

Bibliothèque numérique

medic@

**Prunier, L.. - Théorie physique de la
calorification**

1876.

***Paris : A. Parent, imprimeur de
la Faculté de médecine***

Cote : 90975



Licence ouverte. - Exemplaire numérisé: BIU Santé
(Paris)

Adresse permanente : [http://www.biusante.parisdescartes
.fr/histmed/medica/cote?90975x1876x01x13](http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?90975x1876x01x13)

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

THÉORIE PHYSIQUE
DE
LA CALORIFICATION

THÈSE
PRÉSENTÉE AU CONCOURS POUR L'AGRÉGATION
(Section des Sciences physiques)

ET SOUTENUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Le *Février* 1876

PAR

L. PRUNIER

Pharmacien des hôpitaux,
Licencié ès sciences physiques, etc.



PARIS

A. PARENT, IMPRIMEUR DE LA FACULTE DE MÉDECINE
RUE MONSIEUR-LE-PRINCE, 29 ET 31

1876



INTRODUCTION

THEORIE PHYSIQUE

LA CALORIFICATION

THESE

APPRESENTE AU CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

LA FÉVRIER 1870

A. PRONIER

PAGE 2

A PARAITRE IMPRIMERIE DE LA FACULTE DE MEDICINE

1870



INTRODUCTION

Les lois physiques du refroidissement, auxquelles les êtres inanimés obéissent d'une manière absolue, tendent à établir partout l'équilibre de température. Il n'en est plus de même pour les êtres organisés : ils ne se mettent pas nécessairement en équilibre avec les corps vivants, ni avec le milieu ambiant. Tous les êtres vivants sans exception jouissent de cette propriété ; elle se traduit par une différence de température marquée surtout chez les animaux supérieurs, mais qui existe, du plus au moins, à tous les degrés de l'échelle.

Jusqu'aux premières années de ce siècle, cette différence était connue sous le nom de *Chaleur animale* ; depuis Bichat, le mot de *Calorification* désigne tout cet ensemble de phénomènes qui produisent et maintiennent chez les animaux une température supérieure à celle du milieu ambiant. Ce n'est en définitive que la résultante des actions simultanées des différentes sources de chaleur et des diverses causes de refroidissement.

A cette notion simple qui a régné presque exclusivement jusqu'à ces derniers temps, est venue se joindre une conception plus profonde, d'après laquelle la chaleur développée dans les êtres vivants est corrélative des travaux moléculaires ou sensibles qui s'effectuent dans leurs organes. C'est la somme de tous ces effets, travaux sensibles, travaux moléculaires, transformations chimiques et chaleur développée, qui répond à l'entretien et à la conservation de la vie. Bornons-nous à la calorification proprement dite.

Comment se fait la production et la répartition de la chaleur des êtres vivants ? Comment l'animal en particulier arrive-t-il à l'équilibre mobile ou invariable de

température : telles sont les questions qu'il s'agit de chercher à résoudre.

Le physicien étudie le mécanisme de la production et de la déperdition de chaleur en séparant les différents phénomènes, les isolant autant qu'il peut de toutes les manifestations vitales qui appartiennent à la physiologie et à la pathologie, et sans poursuivre dans leur détail les réactions et les transformations des principes organiques ou minéraux qui relèvent de la chimie proprement dite.

La première question qui se présente à l'esprit, c'est naturellement l'origine de la chaleur en elle-même.

Si nous jetons un coup d'œil rapide sur les sources de la chaleur dans le monde inorganique, nous les voyons réparties sous trois chefs différents :

1° *Actions mécaniques*, choc, compression, frottement ;

2° *Actions physiques*, radiations solaires, changements d'état, électricité en mouvement, actions moléculaires, opérées sans changement de nature chimique, imbibition, etc. ;

3° *Actions chimiques*, l'affinité en première ligne, c'est-à-dire les travaux développés dans la formation ou la destruction des corps composés.

Telles sont les principales. Nous les retrouvons dans le monde organisé, et chaque pas que nous ferons dans l'étude de la calorification nous mettra en présence de l'une ou de plusieurs d'entre elles. Mais ici l'expression se trouve en désaccord avec notre pensée, car ces manifestations diverses découlent toutes d'un même principe. Ce sera la gloire de notre siècle, si riche en découvertes scientifiques dans tous les genres, d'avoir ramené à l'unité ces apparences si différentes qui viennent se confondre dans la majestueuse simplicité de la théorie dynamique.

Qu'est-ce en effet que les *sources mécaniques* de chaleur, choc, frottement, compression ou changement de volume ? C'est un *mouvement d'ensemble* transformé en un *mouvement moléculaire*. « Et la chaleur n'est elle-même que la force vive de vibration des molécules de l'éther » (1).

Les sources *physiques*, à leur tour, se rattachent à la même origine :

« Récemment encore, chaque groupe de faits reconnaissait un principe spécial ; le mouvement et le repos résultaient de forces assez mal définies spécifiquement, mais qu'on était convenu d'appeler mécaniques ; les phénomènes de chaleur, d'électricité, de lumière, assez mal définis eux-mêmes, étaient produits par autant d'agents propres, de fluides doués d'actions spéciales. Un examen plus approfondi a permis de reconnaître que cette conception de différents agents spécifiques et hétérogènes n'a, au fond, qu'une seule et unique raison, c'est que la perception de ces divers ordres de phénomènes s'opère en général par des organes différents, et qu'en s'adressant plus particulièrement à chacun de nos sens, ils excitent nécessairement des sensations spéciales. L'hétérogénéité apparente serait moins alors dans la nature même de l'agent physique que dans les fonctions de l'instrument physiologique qui forme les sensations ; de sorte qu'en transportant, par une fausse attribution, les dissemblances de l'effet à la cause, on aurait en réalité classé les phénomènes médiateurs par lesquels nous avons conscience des modifications de la matière plutôt que l'essence même de ces modifications... Tous les phénomènes physiques, quelle que soit leur nature, semblent n'être au fond que des manifestations d'un seul et même

(1) GAVARRET. Du mouvement. In Dict. de Dechambre (2) t. X, p. 264.

agent primordial... On ne saurait plus méconnaître cette conclusion générale de toutes les découvertes modernes, quoiqu'il soit impossible encore d'en formuler nettement les lois et les particularités conditionnelles. »

Ainsi parlait M. de Sénarmont dans un enseignement classique où ne devait trouver place aucune doctrine hasardée. On y voit résumée, sous une forme saisissante, l'unité des phénomènes physiques et leurs relations intimes avec la mécanique.

