

*Bibliothèque numérique*

medic@

**Wurtz, Adolphe. - De la production de  
la chaleur dans les êtres organisés**

**1847.**

*Paris : Imprimerie de L. Martinet*  
**Cote : 90975**

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

## **CONCOURS POUR L'AGRÉGATION**

( SECTION DES SCIENCES ACCESSOIRES ).

# JUECES DE LOS JUICIOS.

# PRODUCTION DE LA CHALEUR DANS LES ÉTRES ORGANISÉS.

## THÈSE PRÉSENTÉE ET SOUTENUE

M. AROLPHE WURTZ.

**Licencié ès-sciences ,**  
**Préparateur de chimie à la Faculté de médecine , et chef des travaux chimiques**

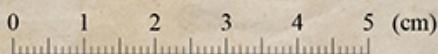
à l'École centrale des arts et  
mettre à profit les erreurs qui l'ont mené à une telle défaite.

Le temps d'exposer les résultats de la morte en quelques mots, et de décrire l'organisme, il nous faudra faire une pause et le mouvement sur les voies.

PARIS.

le fond de l'IMPRIMERIE DE L. MARTINET,  
développement de la Rue JACOB, 30.

1847.]



CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

(SÉRIE DE SCIENCES ACCORDANTES)

JUGES DU CONCOURS.

PRODUCTION DE LA CHALEUR

PROFESSEURS . . . . . { MM. ORFILA, président,  
ADELON, suppléant,  
BÉRARD, suppléant,  
DUMAS,  
GAVARRET,  
RICHARD,  
TROUSSEAU.

AGRÉGÉS . . . . . { MM. MAISSIAT, suppléant,  
MARTINS,  
MIALHE.

M. ADOLPHE MARTIN

Imprimé à Paris par la Société de l'Imprimerie Universitaire de la Sorbonne

PARIS.

IMPRIMERIE DE L'UNIVERSITÉ

SUR JACOB, 39.

1841

DE LA  
**PRODUCTION DE LA CHALEUR**  
DANS LES ÉTRES ORGANISÉS.

Quand nous nous proposons d'étudier la production de la chaleur dans les êtres organisés, nous devons nous rappeler que la température est une condition essentielle de la vie et que l'organisme doit maintenir sa température à un certain niveau pour fonctionner normalement.

Les conditions générales par lesquelles la vie se manifeste offrent à nos méditations un champ toujours nouveau et toujours fécond. Parmi les questions que nous rencontrons dans ce domaine de la physiologie, celles qui se rattachent à la production de la chaleur chez les êtres organisés ne sont pas les moins dignes d'intérêt; car elles dirigent notre attention sur des phénomènes remarquables par leur généralité dans le règne animal, et qui nous révèlent une différence entre la vie des plantes et celle des animaux.

La science présente peu de sujets plus importants; elle en offre à peine d'aussi difficiles. La découverte des faits que nous aurons à exposer a exigé souvent les lumières réunies de la physique, de la chimie et de la physiologie. C'est dire assez qu'ils sont en grande partie une acquisition de la science moderne.

Notre intention n'est pas de retracer toutes les théories qu'on a faites sur la production de la chaleur dans les êtres organisés. Nous aurions à citer des noms illustres, ceux de Descartes, de Van Helmont, de Boërhaave, de Haller, de Chaussier(1). Mais ce ne serait que pour rappeler des opinions bizarres ou des erreurs qui témoignent toujours de l'impuissance du génie, lorsqu'il s'égare à attaquer par la spéculation seule des questions qui ne sont accessibles qu'à l'expérience.

Avant d'exposer les recherches qui ont permis aux physiologistes de remonter en quelque sorte aux sources de la chaleur qui se développe dans l'organisme, il nous semble utile d'examiner d'abord et la distribution statique et le mouvement ou les variations de la chaleur dans les corps organisés. Cette étude préliminaire nous fournira des données précieuses pour résoudre le fond de la question elle-même, c'est-à-dire pour découvrir les causes du développement de la chaleur dans les animaux et dans les plantes.

(1) Voyez l'article de M. le professeur P.-H. Bérard dans le *Répertoire des sciences médicales*, t. VII, p. 191.

DISTRIBUTION DE LA CHALEUR DANS LES ÉTRES ORGANISÉS.

I. Température des animaux.

Si l'on examine la température des animaux, on est frappé des différences qui se révèlent à l'observation, suivant le rang qu'occupe dans l'échelle des êtres l'animal soumis à l'expérience. Tandis que les oiseaux et les mammifères possèdent une température qui leur est propre, et qui est indépendante jusqu'à un certain point de la température du milieu dans lequel ils vivent, les autres vertébrés, semblables en cela à tous les animaux d'un ordre inférieur, sont incapables de résister au même degré aux oscillations de la température extérieure, sans que cependant ils se mettent en équilibre avec elle. Car, dans les circonstances ordinaires, la température des animaux à sang froid est toujours un peu plus élevée que celle du milieu qui les entoure, et leur vie offre cela de particulier qu'elle est compatible avec des variations de chaleur propre qui seraient mortelles pour les animaux à sang chaud.

Avant d'entrer dans le détail des faits qui sont relatifs à la température des animaux, nous dirons un mot sur les instruments qui ont servi à ce genre d'observation.

Ces instruments sont le thermomètre, le thermo-multiplicateur de MM. Nobili et Melloni (1), et l'appareil thermo-électrique plus simple décrit et employé par MM. Becquerel et Breschet (2).

L'usage du thermomètre pour les déterminations de chaleur animale n'est pas exempt de quelques inconvénients. Pour que cet instrument donne des indications exactes, il est nécessaire d'en introduire la boule dans l'intérieur des organes dont on veut déterminer la température; or, les lésions qu'on est souvent obligé de faire dans ce but peuvent occasionner des troubles fonctionnels assez graves pour que la calorification en soit profondément affectée. En outre, dans les circonstances ordinaires, la boule du thermomètre, en se mettant en équilibre de température avec les organes dans lesquels elle plonge, refroidit les parties qu'elle touche immédiatement, et il peut s'écouler quelque temps avant que l'organe ait repris et communiqué à l'instrument sa température initiale. Il est vrai de dire que cet inconvénient sera toujours diminué en employant un thermomètre à petite boule. Mais même dans ce cas,

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, t. XLVIII, p. 207.  
 (2) *Ibid.*, t. LIX, p. 118.

il sera difficile que l'instrument indique les variations brusques de température que l'on pourrait avoir intérêt à constater.

Le multiplicateur thermo-électrique de MM. Nobili et Melloni n'a reçu jusqu'à présent que des applications fort restreintes. Il a servi seulement à déterminer la température de quelques insectes.

Quant aux aiguilles et aux sondes thermo-électriques de MM. Becquerel et Breschet, elles constituent des instruments d'une grande sensibilité, mais cette sensibilité même en constitue le danger. Ces appareils nécessitent l'emploi d'un milieu chaud à température bien constante, et ne différant que d'un petit nombre de degrés de la température de l'organe que l'on veut explorer. La plus légère variation de température dans la source de chaleur constante, par exemple la bouche d'une personne même habituée à cette expérience, suffit pour induire l'observateur en erreur. En outre, les actions chimiques qui interviennent quelquefois entre les liquides de l'économie et les métaux qui les baignent, font naître des courants électro-chimiques capables de troubler les résultats. Mais une pratique éclairée apprend à diminuer et même à éviter ces causes d'erreurs. On peut dire qu'entre des mains habiles les appareils de MM. Becquerel et Breschet deviennent d'un emploi sûr et commode, car il est facile de les introduire dans les organes sans déterminer des lésions très graves.

*Oiseaux.* Parmi tous les animaux à sang chaud, ce sont les oiseaux qui possèdent la température propre la plus élevée; elle varie, suivant les différentes espèces, entre  $40^{\circ},0$  et  $43^{\circ},9$ . En prenant la moyenne de vingt-deux observations faites par J. Davy (1), on trouve que la température moyenne des oiseaux pris en masse s'élève à  $41^{\circ},22$ .

*Mammifères.* Moins élevée que celle des oiseaux, la température propre des mammifères varie, suivant les espèces, entre  $36^{\circ},42$  (2) et  $40^{\circ},5$  (3). J. Davy n'a pas constaté une différence entre la température des herbivores et celle des carnivores; mais les expériences de MM. Prevost et Dumas semblent indiquer que la température des carnivores est un peu plus élevée que celle des herbivores. Quoi qu'il en soit, en réunissant vingt-huit observations que l'on doit à John Davy, on trouve pour température moyenne des mammifères  $38^{\circ},36$ .

La température de l'homme est inférieure à cette moyenne générale. Treize observations faites par Davy, à une température ambiante de  $18^{\circ}$ , donnent

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, t. XXXIII, p. 192.

(2) J. Davy, *Ann. de chim. et de phys.*, t. XXII, p. 435.

(3) *Ibid.*, t. XXIII, p. 191.

pour moyenne  $36^{\circ},86$ . Les expériences de M. Despretz faites sur dix-sept hommes de différents âges, conduiraient au chiffre un peu plus élevé de  $37^{\circ},06$ . Enfin, MM. Becquerel et Breschet ont trouvé pour température moyenne de trois jeunes gens  $36^{\circ},77$ . Ajoutons toutefois que cette température appartient au système musculaire.

La moyenne générale qui exprime la température de l'homme dans nos climats est d'environ  $37^{\circ}$ . Prise sous l'aisselle, elle ne s'élève qu'à  $36^{\circ},54$ .

Il importe d'ailleurs de remarquer que la température des diverses régions du corps d'un animal n'est pas exactement la même. Pour donner une idée des différences que l'on remarque à ce sujet, nous citerons les chiffres suivants obtenus par J. Davy :

Ventricule gauche,  $41^{\circ},64$ ; sang de la carotide,  $41^{\circ},64$ ; poumon,  $41^{\circ},39$ ; parenchyme du foie,  $41^{\circ},39$ ; face intérieure du foie,  $41^{\circ},11$ ; sang de la veine jugulaire,  $40^{\circ},83$ ; rectum,  $40^{\circ},83$ ; cerveau,  $40^{\circ}$ ; aine,  $40^{\circ}$ ; voisinage de la tête du fémur,  $39^{\circ},44$ ; articulation du genou,  $38^{\circ},89$ ; métatarse,  $36^{\circ},11$ ; os du tarse,  $32^{\circ},22$ , et de moins en moins pour les parties superficielles. La différence de température que Davy a constatée entre le sang artériel et le sang veineux, et que ses expériences avaient portée à  $0^{\circ},74$ , a été vérifiée depuis par les expériences de MM. Becquerel et Breschet. Leur procédé étant plus applicable à ce genre de déterminations que le thermomètre employé par Davy, on peut accepter avec confiance la moyenne de leurs résultats qui indique, entre la température du sang artériel et celle du sang veineux des chiens, une différence de  $1^{\circ},01$ .

MM. Becquerel et Breschet ont même constaté une différence de température entre le sang de l'artère carotide et celui de l'artère crurale. Cette différence s'élève à  $0^{\circ},05$  en faveur de la première, ce qui prouve que le sang se refroidit à mesure qu'il s'éloigne du cœur.

Ajoutons encore que les mêmes observateurs ont constaté que la température du tissu cellulaire sous-cutané est inférieure de  $1^{\circ},25$  à celle des muscles qu'il recouvre.

