduisait plus.

L'animal étant revenu rapidement à la vie, on a renouvelé l'épreuve : à midi et demi, le sang du lapin examiné se réduisait encore en partie, ce qui prouvait que l'oxyde de carbone absorbé était déjà en partie éliminé ; enfin, à midi quarante-cinq minutes, le sang fut retrouvé tout à fait normal.

Vous le voyez donc, l'emploi du spectroscope nous montre que l'oxyde de carbone se fixe sur le globule, et puis qu'il s'élimine peu à peu de l'organisme. Ce sont ces divers phénomènes que nous allons chercher maintenant à expliquer.

Nous savons déjà que l'oxyde de carbone ne devient toxique que parce qu'il forme avec l'hémoglobine une combinaison chimique définie. Ce qui cause l'asphyxie, c'est que cette combinaison est beaucoup plus stable que la combinaison oxygénée de l'hémoglobine qui existe normalement dans le sang ; en effet, si l'oxygène pouvait déplacer l'oxyde de carbone de sa combinaison avec le globule sanguin, l'asphyxie ne pourrait se produire et ne se comprendrait plus. La rapidité avec laquelle se fait

cette intoxication est très-grande. Il résulte des expériences que notre préparateur M. Gréhant a pratiquées sur des chiens, que chez un animal qui respire de l'air contenant un dixième d'oxyde de carbone, le sang artériel, entre la dixième et la vingt-cinquième seconde, renferme déjà 4 pour 100 d'oxyde de carbone, et seulement 14 pour 100 d'oxygène; que, entre une minute quinze secondes et une minute trente secondes, l'oxyde de carbone se trouve dans le sang dans la proportion de 18 pour 100, tandis que la quantité d'oxygène se trouve réduite à 4 pour 100. Il est donc évident que si un homme pénètre dans un milieu fortement chargé d'oxyde de carbone, le poison gazeux est dès la première minute absorbé par le sang artériel, c'est-à-dire qu'il prend presque instantanément la place de l'oxygène dans le globule et rend celui-ci incapable d'absorber de l'oxygène.

Revenant maintenant aux symptômes de l'asphyxie par l'oxyde de carbone, résumons ce qui se passe dans les conditions ordinaires de l'empoisonnement par la vapeur de charbon. L'oxyde de carbone, en se combinant avec l'hémoglobine, diminue en quelque sorte la quantité de sang actif contenu dans l'organisme et rend l'animal anémique. En effet, l'hémoglobine a pour fonction d'absorber et de porter dans le torrent de la circulation les gaz indispensables à l'entretien de la vie. Or, cette substance n'absorbe pas indifféremment tous les gaz avec la même énergie, et l'expérience nous a montré qu'elle avait plus d'affinité pour l'oxyde de carbone que pour l'oxygène. Ainsi, par exemple, expose-t-on un animal dans une atmosphère composée uniquement d'oxyde de carbone

et d'oxygène, il n'absorbe que l'oxyde de carbone; de même que, dans un mélange d'azote et d'oxygène, l'animal ne prend que l'oxygène. Voici une expérience qui le prouve: on plonge un animal dans un milieu contenant un volume connu d'oxygène et d'oxyde de carbone; au moment où il tombe, on recueille les gaz contenus dans la cloche et on les analyse: on y retrouve les deux gaz déjà cités et, de plus, une certaine quantité d'acide carbonique; mais, en outre, la quantité de l'oxygène contenu dans ce mélange gazeux a augmenté. Cet oxygène vient du sang de l'animal, dans la constitution duquel il a été remplacé par une quantité équivalente d'oxyde de carbone. Ainsi donc, dans un pareil mélange gazeux, non-seulement l'animal n'absorbe pas d'oxygène, mais, bien plus, il abandonne celui que renfermait son sang au commencement de l'expérience, et il accumule de l'oxyde de carbone pour le remplacer.