Depuis lors, la science a marché, elle a affermi ses premières conquêtes, elle en a fait de nouvelles.

Quant aux sources dites *chimique*, la première et sans contredit la plus importante, c'est l'affinité. Elle appartient à la classe des forces moléculaires, ces *géants retournés* de Tyndall. Et si nous cherchons à la définir, nous verrons qu'elle résulte de la perte d'énergie des molécules ou des atomes.

Le dégagement de chaleur qui l'accompagne établit la relation avec la mécanique et la physique. Ces manifestations sont donc à la fois mécaniques, physiques et chimiques. On pourrait même remarquer ici que jusqu'à ce jour la thermo-chimie ne figure que dans les traités de physique, et que c'est elle, en somme, qui fournit au physicien les principales données de la théorie de la calorification.

La conception générale de l'unité des forces physiques domine donc notre sujet. Elle nous guidera dans cette étude, et en reliera les unes aux autres les différentes parties.

Quant au plan que nous avons suivi, le voici dans toute sa simplicité.

Il se compose de cinq chapitres :

CHAPITRE I. — Dans un premier chapitre nous dressons l'inventaire général des *données expérimentales*, nous y présentons un ensemble de faits tiré de ceux qui établissent nettement la calorification en tant que *phénomène physique*.

CHAPITRE II. — Dans un deuxième chapitre sont exposées les *méthodes* au moyen desquelles on est arrivé à ces résultats, méthodes qui ont été appliquées aux phénomènes de physique pure comme à ceux qui se produisent dans les êtres vivants.

CHAPITRE III. — Le troisième a pour titre: *Origines de la calorification*. Il commence par l'*historique* des opinions diverses qui se sont succédé dans la science; on y expose ensuite la *théorie actuelle* de la chaleur animale, et enfin l'explication qu'en donne la thermo-dynamique.

CHAPITRE IV. — Le chapitre précédent parlant des sources de la chaleur animale, le chapitre IV s'occupera de ses modifications et de sa déperdition. Il a pour titre: *Causes internes et externes qui modifient la calorification*.

On y examine l'influence des conditions physiologiques, de l'évaporation, du refroidissement, et de la chaleur extérieure sur les êtres vivants.

CHAPITRE V. — Le dernier paragraphe, sur l'influence de la chaleur extérieure, nous sert de transition pour passer à l'étude de la *calorification pathologique*, fièvre et algidité centrale, sujet auquel nous avons annexé ce qui est relatif à la thermométrie et à la thermographie médicale.

« La science possède 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.»

Nous empruntons ces remarquables paroles, qui semblent écrites d'hier tant elles donnent nettement la physionomie du sujet à une Thèse⁽¹⁾ publiée en 1847 et signée d'un nom devenu si célèbre. Nous nous félicitons de la conjoncture qui nous donne à traiter une question, difficile et complexe sans doute, mais à la solution de laquelle de puissantes intelligences ont appliqué leurs efforts.

« *Viam aut inveniam aut faciam* » disait Bacon. Nous eussions été bien embarrassé s'il nous avait fallu, dans ce travail, réaliser cette fière devise. Heureusement la voie est trouvée : le chemin, fait. Depuis Lavoisier qui « posa le problème de la chaleur animale avec cette précision admirable qui fait de tous ses travaux des modèles de clarté et de profondeur » (2), une foule d'esprits éminents se sont occupés de cette théorie de la calorification. Nous aimons à déclarer que nous avons largement puisé dans les savants travaux de M. le professeur Gavarret, ainsi que dans ceux de M. Cl. Bernard et de M. Berthelot, dont les expériences récentes sur cette question ont eu, dans le monde scientifique, un retentissement si considérable.

Notre rôle se borne donc à énumérer les découvertes de nos maîtres. Heureux de notre modeste office d'écho, notre seule ambition est d'être un écho fidèle, et de ne pas trop défigurer, dans ce compte-rendu rapide, les beaux travaux et les savantes doctrines que nous avons à exposer.

(1) WURTZ. De la production de la chaleur dans les êtres organisés. Thèse pour l'agrégation. Paris, 1847.

(2) WURTZ. Loc. cit., p. 49.

THEORIE PHYSIQUE
DE LA
CALORIFICATION

CHAPITRE PREMIER.

« Les animaux sont des mécanismes, » a dit Descartes. Sans pousser à l'extrême, ainsi que le faisait Malebranche, les conséquences de cet aphorisme, nous dirons, avec les physiologistes les plus illustres de l'époque actuelle, que cette conception domine la science, et qu'il faut chercher à ramener les actes vitaux à des actes physiques et chimiques (1).

La théorie physique de la calorification est donc l'une des faces de ce problème si important et si longuement controversé de la production de la chaleur animale; mais ce problème, nous devons le traiter au point de vue physique, c'est-à-dire sans nous immiscer dans les questions de chimie ou de physiologie proprement dites.