Telles sont les particularités relatives à la température des mammifères. Quant aux variations que subit cette température, lorsque les circonstances extérieures ou les conditions dans lesquelles se trouve placé l'organisme viennent à changer, nous en ferons l'objet d'un chapitre spécial.

*Reptiles* (1). Les reptiles se distinguent des deux classes supérieures des

(1) Martine, *Essays medical and philosophical*, London, 1740. John Hunter, *Philosophical transactions*, 1775. Prevost et Dumas, *Bibliothèque universelle de Genève*, 1821, p. 309. Czer-

vertébrés par la faible quantité de chaleur qu'ils sont capables de produire, et qui ne leur permet pas de lutter contre les variations de la température extérieure. Dans les circonstances ordinaires, leur température ne s'élève en moyenne qu'à un degré au-dessus de celle que possède le milieu ambiant. J'ajouterai cependant qu'à cet égard, les opinions des divers auteurs offrent une assez grande divergence. Czermak et John Davy attribuent aux reptiles une chaleur propre assez notable, et suffisante, dans certains cas, pour éléver leur température jusqu'à 3°, 4°, et même 7°, 34 (*lacerta viridis*, Czermak) au-dessus de celle de l'air ; mais d'autres observateurs sont venus contester ces résultats. Dutrochet a conclu de quelques expériences qu'il a entreprises à ce sujet, que la chaleur propre des reptiles ne se manifeste que par une différence de température de 1/10 à 2/10 de degré. Berthold affirme que les grenouilles, et en général les reptiles à peau humide, possèdent toujours une température inférieure à celle de l'air. Cette dernière proposition peut être vraie dans certains cas ; mais, en somme, elle se trouve contredite par un trop grand nombre d'observations pour qu'il soit possible de l'admettre dans toute sa généralité.

*Poissons.* La température des poissons surpassé de 0°,5 à 1° celle de l'eau dans laquelle ils vivent. MM. Becquerel et Breschet ont constaté une différence de 0°,5 entre la température d'une carpe et celle de l'eau ; cette différence s'est élevée à 0°,86 et 0°,74 dans deux expériences faites par M. Despretz (1) sur une carpe et sur une tanche. Ces résultats confirment les observations de Martine, de Krafft, de Hunter, de J. Davy, et enlèvent toute valeur à l'affirmation de Berthold, qui prétend que la température des poissons ne diffère pas de celle du milieu qui les entoure. Ajoutons cependant que les déterminations relatives à la température des poissons sont loin de présenter une certitude absolue ; car la plupart des observateurs ont fait leurs expériences sur des poissons tirés de l'eau, comparant ainsi la température que ces animaux avaient prise dans l'air à celle de l'eau qu'ils venaient de quitter.

*Insectes.* MM. Melloni et Nobili ont cherché à évaluer la température des insectes en mesurant, à l'aide du thermo-multiplicateur, la chaleur rayonnante qui émane du corps de ces animaux. Ces physiciens distingués ont opéré sur plus de quarante espèces indigènes, et, négligeant de donner les détails de leurs observations, ils se sont contentés de dire que les insectes possèdent une

mak, *Journal de physique de Baumgartner*, 1821. Berthold, *Nouvelles observations sur la température des animaux à sang froid*. Göttingue, 1833, en allem. Dutrochet, *Sur la chaleur des êtres vivants à basse température*. Ann. des sciences naturelles, Zool., t. XIII, p. 3.

(1) Ann. de chim. et de phys., t. XXVI, p. 207.

température tant soit peu supérieure à celle du milieu ambiant. Cette proposition ne saurait être contestée. Les expériences de John Davy, que nous avons si souvent cité, celles de Becquerel et Breschet, enfin les observations plus récentes de M. Newport (1) conduisent également au résultat que nous venons d'énoncer. Il paraît même hors de doute que la chaleur propre des insectes est plus considérable que celle qui appartient aux reptiles et aux poissons. L'abeille commune, les frelons, possèdent, à l'état de larves, une température supérieure de 1°,11 à 2°,22 à celle du milieu ambiant, tandis qu'à l'état d'insecte parfait ils présentent un excès de température qui peut s'élever de 3° à 8°. Il est permis de généraliser l'observation précédente. Les larves ne possèdent jamais au même degré que les insectes parfaits la faculté de produire de la chaleur. Une remarque importante, c'est que dans l'intérieur des ruches d'abeilles, et en général dans les lieux où un grand nombre d'insectes se trouvent réunis, le thermomètre peut indiquer un excès de température plus considérable que celui qui appartient à l'insecte isolé. C'est que les insectes échauffent peu à peu l'air qui les entoure, et comme ils continuent à produire de la chaleur, il peut se faire qu'au bout de quelque temps la température de la ruche, isolée par des corps mauvais conducteurs, soit sensiblement plus élevée que la température initiale de l'insecte. Cette circonstance, souvent négligée par les observateurs, jette peut-être quelque incertitude sur les déterminations thermométriques faites en introduisant les insectes avec la boule du thermomètre dans de petites fioles en verre.

*Mollusques, crustacés, annélides.* La chaleur propre que développent ces animaux est extrêmement faible; elle ne s'élève qu'à quelques dixièmes de degré au-dessus de la température du milieu ambiant. D'après quelques expériences de Spallanzani (2), la température des limaces serait supérieure de 1/8 à 1/4 de degré à la température de l'air ambiant. Dans un travail plus récent, M. Valentin (3) est arrivé à des résultats analogues, relatifs à quelques mollusques et à deux crustacés marins. Malheureusement, ces déterminations présentent quelques difficultés lorsqu'il s'agit d'animaux qui vivent dans l'eau, en raison de la couche d'eau qui adhère à leur surface et qui, en se vaporisant, les refroidit continuellement. C'est cette cause d'erreur qui a influé peut-être sur les résultats de Berthold et de John Davy, d'après lesquels la température de certains crustacés et mollusques serait égale ou inférieure à celle de l'eau dans laquelle ils vivent.

(1) *Philosophical transactions*, 1837, t. II, p. 259.  
 (2) *Mémoires sur la respiration*, traduits par Sennebier, p. 257, Genève, 1803.  
 (3) *Répertoire d'anatomie et de physiologie*, t. IV, p. 359, 1839, en allemand.

## II. Température des végétaux.

On a longtemps discuté sur la question de savoir si les végétaux pouvaient éléver leur température au-dessus de celle de l'air. Des expériences déjà anciennes, dues à J. Hunter (1), paraissent établir que les troncs d'arbres possèdent une température supérieure de 1 à 2° à celle de l'air environnant. Ce résultat a été tour à tour confirmé et rejeté par des observateurs plus modernes, parmi lesquels nous citerons Schoepf (2), Nau (3), Schubler (4) et Goeppert (5). Nous ne discuterons pas les expériences qu'ils ont entreprises, et nous nous contenterons de dire que les températures indiquées sont généralement trop élevées. C'est que les observations de ce genre sont très délicates, et il n'est pas toujours facile de reconnaître et d'éviter les causes d'erreur qui peuvent troubler les résultats. Les troncs d'arbres, on le sait, sont de mauvais conducteurs de la chaleur, ils s'échauffent lentement le jour, ils se refroidissent lentement la nuit. Leur partie centrale est constamment traversée par la sève ascendante qui peut conserver pendant quelque temps la température du sol dans lequel les racines viennent la puiser sans cesse (6). De plus, les feuilles exhalent de l'eau, de l'oxygène, de l'acide carbonique, et ces phénomènes constituent autant de causes de refroidissement. Ces circonstances ont souvent été méconnues ou négligées, et c'est pour cela que la question qui nous occupe est restée si longtemps indécise.

Cependant, les faits qui se passent journellement sous nos yeux devaient faire pressentir qu'en réalité les plantes ne sont pas dépourvues de la faculté de produire de la chaleur. Des observations nombreuses prouvent en effet que des végétaux et même des parties végétales délicates comme des feuilles ou des fleurs, résistent quelquefois à des froids intenses, et dans bien des cas il paraît difficile d'expliquer cette résistance, sans admettre dans la plante elle-même l'existence d'une source de chaleur, si faible qu'elle puisse être. Les expériences récentes de M. Dutrochet (7) confirment cette prévision et ne permettent plus de conserver un doute à cet égard. A l'aide des aiguilles thermo-électriques, M. Dutrochet a pu déterminer la température de parties végétales très tendres, de jeunes pousses, de bourgeons, de fruits, placés

(1) *Transact. philos.*, vol. LXV, 1773, et *Journal de physique de Rozier*, t. XVII, 1781.

(2) *Sur la température des plantes dans le Naturforscher*, cahier XXIII, Halle, 1788.

(3) *Annales de la Société de Wetteravia*, t. I.

(4) *Observations sur la température des végétaux*, dissertation inaugurale, Halle, 1823, et *Annales de Poggendorff*, vol. X, 1827.

(5) *Sur le développement de la chaleur dans les plantes vivantes*.

(6) Rameaux, *Des températures végétales*, *Ann. des sciences naturelles*.

(7) *Ann. des sciences naturelles*, Bot., t. XIII, p. 5.

dans une atmosphère saturée d'humidité, et comparer cette température à celles de parties semblables, mais mortes et placées d'ailleurs dans les mêmes circonstances. Les expériences ont toujours fourni un excès de température en faveur des parties vivantes, et cet excès a varié de quelques centièmes à trois dixièmes de degré. M. Dutrochet a fait en outre la remarque intéressante que la chaleur propre des végétaux atteint chaque jour un maximum, qui ordinairement correspond à l'heure où la plante reçoit la plus grande somme de chaleur et de lumière.

#### MOUVEMENT DE LA CHALEUR DANS LES ÉTRES ORGANISÉS.

##### I. Variations de la température des animaux.

Après avoir étudié, dans ce qui précède, la manière dont la chaleur est distribuée dans la série animale et dans les plantes, nous devons rechercher maintenant les variations que subit, suivant les circonstances, la température d'un seul et même individu.

Ce mouvement de la chaleur dans les êtres organisés constitue un phénomène général et qui varie seulement par les limites dans lesquelles il s'accomplit. Nous l'avons déjà dit, les circonstances extérieures et les changements qui peuvent survenir dans l'organisme lui-même ne font varier que d'un petit nombre de degrés la température des oiseaux et des mammifères. Il en est autrement pour tous les animaux inférieurs. Les reptiles, les poissons et les animaux invertébrés ne produisent qu'une quantité de chaleur incapable de les mettre à l'abri des changements de la température extérieure.

Dans les développements que nous avons à présenter, nous laisserons de côté tous les animaux à sang froid, et nous nous attacherons principalement à étudier les variations qu'éprouve la température des animaux supérieurs et de l'homme en particulier. Elles dépendent soit d'une augmentation dans la faculté de produire de la chaleur, soit de l'action toujours bornée de la température extérieure. Nous aurons donc à examiner successivement l'influence qu'exercent sur la température de l'homme et des animaux les circonstances hygiéniques, et les conditions physiologiques et pathologiques dans lesquelles ils se trouvent placés.

*Age.* Il résulte des expériences de W. Edwards (1), que chez certains animaux

(1) *De l'influence des agents physiques sur la vie*, p. 132, Paris, 1824.