Lorsque la vapeur de charbon se trouve disséminée dans l'air d'une chambre, elle est donc immédiatement nuisible par sa nature même, et l'empoisonnement lent qui en résulte, comme l'empoisonnement rapide ou aigu, a pour origine un phénomène bien défini et purement chimique qui se passe dans le sang.

Le retour à la vie est également la conséquence des phénomènes physico-chimiques qui doivent s'accomplir dans le sang et en vertu desquels l'oxyde de carbone doit être dégagé du globule, transformé et éliminé hors de l'organisme. C'est ce que nous verrons dans une prochaine leçon.

Nous allons maintenant essayer de comprendre le mé-

canisme physiologique des différents symptômes de l'asphyxie par le charbon que nous avons résumés en finissant la dernière leçon.

Quoique je vous en aie déjà souvent entretenu, le sujet est si important que je vous demande la permission de revenir sur le mécanisme chimique de l'empoisonnement; nous pouvons, en suivant au moyen du spectroscope l'envahissement progressif du sang par l'oxyde de carbone, reconnaître que ce n'est qu'au moment où le sang nous paraît envahi en totalité que l'animal tombe. Devra-t-on conclure de cet examen que le sang à ce moment ne renferme plus de traces d'oxygène et que ce gaz se trouve complètement remplacé par l'oxyde de carbone? Il est vraisemblable que tous les globules sont atteints en même temps, mais modérément d'abord et progressivement, de sorte qu'ils ne perdent leurs propriétés que peu à peu; et c'est lorsqu'ils sont tous atteints au degré suffisant pour appauvrir le sang que l'animal tombe. Mais à ce moment, doit-on admettre qu'il n'existe plus d'oxygène dans ces globules intoxiqués? Non. Il résulte des analyses chimiques directes qu'il existe encore de l'oxygène dans le sang en combinaison avec l'hémoglobine. Mais cette quantité est sans doute trop faible pour être reconnue par l'emploi du spectroscope.

En résumé, nous concluons que les globules sont intoxiqués graduellement; peu à peu l'oxyde de carbone déplace l'oxygène qui entre dans leur constitution, mais sans arriver jamais à le déplacer complètement, car toujours l'animal meurt avant que cette limite soit atteinte. Les globules cessent donc leurs fonctions

lorsque la quantité d'oxygène qu'ils renferment devient insuffisante à la manifestation de leur vitalité.

Voici quelques expériences à l'appui de ce que j'avance.

On sait que le sang veineux agité dans une atmosphère pure absorbe une quantité déterminée d'oxygène; mais si l'on remplace le sang veineux ordinaire par du sang pris à un animal intoxiqué, la quantité d'oxygène qu'il dissout est beaucoup moins considérable; j'ai trouvé dans ma première expérience qu'il absorbait cinq fois moins d'oxygène que le sang normal.

Il est évident, d'un autre côté, que si le sang avait été intoxiqué artificiellement et mis en contact avec l'oxyde de carbone pendant un temps suffisamment prolongé pour se saturer de ce gaz, ce sang n'absorberait plus d'oxygène. Et, en effet, nous savons que l'oxyde de carbone remplace l'oxygène volume à volume dans l'hémoglobine, et que d'un autre côté cette nouvelle combinaison est beaucoup plus stable que la combinaison oxygénée.

Ces phénomènes peuvent donc offrir diverses phases différentes et présenter tous les degrés possibles d'intensité.

Si l'intoxication se produit dans une atmosphère formée d'oxyde de carbone presque pur, les phénomènes sont très-rapides. Le sang se sature promptement et l'animal tombe comme foudroyé! Mais si l'atmosphère au contraire ne contient que des traces de ce gaz délétère, l'animal qui la respire ne peut s'en saturer que très-lentement, et il ne perd que peu à peu les fonctions de ses globules. L'animal devient en quelque sorte lentement anémique et se trouve tout à fait dans la même condition que si on lui

avait soutiré une certaine partie de son sang. En effet, les globules en partie intoxiqués ne peuvent plus absorber autant d'oxygène qu'à l'état sain, il en résulte une diminution dans la quantité de ce gaz introduite dans l'économie et par suite une diminution dans l'action que ces globules sont chargés de remplir. Cette intoxication chronique est un fait assez commun; c'est le cas des repasseuses et des cuisinières exposées à la vapeur de charbon.