Dès le début, nous établirons expérimentalement et appuierons d'observations nombreuses le fait de la ca-

(1) CL. BERNARD. Leçons sur la chaleur animale.
Prunier.

lorification dans la série des êtres vivants, avec ses différences et ses variations suivant la nature de ceux que l'on considère.

Nous définirons ensuite ce qu'il faut entendre par animaux à température fixe ou à température variable. Nous dirons ce que c'est que la température *propre* de l'animal, sa résistance au refroidissement, et nous donnerons un aperçu des méthodes de mesure qui ont servi à obtenir les résultats. Enfin nous examinerons la *topographie calorifique* chez les animaux supérieurs.

En un mot, nous commencerons par l'exposé des faits que nous devons reprendre et discuter dans les chapitres suivants.

CHALEUR PRODUITE PAR LES ANIMAUX

Nous ne saurions mieux faire que d'emprunter au très-remarquable ouvrage de M. le professeur Gavarret (*Sur les phénomènes physiques de la vie*), les considérations suivantes (1):

« Dans les conditions normales de leur développement et de leur existence, tous les animaux ont et conservent une température supérieure à celle du milieu, air et eau, dans lequel ils vivent; quelle que soit leur place dans l'échelle des êtres, ils jouissent tous, mais à des degrés divers, de la faculté de produire incessamment de la chaleur.

Les animaux supérieurs, mammifères et oiseaux, ceux que de tout temps les naturalistes ont désignés par la

(1) Sur les phénomènes physiques de la vie, par le professeur GAVARET. Paris 1869, p. 78 et suiv.

dénomination d'animaux à *sang chaud*, résistent avec une telle énergie aux influences extérieures, qu'ils maintiennent leur température sensiblement constante sous toutes les latitudes et dans tous les climats. Dans leur voyage d'exploration aux régions polaires, le capitaine Parry et le capitaine Back ont constaté que des mammifères et des oiseaux peuvent maintenir leur température propre à 60 et même 79 degrés au-dessus de celle de l'atmosphère.

« L'homme peut aussi braver les froids les plus excessifs sans que sa température soit notablement modifiée; il résulte des observations de J. Davy que la température des matelots ne s'élève pas de plus de un degré, lorsque, des climats froids de l'Europe septentrionale, ils passent aux régions les plus chaudes de la zone intertropicale. Ajoutons que la puissance de calorification des oiseaux est notablement supérieure à celle des mammifères, tandis que, suivant les familles et les espèces, la température des premiers varie entre 39°, 44 et 43°, 90, celle des seconds est comprise entre 35°, 50 et 40°, 50.

La résistance aux causes extérieures de refroidissement est un des caractères les plus remarquables des animaux des deux premières classes, et leur donne la faculté de jouir de la plénitude de leur activité dans toutes les saisons de l'année et sous tous les climats. En mettant de côté les *hibernants* qui, au point de vue de la calorification, se rapprochent beaucoup des animaux inférieurs. Les mammifères et les oiseaux méritent la désignation d'animaux à température constante. Les tableaux suivants dont les éléments sont empruntés aux principaux obser-

(1) GAVARRET. Loc. cit.

vateurs qui se sont occupés de recherches de cette nature, en même temps qu'ils servent de justification à nos propositions générales, donnent une juste idée de l'étendue et de l'importance des variations individuelles de la température des animaux. »

TEMPERATURE DES OISEAUX.

Désignation de l'animal.	Température propre de l'animal.
Pétrel	{ 40,30 40,80
Perroquet	41,10
Oie commune.	41,70
Chcucas	42,00
Chat-huant.	{ 40,00 40,91
Chouette.	41,47
Héron.	41,00
Moineau bien couvert de plumes.	39,08
Moineau commun.	{ 41,67 41,36 42,10
Bruant.	42,88
Tiercelet.	41,47
	41,80
	41,90
	42,00
Pigeon.	{ 42,10 42,50 42,98 43,00 43,30
Coq.	{ 39,44 40,00
Coq d'Inde.	42,70
Poule des jungles.	{ 42,00 42,50
Poule de Guinée	43,90
	39,44
	40,00
Poule commune.	{ 41,50 42,20 43,30
Grive commune.	43,90 42,80

Canard commun	42,50
Corneille.	43,90
Corbeau.	41,17
	42,91

TEMPERATURE DES MAMMIFÈRES.

Désignation de l'animal.	Température propre de l'animal.
Cheval de France.	36,80
Cheval arabe.	37,50
Rat commun.	38,80
Lièvre commun.	37,80
Tigre.	37,20
Chat commun.	38,30
	38,50
	38,90
Ecureuil	38,80
Canthère	38,90
	37,40
	39,00
Chien.	39,48
	39,60
	39,40
Elan femelle.	35,50
Singe.	39,70
	37,30
	38,00
	39,50
Mouton.	40,00
	40,50
Ichneumon	39,40
Chèvre	40,00
Bouc châtré	39,50
Ane.	36,95
Anesse.	37,78
Jackal.	38,30
Bœuf	37,50
	38,40
	39,00
Cabiai.	39,00
	39,00
	37,50
	38,00
Lapin	39,60
	39,70
	40,00
	35,62
Marsouin.	37,80
	38,89
Lamantin.	40,00

Ces résultats sont tirés de la comparaison des travaux de J. Davy, Prévost et Dumas, J. Hunter, Delaroche, Despretz, Broussonnet, Martine, etc. Dans la majorité des cas, le thermomètre était introduit dans le rectum.

Déjà l'on voit solidement établie la notion de *température constante* pour une même espèce.

Il est bien entendu que ces chiffres n'ont rien d'absolu et que, suivant le sexe et l'individu, il peut y avoir de légères différences, ainsi que le montre le travail de M. le professeur Ch. Martins (*Sur la température des oiseaux palmipèdes*) d'où il résulte que, dans l'espèce canard, la température des femelles est plus élevée et plus variable que celle des mâles. Ces différences peuvent atteindre *un degré*. Il serait donc à souhaiter d'avoir beaucoup d'observations sur chaque espèce, afin d'établir une moyenne.