L'âge exerce une influence marquée sur la faculté de produire de la chaleur. C'est surtout chez les jeunes mammifères qui naissent les yeux fermés et chez les oiseaux qui éclosent sans duvet qu'on observe ces variations. Au moment de leur naissance et tant qu'ils sont abrités par le gîte commun, leur température ne diffère pas de celle de la mère. Mais dès qu'on les isole, ils se refroidissent d'autant plus rapidement que leur peau est moins garantie contre l'influence du rayonnement ou le contact des corps bons conducteurs. Les lapins, par exemple, qui naissent la peau presque nue, se refroidissent plus vite que les chiens ou les chats nouveau-nés. D'ailleurs, au bout de peu de temps, ordinairement de quinze jours, la constitution de ces jeunes animaux se modifie et leur permet de se passer, du moins pour la fonction dont il s'agit, du secours de la mère. On peut dire que les jeunes mammifères et les oiseaux qui présentent ces différences remarquables sous le rapport de la température, naissent à l'état d'animaux à sang froid et ne prennent que graduellement les caractères des animaux à sang chaud.

Chez l'homme lui-même la faculté de produire de la chaleur paraît augmenter avec l'âge. Les jeunes enfants, si sensibles aux causes de refroidissement, ont une température un peu inférieure à celle des adultes. A la vérité, quelques observations de Davy tendent à prouver que la température de l'enfant naissant l'emporte de  $1/2$  degré sur celle de la mère, et que cette différence peut même s'élever à  $1^{\circ}$  dans les douze heures qui suivent la naissance. D'après une autre expérience du même auteur, la température d'un agneau surpasserait aussi de  $1^{\circ}$  celle de sa mère. Mais il est impossible de généraliser ces résultats; il est même difficile de les expliquer. Les expériences de W. Edwards, observateur si consciencieux, prouvent positivement le contraire. En prenant la température de dix enfants bien portants et âgés de quelques heures à dix jours, et en comparant la moyenne obtenue à la température moyenne de vingt adultes, Edwards a trouvé en faveur de ces derniers une différence de  $1^{\circ},37$ .

*Climats, Saisons.* J. Davy a entrepris quelques expériences sur la température de l'homme lorsqu'il passe d'un climat froid ou tempéré dans un climat chaud. Ses observations ont porté sur sept individus toujours les mêmes, mais passant sous des latitudes différentes. En prenant la moyenne des résultats obtenus, il en a tiré cette conclusion que la température de l'homme s'élève de  $1^{\circ}$  lorsqu'il arrive à la région des tropiques.

Sans doute il est permis d'étendre cette conséquence à tous les cas où le corps de l'homme se trouve soumis à des variations notables de température. Il est probable que, sous l'influence des froids rigoureux de l'hiver, le corps

de l'homme se refroidit un peu, et que d'un autre côté sa température peut monter de 1° lorsqu'il est exposé aux chaleurs de l'été. Remarquons cependant que lorsque ce passage s'effectue lentement, il est fort possible que l'économie s'y prépare et qu'elle trouve en elle des ressources qui lui permettent de maintenir la température du corps sensiblement constante. C'est ainsi du moins qu'on peut expliquer les résultats de W. Edwards, qui n'a pas remarqué de différence dans la température des animaux à sang chaud en été et en hiver.

Quoi qu'il en soit, si l'on a constaté des changements dans la température du corps, suivant les climats et les saisons, il importe de remarquer que ces changements s'accomplissent toujours dans des limites fort restreintes. Les habitants du Groënland, les voyageurs qui explorent les glaces polaires, peuvent éléver la température de leur corps à 70 et même à 80° au-dessus de celle du milieu ambiant, de sorte que leur chaleur propre est à peine inférieure à celle que possèdent les nègres qui parcourent les déserts brûlants de l'Afrique.

Ce phénomène de la résistance que l'organisme oppose aux variations de la température extérieure mérite toute notre attention. Cherchons à en évaluer les limites et à en apprécier les causes.

Une observation déjà ancienne de Tillet et de Duhamel (1) a démontré d'abord que le corps de l'homme peut supporter des températures bien supérieures à celles du climat le plus chaud. En 1760, ces académiciens virent entrer une fille de boulanger dans un four dont ils évaluèrent la température à 128°; elle y passa douze minutes sans être gravement incommodée par cette chaleur excessive. Ces observations furent confirmées en 1775 par Fordyce, Banks, Blagden et Solander, et Dobson (2), et plus récemment par MM. Dejaroste et Berger (3). Ces derniers, en variant leurs expériences et en opérant dans l'air sec, dans la vapeur aqueuse et dans l'eau, ont observé toutes les conditions du phénomène dont il s'agit, en même temps qu'ils en ont assigné les causes. Ils ont trouvé que, dans un air sec, une température de 45° constitue la limite au-delà de laquelle les animaux vertébrés ne sauraient vivre longtemps. Cependant ils ont constaté aussi que pour un court espace de temps, l'homme pouvait dépasser de beaucoup cette limite. C'est ainsi que Berger supporta pendant sept minutes une chaleur de 109°,48.

Les sensations que font éprouver l'air humide et les vapeurs aqueuses sont

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1764, p. 185.

(2) *Transact. philos.*, année 1775, p. 111 et 463-484.

(3) *Expériences sur les effets qu'une forte chaleur produit sur l'économie*.

beaucoup plus intenses, à égalité de température. Delaroche ne put supporter plus de dix minutes et demie un bain de vapeur qui, d'abord à 37°,5, s'était élevé, dans l'espace de huit minutes, à 51°,25, et baissa ensuite d'un degré. On conçoit sans peine que l'eau liquide agisse plus fortement encore sur l'économie. Tout le monde sait qu'il est impossible de supporter des bains dont la température est de 40 à 45°.

Nous pouvons nous demander maintenant quelle est l'influence d'une chaleur excessive sur la température du corps. Delaroche a constaté que sa température a augmenté de 5° par un séjour de huit minutes dans une étuve dont l'air était à 80°, et des expériences faites sur des mammifères et des oiseaux ont prouvé que la température de ces animaux pouvait s'élever de 6°,25 à 7°,18 avant que la mort ne survienne.

On le voit, cette augmentation de chaleur propre est faible relativement à l'élévation de la température extérieure, et si nous cherchons la cause de cette résistance extraordinaire, nous la trouvons sans peine dans une circonstance purement physique, et que Franklin déjà avait invoquée. Quand les animaux sont soumis à l'action d'une température élevée, leur corps se couvre d'une sueur abondante et se trouve refroidi par une exhalation continue de vapeur d'eau. Sans entrer à cet égard dans des détails qui nous écarteraient de notre sujet, nous rappellerons seulement une expérience de Delaroche et Berger. Ces observateurs ont introduit dans une étuve un alcarazaz, deux éponges mouillées et une grenouille. La température du vase et des éponges avait été élevée préalablement au niveau de celle des animaux à sang chaud; la chaleur de l'étuve varia entre 52°,5 et 61°,25. Au bout d'un quart d'heure, le vase, les éponges et la grenouille avaient une température presque uniforme, et sensiblement égale à celle des animaux à sang chaud. Ce qu'il y a de frappant dans cette expérience, c'est que la grenouille, dont la température primitive était de 21°,25, après s'être échauffée à 37°,25, n'a plus dépassé ce terme, mais s'est maintenue, comme l'alcarazaz et les éponges, de 15° à 21°,5 au-dessous de la température de l'étuve.

Cette expérience peut se passer de commentaires, et elle est bien faite pour prouver que si la température de l'homme et des animaux ne s'accroît qu'en faible proportion avec la température extérieure, cela tient au refroidissement produit par l'évaporation, et nullement à cette résistance vitale que l'ignorance où l'esprit de système ont tant de fois invoquée.

Il est tout aussi inutile d'avoir recours à l'intervention d'une force occulte, lorsqu'il s'agit d'expliquer la résistance qu'oppose l'organisme à l'action d'un

froid intense. Nous verrons plus loin qu'il faut chercher la cause de ce phénomène dans l'exaltation des fonctions qui sont chargées de produire la chaleur. Pour le moment il serait prématuré de nous livrer à cette discussion, et nous nous contenterons d'exposer quelques faits.

Dans le célèbre voyage du capitaine Parry, les équipages furent souvent exposés aux froids les plus intenses que l'homme puisse supporter. Le thermomètre descendait quelquefois à  $-40^{\circ}$  et même à  $-46^{\circ}$  c., et cependant le capitaine Parry assure que la température de son corps n'avait pas sensiblement baissé.

Nous avons déjà cité les expériences de W. Edwards relativement au refroidissement des jeunes animaux. Ajoutons seulement que ce refroidissement peut être assez considérable sans que la mort survienne immédiatement; il y a souffrance chez les chiens et les chats nouveau-nés dès que la température de leur corps s'abaisse de 2 à 3 degrés; mais la mort n'arrive que lorsque ce refroidissement atteint 15 ou 20 degrés. Il est probable qu'à l'état adulte ces mammifères et l'homme lui-même succomberaient à un refroidissement de 5 à 6 degrés.

Il y a des mammifères qui, pendant tout le cours de leur vie, conservent une ressemblance frappante avec les jeunes animaux dont nous venons de parler. Ce sont les animaux hibernants, tels que la marmotte, le loir, le muscardin, le hamster, le hérisson, la chauve-souris, le blaireau et l'ours. Pendant l'été, ils vivent, ils respirent et ils s'échauffent comme les autres animaux de leur classe; mais quand viennent les froids de l'hiver, leur température baisse, et ne se soutient que d'un petit nombre de degrés au-dessus de la température ambiante. Dans de certaines limites, la vie de ces animaux résiste au refroidissement, ils tombent seulement dans un engourdissement profond pour se ranimer plus tard à la chaleur du printemps.

La science ne possède que quelques observations relativement à la température que prennent ces animaux pendant l'hivernation. M. de Saissy (1) a vu souvent la température de la marmotte, du hérisson, du muscardin et de la chauve-souris descendre à  $4^{\circ}$ ,  $3^{\circ}$  et même  $2^{\circ} \frac{1}{4}$ , par un froid de  $1^{\circ},5$  au-dessous de zéro.

Tels sont les mouvements de la chaleur propre des animaux sous l'influence des climats et des saisons, ou des variations accidentelles de température que l'on peut y rattacher.

(1) *Physique des animaux hivernants*, p. 11.

Avant de quitter ce sujet, nous rappellerons encore une observation de MM. Becquerel et Breschet (1), qui ont constaté que le passage des plaines sur les montagnes, et réciproquement, n'apportait aucune variation dans la température du corps, et que le séjour prolongé pendant quelques années dans les hautes régions des Alpes ne modifie pas d'une manière appréciable la température de l'homme.

*Mouvements musculaires.* Les mêmes auteurs ont mis hors de doute que le travail musculaire dégage de la chaleur. Suivant eux, un muscle qui se contracte augmente sa propre température de 1° environ.

*Differentes heures du jour.* D'après les expériences de M. Chossat (2), la chaleur animale éprouve toutes les vingt-quatre heures une oscillation régulière en vertu de laquelle elle s'élève pendant le jour et s'abaisse pendant la nuit. L'amplitude de cette oscillation diurne s'élève à 0°,74, et paraît être complètement indépendante des variations de la température extérieure.