En résumé, l'oxyde de carbone, comme toutes les substances toxiques, peut empoisonner lentement et graduellement. On peut en supporter l'action lente d'une manière en apparence inoffensive, mais on en subit néanmoins les atteintes. Seulement, il est indispensable que la quantité absorbée soit en certaine proportion pour qu'il devienne toxique.

Ces faits montrent nettement la distinction que l'on doit établir entre les substances toxiques et les substances médicamenteuses : c'est une simple question de dose. Ainsi la strychnine, la morphine, si énergiques à certaines doses, deviennent des médicaments précieux, quand on les administre à doses convenablement modérées. L'oxyde de carbone est un des exemples les plus frappants de ce fait. En quantité trop forte, il tue; mais lorsqu'il n'est pas en excès, il agit lentement sur le sang, lui enlève une portion de son oxygène et détermine chez l'individu une sorte d'anémie chronique. Ce serait donc là une indication thérapeutique s'il y avait lieu de l'utiliser à ce point de vue, chez des individus qu'il faudrait rendre anémiques, des pléthoriques par exemple.

Dans le cas qui nous occupe en ce moment, nous

savons que l'oxyde de carbone agit sur le sang, sur l'hémoglobine du sang. Ce gaz n'agit exactement que sur cet élément; c'est donc le globule sanguin qui est le siège unique de cette action toxique. Pourquoi la mort s'ensuit-elle? Uniquement parce que le globule fait partie de l'ensemble des éléments qui constituent l'organisme vivant. En effet, un animal vivant peut être considéré comme une machine pourvue d'un certain nombre de rouages. Une roue vient-elle à se briser, bientôt la machine s'arrête, quoique toutes les autres pièces soient encore en parfait état.

Or, le sang intoxiqué par l'oxyde de carbone est impropre à l'entretien de la vie, fait que nous avons déjà vérifié, il vous en souvient, en opérant la transfusion dans les pattes d'un animal tué récemment avec du sang normal et comparativement intoxiqué. Nous avons établi ainsi que ce dernier avait perdu la faculté de réveiller les propriétés des tissus.

Qu'arrive-t-il donc chez un individu qui commence à s'intoxiquer? D'abord des maux de tête et une sorte de défaillance. Ces accidents tiennent à ce que la quantité de sang actif circulant dans l'économie, ayant en quelque sorte diminué subitement, le système nerveux, et par suite le cerveau, ne se trouvent plus suffisamment surexcités. C'est là une conséquence normale de la diminution du sang. En effet, les tissus, lorsqu'ils meurent, le font toujours dans l'ordre de leur hiérarchie.

Les propriétés du système nerveux sont les premières à disparaître et parmi elles en première ligne la conscience et la sensibilité sensorielle. Puis viennent les phénomènes

de sensibilité tactile. La sensibilité générale disparaît ensuite. Dès lors, plus de mouvements réflexes. Les nerfs moteurs meurent plus tard, et enfin les muscles sont les derniers à perdre leurs propriétés. L'ordre dans lequel meurent ces différents tissus montre donc la place hiérarchique qu'ils doivent occuper dans l'ensemble de l'organisme.

Troja avait vu, mais sans l'expliquer et sans le comprendre, que, dans l'asphyxie par la vapeur de charbon les animaux perdaient d'abord la sensibilité et que les nerfs moteurs et les muscles mouraient ultérieurement. Toutefois, il admettait à tort que le système nerveux était atteint et détruit par l'oxyde de carbone et que l'action toxique de ce gaz portait directement sur ce système.