Suivant les observateurs différents, la méthode, l'instrument et l'endroit exploré varient. Tout cela est regrettable pour la rigueur absolue des comparaisons.

Toutefois, par un examen attentif et approfondi, on a pu tirer des renseignements aussi utiles qu'incontestables.

Température de l'homme. — Beaucoup d'observateurs se sont occupés de déterminer la température de l'homme. Depuis Boerhaave qui lui assigna la valeur évidemment trop faible de $33^{\circ},33$ à $34^{\circ},44$, on peut citer Martins, Hunter, Prévost et Dumas, Despretz, J. Davy (qui ont donné des nombres peu concordants compris entre $36^{\circ},11$ et 39°).

Le choix de la région où se fait l'observation est important, et, pour rendre les résultats comparables, il faut

draît évidemment opérer au même endroit. Si l'on prend la température de la bouche, il faut avoir grand soin que la respiration se fasse *exclusivement* par les narines, ce qui est difficile à réaliser (Gavarret). L'anus, la main, présentent des difficultés ou des inconvénients non moins graves; c'est pourquoi M. le professeur Gavarret propose de prendre la température du tronc dans le creux de l'aisselle. « Le réservoir du thermomètre s'applique bien de toutes parts contre la peau quand on a soin, ce qui est toujours facile, de tenir le bras rapproché du thorax : la lecture se fait facilement sur place et sans déranger l'instrument. Cette région est assez bien abritée contre les variations extérieures pour que les résultats obtenus représentent exactement la température du corps. Enfin, l'observation n'entraînant avec elle ni fatigue, ni répugnance peut être prolongée assez longtemps pour que l'équilibre s'établisse entre le thermomètre et la peau » (1).

De ses observations personnelles, et de la comparaison attentive des résultats de ses devanciers, le même savant conclut que, dans l'état physiologique, la température « de l'homme adulte, prise sous l'aisselle, varie dans nos climats entre 36°,50 et 37°,50. » Et tout fait penser que ces résultats sont applicables sensiblement aux enfants et aux vieillards, pourvu qu'ils ne soient point soumis à des causes de refroidissement trop énergique.

Température propre. — Il nous faut maintenant définir ce qu'on entend en premier lieu par *température d'un animal*, et en second lieu par *température propre d'un animal*.

(1) GAVARRET. Dictionnaire de Dechambre ; art. *Chaleur animale*, p. 6.

La première est l'indication fournie par le thermomètre, introduit par exemple dans le cœur ou dans un gros tronc artériel de l'animal, soit encore dans le rectum ; la seconde est l'excès de la température de l'animal sur celle du milieu ambiant.

Les tableaux ci-dessous font voir que le lièvre, qui a pour température dans nos climats $37^{\circ},80$, conserve à très-peu de chose près cette même température (38° d'après le capitaine Parry) dans les régions polaires. Mais, en admettant $+11^{\circ}$ pour température de l'air ambiant dans le premier cas, et -30° dans le second, la température propre de l'animal est $26^{\circ},80$ dans un cas et $67^{\circ},80$ dans l'autre. Cette notion, chez les animaux supérieurs, est de peu d'importance en comparaison de l'invariabilité presque complète de leur température. Mais chez les animaux inférieurs (reptiles, poissons et tous les invertébrés), elle est au contraire proportionnelle à la puissance de calorification, surtout si l'on a soin de tenir compte de l'influence du volume, et des causes extérieures de refroidissement.

Pour donner une idée de l'énergie avec laquelle les animaux supérieurs résistent au refroidissement, nous reproduisons ci-dessous deux tableaux tirés des observations du capitaine Parry et du capitaine Back dans leurs voyages au pôle Nord.

OISEAUX.

Désignation de l'animal.	Température de l'animal	Température de l'air	Différence.
Gélinotte noire d'Amérique (male)....	43,2	— 42,7	56,0
Id. Id. Id. .	43,0	— 15,0	58,0
Gélinotte noire d'Amérique (femelle)...	42,8	— 8,3	51,1
Id. Id. Id. .	42,3	— 8,0	50,3
Id. Id. Id. .	42,8	— 1,1	43,9
Lagopède des saules (mâle).....	42,4	— 19,7	62,1
Id. Id.	43,3	— 32,8	76,1
Id. Id.	43,3	— 35,8	79,1

MAMMIFÈRES.

Désignation de l'animal.	Température de l'animal	Température de l'air	Différence.
Renard arctique.....	41,5	— 25,6	67,1
Id. Id.	38,5	— 20,6	59,1
Id. Id.	37,8	— 19,4	57,2
Id. Id.	38,5	— 29,5	68,9
Id. Id.	37,6	— 26,2	63,8
Id. Id.	36,6	— 23,3	59,9
Id. Id.	37,6	— 23,3	60,9
Id. Id.	40,2	— 30,5	70,7
Lièvre blanc.....	38,3	— 29,4	67,7
Renard.....	37,8	— 26,2	64,0
Id.	41,1	— 35,6	76,7
Id.	39,4	— 32,8	72,2
Id.	39,4	— 32,8	72,2
Id.	38,9	— 31,7	70,6
Id.	38,3	— 35,6	73,9
Loup.....	40,5	— 32,8	73,3

TEMPÉRATURE DES ANIMAUX INFÉRIEURS

Sous cette dénomination, nous comprendrons les reptiles, les poissons et tous les invertébrés.

Les animaux inférieurs résistent peu aux influences extérieures, et leur activité vitale se trouve placée dans la sujétion du monde ambiant. En cela, ils se rapprochent des végétaux, qui sont soumis davantage encore aux oscillations climatériques.

