tantôt elles sont groupées autour des pattes, sous formes de tubercules branchiaux (néréides), tantôt l'extrémité supérieure du corps est garnie d'une sorte de panache multibranche (serpules) (Voy fig. 93).

Les seuls annélides qui ne soient pas aquatiques sont les lombrics (vers de terre). Ils vivent dans la terre humide et respirent par la surface générale du corps, et peut-être aussi par de petites poches placées à la partie antérieure du corps et communiquant au dehors par des pores.

Crustacés. — La plupart vivent dans l'eau et respirent par des branchies. Un certain nombre de crustacés manquent de branchies, et la respiration aquatique se fait par les parties du corps recouvertes d'une peau molle (souvent les pattes).

Quelques crustacés vivent à l'air et respirent à l'aide d'une multitude de lamelles extérieures, entretenues dans un état d'humidité permanente, qui ont la forme de branchies et qui fonctionnent comme des poumons.

Zoophytes. — Ces animaux aquatiques n'ont point en général d'organes spéciaux de respiration : les échanges gazeux se font par les divers points de la surface tégumentaire interne et externe. On remarque, cependant, chez les holothuries, un canal ramifié particulier, naissant du cloaque, et analogue à une sorte de trachée. L'eau s'y introduit par le cloaque et en est expulsée de temps à autre par les contractions du canal.

Les infusoires respirent par toute leur surface. On remarque à la surface du corps des cils vibratiles qui, par leurs mouvements, renouvellent l'eau aux dépens de laquelle l'animal respire.

§ 160 *bis*.

Respiration comparée des animaux et des végétaux. — On a souvent opposé les animaux (qui consomment l'oxygène de l'air et qui produisent de l'acide carbonique) aux végétaux (qui absorbent l'acide carbonique et qui exhalent de l'oxygène), et considéré les premiers (les animaux) comme des appareils d'*oxydation* et les seconds (les végétaux) comme des appareils de *réduction*. Cette sorte d'opposition harmonique est exacte, d'une manière générale et dans une certaine mesure ; mais il ne faut pas oublier que toute cellule, aussi bien végétale qu'animale, a besoin d'oxygène pour vivre et pour se développer. Dans les cellules végétales de même que dans les tissus des animaux les plus inférieurs qui n'ont pas de sang, mais une substance en quelque sorte unique, il se produit des phénomènes chimiques qui ont entre eux beaucoup d'analogie. Des nombreuses recherches qui ont été faites sur la respiration des plantes par MM. Boussingault, Garreau, Corenwinder, etc., on peut conclure que dans ses rapports avec l'atmosphère la plante se comporte de deux manières différentes.

1° La fonction de la plante qui l'emporte, et qu'on peut appeler de *nutrition*, s'exerce par toutes ses parties vertes, et consiste dans la réduction de l'acide carbonique sous l'influence de la radiation solaire, directe ou diffuse ; c'est par cette action *intermittente* (suspendue pendant la nuit), que se trouvera constituée la masse ou la charpente du végétal.

2° Les végétaux ont aussi une *respiration* identique à celle des animaux ; cette fonction, *continue*, est caractérisée par la combustion des matières organiques du végétal.

Il résulte de là, d'une part, que la propriété de former de la matière organique à l'aide des éléments empruntés au règne minéral appartient exclusivement aux *végétaux* (à leurs parties vertes) et n'entre en activité que sous l'influence de la lumière ; d'autre part, qu'il n'y a point d'antagonisme en principe entre la propriété *oxydante* et *réductive*, car de même qu'on peut observer des *oxydations* dans les plantes, de même on peut observer des *réductions* chez les animaux.

Il n'en reste pas moins vrai qu'*au point de vue fonctionnel* les animaux *dégagent de la force* par oxydation, et que les végétaux *emmagasinent de la force* par réduction.

§ 160 *ter*.

Respiration des Plantes. — Indications bibliographiques.

Duchartre, Recherches expérimentales sur la respiration des plantes, *dans* Comptes rendus, Académie des sciences, 1856 et 1866.

