

le refroidissement rentre complètement dans l'ordre des phénomènes physiques. La promptitude du refroidissement dépend alors et de la température extérieure et de la conductibilité des tissus animaux pour le calorique, et des substances qui environnent le cadavre, et de l'état d'embonpoint ou d'émaciation, etc. Lorsque les parties extérieures sont à peu près arrivées à l'équilibre de température avec les corps environnants, les parties profondes conservent longtemps encore un certain degré de chaleur; les tissus animaux sont, en effet, de mauvais conducteurs du calorique ¹.

Est-il vrai que, dans des conditions particulières, la température propre de l'homme puisse s'élever au point de déterminer spontanément dans ses tissus une combustion vive, analogue à celle de nos foyers? Certains cas de mort accompagnés d'une carbonisation plus ou moins étendue et plus ou moins profonde des tissus, alors que tout foyer extérieur de combustion paraissait faire défaut autour de la victime, ont fait supposer que la chose est possible. Il est bien certain que des matières végétales, accumulées en masse, s'échauffent parfois jusqu'à 90 et 100 degrés, et que leur échauffement peut être exceptionnellement porté jusqu'à l'inflammation spontanée. Mais l'homme et les animaux à température constante ne se trouvent point dans des conditions de ce genre. Bien loin de pouvoir s'élever au degré de la combustion vive, ou seulement à 100 degrés, leur température ne peut varier que dans des limites très-restreintes. Ce qui a contribué à entretenir l'erreur des combustions dites spontanées, c'est que le point de départ de la combustion disparaît parfois sans laisser de traces derrière lui : c'est ce qui arrive notamment lorsque le feu est communiqué aux pièces du vêtement par la flamme d'une lumière, ou par des allumettes chimiques. Il faut remarquer que ces faits de combustion se montrent surtout chez les personnes recouvertes d'une couche abondante de graisse sous-cutanée, ou sur des individus accoutumés aux excès alcooliques, et dans le moment même où les tissus sont imprégnés d'alcool. Des sources faibles de combustion, qui, en tout autre temps et dans d'autres conditions, eussent été insuffisantes à brûler les tissus, ont trouvé alors un aliment à leur activité.

§ 165.

Sources de la chaleur animale. — Toutes les combustions chimiques qui s'accomplissent sous nos yeux donnent naissance à un dégagement de chaleur. Tantôt ce dégagement est rapide et le phénomène est saisissant, comme, par exemple, lorsque du bois ou du charbon se consume dans un foyer. Tantôt, au contraire, la combustion est lente,

¹ Il arrive souvent que dans les instants qui précèdent la mort, et un peu après, la température s'élève un peu. Cet effet passager tient à la suppression de la respiration et par conséquent à la suppression d'une source de refroidissement. Elle tient aussi à la suppression de la circulation cutanée. Le sang, stagnant dans ses foyers intérieurs, se refroidit un peu moins vite que dans les instants qui ont précédé.

et la chaleur développée, se dissipant au fur et à mesure par rayonnement et par contact, ne frappe pas aussi directement les sens. C'est ce qui arrive, par exemple, toutes les fois qu'un bâton de phosphore se combine, par combustion lente, avec l'oxygène, ou lorsque des amas de substances végétales en fermentation absorbent l'oxygène de l'air. Mais dans ces derniers exemples, tout aussi bien que dans le premier, la quantité absolue de chaleur produite est proportionnelle à la réaction.

La production de la chaleur animale peut être comparée, d'une manière assez exacte, à ces combustions ou oxydations lentes.

Il y a incessamment de l'oxygène introduit dans l'organisme par la respiration; il y a incessamment aussi de l'acide carbonique et de l'eau produits. Or, cette combinaison de l'oxygène avec les éléments carbonés et hydrogénés de nos tissus, dont l'acide carbonique et l'eau sont les termes ultimes, constitue en définitive une véritable combustion, et toute combustion est accompagnée de chaleur. L'acide carbonique et l'eau ne sont pas, d'ailleurs, les seuls termes définitifs des oxydations animales. Il s'échappe encore, par diverses voies de sécrétion, des produits d'oxydations incomplètes, qui dégagent aussi une certaine proportion de chaleur (urée, acide urique et autres produits de sécrétion). La source de la chaleur animale devant être recherchée dans l'oxydation que subissent les matériaux du sang sous l'influence de l'oxygène absorbé, la respiration et la chaleur animale se trouvent unies ensemble par les liens les plus étroits.