Nous ne développerons pas en tableaux aussi étendus que pour les animaux supérieurs les renseignements que possède la science sur ce point.

Nous nous bornerons à faire remarquer, avec M. le professeur Gavarret, que la dénomination d'animaux à *sang froid* devrait disparaître et faire place à celle d'animaux à *température variable*. En effet, au milieu de variations continuelles, leur température ne cesse pas d'être

Prunier.

3

supérieure à celle du milieu ambiant. Cet excès varie suivant les classes et les espèces d'animaux, et aussi suivant les saisons, et l'écart est compris entre un maximum de huit degrés et un minimum de deux dixièmes de degré.

Température des reptiles et des batraciens. — La température propre de ces animaux est très-variable en raison des espèces observées. Les résultats consignés dans le petit tableau suivant, en regard du nom de l'observateur, montrent que, dans la plupart des cas, elle est notablement plus élevée que celle du milieu environnant :

Proteus anguinus. . .	de 2°,65 à 5°,67	Czermak.
Emys europæa . . .	1,56 à 3,54	id.
Lacerta agilis. . . .	1,25 à 8,12	id.
Grenouille.	0,32 à 2,44	id.
id.	0,50 à 0,75	Becquerel.
Lézard.	0,75 à 1,25	id. ?
Boa	2°,50	id.
Grenouille.	2,80	J. Hunter.
Vipère.	5,56	id.
Couleuvre verte . .	3,90	J. Davy.
Couleuvre.	3,90	id.
Tortue géométrique	0,90 à 3,90	id.

Température des poissons. — Comme le montrent les résultats suivants, la température propre des poissons oscille entre 0°,20 et 3°,88, selon les espèces.

Deux faits observés par Davy sur une bonite des mers intertropicales et plusieurs pélamides de la mer de Marmara, prouvent que la température propre des animaux a son maximum dans les masses musculaires, et qu'elle peut dépasser de 10° celle de l'eau de la mer.

Brochet	3°,88	Krafft.
Carpe	1,94	Hunter.
Petits poissons. . . .	0,62 à 0,93	Broussonnet.
Tanche.	0,50	Becquerel.
Requin.	1,30	J. Davy.
Truite.	1,10	Id.
Poisson volant. . . .	0,20	Id.
Ablette.	0,55	Martine.

Température des articulés et des annélides. — La plupart des observateurs ont constaté une élévation de température considérable (22° et 38° Newport) dans des ruches d'abeilles, de guêpes, les fourmilières, etc. Ces faits, qui ne peuvent servir à établir la température propre de ces animaux, prouvent du moins incontestablement qu'ils jouissent de la faculté de produire de la chaleur.

Newport a constaté, dans son grand travail sur la température des insectes, que leur température propre est plus élevée chez les insectes volants, et en particulier chez les abeilles et les sphinx.

Sphinx convolvuli.	2°,50	Hausmann.
Grillon.	5,80	J. Davy.
Guêpe.	0,50	Id.
Chenille de ver à soie.	1,00	Becquerel.
Hanneton.	1,77	Newport.
Meloe proscarabæus.	0,83	Id.
Sphinx atropos.	0,58	Dutrochet.
Lucanus cervus.	0,22	Id.
Sangsues,	0,56 à 0,85	Hunter.
Maja squinado portant des œufs.	0,90	Valentin.

Mollusques et zoophytes. — Valentin résume de cette façon ses recherches sur la température propre des animaux inférieurs :

Polypes.	0°,21
Meduses.	0,27
Echinodermes.	0,40
Mollusques.	0,46
Céphalopodes.	0,57
Crustacés.	0,60

Indiquons rapidement les procédés thermométriques employés par les divers observateurs :

En général, c'est le thermomètre à mercure qu'on a le plus souvent employé. Quand l'animal est volumineux, ce procédé n'a pas de grands inconvénients; on ne peut

l'employer lorsqu'on opère sur des animaux de petit volume, à moins d'en accumuler un grand nombre autour du réservoir du thermomètre. Même dans ce cas, le procédé est défectueux pour rechercher la température propre, car l'air contenu dans le vase où les animaux sont enfermés, s'échauffe et réagit sur ceux-ci.

Quand on a affaire à un petit animal isolé comme un insecte, la chaleur prise par le mercure et la masse du verre ne peut jamais être négligeable; elle tend toujours à abaisser la température de l'animal, le thermomètre doit donc être rejeté dans ce cas.

Les instruments thermo-électriques sont plus sensibles, plus rapides dans leurs indications: on peut du reste les introduire sans inconvénients trop graves dans le corps des plus petits animaux.

En 1834, Nobili et Melloni se servirent de leur pile pour la recherche de la température des insectes. Les

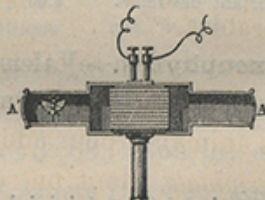


Fig. 1 (1).

deux extrémités de l'enveloppe de la pile étaient fermées par des miroirs sphériques, en cuivre poli afin d'empêcher le rayonnement extérieur, et l'animal placé au foyer principal de l'un des miroirs. (Voir la fig. 1).

Ce procédé empêche le rayonnement et l'évaporation, mais il a l'inconvénient de placer l'insecte dans une masse d'air limitée, dont la température peut s'élever et

(1) Empruntée au Dictionnaire Dechambre, art. Chaleur animale.

réagir sur l'animal; il ne donne du reste que la chaleur émise par rayonnement.

M. Becquerel (1) se servait des aiguilles thermo-électriques et de deux boîtes en carton, dont l'intérieur était garni de papier métallique afin d'augmenter le pouvoir réfléchissant: l'une des boîtes renfermait l'aiguille libre, l'autre, l'insecte muni de la seconde aiguille; les boîtes étant fermées, il laissait écouler dix minutes afin de leur donner le temps de perdre la chaleur communiquée par les mains, puis il mettait les deux aiguilles en communication avec les fils du galvanomètre.