Corenwinder, Expiration diurne et nocturne des feuilles, *dans* Comptes rendus, Académie des sciences, 1863.

Corenwinder, Recherches chimiques sur la végétation, 3 mémoires, *dans* Mémoires de la Société des sciences de Lille, 1863.

Boussingault, De la végétation dans l'obscurité, Etudes sur les fonctions des feuilles, *dans* Comptes rendus Académie des sciences, 1864, 1865, 1866.

Cahours, Recherches sur la respiration des fruits. Recherches sur la respiration des fleurs, *dans* Comptes rendus, Académie des sciences, 1864.

Chatin, Etudes sur la respiration des fruits, *dans* Comptes rendus Académie des sciences, 1864.

P. Bert, Influence de la pression et de la dépression sur les végétaux, *dans* Comptes rendus Académie des sciences et Annales des sciences naturelles, 1874.

R. Böhm, De la respiration des plantes terrestres, traduit, *dans* Annales des sciences naturelles, 1874.

Dehérain et Landrin, Recherches sur la germination, *dans* Annales des sciences naturelles, 1874.

Dehérain et Moissan, Recherches sur l'absorption d'oxygène et l'émission d'A. carbonique par les plantes maintenues dans l'obcurité, *dans* Annales des sciences naturelles, 1874.

CHAPITRE V

CHALEUR ANIMALE

§ 161.

De la chaleur dans les animaux. — Tandis que les corps inorganiques se maintiennent en équilibre de température avec le milieu qui les entoure ou tendent à se mettre en équilibre avec lui, lorsqu'ils ont été artificiellement échauffés ou refroidis, les animaux, au contraire, présentent une température propre. En d'autres termes, tous les animaux produisent de la chaleur, et la quantité de chaleur qu'ils produisent est généralement suffisante, malgré les pertes incessantes qui s'opèrent à leur surface, pour que leur température se maintienne au-dessus de celle du milieu ambiant.

Les animaux qui ont une nutrition active, dont la circulation est double, et qui respirent par des poumons, se distinguent entre tous par l'élévation de leur température propre; on les désigne sous le nom d'animaux *à sang chaud*. Ces

animaux produisent, en effet, une grande quantité de chaleur en un temps donné, et leur température est remarquablement plus élevée que la température moyenne de l'atmosphère.

Les oiseaux sont, de tous les animaux à sang chaud, ceux qui ont la chaleur la plus élevée. Leur température moyenne, qui oscille d'ailleurs de quelques degrés suivant les espèces, varie entre + 40° et + 44° (centigr.). Les oiseaux, indépendamment de ce qu'ils produisent beaucoup de chaleur (ainsi que le prouve leur consommation d'oxygène), sont recouverts d'une enveloppe de plumes, qui tend à limiter les pertes qui s'opèrent à leur surface.

Après les oiseaux, viennent les mammifères. Leur température varie aussi, suivant les espèces, mais dans des limites circonscrites. Leur température moyenne oscille entre + 36° et + 40° (centigr.). La température moyenne de l'homme, qui appartient à la classe des mammifères, peut être évaluée à + 37° (centigr.). Nous ferons remarquer ici que, quoique vivant dans l'eau comme les poissons, les cétacés (baleines, marsouins, lamantins) sont de véritables mammifères ; ils respirent par des poumons ; ce sont des animaux à sang chaud, dont la température varie entre + 37° et + 39° (centigr.).

Ajoutons, en outre, que la température moyenne des animaux à sang chaud reste à peu près stationnaire ou *constante*, non seulement quand le milieu qui les entoure possède une température inférieure à la leur, mais alors même que la température du milieu s'élève au-dessus de leur température propre. Cette faculté tient à des conditions complexes, que nous examinerons plus loin avec détail.