La formation de l'acide carbonique et celle de l'eau sont les deux sources principales de la chaleur animale; mais les oxydations incomplètes en vertu desquelles se forment divers produits de sécrétion y entrent aussi pour une certaine part.

Un animal, envisagé pendant une période de temps déterminée (au commencement et à la fin de laquelle il présente la même température), expire pendant cette période, par le poumon et par la peau, une certaine quantité d'acide carbonique et d'eau; or, pendant le même temps, il perd par rayonnement, par contact et par évaporation (Voy. § 106), une certaine quantité de chaleur qu'on peut mesurer. Si donc, connaissant la quantité de chaleur produite par la combustion du charbon pour former de l'acide carbonique, et la quantité de chaleur produite par la combustion de l'hydrogène pour former de l'eau (connaissance fournie par les expériences physiques); si, dis-je, nous mesurons la quantité de chaleur perdue par un animal pendant un temps donné, et si nous comparons à cette chaleur perdue la chaleur afférente à la formation de l'acide carbonique et de l'eau que l'animal a exhalés, cette dernière quantité doit se rapprocher de la première. C'est, en effet, ce qui arrive.

Lavoisier place un animal dans un calorimètre de glace, et il a soin d'entretenir un courant d'air pur autour de lui. Il note la quantité de chaleur perdue par cet animal, en un temps donné, en recueillant

et pesant la quantité de glace fondue ; il note, d'un autre côté, la quantité d'acide carbonique produite par l'animal dans le même espace de temps, puis il calcule la quantité de glace qui aurait été fondue par la formation d'un poids d'acide carbonique égal à celui que l'animal avait expiré. Il conclut de ces expériences que, si l'on représente par 10 la quantité de chaleur engendrée par la formation de l'acide carbonique expiré, en un temps donné, la quantité de chaleur abandonnée, pendant le même temps, par l'animal, est égale à 13. Dans les recherches de Lavoisier, l'animal avait donc dégagé plus de chaleur que la formation d'acide carbonique par la combustion du charbon n'en aurait produit dans le même temps. Mais Lavoisier n'a pas tenu compte de l'eau expirée ; aussi fait-il remarquer, avec raison, que l'excès de chaleur produit par l'animal n'est probablement qu'apparent, et qu'il tient vraisemblablement à deux causes : 1° à ce que l'animal s'est refroidi, et 2° à ce qu'il y a une certaine quantité d'oxygène employée à la formation de l'eau, c'est-à-dire à la combustion de l'hydrogène ; et il n'hésite pas à dire que « la respiration n'est qu'une combustion lente de carbone et d'hydrogène, en tout semblable à celle qui s'opère dans une lampe ou dans une bougie qui brûle, et que, sous ce rapport, les animaux qui respirent sont de véritables combustibles qui brûlent et se consomment. » Les progrès de la science ont établi cette ingénieuse comparaison de Lavoisier sur des bases de plus en plus positives.

MM. Dulong et Despretz ont repris et complété les expériences de Lavoisier. Dans les expériences dont nous parlons, l'animal est placé dans un *calorimètre à eau* ; un gazomètre fournit l'air nécessaire à la respiration ; les produits de l'expiration sont reçus dans un autre gazomètre convenablement disposé. L'expérimentateur note la quantité de chaleur cédée à l'eau et à l'appareil. En analysant le mélange gazeux contenu dans le gazomètre où ont été recueillis les gaz expirés, il connaît la quantité d'acide carbonique produit et la quantité d'oxygène consommé par l'animal. MM. Dulong et Despretz sont arrivés à ce résultat, que la chaleur produite dans le corps de l'animal par la combustion du carbone et de l'hydrogène représente les 8/10 ou les 9/10 de la chaleur cédée au calorimètre.

Mais les travaux de MM. Dulong et Despretz n'échappent pas aux objections qu'on peut adresser aux expériences de Lavoisier. Ils supposent, par exemple, que l'animal ne s'est pas refroidi dans l'appareil (parce que cet appareil ne contient pas de la glace, mais de l'eau), mais il est tout à fait prés umable qu'un animal placé *au repos absolu dans un courant d'air*, se refroidit, et il est plus que probable qu'il n'avait pas, en sortant de l'appareil (à la périphérie tout au moins), la température initiale.

Ajoutons que dans ces expériences les gaz de l'expiration ont été recueillis sous l'eau, c'est-à-dire sous un liquide qui dissout une proportion notable d'acide carbonique. Enfin, et cette objection est plus grave que

les précédentes, les coefficients des chaleurs de combustion du carbone et de l'hydrogène, à l'aide desquels a été calculée la chaleur produite par la formation de l'acide carbonique et de l'eau, étaient estimés trop bas par Lavoisier et par M. Despretz.