Ici, comme dans le procédé de Melloni, l'animal est à l'abri de l'évaporation et du rayonnement, mais l'espace est encore trop limité, et on comprend qu'il faut absolument que les milieux dans lesquels se trouvent les deux aiguilles se maintiennent exactement à la même température. De sorte que le procédé de Dutrochet nous semble préférable, du moins lorsqu'il est employé avec toutes les précautions désirables.

Cet habile expérimentateur a rejeté les aiguilles à soude médiane afin de n'avoir pas à transpercer de part en part le corps des animaux, pour adopter les aiguilles à soude *angulo-terminale*, dont on enfonce la pointe d'environ 5 millimètres.

Il commençait par se procurer deux animaux de la même espèce et de la même taille, il en tuait un en le plongeant dans de l'eau à 50°, puis il le refroidissait dans de l'eau à la température ambiante. Les deux animaux étaient ensuite fixés chacun à une tige de bois sec, et ces supports enfoncés dans un pot rempli de sable fin. Les

(1) Traité de physique, t. IV, p. 51.

aiguilles étaient introduites, l'une dans l'animal vivant, l'autre dans le corps de l'animal mort en des points symétriques. (Voyez fig. 2). Pour se mettre à l'abri de l'évaporation, qui aurait pu être inégale, et plus forte chez l'animal mort, il recouvrait le pot d'une assez grande cloche en verre et humectait son sable afin d'opérer dans une atmosphère saturée. De sorte que du même coup, il

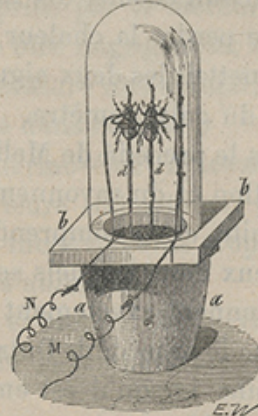


Fig. 2 (1).

se mettait à l'abri des erreurs dues au rayonnement, à l'action de l'air extérieur, et à celle de l'évaporation.

Dans ces conditions, le corps de l'animal mort ne sert plus qu'à maintenir la soudure en équilibre de température avec le milieu environnant, en empêchant le rayonnement extérieur; on peut donc le remplacer, ainsi que l'a reconnu expérimentalement Dutrochet, par un petit cône de papier dans lequel on enfonce la soudure. Ce mode de procéder fait disparaître la difficulté que l'on éprouve parfois à se procurer deux animaux de même grosseur.

Pour terminer ce qui a trait à la calorification des ani-

(1) Empruntée au Dictionnaire Dechambre, art. Chaleur animale.

maux inférieurs, nous citerons le récent travail de M. Girard *Sur la chaleur libre dégagée par les invertébrés et surtout par les insectes* (1).

L'auteur cherche à varier les méthodes d'expérimentation et les compare les unes aux autres. Il propose l'emploi d'une modification du thermomètre différentiel de Leslie. Un réservoir interne est ménagé dans l'une des boules et reçoit l'insecte en expérience.

La pile thermo-électrique est employée aussi, mais l'auteur la dispose verticalement pour assurer le contact direct avec l'animal. En résumé, l'auteur confirme les résultats de ses devanciers et particulièrement de Newport, en appelant l'attention sur ce fait que le maximum de température se produit « dans le thorax en un foyer d'intensité proportionnelle à la puissance effective du vol (2). » La température propre des insectes peut atteindre et même dépasser celle des reptiles.

CHALEUR PRODUITE PAR LES VÉGÉTAUX.

Nous croirions restreindre le sujet de l'étude physique de la calorification, si nous ne disions au moins quelques mots de la production de la chaleur dans les végétaux. Déjà plus haut, nous autorisant de la parole d'un maître illustre, nous rapprochions les animaux inférieurs des végétaux; « nous ne séparerons donc pas ce qui doit être uni » (3).

Depuis les travaux de Dutrochet, de Saussure, Van

(1) GIRARD. Thèses de la Faculté des sciences. Paris, 1869.

(2) GIRARD. Loc. cit.

(3) BAILLON. Thèse d'agrégation. Du mouv. dans les organes sexuels des végétaux et dans les produits de ces organes. Paris, 1872.

Beck et Bergsma, on admet chez les végétaux la production de chaleur à l'état normal. Ce fait n'était demeuré indécis que par suite des difficultés inhérentes à l'observation.

En tout cas, la chose ne peut être douteuse pour personne, si l'on considère les phénomènes de la germination et de la floraison, auxquels s'appliquent si bien ces paroles de M. Dumas : « La plante se fait animal. »

Dutrochet, expérimentant d'abord à l'air libre et se contentant de se mettre à l'abri du rayonnement en recouvrant de papier *sec* la soudure externe de son aiguille thermo-électrique, avait constaté au premier abord que, presque toujours, la température de la plante était inférieure à celle de l'atmosphère; mais il pensa judicieusement que ce résultat devait être imputé à l'évaporation, et pour se mettre à l'abri de cette cause d'erreur, il enveloppa sa soudure d'une tige de même diamètre, absolument semblable à celle sur laquelle il opérait, et récemment *tuée* par une température de 50 degrés; en dernier lieu, il opéra dans un espace clos, saturé d'humidité, de façon à supprimer complètement toute perte de liquide par voie d'exhalation (1).

Avec ces précautions, il trouva *toujours* un excès de température dans la plante vivante.

Examinons rapidement la température des végétaux dans la germination, pendant la fécondation, et dans la végétation proprement dite, c'est-à-dire dans les trois phases les plus importantes de la vie des plantes.