*Régime.* Il est impossible de mettre en doute l'influence que le régime et la nature de l'alimentation exercent sur la production de la chaleur, et par suite sur la température du corps. Nous reviendrons sur ce sujet en discutant les causes de la chaleur animale, et nous nous bornons pour le moment à citer les expériences remarquables de Chossat (3) sur le refroidissement qui survient pendant l'abstinence et l'inanition. Des tourterelles, des poules, des lapins et des cochons d'Inde ayant été soumis à une abstinence complète, on a remarqué que leur température subissait chaque jour un décroissement régulier et égal en moyenne à 0°,3, mais qui le dernier jour a atteint 14°. Ceci revient à dire que pendant le dernier jour de la vie la chaleur animale, en moyenne, a baissé quarante-sept fois plus rapidement que dans chacun des jours précédents. Un autre fait remarquable qui découle des expériences de M. Chossat c'est que l'inanition a pour effet d'accroître progressivement l'oscillation diurne de la chaleur jusqu'à ce que le refroidissement devienne assez grand pour que la réaction ascensionnelle ne s'opère plus pendant le jour, et que l'animal périsse prochainement de froid.

*Maladies.* Dans un grand nombre de maladies la température du corps humain subit des variations qui ont pu être constatées par l'expérience. Malheureusement une foule de données contradictoires et de notions inexactes se sont accréditées en médecine à côté de quelques faits que l'on peut regarder comme certains. Il ne faut pas s'en étonner, car les observateurs se sont sou-

(1) *Loc. cit.*

(2) *Ann. des sciences naturelles*, 3<sup>e</sup> série, Zool., t. XX, p. 294.

(3) *Loc. cit.*

vent rapportés à cet égard aux sensations accusées par les malades, et l'expérience prouve que rien n'est plus trompeur (1).

On peut dire d'une manière générale que sous l'influence d'une phlegmasie la température s'élève dans l'organe affecté. C'est du moins la conséquence qu'il est permis de tirer des expériences de Hunter (2), confirmées par MM. Becquerel et Breschet. Hunter a exploré à deux reprises différentes la tunique vaginale d'un homme, d'abord immédiatement avant la ponction, et en second lieu après le développement de l'inflammation. Le même auteur a introduit un thermomètre dans le thorax d'un chien avant et après l'invasion de la pleurésie, dans la fesse d'un âne avant et après la période de l'inflammation traumatique. Dans tous ces cas, il a constaté une élévation de température coïncidant avec l'inflammation.

Cette élévation a été assez notable dans les expériences de MM. Becquerel et Breschet. Chez une jeune fille qui se trouvait dans un état fébrile bien marqué, la température d'une tumeur scrofuleuse enflammée était supérieure de 2°,50 à la température de la bouche. Les auteurs ajoutent que les parties suppurrantes, loin de participer à cet accroissement, peuvent même présenter une température inférieure à celle du corps en général.

On a beaucoup discuté sur la température des membres paralysés. Vingt-cinq observations recueillies à l'hôpital de Bath paraissaient prouver que la chaleur diminue dans les cas de paralysie, quand les expériences de MM. Becquierel et Breschet sont venues jeter quelques doutes sur ces résultats. M. Gavarret (3) a trouvé la clef de ces contradictions, en observant qu'à l'entrée des malades à l'hôpital la température du membre paralysé est toujours inférieure de 1 à 2° à celle du membre sain, et que cette différence tend à disparaître quand la chaleur du lit et le repos permettent une répartition plus uniforme de la température. On peut admettre d'après cela que les membres paralysés opposent dans tous les cas une résistance moins grande au refroidissement que les membres sains.

Rien ne prouve mieux les erreurs auxquelles peuvent donner lieu les sensations accusées par les malades, que les observations que l'on a faites sur la température du corps pendant les accès de fièvre intermittente. Dans le premier stade de cette maladie, quand les malades grelottent sous leur couverture, M. Gavarret a souvent constaté une augmentation de température de 3 à 4°. Dans le stade suivant la température des malades peut s'élever jusqu'à 42°.

(1) Gavarret, *Recherches sur la température du corps humain dans la fièvre intermittente*, broch., Paris, 1843. L'Expérience, 11 juillet 1839.

(2) *Répert. des sciences médicales*, t. VII, p. 190.

(3) Gavarret, *Recherches*, etc., p. 26.

Toutes les fièvres ne présentent pas des phénomènes d'une égale intensité. Ainsi Haller a vu le thermomètre s'élever, dans la fièvre jaune, à  $38^{\circ}89$ ; dans une fièvre intermittente, à  $41^{\circ}11$  et  $42^{\circ}22$ ; dans une fièvre continue, à  $42^{\circ}8$ .

Dans le choléra, au contraire, la chaleur propre du corps baisse au-dessous de l'état normal. MM. Girardin et Gaimard ont vu la température de la langue d'un cholérique descendre à  $28^{\circ}75$ , et celle des pieds, à  $24^{\circ}69$ , ce qui donne une différence de  $8^{\circ}$  au-dessous de la température moyenne de la bouche à l'état normal.

Chose remarquable, dans la phthisie pulmonaire, où les sources de chaleur sont gravement troublées dans l'économie, on observe néanmoins une augmentation de température, du moins dans certaines régions. Il paraît résulter des expériences de M. Donné, que dans cette affection, la température du corps s'élève quelquefois au niveau de celle que l'on observe dans les fièvres les plus violentes.

## II. Variations de température dans les végétaux.

Nous n'avons pas l'intention de parler ici des limites de température entre lesquelles les végétaux peuvent exister. Nous voulons seulement appeler l'attention sur un phénomène qui a cela de frappant, qu'il révèle une analogie inattendue entre certaines phases de la vie des plantes et les fonctions qu'accomplissent les animaux eux-mêmes.

Tout le monde a pu observer que les organes les plus délicats des plantes, les fleurs, résistent quelquefois à des froids intenses. Il semble que des organes si minces, d'ailleurs imprégnés de parties liquides, devraient se mettre facilement en équilibre de température avec la neige qui les couvre quelquefois.

Il n'en est rien cependant; ces fleurs résistent au refroidissement, et cette résistance nous indique déjà qu'elles sont capables de produire de la chaleur. Dans certains cas, cette production de chaleur se manifeste d'une manière non douteuse. C'est Lamark qui constata le premier, en 1777, que la fleur de l'*arum italicum* possède une température plus élevée que les autres parties de la plante. Sennebier étendit cette observation à l'*arum maculatum*, et Hubert affirme qu'à l'Ile-de-France le spadice de l'*arum cordifolium* acquiert une température de  $44$  et même  $49^{\circ}$ , celle de l'air étant de  $19^{\circ}$ .

Ces faits ont été confirmés par les expériences plus récentes de M. Ad. Brongniart et de MM. Vrolik et Vriesé (1). M. Adolphe Brongniart a fait la

(1) *Ann. des sciences naturelles*, Bot., 2<sup>e</sup> série, t. XI, p. 65.

remarque intéressante que la température de l'*arum cordifolium*, que les botanistes appellent aujourd'hui *colocasia odora*, s'élève tous les jours, comme par une sorte de paroxysme, de manière à atteindre un maximum placé d'abord de midi à quatre heures, et qui plus tard a lieu dans la matinée. D'ailleurs la chaleur se trouve inégalement distribuée dans les différentes parties de la fleur. On observe que la température des anthères est en général plus élevée que celle des pistils, qui eux-mêmes s'échauffent plus que la spathe.

Nul doute qu'il ne soit permis d'étendre à d'autres fleurs les observations si concluantes qu'on a faites sur celles des aroïdes. Les expériences de M. Th. de Saussure (1) paraissent prouver que le dégagement de chaleur pendant la floraison constitue un fait général, mais qui peut échapper à nos moyens d'observation à cause de sa faible intensité. Il serait nécessaire d'ailleurs d'appliquer les appareils thermo-électriques à l'étude de ces phénomènes, dont les causes devront être discutées plus tard.

La floraison et la fécondation ne sont pas les seules phases de la vie végétale, qui donnent lieu à une production de chaleur; tout porte à croire que pendant la germination la température de la graine peut s'élever au-dessus de la température du milieu ambiant. L'expérience a démontré, en effet, que pendant la germination d'un amas d'orge il se développe une chaleur assez considérable.

#### SOURCES DE LA CHALEUR DANS LES ÉTRES ORGANISÉS.

##### Causes de la chaleur animale.

Dans les réactions chimiques qui se passent journalement sous nos yeux, nous voyons que, toutes les fois qu'un corps se combine à un autre, cette combinaison donne lieu à un dégagement de chaleur. Ce phénomène est remarquable par sa généralité; il se rapporte aussi bien aux combinaisons des corps simples entre eux qu'à celles qui s'effectuent entre des corps composés, et, dans les cas où l'on peut le mesurer, il ne diffère que par l'intensité qu'il présente.

Du bois qui se consume dans un foyer ardent dégage une somme de chaleur d'autant plus grande que la combustion est plus active et plus rapide.

Un amas de débris végétaux qui fermente n'absorbe l'oxygène que lentement, se consume peu à peu et occasionne un dégagement de chaleur beaucoup moins intense.

(1) Ann. de chim. et de phys., t. XXI, p. 297.

Dans le premier cas, l'oxydation est énergique et rapide, tandis que dans le second cas elle s'accomplit lentement; mais, qu'elle soit rapide ou lente, toujours nous voyons se développer une quantité de chaleur proportionnelle à l'intensité de la réaction.

Les phénomènes chimiques qui s'accomplissent pendant la respiration diffèrent à peine de ces phénomènes de combustion lente dont nous venons de parler. Les uns et les autres ont pour résultat de ramener, par une série d'oxydations successives, des molécules organiques complexes à des formes de plus en plus simples, et de les transformer finalement en eau, acide carbonique et ammoniaque.

Si les combustions lentes qui se passent sous nos yeux, et dont nous pouvons à la fois suivre les phases et mesurer les effets, dégagent toujours de la chaleur, il doit en être de même pour les réactions analogues qui se passent dans l'économie. L'oxydation que subissent les matériaux du sang dans le cours de la circulation est donc une source constante de chaleur.

Voilà un résultat auquel nous conduisent l'expérience et l'analogie : ce résultat constitue une des plus belles découvertes que l'on ait faites dans les temps modernes.

C'est Lavoisier qui l'énonça le premier vers 1777.

Les recherches qu'il avait entreprises sur la respiration des animaux le conduisirent à reconnaître que les poumons exhalent de l'acide carbonique, et dès lors il compara ce phénomène à celui de la combustion, qu'il avait si bien étudié. Mais son génie prévoyant ne se contenta pas d'établir ce rapprochement : du même coup il saisit l'analogie des phénomènes, et traça d'une main sûre la route que l'expérience devait suivre pour vérifier ces vues théoriques. En un mot, il posa le problème de la chaleur animale avec cette précision admirable qui fait de tous ses travaux des modèles de clarté et de profondeur.

Lavoisier appliqua à l'étude de cette question les méthodes exactes qui lui étaient devenues familières. Dans ses recherches sur la respiration, il détermina d'une part la quantité de glace fondue par le séjour d'un cochon d'Inde dans le calorimètre pendant un temps donné, et de l'autre la quantité d'acide carbonique exhalée dans le même temps par un autre animal de la même espèce. Pour comparer la chaleur abandonnée par l'animal à celle qu'avait dû fournir la combustion du carbone expiré à l'état d'acide carbonique, il ne lui restait plus qu'à calculer la quantité de glace qui se serait fondue par la formation d'un poids d'acide carbonique égal à celui que l'animal avait expiré. Ce calcul était chose facile ; car leurs recherches sur le calorique avaient appris à La-

voisier et Laplace que la chaleur dégagée par la formation d'une once d'acide carbonique était capable de fondre 26,692 onces de glace.

