

HUITIÈME LEÇON

SOMMAIRE : Sang veineux et sang artériel. — Emploi de l'oxyde de carbone pour l'analyse des gaz du sang. — Usage de la pompe à mercure. — Avantages de l'emploi de l'oxyde de carbone. — Sang veineux des divers organes à leurs différentes périodes de repos ou d'activité. — Quelques mots sur le siège des combustions organiques et sur les sources de la chaleur animale : analyses du sang.

MESSIEURS,

C'est seulement vers le premier quart de ce siècle que l'on voit formuler le principe suivant : le sang artériel est toujours identique avec lui-même, quel que soit le lieu de sa provenance ; quant au sang veineux, il diffère suivant les organes d'où on l'a extrait.

C'est là un fait maintenant hors de doute, et sur lequel nous n'aurons pas à revenir. Nous en avons fait ressortir l'importance dans notre première leçon et nous avons montré combien étaient complexes toutes les questions relatives à l'analyse du sang.

Le sang veineux diffère non-seulement d'après les organes qu'il a traversés, mais encore d'après les divers états de ces organes. Suivant que l'organe est en fonction ou en repos, on trouve autant d'états divers du sang veineux, autant de modifications dans sa composition chimique.

Au fond, qu'est-ce que le sang artériel ? Ce n'est autre

que le sang veineux des poumons. Il n'y a donc en réalité qu'un seul sang dans l'économie, se modifiant suivant les organes qu'il a desservis et traversés, et suivant leurs états différents. En effet, si le poumon est malade ou ne remplit pas ses fonctions, le sang artériel qui en sort reste noir comme à son entrée dans cet organe. Dans ce cas, le sang artériel peut donc ne pas être toujours identique avec lui-même. Chaque système organique possède un sang particulier qui lui est propre, parce que chaque organe modifie le sang à sa manière. Cette étude est donc très-complexe. Nous n'entrerons pas ici dans les détails d'une analyse complète du sang ; nous nous bornerons à l'étude des gaz qu'il contient.

Les gaz sont à l'état de dissolution dans le sang. Ce liquide peut contenir jusqu'à 50 pour 100 d'acide carbonique dans sa composition ; les limites extrêmes de l'oxygène dissous dans le sang sont à peu près les mêmes que dans l'air : de 20 à 25 pour 100 ; quant à l'azote, il existe en faible proportion, on n'en trouve guère plus de 6 à 8 volumes sur 100 volumes de sang. Mais les proportions de ces gaz subissent parfois des variations considérables. Ainsi, le sang peut arriver à ne plus contenir d'oxygène et à ne renfermer que de l'acide carbonique et de l'azote. Toutefois, à l'état normal, il y a toujours plus d'oxygène dans le sang artériel que dans le sang veineux.

Lorsqu'on cherche à asphyxier un animal, soit en liant la trachée, soit par submersion, il ne meurt pas instantanément. Au moment où l'on empêche l'air de pénétrer

dans les poumons, il existe encore une certaine quantité d'oxygène en dissolution dans le sang ; ce gaz se détruit bientôt, dans les convulsions asphyxiques de l'animal, et celui-ci ne meurt qu'après avoir épuisé tout l'oxygène en réserve dans son sang. Si, après la mort produite dans ces conditions, on fait l'analyse des gaz contenus dans le sang, on ne trouve plus d'oxygène, mais de l'acide carbonique en beaucoup plus grande quantité qu'à l'état normal.

L'oxygène contenu dans le sang est donc incessamment détruit et constamment remplacé dans l'acte de la respiration. Voilà pourquoi les proportions de l'oxygène et de l'acide carbonique contenus dans ce liquide doivent être sujettes à des variations continuelles.

La première fois que je fis l'expérience de l'intoxication du sang par l'oxyde de carbone, et que je me rendis compte de ce phénomène, il me vint immédiatement à l'idée que cette propriété de déplacer l'oxygène dont jouit l'oxyde de carbone pourrait servir de moyen d'analyse précieux dans la question délicate et controversée de l'extraction des gaz du sang.