Les animaux dits animaux *à sang froid*, au contraire, sont loin de présenter cette constance de température. Ils sont assujettis, sinon complètement, du moins d'une manière très marquée, aux élévations et aux abaissements de la température extérieure. Les animaux dits à sang froid produisent, il est vrai, de la chaleur ; mais, la production de chaleur étant chez eux bien moins considérable que chez les animaux à sang chaud, les pertes incessantes qui s'opèrent à leurs surfaces sont presque suffisantes, dans la plupart d'entre eux, pour les rapprocher du point d'équilibre avec les milieux qui les entourent. C'est ainsi que les reptiles n'ont guère que 1 degré de température au-dessus du milieu environnant. Quelques Sauriens, le *lacerta viridis*, par exemple, ont quelquefois une température supérieure de 5 à 7 degrés à celle du milieu ambiant ; quelques Batraciens, tels que les grenouilles, ne présentent parfois aucune différence de température avec l'air extérieur, et peuvent même, lorsqu'ils sont hors de l'eau, accuser un léger abaissement de température. Il faut remarquer que les premiers développent en un court espace de temps beaucoup d'énergie musculaire, qu'ils sont couverts d'écailles et qu'ils ont la peau *sèche*, tandis que les seconds ont la peau nue et constamment *humide*, et que les pertes de chaleur dues à l'évaporation sont plus considérables dans le second cas que dans le premier. On conçoit même que ces pertes puissent, chez les grenouilles et chez quelques animaux à sang froid et à peau humide, dans des circonstances déterminées et exceptionnelles, amener un abaissement momentané de température au-dessous de la température ambiante (Voy. § 167).

Les poissons ont aussi une température très peu supérieure à celle de l'eau dans laquelle ils vivent. La température de ces animaux ne dépasse guère + 0°,5 à + 1° au-dessus de la température du milieu qui les contient. Les

insectes, les mollusques, les crustacés, ne présentent également que des différences qui portent sur 1 ou 2 degrés, et plus souvent encore sur des fractions de degré [1].

En résumé, tous les animaux produisent de la chaleur, mais d'une manière très inégale. Les mammifères et les oiseaux, qui en produisent beaucoup, ont généralement une température assez élevée, eu égard à la température moyenne du milieu atmosphérique : ils jouissent, en outre, de la faculté de conserver d'une manière permanente leur température propre, au milieu des abaissements et des élévations de la température extérieure. Les reptiles, les poissons et les invertébrés, qui produisent peu de chaleur, ont, au contraire, une température ordinairement peu supérieure à celle du milieu qui les contient, et ils sont assujettis aux élévations et aux abaissements de la température extérieure. Au lieu de diviser les animaux en animaux à sang chaud et en animaux à sang froid, on peut donc aussi désigner les premiers sous le nom d'*animaux à température constante*, et les seconds sous celui d'*animaux à température variable*.

§ 162.

Moyens d'apprécier la température animale. — Instruments de recherche. — Lorsqu'on veut apprécier la température de l'homme ou des animaux, on se sert généralement du thermomètre à mercure. Le thermomètre, toutes les fois qu'il peut être employé, est sans contredit le meilleur des instruments pour la constatation des températures ; il est le seul, en effet, qui donne des indications directes.

Le thermomètre peut avoir des formes diverses : il en est de droits, de courbes, de coudés. Les thermomètres droits, dont le calibrage est toujours plus exact, sont préférables. Le réservoir du thermomètre ne doit pas être trop volumineux afin de ne pas refroidir la partie dont on veut apprécier la température ; il ne doit pas être trop petit, parce que la masse mercurielle échauffée offrirait dans le tube ascensionnel de trop courtes excursions. Enfin ce réservoir

[1] Ici nous devons signaler deux faits très curieux observés par J. Davy. Sur une *Bonite* (poisson) pêchée dans les *mers tropicales* il a trouvé que la température des masses musculaires l'emportait de 10° sur celle du milieu ambiant, c'est-à-dire sur la température de la mer qui était + 27°, 20. Cette Bonite avait donc une température de + 37°, absolument comme un mammifère. Plus tard, dans la mer de Marmara il pêcha plusieurs pélamides (poissons), la température de l'eau était de + 16°, 67. Le thermomètre monta dans l'abdomen de l'un de ces poissons à + 22°, 78 et dans les masses musculaires du même animal à 23°, 89. La température de l'animal l'emportait, par conséquent, de 6°, 11 dans l'abdomen, et de 7°, 22 dans les muscles, sur celle du milieu.