Lavoisier a pu déduire de ces expériences, qu'en représentant par 10 la quantité de chaleur dégagée par la respiration, pendant un temps donné, celle que l'animal abandonnait au calorimètre pendant le même temps était sensiblement égale à 13. Il y avait donc un excès en faveur de la chaleur produite dans l'organisme ; mais Lavoisier ajoute que cet excès tend à disparaître lorsque l'on tient compte des causes d'erreurs inhérentes à sa méthode, et parmi lesquelles il signale surtout le refroidissement des extrémités de l'animal dans l'intérieur du calorimètre.

Dans son mémoire sur la mesure de la chaleur, il formule ainsi ses conclusions (1) :

« Lorsqu'un animal est dans un état permanent et tranquille, lorsqu'il peut vivre pendant un temps considérable sans souffrir dans le milieu qui l'envi, ronne ; en général lorsque les circonstances dans lesquelles il se trouve n'altèrent point sensiblement son sang et ses humeurs, de sorte qu'après plusieurs heures le système animal n'éprouve point de variations sensibles, la conservation de la chaleur animale est due, au moins en grande partie, à la chaleur que produit la combinaison de l'air pur respiré par les animaux avec la base de l'acide carbonique que le sang lui fournit. »

Quelques années plus tard, en 1785, Lavoisier fit faire un nouveau pas à la question : en comparant le volume de l'air qui avait servi à entretenir la respiration, au volume qu'il avait occupé avant l'expérience, il trouva qu'il y avait constamment disparition d'une certaine quantité d'oxygène, qui n'était pas employé à former de l'acide carbonique. Lavoisier a cru pouvoir admettre que cet oxygène formait de l'eau avec l'hydrogène contenu dans le sang, et que cette combustion, à son tour, développait une certaine quantité de chaleur, dont il n'avait pas pu tenir compte dans ses premières expériences avec Laplace.

Dès lors sa conviction fut complète, et dans son dernier travail, fait en commun avec Seguin, il résuma sa pensée par une comparaison aussi ingénieuse que vraie (2). « En partant, dit-il, des connaissances acquises, et en nous réduisant à des idées simples que chacun puisse facilement saisir, nous dirons d'abord que la respiration n'est qu'une combustion lente de carbone et d'hydrogène, qui est semblable en tout 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 corps combustibles qui brûlent et se consument. »

(1) *Mémoires de Lavoisier*, t. I, p. 117.

(2) *Ibid.*, t. II, 5<sup>e</sup> mémoire sur la respiration, p. 58.

La théorie de Lavoisier sur la respiration était cependant sujette à une objection, qui portait, non sur la manière dont il avait envisagé le phénomène en lui-même, mais sur le siège qu'il lui avait attribué. Si la combustion du carbone et de l'hydrogène du sang s'effectuait dans le poumon lui-même, comme Lavoisier paraît l'avoir admis de préférence, il serait difficile d'expliquer pourquoi la température de cet organe ne diffère pas sensiblement de celle des autres parties du corps. A la vérité, on avait essayé de résoudre cette difficulté. Lavoisier (1) admettait que l'effet dont il s'agit était dû à plusieurs causes : la première est la rapidité de la circulation du sang, qui transmet promptement jusqu'aux extrémités des corps la chaleur qu'il reçoit dans les poumons ; la seconde cause est l'évaporation que la chaleur produit dans ces organes, et qui diminue le degré de leur température. Seguin (2) alla plus loin. S'appuyant sur une expérience de Crawford, qui admettait que la capacité calorifique du sang artériel était plus considérable que celle du sang veineux, le collaborateur de Lavoisier proposa, pour expliquer la distribution de la chaleur dans les diverses parties de notre corps, la théorie ingénieuse que voici : Le calorique, dit-il, qui se dégage par la combinaison de l'oxygène avec l'hydrogène carboné du sang veineux est absorbé par le sang artériel, dont la capacité est augmentée ; mais dans le cours de la circulation, ce sang artériel reçoit de nouveau une certaine quantité d'hydrogène carboné, et sa capacité se trouvant diminuée par cette absorption, il abandonne pendant son trajet une portion du calorique qu'il avait absorbé dans les poumons. Ce calorique se porte sur les parties environnantes, et élève la température des organes d'une manière à peu près uniforme.

L'expérience de Crawford sur la capacité calorique des deux espèces de sang n'avait jamais inspiré une grande confiance, et John Davy n'eut pas de peine à en démontrer la fausseté. La théorie de Seguin sur la distribution de la chaleur animale semble donc pécher par la base, et, il faut bien en convenir, avec elle s'écroule l'opinion qui tend à regarder le poumon comme le siège de la calorification.

Plus tard, Lagrange prouva, à l'aide du calcul, que cet organe ne résisterait pas à la chaleur produite par la combustion du carbone et de l'hydrogène du sang, si cette combustion devait s'effectuer dans les cellules pulmonaires. D'après Lagrange et Hassenfratz (3), l'oxygène absorbé et faiblement enchaîné par le sang dans l'intérieur du poumon ne se combine que pendant le cours de la circu-

(1) *Mémoires de Lavoisier*, t. I, p. 116.

(2) *Ibid.*, t. II (3<sup>e</sup> Mémoire sur la respiration), p. 36.

(3) *Ann. de chim.*, t. IX, p. 261.

lation au carbone et à l'hydrogène des matières destinées à être brûlées. L'acide carbonique produit reste dissous dans le sang, et s'exhale dans les potomons en vertu des lois qui régissent les échanges des gaz dissous dans les liquides. Les fonctions du poumon se bornent donc à une absorption et à une exhalation de produits gazeux, et les phénomènes de combustion et de calorification se passent dans le cours de la circulation, et principalement dans les capillaires.

La théorie de Lagrange a reçu peu à peu l'assentiment de tous les physiologistes. Elle a été confirmée par les expériences de Spallanzani et d'Edwards, qui ont démontré que chez les animaux à sang froid, la formation de l'acide carbonique continue dans les gaz qui ne contiennent pas d'oxygène. D'ailleurs la présence de l'acide carbonique dans le sang a été vérifiée par des expériences directes; nous citerons en particulier celles qui ont été publiées récemment par M. Magnus,(1).

Le doute n'est donc plus permis; la modification apportée par Lagrange et Hassenfratz à la théorie de Lavoisier est justifiée par l'ensemble des faits. Mais remarquons que cette modification ne touche qu'à un côté de la question; elle a trait, non pas à la nature des phénomènes de la respiration et de la calorification, mais au lieu où ces phénomènes s'accomplissent dans l'économie. Et même si nous voulions remonter à l'origine de cette théorie, nous en trouverions le germe dans le mémoire de Lavoisier lui-même.

Voici comment ce dernier s'exprime (2):

« On peut conclure qu'il arrive de deux choses l'une, par l'effet de la respiration: ou la portion d'air éminemment respirable contenue dans l'air de l'atmosphère est convertie en acide carbonique en passant par le poumon, ou bien il se fait un échange dans ce viscère; d'une part l'air éminemment respirable est absorbé (3), et de l'autre il se dégage du poumon une quantité d'acide carbonique presque égale en volume. »

On le voit, dans cette question Lavoisier avait tout prévu, et l'on peut s'étonner que dans les travaux ultérieurs dont nous allons maintenant rendre compte, on ne retrouve plus la conviction profonde et les conclusions nettes que nous avons rapportées. C'est que la méthode expérimentale a aussi ses dangers. L'esprit le plus sévère se laisse égarer quelquefois par un résultat erroné qui se présente sous l'apparence de la vérité. Tout nous apprend dans l'histoire de la science que l'expérience doit être interrogée sans cesse,

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, t. LXV, p. 169.

(2) *Mémoires de Lavoisier*, t. II (1<sup>er</sup> Mémoire sur la respiration, p. 8).

(3) Pour se combiner au sang, comme il le dit plus loin, p. 9.

(2) *Idem*, t. II, 2<sup>me</sup> mémoire sur la respiration, p. 68.

mais qu'il faut quelquefois le coup d'œil du génie pour en dominer les résultats.

Que l'on me pardonne, si j'ose appliquer cette réflexion aux travaux de MM. Dulong (1) et Despretz (2) sur la chaleur animale. Elle m'est inspirée par la réserve même de Dulong, qui s'est toujours refusé à laisser imprimer un Mémoire qui lui avait ouvert les portes de l'Académie.

Avant de discuter les résultats obtenus par MM. Dulong et Despretz, nous donnerons une description sommaire de la méthode et des appareils que ces physiciens ont employés.

La méthode différait peu de celle que Lavoisier avait suivie. Seulement MM. Dulong et Despretz ont eu soin d'éviter une cause d'erreur que leur prédecesseur avait déjà signalée, et qui dépendait de ce qu'il n'avait pas employé le même animal pour déterminer, d'une part, la quantité de chaleur cédée au calorimètre pendant un temps donné, et de l'autre, la quantité d'acide carbonique expiré pendant le même temps.

Dans les expériences de Dulong, l'animal était introduit dans une cage en osier très légère, que l'on plaçait elle-même dans une boîte en cuivre mince. Cette boîte formait la chambre intérieure d'un calorimètre, et était isolée par quelques supports en cuivre de l'enveloppe extérieure en fer-blanc, qui était le réservoir d'eau. L'appareil était construit de telle manière que la boîte en cuivre, et par conséquent l'animal qu'elle renfermait, pussent être entourés de toutes parts par une couche d'eau que l'on versait dans le réservoir en fer-blanc. Les choses étant ainsi disposées, on recouvrerait ce réservoir de son couvercle qui était percé de plusieurs trous. Les uns servaient à livrer passage à des thermomètres, un autre recevait un tube pénétrant dans la boîte en cuivre elle-même, et destiné à apporter à l'animal l'air qui devait servir à sa respiration. Cet air sortait d'un premier gazomètre, traversait lentement la boîte, et après avoir circulé dans un serpentin disposé dans la partie inférieure du réservoir d'eau, sortait complètement refroidi, par un tuyau latéral, et était reçu dans un second gazomètre. Ces gazomètres étaient d'ailleurs construits de manière qu'on pût, à chaque instant, connaître exactement le volume des gaz avant et après leur passage dans le calorimètre. L'écoulement de l'air s'effectuait régulièrement et ne donnait jamais lieu à un changement de pression. L'opération terminée, on jaugeait et on analysait l'air recueilli dans le second gazomètre, et qui était garanti contre l'action dissolvante de l'eau par un flotteur en liège recouvert de taffetas. La quantité d'acide carbo-

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3<sup>e</sup> série, t. I, p. 440.

(2) *Ibid.*, t. XXVI, p. 337.

nique contenu dans cet air donnait le poids du carbone brûlé, et l'oxygène qui avait disparu permettait de calculer la quantité d'eau qui s'était formée pendant la respiration. L'augmentation de température de la masse d'eau du calorimètre servait à calculer la quantité de chaleur perdue par l'animal.

Telles sont les données des expériences.

Ajoutons que M. Despretz, de son côté, a opéré avec un appareil analogue, dans lequel il eut soin toutefois de substituer à l'eau, qui peut dissoudre une portion de l'acide carbonique formé, du mercure qui n'offre pas le même inconvénient. MM. Dulong et Despretz ont tiré de leurs expériences cette conclusion, que la chaleur produite par la fixation de l'oxygène absorbé pendant la respiration est insuffisante pour réparer la perte de chaleur que font les animaux dans les conditions naturelles de leur vie, et qu'il doit par conséquent exister une autre cause de caléfaction.