Le fait observé par Troja est exact comme fait d'observation : mais l'interprétation qu'il en donne est erronée. En effet, Troja attribue la mort des nerfs à l'action toxique de la vapeur de charbon, tandis qu'elle est due en réalité, comme je vous l'ai démontré précédemment, à une altération du sang, altération qui empêche ce liquide de remplir partiellement ou en totalité les fonctions dont il est chargé dans l'économie, c'est-à-dire le transport de l'oxygène dans la circulation. Les nerfs ne sont en réalité nullement attaqués par l'oxyde de carbone : Troja attribuait donc à la vapeur de charbon une action qui ne lui appartient pas et qui n'est qu'une conséquence indirecte de l'action qu'elle exerce sur les globules du sang.

Voici comment Troja exécutait ses expériences. Il prenait un animal empoisonné par la vapeur de charbon et il cherchait à voir si son système nerveux réagirait comme

celui d'un animal sain. Or, quand on détermine chez un animal normal une irritation sur la moelle, on détermine une excitation et des mouvements dans toutes les parties du corps de cet animal.

D'un autre côté, si l'on excite le nerf sciatique sur son trajet chez un animal sain, on voit d'abord se produire des convulsions dans les membres, puis une excitation qui se dirige sur la moelle et de là s'irradie dans toutes les parties du corps. Si l'on excite le nerf sciatique chez un animal empoisonné par la vapeur de charbon, il arrive le plus souvent que cette excitation ne produit plus que des convulsions dans les membres inférieurs, sans réaction médullaire ni mouvements généraux dans les autres membres. Troja admettait, d'après cette expérience, que l'excitabilité de la moelle était perdue.

Aujourd'hui, nous savons parfaitement que les nerfs de sensibilité seuls sont détruits les premiers et que les nerfs moteurs sont restés intacts. Or, ces phénomènes ne peuvent être rapportés à la vapeur de charbon, car, dans la mort normale ou par hémorrhagie, les divers tissus perdent leurs propriétés de la même façon et dans le même ordre : nous voyons d'abord disparaître la sensibilité, puis la motricité, et l'irritabilité musculaire disparaît la dernière.

Nous allons répéter devant vous ces expériences et nous opérerons sur des grenouilles, parce que, chez ces animaux, les propriétés vitales des tissus disparaissent moins vite que chez les animaux supérieurs. Il faut de même un temps assez considérable pour obtenir leur empoisonnement par l'oxyde de carbone. Cependant lorsque

ce but est atteint, on constate que cet empoisonnement s'est effectué de la même façon chez les grenouilles que chez les mammifères. Nous savons que chez ces derniers le sang renferme déjà de l'oxyde de carbone — et qu'il est possible d'en démontrer l'existence au moyen du spectroscope — longtemps avant que l'animal tombe : nous avons observé le même fait sur les grenouilles, bien que, comme je viens de vous le dire, l'empoisonnement dans ce cas soit beaucoup plus long à se manifester.

Les phénomènes se passent partout de la même façon. seulement, chez les oiseaux, par exemple, qui meurent très-vite sous cette influence toxique, le sang est très-vite empoisonné et les tissus perdent très-rapidement leur propriété. Chez les mammifères, le sang s'intoxique moins vite et les tissus résistent plus longtemps à l'action que doit avoir sur eux la suppression subite des globules du sang. Chez les grenouilles, enfin, les propriétés des globules sont beaucoup moins énergiques : l'oxyde de carbone sera beaucoup plus lent à faire sentir son influence toxique. — Aussi les globules étant moins sensibles, les grenouilles seront moins vite impressionnables et, par suite, une fois les globules atteints, les tissus ne sentiront les effets de cette suppression des globules que beaucoup plus lentement.