Donc, dans certaines circonstances, des animaux même à sang froid, lorsqu'ils se trouvent placés dans des milieux relativement chauds et qu'ils développent dans un court espace de temps une grande énergie, peuvent élever temporairement leur température d'une manière notable, au-dessus de la température du milieu qui les entoure. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

On a vu aussi, et dans d'autres conditions, la température des insectes et celle des reptiles s'élever d'une manière assez remarquable. Les abeilles, qui vivent en ruches, par exemple, et les serpents, qui couvent leurs œufs, peuvent offrir une température supérieure de 5, 7, 8 et jusqu'à 10° à celle de l'atmosphère extérieure. Ces faits sont faciles à concevoir. Dans la ruche, qui représente un espace *limité entouré de corps mauvais conducteurs de la chaleur*, les pertes de chaleur des abeilles, dues au rayonnement et au contact, échauffent peu à peu le milieu qui les entoure et ce milieu, une fois échauffé, ne tarde pas à communiquer à l'insecte lui-même une partie de sa chaleur. Le serpent qui couve est à peu près dans le même cas. En se repliant en rond autour des œufs, il emprisonne au-dessous de lui un espace *limité*, ne communiquant plus librement avec le milieu ambiant. Cet espace s'échauffe par le rayonnement dû aux pertes de chaleur de l'animal, et il communique à l'animal une partie de la chaleur qu'il lui a empruntée.

allongé doit être disposé de manière à ne pas dépasser le calibre du tube ascensionnel ; de telle sorte que l'instrument représente dans sa totalité un cylindre allongé et uniforme. Le calibre intérieur du tube ascensionnel doit être assez fin pour qu'on puisse distinguer aisément des fractions de degrés (des cinquièmes ou des dixièmes). Pour que l'instrument n'ait pas une longueur exagérée qui en rendrait le maniement incommode, il peut être gradué de manière que l'échelle soit comprise entre 30 et 50 degrés de la division centigrade, c'est-à-dire entre les limites les plus ordinaires des oscillations thermométriques de la température animale.

Il sera généralement utile, pour l'usage médical, de se servir de thermomètres *à maxima*, c'est-à-dire à *index* intérieur. Lorsqu'on retire l'instrument de la partie où il avait été introduit (ou l'aisselle ou la bouche ou le rectum), la colonne thermométrique descend rapidement. On comprend qu'il est commode pour l'observateur d'avoir à l'intérieur même de l'instrument un témoin indicateur du point maximum où s'est élevée la colonne mercurielle.

Pour les recherches délicates de physiologie on peut avoir des thermomètres de diverses sortes, dont l'échelle variée est appropriée à la recherche spéciale qu'on se propose de faire. Nous avons fait construire autrefois des thermomètres dont l'échelle des divisions ne comprenait que 3 degrés divisés en cinquantièmes [1].

On peut, aussi, avoir recours à un instrument qui remplace tous ces thermomètres spéciaux, je veux parler du thermomètre à *échelle mobile* de M. Walferdin. Cet ingénieux instrument consiste en un tube à réservoir inférieur (réservoir du thermomètre) et à renflement supérieur (ce renflement est vide). La masse de mercure qui remplit le réservoir est telle, que quand on la chauffe, même légèrement, le mercure remplit le tube ascensionnel et vient se déverser en partie dans le renflement supérieur. Lorsqu'on veut se servir de cet instrument, on expose son réservoir à une température un peu supérieure à celle qu'il s'agit d'apprécier, et par un léger choc on divise la colonne mercurielle au point ou cette colonne communique avec le renflement supérieur. Toute la portion du mercure qui a pénétré dans ce renflement, ne fait plus pour le moment partie du thermomètre, et celui-ci est, dès lors, disposé pour la recherche spéciale. On laisse refroidir l'instrument et on introduit le réservoir dans la partie dont on veut connaître la température. Le tube ascensionnel de ce thermomètre, peut, on le conçoit, ne comprendre qu'un très petit nombre de degrés (trois, deux, ou même un seul) divisés en cent parties [2].