D'après Dulong, la chaleur produite par la respiration ne représente que les 8/10 de la chaleur cédée au calorimètre, et d'après M. Despretz, ce rapport peut s'élever à 9/10, comme on peut le voir d'après le tableau suivant :

TABLEAU DES EXPÉRIENCES FAITES PAR M. DESPRETZ.

	CHALEUR produite par la respiration.	CHALEUR recueillie par le calorimètre.
ANIMAUX JEUNES.		
Température de l'animal, 42 à 43°.	2 petits chiens de cinq semaines. . . . .	100 135
	4 chiens de huit mois. . . . .	100 135
	4 pies. . . . .	100 133
	4 chouettes . . . . .	100 133
	grand duc adulte . . . . .	100 129
	3 pigeons. . . . .	100 126
	canne adulte . . . . .	100 126
	coq adulte . . . . .	100 125
	chat de deux ans . . . . .	100 123
	chienne de deux ans. . . . .	100 123
	lapin mâle . . . . .	100 115
35 ou 36°.	3 cochons d'Inde adultes . . . . .	100 112
	lapine adulte . . . . .	100 110

Pour déterminer la chaleur produite par la respiration, M. Despretz admet, d'après ses propres expériences, que la combustion de 1 gramme de carbone dégage une quantité de chaleur capable d'élever d'un degré la température de 7,919 kilogrammes d'eau, et que la combustion de l'hydrogène donne une quantité de chaleur qui élèverait d'un degré la température de 24 kilogrammes d'eau. Si l'on appelle *calorie* la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température de 1 kilogramme d'eau, on peut

dire qu'un gramme de carbone dégage 7,91 calories en se transformant en acide carbonique, que 1 gramme d'hydrogène dégage 24 calories en se transformant en eau.

Telles sont les données qui ont servi à M. Despretz pour calculer les résultats de ses expériences dont le tableau précédent offre un résumé.

Dulong avait accepté, comme base de ses calculs, les données fournies par Lavoisier et Laplace sur la combustion du carbone et de l'hydrogène. L'expérience a démontré qu'on ne pouvait regarder comme exactes ni les unes ni les autres. En effet, on a retrouvé dans les papiers de Dulong des expériences d'après lesquelles 1 gramme d'hydrogène produirait, en brûlant, 34,4 calories (1); d'après MM. Favre et Silbermann la même quantité d'hydrogène produit 35,5 calories, et 1 gramme de carbone en produit 8,08 (2).

Ces résultats ne permettent plus d'accepter comme vraies les conclusions de MM. Dulong et Despretz: Bien plus, en examinant leur procédé opératoire, on découvre une nouvelle cause d'erreur, comme l'a fait remarquer M. Dumas (3). Cette cause d'erreur tient au refroidissement que subit l'animal pendant l'opération.

Il suffit de jeter les yeux sur le tableau des expériences de M. Despretz pour se convaincre qu'en prenant pour terme de comparaison la chaleur produite par la respiration, les animaux qui ont cédé le plus de chaleur au calorimètre sont, d'une part, les jeunes animaux, et, de l'autre, les animaux carnivores. D'après ce qui précède il est facile de voir à quoi tiennent ces particularités. Si la chaleur excédante est plus grande pour les jeunes animaux que pour les animaux adultes, c'est que les premiers offrent moins de résistance au refroidissement, comme l'a démontré W. Edwards. Remarquons aussi que les oiseaux, qui possèdent une température plus élevée que les mammifères, ont dû se refroidir davantage dans les expériences de M. Despretz. L'ordre dans lequel les animaux sont rangés dans le tableau précédent le prouve suffisamment. Quant à l'excès de chaleur cédé par les animaux carnivores, il doit être attribué à la quantité considérable d'hydrogène que brûlent ces animaux. Car la viande dont ils se nourrissent, et qui, en définitive sert à entretenir la respiration, renferme des matières grasses, et est beaucoup plus riche en hydrogène que les matières herbacées dont se nourrissent les lapins. Mais comme le coefficient dont s'est servi M. Despretz pour calculer la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'hydro-

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3<sup>e</sup> série.

(2) *Comptes-rendus*, 1846, t. XX, p. 946.

(3) Dumas, *Leçons à l'École de médecine* (inédites).

gène, est loin d'être exact, et comme cette quantité de chaleur entre pour une part considérable dans la chaleur totale développée par l'animal, il est clair que les résultats de M. Despretz devront subir une correction d'autant plus grande que l'animal aura brûlé plus d'hydrogène.

Un simple calcul (1) montre de suite la différence qu'on obtient en employant, pour évaluer les calories dégagées par la combustion du carbone et de l'hydrogène, les nombres dont s'est servi M. Despretz, ou le nombre posthume de Dulong, ou enfin les nombres obtenus récemment par MM. Favre et Silbermann. Ainsi, un lapin qui échauffe d'un degré 17<sup>gr.</sup>,773 d'eau, a brûlé :

	D'après M. Despretz.	D'après Dulong.	D'après MM. Favre et Silbermann.
1gr.,680 de carbone qui produisent . .	12,26	12,26	13,44 calor.
0gr.,476 d'hydrogène qui produisent . .	14,23	6,07	6,07
	<hr/> 16,49	<hr/> 18,33	<hr/> 19,51

De même, pour prendre une expérience relative à un oiseau carnivore, un grand-duc, qui échauffe d'un degré 13<sup>gr.</sup>,853 d'eau, a brûlé

	D'après M. Despretz.	D'après Dulong.	D'après MM. Favre et Silbermann.
0gr.,877 de carbone qui produisent . .	6,89	6,89	7,04 calor.
1 ,184 d'hydrogène qui produisent . .	4,42	6,54	6,54
	<hr/> 11,31	<hr/> 13,43	<hr/> 13,58

On peut négliger la légère différence que nous présentent les nombres 13,853 et 13,58, et qui tient sans doute au refroidissement que l'oiseau a subi dans le calorimètre.

Il serait trop long de faire ici toutes les corrections relatives aux autres expériences; les nombres précédents suffisent pour mettre en évidence ce résultat inattendu, que la chaleur dégagée par la respiration d'un animal est égale, et peut même être supérieure à celle qu'il perd par le rayonnement. Voilà, en définitive, la conclusion qu'il faut tirer des travaux de MM. Dulong et Despretz, comme l'a fait remarquer M. Dumas (2). C'est en quelque sorte le dernier mot que l'expérience ait prononcé relativement aux causes de la chaleur animale.

Avant de développer toutes les conséquences qui découlent du résultat que nous venons d'énoncer, il est nécessaire de discuter quelquesunes des hypothèses sur lesquelles il se fonde. Cette discussion, que nous avons écartée

(1) Dumas, *Leçons à l'École de médecine.*

(2) *Ibid.*

jusqu'ici pour ne pas embarrasser la marche purement historique que nous avons suivie, nous révélera peut-être quelques lacunes, inévitables dans une question aussi complexe et aussi difficile.

Quand on dit que la respiration est une combustion lente, on énonce un fait; mais quand on suppose que la combustion lente du carbone du sang dégage, pour le même poids d'acide carbonique formé, autant de chaleur que le charbon de bois qui brûle, on fait en réalité une hypothèse qu'il est nécessaire de justifier. Car la combustion des matériaux du sang est lente, et l'acide carbonique et l'eau qu'exhale le poumon sont peut-être les derniers termes d'une série d'oxydations successives; il se présente donc ici une première question, celle de savoir si la somme des calories dégagées par la combustion brusque et complète d'un corps organique est égale à la somme des calories dégagées par une série d'oxydations successives que subirait le même corps, en supposant que le résultat définitif de l'action chimique fût le même dans les deux cas.

On peut admettre que ces deux sommes sont égales en se fondant sur le fait suivant: quand le carbone passe à l'état d'oxyde de carbone, que cet oxyde de carbone brûle ensuite pour passer à l'état d'acide carbonique, ces deux oxydations partielles dégagent autant de chaleur que la combustion directe et complète du même poids de carbone.

Il est donc permis de supposer que le carbone produit toujours la même quantité de chaleur, soit qu'il passe directement, soit qu'il passe indirectement à l'état d'acide carbonique.

Mais voici une objection plus grave: pour calculer la quantité de chaleur dégagée par la respiration, on s'est servi de données fournies par la combustion du carbone et de l'hydrogène pris isolément et à l'état de pureté. Mais ce n'est pas du carbone pur, ce n'est pas de l'hydrogène pur qui brûlent dans l'économie, c'est un corps composé, c'est du sucre, de la graisse, de la fibrine, en un mot c'est un aliment. Ces composés renferment du carbone, de l'hydrogène, de l'azote et de l'oxygène. Laissant l'azote de côté, nous pouvons supposer que l'oxygène de la molécule est soustrait à l'état d'eau par une quantité proportionnelle d'hydrogène, et on peut croire que cette combustion ne dégage pas de chaleur, parce qu'elle s'accomplit dans la molécule elle-même. Mais peut-on admettre qu'abstraction faite de l'oxygène renfermé dans le composé, l'hydrogène et le carbone qui s'y trouvent en excès, et sur lesquels en définitive doit se porter l'oxygène introduit dans le sang par la respiration, peut-on admettre que ces deux éléments réunis, combinés, dégagent autant de chaleur que s'ils étaient isolés?

Dans l'état actuel de la science, il est à peine permis de se prononcer sur

ce point. Cependant les expériences remarquables de MM. Favre et Silbermann (1) peuvent nous donner quelques indications utiles; ces physiciens ont démontré que l'hydrogène bicarboné dégage, par sa combustion, autant de chaleur que le carbone et l'hydrogène qu'il renferme, mais que d'un autre côté l'alcool, l'acétone, et quelques autres corps oxygénés, produisent plus de chaleur que n'en produirait le carbone et l'hydrogène qu'ils renferment en excès. Ainsi, tout porte à croire que la combustion d'un aliment non azoté dégagerait une quantité de chaleur égale et peut-être supérieure à celle qui résulterait de la combustion de ses éléments isolés. Ajoutons cependant qu'il sera nécessaire de faire des expériences directes pour vérifier cette conclusion. MM. Favre et Silbermann, qui se sont occupés avec tant de succès des questions relatives à la chaleur dégagée dans les combinaisons chimiques, se proposent d'entreprendre ces nouvelles déterminations.

Mais pour les matières azotées, le problème est bien plus compliqué. En effet, ces matières ne subissent pas dans l'économie une combustion complète; une partie de leurs éléments se sépare à l'état d'urée, à l'état d'acide urique, etc. Des expériences directes, entreprises sur la combustion complète des éléments azotés, n'apprendront rien dans ce cas, puisque la combustion de ces éléments est incomplète dans l'économie. En supposant, par exemple, que la respiration détruisse 1 gramme d'albumine en le transformant en eau, acide carbonique et urée, cette combustion incomplète ne dégagera pas autant de chaleur qu'en aurait dégagé 1 gramme d'albumine en brûlant complètement; car l'oxydation de l'urée produirait incontestablement de la chaleur. Il faudrait, dans ce cas, déterminer, à l'aide de l'acide carbonique formé et de l'azote exhalé par la respiration, d'une part la quantité d'aliment brûlé, et de l'autre la quantité d'urée formée pendant l'expérience, rechercher ensuite la chaleur produite par la combustion de l'urée, et la défalquer de la quantité totale de chaleur que produirait la combustion de l'aliment azoté.