J'ai émis, en effet, depuis bien longtemps, l'opinion que tous les poisons doivent devenir, entre les mains du physiologiste, des moyens de recherches ou des instruments pour étudier les fonctions des éléments, isoler leurs propriétés, dans le but de résoudre certains problèmes, qui parfois peuvent être de la plus haute utilité pour la science. Tout poison, en réalité, est un véritable réactif de la vie, un modificateur spécial, puisqu'il agit exclusivement sur tel ou tel tissu, sur tel ou tel élément histolo-

gique. Il constitue un mode d'expérimentation infiniment moins brutal et plus commode que nos méthodes ordinaires, que nos vivisections qui, par les délabrements profonds produits dans l'être vivant, par les hémorrhagies inévitables, par la douleur, compliquent nécessairement les phénomènes que l'on veut étudier, et introduisent dans l'expérience des complications qui peuvent masquer plus ou moins et gêner l'observation. En un mot, les poisons sont pour nous les moyens d'analyse physiologique les plus délicats et les plus précieux que nous connaissions (1).

Pour en revenir à l'extraction de l'oxygène du sang, j'ajouterai qu'à l'époque ou j'ai fait mes premières observations, les méthodes d'analyse des gaz du sang n'étaient pas perfectionnées comme elles le sont maintenant, et l'oxyde de carbone pouvait être d'un grand succès pour élucider cette question de physiologie chimique. L'étude de cette question ne remonte pas bien loin ; on sait, en effet, que la chimie des gaz n'est pas très-ancienne, et elle ne pouvait la précéder. Le premier travail scientifique sérieux publié sur l'analyse des gaz du sang fut celui de Magnus, de Berlin (2), qui arrivait à conclure, ce qu'on admet encore aujourd'hui en général, à savoir que le sang artériel contient plus d'oxygène que le sang veineux, et que celui-ci contient plus d'acide carbonique que le sang artériel. Choqué cependant des légères différences

(1) Voyez mes *Leçons sur les substances toxiques et médicamenteuses*, 1857.

(2) L. Magnus, *Ueber die ein Blute enthaltenen Gaze* (*Poggendorff's Annalen*, 1837, trad. in *Ann. des sc. nat. zool.*, 1837, 2^e sér., t. VIII, p. 79).

que présentaient les analyses de Magnus, Gay-Lussac attaqua, critiqua ses recherches à l'Académie des sciences de Paris, et, de concert avec Magendie, ils résolurent de reprendre les expériences de Magnus, mais le peu de temps dont ils disposaient ne leur permit pas de mettre ce projet à exécution. J'étais alors assistant de Magendie, et, d'après diverses expériences commencées, j'avais vu que les procédés de Magnus étaient en effet attaquables, non pas comme méthode, car elle était très-bien conçue par l'éminent physicien de Berlin, mais à cause de la nature complexe du sujet même de l'expérience. Je vis entre autres deux faits importants, le premier, c'est que du sang donnait de l'acide carbonique d'une manière en quelque sorte indéfinie. En faisant passer, par exemple, un courant d'hydrogène dans du sang, on déplace les gaz du sang, et au bout d'un certain temps, on ne déplace plus rien, et le gaz hydrogène passe sans rien entraîner. Mais si on laisse le sang en repos pendant vingt-quatre heures, restant, bien entendu, toujours en contact avec de l'hydrogène, et si, alors, on fait repasser le courant gazeux hydrogéné, on déplace de l'acide carbonique pendant un certain temps et le lendemain encore, et ainsi plusieurs jours de suite. Maintenant, quant au procédé de Magnus, voici en quoi il était attaqué : Pour extraire les gaz du sang, il soumettait ce liquide à l'action d'une machine pneumatique. Les gaz s'échappaient en effet ; mais en s'échappant, ils produisaient une telle quantité de mousse qu'il était impossible de déterminer immédiatement leur volume. Il fallait attendre que cette mousse se fût affaissée, c'est-à-dire vingt-quatre heures au moins. Mais, pendant