Lorsqu'on veut prendre *directement* la température des réservoirs intérieurs profondément placés, tels par exemple que la vessie ou l'estomac, on peut aussi se servir du thermomètre ; mais s'il s'agit de l'homme, il est nécessaire de se prémunir contre les accidents qui pourraient résulter de la rupture du verre.

[1] Il s'agissait dans ces recherches d'apprécier des températures de surfaces. Les trois degrés étaient compris entre 32° et 35° de la division centigrade (Voy. § 165 *bis*).

[2] La lecture des températures données par cet instrument est des plus simples. Le *trait* de séparation entre le tube du thermomètre et le renflement supérieur correspondant à une température *connue* (température donnée par la préparation même de l'instrument) sert de point de départ.

Quand ce thermomètre a été utilisé à la recherche spéciale pour laquelle il avait été *amorcé*, on le désamorce par une succession de petits chocs.

Il ne faudrait donc introduire ces thermomètres qu'entourés de sondes uréthrales ou œsophagiennes, composées d'un tissu mince, élastique et résistant [1].

Dans les cas où il n'est pas possible d'employer les thermomètres à la recherche des températures, on peut se servir d'un appareil thermo-électrique. Un thermomètre ordinaire, même avec un petit réservoir, possède une masse encore suffisante pour *refroidir* sensiblement les parties dans lesquelles on le plonge. L'appareil thermo-électrique n'offre pas cet inconvénient : il fournit d'ailleurs des notions que ne pourrait toujours donner le thermomètre. On peut, à l'aide de fils métalliques, pénétrer facilement dans l'épaisseur même des tissus et jusque dans les canaux où circule le sang, et comparer ainsi les températures de toutes ces parties. Cet appareil consiste en une pile thermo-électrique combinée avec le galvanomètre (Voy. pour plus de détails § 165 *bis*) [2].

Lorsqu'on veut prendre la température des animaux de très petit volume, et surtout des animaux inférieurs dont la température diffère peu de celle du milieu ambiant, on les rassemble quelquefois en masse dans une enceinte limitée dans laquelle on plonge le réservoir d'un thermomètre. Ce procédé, qui suffit, à la rigueur, pour prouver que ces animaux engendrent de la chaleur, ne permet pas de mesurer avec précision la température propre de l'animal. Confiné dans un milieu limité, celui-ci ne se trouve plus dans ses conditions normales d'existence, c'est-à-dire exposé aux causes habituelles de refroidissement (par rayonnement, par contact et par évaporation) ; aussi une pareille évaluation serait absolument fautive. Appliquer sur un petit animal isolé le réservoir d'un thermomètre à mercure dont la masse l'emporte sur celle de l'animal, conduirait, en refroidissant l'animal, à des évaluations plus fautives encore. Le seul procédé applicable ici, ce sont aussi les appareils thermo-électriques sous leur forme la plus déliée, c'est-à-dire sous la forme d'aiguilles (Voy. § 165 *bis*).