Mais ce ne sont là que des questions sur lesquelles il nous paraît inutile d'insister davantage. En considérant les choses en grand et en négligeant les points accessoires sur lesquels l'expérience devra encore prononcer, on est autorisé à conclure, avec Lavoisier, que la cause du développement de la chaleur dans les animaux réside dans les phénomènes de la respiration.

Cette source de chaleur paraît suffisante. En rechercher d'autres, ce serait s'engager dans le domaine des hypothèses. Nous nous bornons donc à énoncer une opinion de M. Collard de Martigny (2) qui pense que la nutrition est la seule

(1) *Comptes-rendus*, t. XXII, 1846, p. 484.

(2) *Journal compl. des sciences méd.*, t. XLIII, p. 268, 1832.

cause du développement de la chaleur dans les animaux. Cette hypothèse est trop vague pour mériter un examen sérieux.

Nous serions tentés de faire le même reproche à une opinion émise par M. Delarive (1), qui attribue une origine électrique à la chaleur des êtres vivants. On sait, dit ce physicien, que lorsque l'électricité circule dans les corps, il y a chaleur produite partout où le courant électrique rencontre un obstacle à sa libre propagation. Mais les actions chimiques qui s'accomplissent pendant la respiration doivent donner lieu à une séparation des deux fluides électriques. M. Delarive admet que les deux fluides séparés se recombinent en passant à travers les derniers filaments nerveux, qui, en raison de leur ténuité, opposent un obstacle au passage des courants ainsi produits. Il y aura développement de chaleur partout « où il y aura du sang artériel pour fournir de l'oxygène, deux substances animales de différente nature, et des filaments nerveux qui réunissent ces substances. »

Telle est l'opinion de M. Delarive. C'est une vue ingénieuse plutôt qu'une théorie solide; car elle ne se fonde que sur des hypothèses, et elle attribue aux nerfs une faculté isolante qu'ils sont loin de posséder.

Nous pourrions discuter ici les expériences nombreuses des physiologistes qui ont voulu réservier au système nerveux un rôle plus ou moins direct, plus ou moins considérable dans les phénomènes de la calorification. Mais cette discussion n'offrirait plus qu'un faible intérêt. Nous nous contenterons de rappeler que toutes les fonctions se trouvent sous la dépendance du système nerveux, et qu'à ce titre les mouvements respiratoires, l'hématose et les phénomènes de combustion eux-mêmes peuvent être affectés par une lésion des centres nerveux ou des nerfs. Si un membre se refroidit lorsque l'on coupe les nerfs qui s'y rendent, cela tient à ce que l'action nerveuse qui préside aux changements que doit subir le sang dans les capillaires, se trouve suspendue. C'est ainsi qu'il faut interpréter sans doute les résultats obtenus par M. Chossat (2). Ce physiologiste a constaté que le refroidissement survient toujours chez un animal à la suite de lésions graves des centres nerveux, soit que la respiration continue naturellement, soit qu'on l'ait entretenue par des moyens artificiels; de plus, il a observé que le refroidissement est tout aussi rapide dans ce cas, que lorsqu'un animal tué d'un coup est abandonné à lui-même. M. Chossat a conclu de ces expériences que la respiration n'est pas la source de la chaleur animale. Brodie (3), de son côté, était arrivé à la

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, t. XV, p. 103.

(2) *Influence du système nerveux sur la chaleur animale*, Thèse inaug., Paris, 1820.

(3) *Philos. transact.*, 1811, p. 4. 1812, p. 378.

même conclusion en décapitant les animaux, et en insufflant de l'air dans les poumons pour entretenir la respiration. Ses expériences ont été réfutées victorieusement par Legallois (1), qui a prouvé que lorsqu'on insuffle de l'air dans les poumons, la respiration s'effectue toujours avec gêne, et que l'air introduit en excès dans les voies respiratoires contribue au refroidissement. D'ailleurs, ce célèbre physiologiste a constaté que lorsque la difficulté de respirer est la même dans deux épreuves successives faites sur le même animal, le refroidissement est d'autant plus grand que la quantité d'oxygène consommé est moindre. Voilà une preuve directe en faveur de l'opinion que nous avons exposée sur les causes de la chaleur animale.

Il nous serait facile de multiplier ces preuves en interrogeant la physiologie. La plupart des faits que nous avons énoncés dans la première partie de ce travail s'expliquent de la manière la plus naturelle, si l'on envisage les phénomènes de la respiration comme la source de la chaleur animale. Il est facile de découvrir, en effet, une liaison intime entre ces phénomènes et les faits relatifs à la température des animaux. Les proportions suivantes ne laisseront aucun doute à cet égard.

1<sup>o</sup> L'ordre suivant lequel les animaux sont rangés, par rapport à la chaleur propre qu'ils possèdent, est déterminé par l'activité plus ou moins grande de leur respiration. Qui ne sait que l'appareil respiratoire est plus développé chez les oiseaux que chez les mammifères, plus développé chez les insectes que chez les reptiles et les poissons? MM. Prévost et Dumas ont fait remarquer que l'activité de la respiration paraît liée à la richesse du sang en globules. Par une coïncidence digne d'intérêt, on a observé un rapport analogue entre la température des animaux et la proportion de globules que leur sang renferme.

2<sup>o</sup> Chez les animaux hibernants, l'activité respiratoire diminue pendant l'engourdissement avec la température de leur corps. Spallanzani (2) a démontré que les chauves-souris ne consomment qu'une petite quantité d'oxygène pendant leur sommeil d'hiver. Le même observateur a pu plonger une marmotte engourdie dans un récipient renfermant de l'acide carbonique, sans que l'animal ait paru souffrir de cette épreuve, qui a été prolongée pendant quatre heures. Suivant Rusconi (3), le protée n'a pas besoin d'eau fraîche durant le sommeil d'hiver, et Saissy (4) assure qu'à l'époque de leur plus profond en-

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, t. IV, p. 5.

(2) *Mémoire sur la respiration*, p. 76.

(3) *Deutsches archiv.*, t. V, p. 270.

(4) *De la physique des animaux hibernants*, p. 32.

gourdissement, le hérisson et le muscardin ne consomment pas de gaz oxygène. Ajoutons cependant que cette dernière assertion mérite confirmation.

3°. Lorsqu'un animal à sang chaud est placé dans des conditions telles, qu'il perd par le rayonnement plus de chaleur qu'il n'en produit, il lutte contre le refroidissement en augmentant l'activité de sa respiration. Edwards (1) a observé qu'un jeune oiseau arrivé très près de l'âge où il pouvait soutenir sa température à l'air, avait dans son nid 40° et 97 inspirations par minute. Retiré du nid et exposé à l'air de l'appartement, il perdit dans un quart d'heure 3°; mais peu à peu sa température augmenta de nouveau d'un demi-degré, en même temps que le nombre de ses inspirations fut porté à 120.

4° L'oscillation diurne de la chaleur, observée par Chossat (page 15) s'explique facilement par cette circonstance que pendant l'état de veille l'activité de la respiration est un peu plus grande que pendant le sommeil. Les expériences déjà anciennes de Prout, celles plus récentes de M. Scharling (2), prouvent, en effet, que la quantité d'acide carbonique que l'homme expire pendant le jour, est un peu supérieure à celle qu'il exhale pendant la nuit.

5° Il n'est pas moins facile de rendre compte de l'influence de l'inanition (page 15) sur la production de la chaleur. Lavoisier a dit (3): « Dans la respiration comme dans la combustion c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique, mais, comme dans la respiration, c'est la substance même de l'animal, c'est le sang qui fournit le combustible; si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait, comme une lampe s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture. » Rappelons encore que M. Letellier (4) a prouvé par des expériences directes que la quantité d'acide carbonique expiré par des tourterelles diminue pendant l'inanition, ou pendant le cours d'une alimentation insuffisante.

6° Parmi les causes qui augmentent accidentellement l'activité de la respiration, nous citerons l'exercice corporel, les contractions musculaires. L'expérience a prouvé que dans ces circonstances la température du corps, et en particulier celle des muscles, s'élève sensiblement (Becquerel et Breschet). Cette remarque s'applique même aux animaux inférieurs. Réaumur (5), et après lui M. Newport (6) ont souvent observé que chez les insectes la

(1) *De l'influence des agents phys.*, p. 309.

(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 3<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 378.

(3) *Mémoire sur la respiration des animaux*, p. 58.

(4) *Ann. de chim. et de phys.*, 3<sup>e</sup> série, t. II, p. 157.

(5) *Mémoires pour servir à l'histoire des insectes*, t. V (13<sup>e</sup> Mémoire).

(6) *Philos. transact.*, part. II, p. 239.

chaleur propre augmente quand ces animaux se trouvent dans un état d'agitation.

7° En étudiant l'influence des maladies sur la température du corps, nous avons dit que dans la phthisie la chaleur de la peau est souvent augmentée. Ce fait paraît en opposition avec la théorie, car tout le monde sait que chez les phthisiques, les fonctions de la respiration ne s'accomplissent qu'avec difficulté. Mais il faut remarquer aussi que la respiration est accélérée, et que d'un autre côté la transpiration cutanée est ordinairement diminuée ; car les sueurs nocturnes ne surviennent qu'à la fin de la maladie. Si donc les phthisiques produisent moins de chaleur par suite de trouble de leurs fonctions respiratoires, il est vrai de dire aussi qu'ils en perdent moins d'une autre part. L'équilibre peut donc se rétablir ; on conçoit même que dans certains cas, le second effet puisse l'emporter sur le premier. Remarquons encore que ces malades sont ordinairement très sensibles au froid, ce qui prouve que chez eux la source de calorification est réellement diminuée.

En considérant l'ensemble des faits que nous venons d'exposer, on ne peut méconnaître la liaison intime qu'ils établissent entre la production de la chaleur et les phénomènes de la respiration (1).

Nous ne quitterons pas ce sujet sans chercher à évaluer la quantité totale de chaleur qui se produit dans le corps de l'homme pendant vingt-quatre heures. Cette évaluation ne repose pas sur des expériences directes, elle se fonde sur les données que l'on acquiert indirectement sur la chaleur produite par la respiration. D'après les expériences de MM. Andral et Gavarret (2), un homme adulte brûle par heure de 10 à 12,2 grammes de charbon. Comme les femmes et les vieillards en brûlent moins, nous admettrons comme moyenne 10 grammes, ce qui fait 240 grammes dans les vingt-quatre heures. D'après M. Dumas, la quantité d'hydrogène brûlé pendant le même espace de temps s'élève à 20 grammes. Il est facile de calculer, d'après ces données, la quantité de chaleur que produit en moyenne le corps d'un homme.

	Calories.
En effet, 240 grammes de carbone produisent . . . . .	1,939
Vingt grammes d'hydrogène produisent en brûlant . . . . .	688
	<hr/> 2,627

Ceci revient à dire que la chaleur produite par un homme pendant vingt-

(1) Voyez pour plus de détails l'article de M. le professeur P.-H. Bérard. *Loc. cit.*, p. 199. Nous en transcrivons les conclusions : « Quant à moi, je considère la respiration comme la source principale, *sinon la source unique*, de la chaleur animale. »

(2) *Ann. de chim. et de phys.*, t. VIII, 3<sup>e</sup> série.

quatre heures, serait suffisante pour éléver d'un degré la température de 2627, ou en nombres ronds de 2500 kilogrammes d'eau, ou pour porter à 100°,25 kilogrammes d'eau à 0°.