Depuis cette époque, les chiffres de combustion du carbone et de l'hydrogène ont été fixés d'une manière plus rigoureuse par les travaux de MM. Favre et Silbermann, et les différences signalées par Lavoisier et par MM. Dulong et Despretz se sont amoindries. En calculant, à l'aide des nouveaux chiffres de combustion du carbone et de l'hydrogène obtenus par MM. Favre et Silbermann, toutes les expériences qui ont été faites, on arrive à ce résultat remarquable, que la chaleur dégagée par la respiration d'un animal, en un temps donné, est à peu près égale à celle qu'il perd dans le même temps.

Nous disons *à peu près*, parce que l'égalité absolue n'a pas été obtenue, et elle ne pouvait l'être. En effet, la production de la chaleur dans les animaux n'est pas une combustion directe de *carbone* et d'*hydrogène en nature*. Dans l'économie, ce n'est pas du carbone ni de l'hydrogène libre qui se brûlent ; c'est, ou de la graisse, ou du sucre, ou de l'albumine, ou de la fibrine, etc. Or, les recherches de MM. Favre et Silbermann nous enseignent que certains corps composés (alcool, acétone) produisent plus de chaleur par leur combustion directe que n'en produirait la combustion isolée de leurs composants, carbone et hydrogène ¹.

¹ Dans l'état normal, le sucre (glycose), versé dans le sang par la digestion des féculents et par l'action glycogénique du foie, disparaît par oxydation, et se transforme en acide carbonique et en eau. Dans la *diabète sucrée*, maladie caractérisée par la présence du sucre (glycose) dans l'urine, une certaine proportion de cette matière combustible échappe aux métamorphoses de la nutrition. Or, M. Bouchardat avait déjà observé, chez les diabétiques, un abaissement de la température normale. Dernièrement, M. Lomnitz a constaté le même fait. En prenant la température de plusieurs diabétiques sous l'aisselle, et en la comparant à celle d'individus sains du même âge, il a trouvé chez ses trois malades une différence en moins de 1°,25, de 1°,30 et de 1°,45. M. Rosenstein a observé, chez un diabétique, que, quand l'excrétion du sucre était au maximum, la température prise sous l'aisselle était de 36°,6 à 36°,8, et que, chez le même malade, quand le sucre disparaissait de l'urine sous l'influence d'un traitement approprié, la température prise au même point était de 37°,5.

M. Frankland s'est livré, tout récemment, à un grand nombre de recherches pour fixer directement les chiffres de combustion des matières organiques. Les substances étaient brûlées dans le calorimètre de Thompson. Il est bon de rappeler qu'on désigne sous le nom de *calorie* ou d'*unité de chaleur* la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré de température 1 kilogramme d'eau.

Nous empruntons aux tableaux de M. Frankland les chiffres de combustion de l'albumine, de la chair, de la graisse, de l'acide urique et de l'urée :

	Calories.
1 gramme de chair de bœuf (dégraissée par l'éther) donne en brûlant...	4,368
— d'albumine.....	4,263
— de graisse (de bœuf).....	9,060
— d'acide urique.....	2,615
— d'urée.....	2,206

Remarquons encore que, dans toutes les expériences dont nous parlons, on a cherché à comparer la quantité de chaleur produite par l'animal à la quantité de chaleur qu'aurait fournie la combustion d'un poids de carbone et d'hydrogène équivalent à celui de l'acide carbonique et de l'eau formés dans la respiration ; mais on ne tient compte ainsi que des *combustions complètes* dont les produits s'échappent par le poulmon et par la peau, et l'on sous-entend la *combustion incomplète* des éléments qui se séparent de l'économie à l'état d'urée, d'acide urique, de matières extractives de l'urine, d'acide cholique, d'acide choléique, etc., produits qui s'échappent par les urines et les fèces. Or, la quantité de chaleur afférente à la formation de ces produits nouveaux (formés aux dépens des matières albuminoïdes) ne peut pas être directement calculée, dans l'état présent de la science.

Il y a plus, c'est que dans certaines conditions, et pour d'autres raisons sur lesquelles nous avons dernièrement appelé l'attention, la quantité de chaleur dégagée par un animal dépend aussi du jeu *variable* du système musculaire (Voy. § 165 bis).

Mais, bien que le problème de la chaleur animale ne puisse pas être mathématiquement résolu dans toutes ses parties, il est impossible de ne pas reconnaître aujourd'hui que la production de la chaleur animale n'est que le *résultat des oxydations lentes qui s'accomplissent dans l'organisme*.