M. Marey a construit un appareil à l'aide duquel on peut obtenir la température des parties (il s'agit des parties qui offrent un certain volume), et en même temps et surtout étudier et fixer sur le papier les variations que peut éprouver cette température pendant un temps déterminé. L'appareil, auquel M. Marey donne le nom de thermoscope (fig. 94), consiste en une sorte de thermomètre à air, dont le réservoir métallique creux communique à l'aide d'un conducteur creux et flexible avec un tube de verre demi-circulaire dont la partie fermée

[1] Pour prendre la température maximum de l'intestin sur l'animal vivant, M. H. Kronecker a dernièrement construit un appareil thermométrique composé d'une petite sphère de cire creuse, percée sur un point et contenant dans cette petite ouverture un tube capillaire. Ce petit appareil est rempli de mercure et on en prend très exactement le poids. On le fait alors avaler à l'animal ; la température s'élevant, le mercure se dilate, et il en sort une petite quantité par le tube capillaire. Quand l'animal a rendu ce thermomètre ambulant, on apprécie par une pesée la quantité de mercure qui a disparu : elle correspond à une température donnée. D'après l'auteur on peut apprécier ainsi la température à 1/10e de degré près. Dans les recherches de M. Kronecker la température maximum de l'intestin du chien s'est toujours montrée supérieure de quelques dixièmes de degré à la température du rectum.

[2] La température de l'enveloppe cutanée est assez difficile à obtenir à l'aide du thermomètre ordinaire, car le réservoir ne peut être appliqué sur la région explorée que par une partie de sa surface. Les aiguilles thermo-électriques, bien disposées pour prendre la température des parties profondes, ne peuvent pas non plus être employées utilement à l'examen de la température de la peau ; ce qu'il faudrait ici évidemment, ce ne sont plus des *fils* soudés, mais des *lames* soudées. M. Gavarret a proposé d'employer à cette détermination deux couples thermo-électriques, bismuth et cuivre, terminés à leur partie inférieure par un disque de bismuth doublé d'une mince lame de cuivre.

constitue un réservoir séparé de l'air atmosphérique par un index de mercure qui occupe la partie déclive de ce tube. Le conducteur creux et flexible en communication avec le réservoir du thermomètre à air traverse cet index de mercure et débouche dans la masse d'air emprisonnée dans le tube de verre demi-circulaire. Lorsque l'air renfermé dans le réservoir du thermomètre à air s'échauffe, et par conséquent se dilate, la masse d'air emprisonnée dans le tube

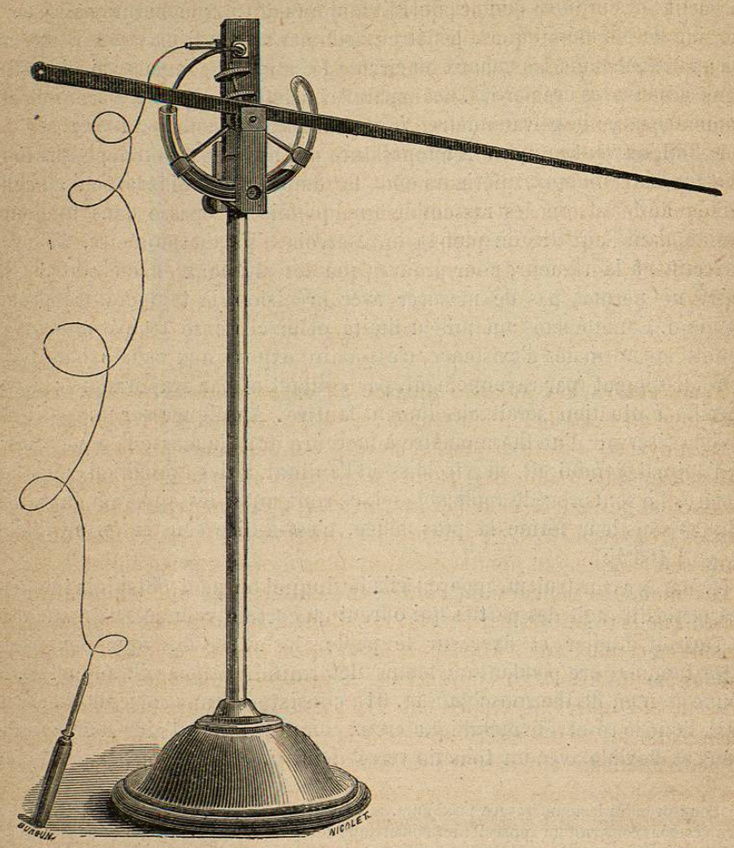

Fig. 94.

de verre augmente de volume ; l'index de mercure se déplace ; le centre de gravité du tube de verre demi-circulaire avec lequel fait corps le levier-aiguille se déplace également, et par conséquent le levier-aiguille se meut. Ces mouvements de l'aiguille peuvent être enregistrés à la surface d'un cylindre animé d'un mouvement circulaire uniforme, sous forme d'indications continues qui accusent soit la constance, soit les abaissements ou les élévations de température, ainsi que leurs durées relatives.