Cette chaleur se distribue dans toute l'économie. Voici, d'après M. Dumas, la répartition qu'on peut en faire d'une manière approximative entre les différentes causes qui l'absorbent :

Les aliments, les boissons que l'homme ingère, l'air qu'il respire, possèdent une température inférieure à celle de son corps. Il perd, en les échauffant, une quantité de chaleur que l'on peut évaluer de la manière suivante (1) :

Par 7 mètres cubes d'air inspiré à 20° et expiré à 36, il perd.	55,9
Par un kilogramme d'aliments secs, supposés ingérés à une température de 20°, terme moyen, et rejetés à 36°, il perd.	26,0
Par 2 kilogrammes d'eau ou de boisson quelconque ingérés à la même température.	32,0

Les substances qui s'échauffent en passant par l'économie lui font donc perdre.

On peut évaluer à 1 kilogramme à peu près la quantité d'eau produite par jour et par homme. De ce kilogramme 150 grammes s'en vont par les poumons, et 850 par la transpiration cutanée ; il perd donc par l'évaporation d'un kilogramme d'eau à 36°.

La perte constante par ces deux premières causes est donc.

Ou en nombres ronds.

Comme il en produit 2,500 environ, il perd par le rayonnement.

Total de la chaleur produite et perdue par jour.

Les résultats précédents ont été calculés pour une température ambiante de 20°. Ils ne seraient plus les mêmes pour une température différente.

(1) Dumas, *Leçons à l'École de médecine* (inédites).

Pendant les fortes chaleurs de l'été, lorsque le thermomètre marque 35°, la perte de chaleur due au rayonnement est tout à fait insignifiante, tandis que celle qui est due à l'évaporation augmente dans une forte proportion.

Dans ces cas, la sécrétion urinaire se trouve, d'ailleurs, singulièrement diminuée, et la quantité d'eau évaporée journallement par le poumon ou par la peau peut s'élever à 2 ou même à 3 kilogrammes. L'évaporation de cette eau, exigeant 1100 ou 1650 calories, absorberait par conséquent en grande partie la chaleur produite par la respiration. Il est à peine nécessaire d'ajouter que les boissons froides et les bains froids agissent dans le même sens que l'évaporation cutanée et pulmonaire. Examinons quel effet pourrait produire l'ingestion exagérée d'une boisson froide dans l'estomac. Un homme du poids de 60 kilogrammes, avale un litre d'eau à 10° ; en admettant que l'équilibre s'établisse rapidement et que la capacité d'un homme pour la chaleur ne diffère point sensiblement de celle de l'eau, on aurait :  $5 \times 1 + 60 \times 37 = 61 \times x$ , en désignant par  $x$  la température inconnue qui s'établirait après l'équilibre. En effectuant le calcul on trouve  $x = 36^{\circ},5$ . La température de cet homme s'abaisserait donc d'un demi-degré, en supposant que l'eau qu'il boit soit à 10°.

Il n'en faudrait pas autant pour provoquer une réaction immédiate, en vertu de laquelle l'économie chercherait à réparer cette perte subite en augmentant l'activité des fonctions respiratoires. Nul doute que le rythme de ces fonctions ne subisse, suivant les besoins de l'organisme, des changements que l'expérience saura apprécier un jour, mais que tout nous autorise à admettre dès à présent. L'hygiène fournit plusieurs preuves de cette vérité. Elle nous apprend que la nourriture qui convient aux habitants des pays chauds doit se composer presque exclusivement d'aliments tirés du règne végétal. L'expérience de tous les siècles a appris aux hommes que cette nourriture n'a rien d'échauffant, et la chimie nous enseigne qu'elle procure à la respiration les matériaux les moins riches en carbone et en hydrogène. D'un autre côté, les habitants des pays froids ne sont-ils pas poussés par une tendance irrésistible vers l'usage des viandes, des aliments gras, dont la combustion produit beaucoup de chaleur, parce qu'elle emploie beaucoup d'oxygène ?

Ainsi nous voyons l'activité de la respiration augmenter ou diminuer, suivant les besoins de l'économie. On conçoit que ces changements ne doivent jamais s'accomplir d'une manière trop brusque. Un choc, qui diminue le mouvement d'une machine, peut aussi en troubler le jeu. N'en serait-il pas de

même, pour un organe aussi délicat que le poumon, lorsqu'il est obligé de modifier brusquement le rythme de ses fonctions? Ceci nous laisse entrevoir une explication du danger que court cet organe toutes les fois que le corps est soumis à un refroidissement brusque.

Il serait facile de multiplier ces applications. Examinons, par exemple, ce qui arrive dans les cas de diabète cités par M. Dumas (1), où le malade rend jusqu'à 20 litres d'urine par jour. Les 20 kilogrammes d'eau que représente cette quantité d'urine ont absorbé 320 calories pour passer de 20 à 37°. Il est bien permis de conclure que la réparation journalière d'une perte de chaleur aussi considérable contribue à épuiser les forces du malade.

Les développements qui précèdent suffisent pour faire entrevoir l'emploi de la chaleur animale. Toutefois, il se présente à cet égard une dernière question, qui est assez grave pour mériter un examen sérieux. En discutant les résultats obtenus par MM. Dulong et Despretz, nous avons vu que la quantité de chaleur développée dans un animal par la respiration peut être supérieure à celle que viennent soustraire toutes les causes de refroidissement. Nous devons nous demander ce que devient cet excès de chaleur; car tout nous prouve qu'il n'est pas employé à éléver la température de l'animal. M. Dumas (2) pense que cet excès de chaleur se dissimule dans un animal en repos, pour se dégager au moment du travail musculaire.

Les expériences de M. Matteucci (3) viennent à l'appui de cette ingénieuse hypothèse. On sait que ce physicien a mis hors de doute l'existence de l'électricité dans les muscles d'un animal vivant. En disposant en pile des demi-cuisses de grenouilles de manière à mettre la surface interne des muscles en contact avec leur surface externe, et mettant les extrémités de cette pile musculaire en communication avec les fils du galvanomètre, on obtient des signes certains d'un courant électrique, tant que les muscles conservent un reste de vitalité.

Si maintenant on se rappelle que les muscles dégagent de la chaleur en se contractant, on pourrait supposer qu'ils ne font que restituer sous forme de chaleur la force qu'ils ont emmagasinée à l'état de repos sous forme d'électricité.

Quoi qu'il en soit, cette dernière question, comme tant d'autres que nous

(1) *Leçons à l'École de médecine.*

(2) *Ann. de chim. et de phys., 3<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 183.*

(3) *Leçons sur les phénomènes physiques des corps vivants*, Paris, 1847, p. 175.

avons rencontrées dans le courant de ce travail, doit être abordée par l'expérience. Ajoutons, en terminant, que les résultats que l'on a obtenus jusqu'ici seraient certainement plus nets, si l'on avait choisi, pour ce genre d'observations, des animaux d'un volume plus considérable, et qu'il serait à désirer que les recherches que l'on a faites sur la respiration de l'homme fussent complétées par des déterminations directes de la chaleur qu'il produit.

#### Sources de la chaleur dans les végétaux.

Si les animaux fonctionnent sans cesse comme des appareils de combustion, les plantes se chargent d'un rôle inverse, en réduisant l'acide carbonique et l'eau qui constituent avec l'ammoniaque les derniers produits de la vie animale. Cette réduction s'accomplit sous l'influence de la lumière dans les parties vertes des végétaux.

On admet que le calorique qui se dégage pendant l'oxydation doit être absorbé de nouveau pendant la réduction. Il en résulte que les phénomènes chimiques de la respiration diurne des végétaux, loin de produire de la chaleur, doivent être une cause de refroidissement.

L'expérience a prouvé cependant que les parties vertes des végétaux, les jeunes branches, les bourgeons possèdent pendant le jour une température un peu supérieure à celle du milieu ambiant (page 9). Ce résultat a quelque chose d'inattendu; on pourrait croire qu'il donne un démenti aux indications de la théorie si l'on perdait de vue la condition essentielle, sans laquelle les phénomènes de réduction ne s'accomplissent jamais dans les plantes. Cette condition est le concours de la radiation solaire. Tout le monde sait que les rayons du soleil ne sont pas homogènes, mais qu'ils se composent de rayons lumineux, de rayons chimiques et de rayons calorifiques. Ce sont les rayons chimiques et les rayons calorifiques qui paraissent intervenir dans les phénomènes dont il s'agit. On admet que les premiers sont absorbés par la matière verte des plantes, pourquoi n'en serait-il pas de même pour les rayons calorifiques?

D'après cette hypothèse, la plante, dans les circonstances ordinaires, ne trouverait pas en elle-même les moyens de produire de la chaleur; elle serait douée seulement de la faculté de l'absorber, réparant par cette absorption les pertes que lui font subir, pendant le jour, les phénomènes de la respiration.

Pendant la nuit, les conditions se trouvent changées; dès qu'elle est

privée de lumière, la plante dégage de l'acide carbonique par une véritable combustion. Ajoutons cependant qu'à cet égard une restriction devient nécessaire:

Il est probable, en effet, qu'une partie de l'acide carbonique dégagé pendant la nuit se trouvait dissoute dans les liquides que les racines puisent dans le sol, et qui, en s'évaporant à la surface des feuilles, exhalent en même temps qu'ils renferment l'acide carbonique.

Quoi qu'il en soit, une grande partie de l'acide carbonique dégagé pendant la nuit paraît due à la respiration nocturne, et tout porte à croire que ce phénomène produit une quantité de chaleur mesurée par la faible intensité avec laquelle il s'accomplit. Voilà donc une circonstance dans laquelle la plante fonctionne comme un animal. Il y en a d'autres plus remarquables encore. Les expériences de Th. de Saussure ont démontré depuis longtemps que les fleurs dégagent de l'acide carbonique, même lorsqu'elles sont frappées par les rayons solaires. Ordinairement lente et peu considérable, cette production d'acide carbonique devient très active dans les fleurs des aroïdes. De plus, MM. Vrolik et Vriese ont démontré que la quantité d'acide carbonique que dégagent les spadices du *colocasia odora* est proportionnelle à l'accroissement de leur température. Ces faits sont trop concluants pour qu'il soit possible de méconnaître que la chaleur propre des fleurs est due, comme la chaleur animale, à des phénomènes de combustion.

Nous en dirons autant pour la chaleur qui se produit pendant la germination. C'est encore à Th. de Saussure (1) que la science doit la découverte de ce fait important, qu'une graine qui germe dégage de l'acide carbonique.

Les expériences plus récentes et plus précises de M. Boussingault (2) ont complété la découverte du savant génois. M. Boussingault a démontré, à l'aide de l'analyse élémentaire, que pendant la germination le jeune végétal brûle du carbone et de l'hydrogène. Tout nous autorise à admettre que cette combustion élève la température de la plante, et qu'elle est en réalité la source du dégagement de chaleur qui se manifeste pendant la germination d'un amas de graines.

On le voit, dans certaines phases de leur existence, les plantes semblent se rapprocher des animaux et se soustraire un moment aux fonctions générales que la nature les a chargées de remplir. Dans ces cas elles produisent de la

(1) *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 10.

(2) *Économie rurale*, t. I, p. 32.