ce temps, le sang continuait à vivre sous sa cloche ; si c'était du sang artériel, il consommait son oxygène, et le lendemain il était passé à l'état de sang veineux. Ainsi, dans tous les cas, Magnus sans s'en douter avait opéré sur du sang veineux ; de là, les différences très-petites que ses analyses indiquent entre les quantités d'oxygène contenues dans le sang artériel et le sang veineux. C'est alors qu'en voyant que l'oxyde de carbone a la propriété de chasser intégralement l'oxygène du sang, et de rendre ce sang incapable de se transformer, j'eus l'idée de faire servir l'oxyde de carbone à l'analyse des gaz du sang.

L'oxyde de carbone joue donc ici un double rôle : il déplace l'oxygène et rend le sang inaltérable ; et par suite, il s'oppose à la transformation de l'oxygène dégagé en acide carbonique. Telle est la base de notre procédé ; mais comme le sang renferme d'autres gaz que l'oxygène, il faut aussi les dégager du sang, et le vide ou la chaleur sont les meilleurs moyens à employer pour atteindre ce but.

Nous emploierons une pompe à mercure à l'aide de laquelle nous pouvons combiner le vide et l'action de l'oxyde de carbone. Cet appareil n'est autre que la machine pneumatique à mercure, à laquelle M. Gréhan a apporté quelque perfectionnement et que nous allons encore faire fonctionner devant vous. Le sang est d'abord introduit dans un ballon de verre qui communique avec cette machine, et dans lequel le vide a été préalablement fait. Le ballon est placé sur un bain-marie, de manière à le chauffer modérément, afin de faciliter encore davantage

le dégagement des gaz. Maintenant voici comment nous opérons :

Pour éviter que le sang n'ait le contact de l'air, nous l'extrayons du vaisseau artériel ou de la veine de l'animal, à l'aide d'une très-bonne seringue de verre graduée munie d'une garniture de fer, et dans laquelle on a déjà introduit une quantité d'oxyde de carbone, à peu près égale au volume du sang que l'on veut analyser. Le sang introduit dans la seringue et exactement mesuré, on l'agite un moment pour faciliter la combinaison de l'oxyde de carbone avec l'hémoglobine, puis on introduit le tout dans le ballon de verre, où l'on a eu auparavant la précaution de faire le vide. Tout le reste de l'opération se réduit à une simple analyse de gaz.

Sans doute le vide combiné avec la cuisson du sang pourrait paraître suffisant pour en extraire le gaz qu'il contient et arrêter en lui toute altération ultérieure. L'oxyde de carbone, en un mot, pourrait ne pas sembler indispensable dans l'opération. En effet, la cuisson combinée avec le vide est un perfectionnement considérable sur le procédé primitif de Magnus, mais nous pensons que pour avoir des analyses très-exactes des gaz des diverses espèces de sang suivant les divers états fonctionnels des organes, il faut absolument recourir à l'emploi de l'oxyde de carbone. Voici pourquoi : L'action de la chaleur sur le sang, lorsqu'elle n'est pas assez subite, peut modifier les rapports de l'acide carbonique et de l'oxygène, et le temps qui s'écoule entre l'extraction du gaz et son introduction dans l'appareil à analyse peut même suffire pour qu'il se passe dans le sang des altérations

capables dans certains cas de modifier son contenu gazeux (1). Dans notre procédé, le sang, au sortir du vaisseau, se trouve immédiatement en contact avec l'oxyde de carbone, il passe en quelque sorte à un état de fixité qui empêche en lui toute altération si minime qu'elle soit, de sorte qu'à l'aide de ce procédé on peut dire que la nature est réellement saisie sur le fait.