M. Marey a encore construit un autre thermoscope sur le principe général des transmissions de mouvement à l'aide des ampoules élastiques (voyez p. 219).

Cet appareil consiste en un réservoir élastique rempli d'air et d'un assez grand volume, lequel transmet à un tambour polygraphe enregistreur (voyez fig. 44 et 52, pages 222 et 249) tous les changements de densité que la température détermine dans la masse d'air que l'appareil contient.

Les divers instruments (thermomètres, appareils thermo-électriques, thermoscopes) que nous venons rapidement de passer en revue nous donnent la température du corps, ou, pour parler plus rigoureusement, la température de la partie du corps au contact de laquelle ils sont appliqués ; mais ils ne nous renseignent ni sur les quantités de chaleur produites en un temps donné, ni sur les quantités de chaleur perdues, envisagées, soit dans l'ensemble du corps, soit dans ses diverses régions. Cette partie du problème ne peut être abordée qu'à l'aide d'appareils spéciaux (calorimètres) introduits dans la science par Lavoisier, Dulong, Despretz, etc., et dont il sera question plus loin. Le problème de la chaleur animale se compose, en effet, de deux ordres de questions. D'abord la recherche de la température des diverses parties, à l'aide des thermomètres ou des appareils analogues, c'est-à-dire la *thermométrie;* ensuite, la recherche des sources, et la mesure de la chaleur produite et perdue, c'est-à-dire la *calorimétrie.*

§ 163.

Température des diverses parties du corps humain. — La température moyenne du corps de l'homme, avons-nous dit, est de + 37° (centigr.) environ. Cette moyenne résulte de l'ensemble des températures prises dans les cavités naturelles. Mais les diverses parties n'ont pas toutes la même température. La production de chaleur ne se fait pas, en effet, également partout. Le sang et les parties très vasculaires, c'est-à-dire les organes où la production de chaleur a toute son énergie, ont une température plus élevée que les autres.

Les membres éloignés du centre circulatoire ont une température moins élevée que le tronc ; les parties peu vasculaires, la surface de la peau continuellement en contact avec l'atmosphère, ont aussi une température moins élevée que les cavités extérieures formées par le rapprochement des parties, telles que l'aisselle et l'intervalle compris entre la partie supérieure des cuisses et le périnée. Enfin, les cavités intérieures, bouche, vagin, rectum, ont une température un peu supérieure aux cavités extérieures. Ainsi, par exemple, la température des pieds et des mains est généralement inférieure de 5 ou 6 degrés à celle des parties centrales, elle s'élève rarement au-dessus de 32 degrés. Quand la température de l'aisselle marque + 37, celle de la bouche est de + 37°,2 ; celle du rectum est de + 37°,4.

En ce qui concerne la distribution de la température dans l'économie animale, on peut dire, d'une manière générale, et en tenant compte de toutes les observations : que la température va croissant à mesure qu'on s'avance de l'extrémité des membres vers leurs racines ; on peut dire aussi que la température du tronc lui-même va croissant de ses extrémités vers le diaphragme, c'est-à-dire vers le foie et vers le cœur.

Davy avait déjà vu, en examinant les divers organes d'un agneau qu'on venait de mettre à mort, que la température est plus élevée dans les organes intérieurs que dans les membres ; plus élevée dans l'intérieur des membres qu'à leur surface. C'est aussi ce qu'avaient constaté expérimentalement MM. Bec-