Ce que nous venons de dire là s'observerait dans l'anémie pure et simple par toute autre cause que l'oxyde de carbone. Voici, par exemple, une grenouille à laquelle on a lié le cœur, elle vit encore et saute comme si elle n'avait subi aucune opération : elle pourra vivre ainsi quelques heures encore, tandis qu'un oiseau ou un mammifère à

qui l'on voudrait pratiquer la même opération en seraient comme foudroyés.

Voici une autre grenouille empoisonnée déjà depuis vingt-quatre heures. Les tissus ne sont pas encore morts. Si nous cherchons à exciter la moelle épinière directement, nous n'observons plus aucun mouvement, parce que la moelle a déjà perdu son excitabilité. Si nous exci- tons maintenant le nerf sciatique au-dessous d'une liga- ture que nous avons pratiquée sur ce nerf, la patte cor- respondante fait des mouvements par l'excitation du nerf. Mais si nous agissons au-dessus de la ligature, nous n'avons plus rien du côté de la moelle épinière et aucun mouvement réflexe ne se manifeste.

Cette expérience est exactement celle que Troja avait faite, et nous en constatons l'exactitude comme fait, mais nous l'interprétons autrement. En effet, dans la moelle épinière, nous distinguons deux sortes de nerfs : les nerfs de sensibilité qui meurent de la périphérie au centre et les nerfs de mouvement, dont la mort se produit d'une façon opposée.

Or, chez cette grenouille, les nerfs de sensibilité sont déjà morts, mais les nerfs moteurs et surtout les muscles ne le sont pas encore. Mais cette mort successive des nerfs et des muscles n'est pas du tout, ainsi que je vous l'ai déjà dit, le fait de l'oxyde de carbone, elle résulte simplement de la cessation des fonctions du sang.

Parmi les troubles que peut occasionner chez l'homme, cette mort progressive des tissus par la vapeur de char- bon, on a observé les suivants : quelquefois des vomisse- ments, puis une absence complète des sécrétions ; un

arrêt absolu de la digestion : les aliments restent dans l'estomac sans se modifier. Voyons si nous pourrions observer ces accidents particuliers chez les animaux que nous aurons asphyxiés.

Un fait digne de remarque, c'est que l'intoxication par l'oxyde de carbone met les animaux sur lesquels elle s'effectue dans des conditions d'existence analogues à celles des animaux à sang froid. On a remarqué, en effet, que la température du sang baissait à mesure que l'intoxication se produisait, et l'on a même pu abaisser cette température d'une manière considérable en ayant eu soin de ne faire agir l'oxyde de carbone que lentement et graduellement.

On comprend très-bien qu'il soit facile de passer de la sorte par tous les degrés possibles d'anémie. Cependant l'action de ce gaz toxique doit être fort variable d'après les individus qu'elle affecte. Comme l'élément atteint n'est autre que le globule du sang, l'individu en devra ressentir les effets d'une façon différente, suivant qu'il a plus ou moins de sang. Ainsi, par exemple, on croit qu'un animal à jeun a moins de sang qu'un animal en digestion. Lequel des deux sera le plus vite affecté par l'oxyde de carbone ? L'expérience seule peut nous répondre à cette question.

Voici deux lapins de la même portée et aussi identiques que possible; seulement, l'un des deux est à jeun depuis quelques heures, l'autre est en pleine digestion. Nous allons les soumettre tous les deux en même temps à l'action de la vapeur de charbon. Ainsi que vous pouvez le constater, ils paraissent en ressentir les premiers effets

aussi vite l'un que l'autre, et même ils tombent en même temps. Retirons-les maintenant, et vous voyez qu'ils reviennent ensemble à la vie. Il n'y a donc pas de différence sensible dans l'action de l'oxyde de carbone dans le cas présent : d'où nous devons conclure que l'influence de la digestion et de l'abstinence sur la quantité de sang n'est pas appréciable ou ne s'est pas encore manifestée.