Les altérations que le sang peut subir peuvent, surtout avec l'aide du vide, produire des gaz de décomposition. Ainsi j'ai cité le cas du sang qui, au sein de l'hydrogène, continue à former de l'acide carbonique pendant longtemps. Dans le vide de la pompe à mercure, le sang fournit également des gaz (acide carbonique, hydrogène sulfuré), surtout si l'on chauffe. Ce sont donc là autant de sources d'erreurs qu'il faut connaître, et l'oxyde de carbone peut servir à les éviter. En outre, je pense qu'il ne faut pas arriver au vide complet, qui s'éloigne trop des conditions physiologiques du sang dans la respiration. En un mot, je crois qu'il y a des modifications à introduire dans les procédés d'analyse des gaz du sang dont on se sert journellement.

L'action de l'oxyde de carbone dans les analyses du sang donne surtout des résultats précieux, quand il s'agit de se rendre compte des conditions exactes dans lesquelles

(1) M. Schutzenberger a constaté, sur du sang oxygéné conservé à l'étuve à 37 degrés, en dosant l'oxygène de demi-heure en demi-heure (par le procédé à l'hydrosulfite de soude décrit par Schutzenberger et Risler), que la déperdition en oxygène pour le sang frais ne dépasse pas 3 ou 4 centimètres cubes par heure pour 100 grammes de sang. Lorsque la putréfaction commence, cette déperdition devient au contraire très-rapide (voy. *Compt. rend. de l'Acad. des sc.*, 6 avril 1874).

le sang artériel se transforme en sang veineux sous certaines influences très-rapides, dépendant du système nerveux ou de l'état fonctionnel des organes.

J'ai observé, par exemple, que lorsqu'on coupe les nerfs du système du grand sympathique, on voit immédiatement le sang, auparavant très-noir, devenir rouge après la section. La raison en est que si l'on supprime subitement l'action du système nerveux sympathique, le sang ne perd plus son oxygène en traversant les capillaires, et reste rouge. Mais ce sang veineux rouge a une très-grande tendance à devenir noir, et si on ne le saisit pas à l'instant même, quelques secondes après il a perdu ses caractères, et est devenu noir et semblable à du sang veineux ordinaire. Il serait de toute impossibilité de faire l'analyse exacte de cette espèce de sang, si l'on ne recourait à la méthode que je viens de vous indiquer, dans laquelle nous combinons le vide et l'emploi d'oxyde de carbone.

L'oxyde de carbone rend encore des services du même genre, comme je l'ai montré depuis longtemps quand il s'agit de faire des analyses comparatives de sang veineux dans des organes en état de repos et en état de fonction.

C'est là un point de vue sur lequel j'ai beaucoup insisté parce que je le crois très-important et trop négligé. Pour se rendre compte des phénomènes vitaux, il faut toujours faire les recherches anatomiques et chimico-physiques sur les organes aux différents âges et aux différents états fonctionnels, physiologiques ou pathologiques. Autrement, on opère toujours dans des conditions indéterminées et l'on n'atteint que des résultats manquant de précision.

En effet, suivant que l'animal est vigoureux ou affaibli, à jeun ou en digestion, jeune ou vieux, etc., les résultats présentent des variations qui sont des plus importantes à connaître pour saisir la direction des phénomènes vitaux.

J'ai démontré qu'à l'état de fonction, le sang veineux des glandes diffère, au point de vue de sa couleur et de la quantité d'oxygène qu'il contient, à son entrée dans ces organes et à sa sortie. Le sang, de rouge qu'il était en entrant dans la glande, devient noir et se dépouille complètement de son oxygène, quand il traverse la glande en repos; il reste rouge, au contraire, et l'oxygène ne disparaît pas lorsque ces organes sont en fonctions. Je vous ai dit, en outre, qu'en examinant de plus près ce phénomène, nous avons été frappés d'un fait singulier, c'est que la température la plus élevée du sang veineux coïncide avec le moment où il contient le plus d'oxygène, ce qui contredit en apparence la théorie de la combustion. Ce qui prouve que nous sommes loin encore d'être complètement fixés relativement à l'origine de la chaleur; et pour ma part, je vois que rien encore ne démontre que la chaleur animale soit due à une combustion directe et immédiate. Tout semble prouver au contraire que, par exemple, dans les glandes, les phénomènes d'oxydation et de production de chaleur se passent en deux temps. D'abord pendant le repos de la glande, son tissu emprunte l'oxygène du sang artériel et produit certaines combinaisons qui ne seront utilisées que plus tard; dans un second temps, celui où la glande est dite en état de sécrétion, alors ces combinaisons se dédoublent, se liquéfient, deviennent libres, et c'est alors sans doute que se produit la plus