Quant au lieu où s'opèrent les phénomènes d'oxydation, il est évident que ces phénomènes ne s'accomplissent pas exclusivement dans le poulmon, comme on l'a dit autrefois, mais partout où circule le sang, c'est-à-dire dans tous les organes qui reçoivent des vaisseaux, là où le sang contenu dans les vaisseaux capillaires se trouve en contact avec les tissus. Les expériences de Spallanzani, d'Edwards et de M. Magnus le prouvent sans réplique (Voy. § 150). Le sang est en quelque sorte le foyer général de la chaleur. Le système circulatoire, analogue à une sorte de calorifère à eau chaude et à circulation continue, porte la chaleur partout où il pénètre.

Nous avons vu précédemment (Voy. § 163) que la température des diverses parties n'est pas exactement la même. Cette inégalité dans la répartition de la température est la conséquence de la variabilité des sources de chaleur et des sources de refroidissement. Tandis que la combustion des éléments du sang se fait dans la profondeur des organes et des tissus, la tendance à l'équilibre de température, ou, en d'autres termes, la perte de chaleur, s'accomplit à la périphérie. Les membres, dont la masse est moindre que celle du tronc, sont plus exposés que le tronc aux déperditions de chaleur ; de là leur température moindre (et d'autant moindre qu'on descend de leurs racines à leurs extrémités). Les combustions s'accomplissant dans la trame de tous les tissus, il n'y a point de centre unique où se forme et d'où émane la chaleur : la température de chaque partie en particulier dépend de l'activité des oxydations dont elle est le siège, et de la ma-

nière dont elle est exposée aux causes de refroidissement ou protégée contre elles. Dans les organes profondément placés (foie, reins), et par conséquent moins exposés au refroidissement que ne le sont les membres et les parois du tronc, la température du sang veineux qui sort de ces organes est supérieure à celle du sang artériel qu'ils reçoivent, et elle traduit en quelque sorte l'intensité des réactions chimiques dont ces organes sont le siège.

— La production de la chaleur dans les plantes coïncide, comme chez les animaux, avec la production de l'acide carbonique. Dans l'état ordinaire, les parties vertes des plantes absorbent l'acide carbonique de l'air et exhalent de l'oxygène, sous l'influence de la radiation solaire ; elles ne produisent pas de chaleur. Mais, au moment de la germination et au moment de la floraison, les plantes offrent, au contraire, une certaine analogie avec les animaux : elles dégagent de l'acide carbonique par une véritable combustion. Suivant M. Goepfert, une semence qui germe peut présenter une température supérieure de 5 à 25 degrés à celle de l'air ambiant. M. Dutrochet a également observé une élévation de 11 à 12 degrés au-dessus de la température extérieure, pendant la germination de l'*arum maculatum*. M. Van Beck a noté une élévation de 22 degrés pendant la floraison du *colocasia odorata*, et M. Vrolik a remarqué que la température de cette plante augmentait, en ce moment, sous une cloche d'oxygène, et diminuait, au contraire, sous une cloche d'acide carbonique. Enfin, M. Boussingault a démontré, à l'aide de l'analyse chimique, que, pendant la germination, le végétal embryonnaire brûle, comme l'animal, du carbone et de l'hydrogène.

— Il n'est plus nécessaire aujourd'hui de réfuter longuement les diverses théories autrefois proposées pour expliquer la production de la chaleur animale. A une époque où l'on supposait que la force avec laquelle le cœur chasse le sang dans les vaisseaux était une force considérable, on attribuait la chaleur au frottement du sang contre les parois des canaux dans lesquels il circule. Mais, d'une part, on sait que la force du cœur est beaucoup moindre qu'on ne l'avait supposé, et, d'autre part, des expériences précises sur les mouvements des liquides ont démontré depuis longtemps que le frottement du sang contre les parois des vaisseaux est incapable de développer une chaleur sensible.

Le mouvement musculaire élève, il est vrai, localement la température des muscles, et peut même, quand il est général, élever la température de la plupart des organes (Becquerel et Breschet, Davy, Valentin, Vierordt, Lassaigne) ; mais c'est parce qu'il s'accompagne d'un travail chimique dans le sein des muscles, et non pas en vertu des frottements des tendons sur les poulies osseuses, comme le croyaient les iatro-mécaniciens.

Bichat invoquait, comme source de la température animale, le passage de l'état liquide à l'état solide des éléments du sang dans la nutri-