Germination.—Le développement de la chaleur pen-

(1) Ann. d'hist. nat., t. III, p. 5.

dant la germination est des plus évidents; on en a un exemple frappant lorsqu'on pénètre dans un germoir de brasserie. La température élevée qui y règne, malgré la ventilation, n'est pas artificielle; elle résulte de l'échauffement spontané des grains d'orge humides pendant le travail de la germination. Les recherches de M. Göppert ont établi que pendant la germination de l'avoine, la température s'élevait, en treize jours, de $1^{\circ},25$ à $18^{\circ},75$ au-dessus de l'atmosphère environnante. D'autres graines, des tubercules, des bulbes, lui ont donné des résultats analogues.

Floraison.—Lamarck fit connaître, en 1777, l'échauffement considérable que subit le spadice de l'*arum italicum*, au moment de l'épanouissement de la spathe; mais il ne chercha pas à le mesurer.

De Saussure, Schultz, Dutrochet, Brongniart, etc., s'occupèrent depuis de recherches analogues sur les fleurs de quelques aroïdées et cucurbitacées, au moment de la fécondation. Les observations que Dutrochet a publiées, portent sur l'*arum maculatum*: ses conclusions sont remarquables (1):

1° L'échauffement du spadice possède les caractères d'un accès de fièvre quotidienne; le maximum a lieu pendant la journée, et le minimum pendant la nuit;

2° L'échauffement commence deux jours avant l'épanouissement de la spathe; l'excès de température ne dépasse pas $0^{\circ},28$;

3° Le jour de l'épanouissement, l'excès de température peut atteindre $10^{\circ},40$ dans la partie du spadice ren-

(1) Ann. des sciences naturelles, t. XIII, p. 65.
Prunier.

flée en massue, qui est constituée par les fleurs mâles avortées ;

4° Le lendemain de l'épanouissement, l'accès de fièvre siège principalement dans les fleurs mâles fertiles; l'excès de température ne dépasse pas 7°78.

Dans les fleurs femelles, la température se montre toujours moins élevée que dans les fleurs mâles ;

5° Le deuxième accès de fièvre qui détermine l'émission du pollen, a lieu même lorsque la plante est soustraite à l'action de la lumière et plongée dans une complète obscurité.

A l'île Bourbon, Hubert avait déjà signalé, en 1804, que le spadice de l'*arum cordifolium* acquiert une température dépassant de 25 degrés celle de l'air ambiant. M. Brongniart (1), en 1834, signala un excès de 11 degrés pendant l'accès de fièvre de la fleur de *Colocasia odora* (aroidées) et ses résultats furent pleinement confirmés, à l'aide d'aiguilles thermo-électriques, par MM. Van Beeck et Bergsma (2). Tous les expérimentateurs s'accordent, du reste, pour donner aux fleurs mâles une température notablement supérieure à celle des femelles.

On peut se servir, pour constater l'échauffement spontané des graines qui germent ou des bourgeons floraux qui se développent, d'un appareil extrêmement simple, décrit par Sachs. Il se compose d'un flacon sur lequel repose un entonnoir contenant un petit filtre percé avec une aiguille. L'entonnoir est rempli soit de graines imbibées d'eau, soit de boutons de fleurs coupés, en voie

(1) Nouv. Ann. du Muséum, t. III, p. 445.

(2) Comptes-rendus, t. VIII, p. 454.

d'épanouissement. Puis on recouvre le tout d'une cloche percée à la partie supérieure. La tubulure de la cloche est traversée par un thermomètre très-sensible donnant au moins le $1/10^{\circ}$ de degré, et dont le réservoir est enveloppé de tous côtés par les graines ou les boutons : une bourre de coton ferme la tubulure.

Le flacon, renfermant une solution de potasse ou de soude caustique, absorbe l'acide carbonique dégagé, tandis que par la fermeture incomplète de la tubulure l'accès de l'air frais et oxygéné demeure libre ; de cette façon la respiration s'entretient tandis que l'évaporation et le rayonnement sont réduits au minimum. On rend, du reste, l'expérience comparative, en plaçant à côté de l'appareil un autre tout semblable, dans lequel les fleurs sont remplacées par du papier humide, des feuilles, etc. Il est à peine besoin de dire qu'on n'emploie pas les fleurs sortant du jardin, mais qu'on attend quelques heures, jusqu'à ce qu'elles aient pris la température de la pièce où l'on fait l'expérience.

Végétation. — La détermination de la température propre des plantes pendant la végétation présente des difficultés extrêmes. Il faut se mettre, en effet, à l'abri des perturbations apportées par le rayonnement et surtout par l'évaporation des liquides ; ces précautions doivent être d'autant plus minutieuses que, dans la plupart des cas, on se trouve en présence d'un excès très-minime de température.

Avant Dutrochet, Hunter et Schept avaient essayé de déterminer la température propre des gros arbres en enfonçant un thermomètre dans un trou pratiqué dans leur tronc. Cette méthode ne pouvait conduire à aucun

résultat sérieux : la vie végétale est presque nulle dans cette partie; de plus, le réservoir du thermomètre est toujours en contact avec le courant de la sève ascendante; il tend par conséquent, à prendre la température du sol.

Ces observateurs avaient conclu de ces expériences vicieuses que l'arbre possède, en général, une température inférieure à celle de l'air.

Dutrochet (1) arriva à une conclusion tout opposée en observant les parties vertes en voie de développement, c'est-à-dire dans la période d'activité maxima de la vie végétative. Les résultats qu'il donne sont les suivants :

1° Dans les jeunes tiges, la température atteint son maximum dans la portion située immédiatement au-dessous du bourgeon terminal. L'excès de température croît, puis diminue dans le cours de la journée. L'heure du maximum est variable d'une plante à l'autre; elle oscille entre dix heures du matin et trois heures du soir; l'écart de température est compris entre 0°09 et 1°.