grande quantité de chaleur, quoique à ce moment le sang artériel ne cède que très-peu de son oxygène, et repa-
raisse dans les veines avec l'aspect qu'il avait dans les artères.

Quoique ce ne soit pas ici le moment d'insister sur cette question, permettez-moi de vous résumer quelques recherches qui se rapportent directement à l'étude des combustions et de l'origine de la chaleur animale. Il s'agit de la *quantité d'eau contenue dans le sang*. On a admis qu'il existait une combustion due à l'action de l'oxygène de l'air absorbé par le sang sur les diverses substances contenues dans ce liquide. Or, les produits ultimes de cette combustion seraient, pour les substances hydrocarbonées, de l'acide carbonique et de l'eau. Il y aurait donc grand intérêt à connaître et à mesurer cette quantité d'eau formée dans la combustion organique. On a dit qu'il pouvait y avoir de l'eau engendrée dans l'organisme, et certains auteurs ont prétendu que les diabétiques peuvent rendre par leurs urines une quantité d'eau plus considérable que celle qu'ils ont absorbée dans leurs boissons. Mais ces observations ne sont rien moins qu'exactes.

J'ai fait des expériences directes pour savoir s'il y avait de l'eau engendrée dans la salive. En opérant sur les glandes sous-maxillaires, j'ai vu qu'il n'y avait pas lieu d'admettre une telle hypothèse. J'ai trouvé, en effet, que le sang veineux sortant de la glande au moment de la sécrétion, comparé au sang artériel qui y arrive, renferme en moins une quantité d'eau représentant exactement la quantité passée dans le liquide sécrété. Je ne nie pas pour cela la combustion dans le sang; j'indique seulement les

difficultés que présente encore la démonstration de ce phénomène. D'ailleurs, toutes les théories ne sont imaginées que pour faire avancer les sciences, et, à ce point de vue, elles présentent une utilité incontestable; mais il faut bien se garder de leur accorder une trop grande confiance quand elles ne sont pas encore entièrement démontrées.

Revenons donc à la constatation exacte des faits, et insistons sur l'état oxygéné du sang des veines qui viennent des glandes.

Voici quelques résultats d'analyses faites comparative-
ment, au point de vue de l'oxygène du sang artériel et du sang veineux du rein, l'organe étant en repos et en fonction.

	Sang artériel. (Oxygène)	Sang veineux. (Oxygène)
1° Sécrétion rénale en pleine activité. Chien vigoureux.....	17,44 (rutilant).	16,00 (rutilant).
Sang du cœur droit.....		6,44 (noir).
2° Sécrétion rénale en activité.....	19,46 »	17,26 (rutilant).
Sécrétion rénale suspendue. Chien vigoureux.....	» »	6,40 (noir).
3° Sécrétion moyenne et active....	12,00 »	10,00 (rutilant).
4° Sécrétion peu active. Chien affaibli.	5,69 »	6,45 »

Les analyses nous montrent que, pendant la sécrétion, le sang ne devient pas veineux, si l'on peut ainsi dire, dans le tissu capillaire rénal, tandis qu'il n'en est pas de même quand la sécrétion est suspendue. Il faut ajouter que dans ce dernier cas, la circulation est considérablement plus lente que dans le premier. Nous constatons encore un autre résultat, c'est que la quantité d'oxygène