2° Dans les feuilles, le phénomène est peu intense, sans doute à cause de la grande surface de cet organe qui tend à se mettre rapidement en équilibre de température avec l'atmosphère. Il existe néanmoins et l'écart peut s'élever jusqu'à 0°25;

3° Dans les fruits verts, c'est-à-dire en voie d'accroissement, la production de chaleur est la même que dans la tige et les feuilles. Les fruits cueillis n'ont plus de température propre;

(1) Ann. des sciences nat., bot., 2^e série, t. XIII.

4° Dans les racines et les tiges souterraines le phénomène manque de netteté.

On voit donc, d'après ce qui précède, que pendant les diverses phases de la vie végétative, la température des plantes est constamment supérieure à celle du milieu ambiant.

RÉPARTITION DE LA TEMPÉRATURE CHEZ LES ANIMAUX.

Dans ce qui précède nous avons montré que tous les animaux produisent de la chaleur et sans entrer dans le détail du phénomène, nous avons rappelé les principales données expérimentales.

Mais la science possède un ensemble très-important de travaux et d'observations sur la répartition de la température suivant les régions et les différents organes chez les animaux supérieurs.

En effet, ce n'est pas seulement d'un animal à un autre que la température varie, mais, pour un même animal, les indications du thermomètre diffèrent suivant l'endroit où le réservoir est plongé. C'est ce que montre le tableau suivant de la répartition de la température dans le corps d'un agneau. Ce tableau est dû à John Davy. Les températures superficielles étaient obtenues en plaçant le thermomètre dans une incision, après quoi l'animal a été sacrifié pour fournir les autres indications.

Nous y joignons, en regard, les résultats trouvés sur l'homme (1).

(1) GAVARRET. Dict. Dechambre, loc. cit., p. 8.

TABLEAU A. — Auteurs qui ont trouvé le sang artériel plus chaud que le sang veineux.

AUTEURS.	SANG artériel.	SANG veineux.	DIFFÉRENCE en faveur du sang artériel.	ANIMAUX.	VAISSEAUX EXPÉRIMENTÉS.	PROCÉDÉS. D'EXPÉRIMENTATION.
Haller (1760).	37,2	36,4	1,4	?	?	? Citation. Schwenke.
Crawford (1778).	38,8	37,5	1,3	Mouton.	Artère carotide, veine jugulaire.	Thermomètre dans le sang recueilli.
Krimer (1823).	38,18 37,5 37,2	37,20 36,6 36,3	0,93 0,9 0,9	Homme. Femme. Homme.	Artère temporale, veine jugulaire. Artère temporale, veine jugulaire, Artère et veine brachiales, amputation du bras.	Thermomètre dans le jet du sang. Id. Id.
Scudamore (1826).	37,7 36,4	36,6 35,5	1,1 0,6	Mouton. Homme.	Artère carotide, veine jugulaire. Artère temporale, veine du bras.	Id. Id.
Saissy (1808).	38,5	38,0	0,5	Marmotte.	Cœur gauche, cœur droit.	Incision des cavités du cœur. 2 thermomètres comparés simultanément.
	36,5 38,0	36,0 37,5	0,5 0,5	Hérisson. Ecureuil.	Id. Id.	Id. Expériences sur 2 animaux comparés.
	31,4	31,0	0,4	Chauve-souris.	Id.	Id.
J. Davy. 181°	40,0	39,1	0,9	Agneau.	Artère carotide, veine jugulaire.	Thermomètre F. plongé dans la veine. Thermomètre F. dans le jet du sang artériel.
	40,5 40,5 40,5 40,5 40,2 40,0 40,0 38,6 38,3	40,0 40,0 39,7 40,0 39,7 39,1 39,4 37,7 38,3	0,5 0,5 0,8 0,5 0,5 0,9 0,6 0,9 0,0	Id. Id. Id. Id. Brebis. Id. Id. Bœuf. Id.	Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id.	
Nasse (1843). 1 ^{re} série d'expériences.	41,1 41,1 41,1	40,8 40,5 40,8	0,3 0,6 0,3	Agneau. Id. Id.	Cœur gauche, cœur droit. Id. Id.	40,0 40,5 40,3
				Poules.	Comparaison du cœur gauche avec le cloaque. Ce dernier plus chaud.	Poitrine ouverte; ventricules incisés.
2 ^e série d'expériences.	42,80 41,80	41,25 40,60	1,55 1,20	?	Cœur gauche, cœur droit. Id.	Animal récemment mort; poitrine ouverte; cœur incisé (procédé de Davy).
	42,50	41,25	1,25	?	Id.	
Beoquerel et Breschet (1837).	.....	.....	0,84	Chien.	Aorte sortant du cœur, veine-cave inférieure entrant dans le cœur.	Aiguilles thermo-électriques; poitrine ouverte; animal récemment mort.
	.....	.....	1,12	Id.	Artère crurale, veine crurale.	Id.
	.....	.....	0,84	Id.	Id.	Id.
	.....	.....	0,84	Id.	Carotide et veine crurale.	Id.
	38,90	38,0	0,90	Id.	Artère crurale, veine jugulaire.	Id.
	.....	.....	0,15	Id.	Carotide, artère crurale.	Id.
	.....	.....	.....	Id.	Veine jugulaire, 0°,30 plus chaud que la veine crurale.	

0 1 2 3 4 5 (cm)

TABLEAU B. — Auteurs qui ont trouvé le sang veineux plus chaud que le sang artériel.

NOMS des AUTEURS.	SANG artériel	SANG veineux.	DIFFÉRENCE en faveur du sang veineux	ANIMAUX.	VAISSEAUX EXPÉRIMENTÉS.	PROCÉDÉS D'EXPÉRIMENTATION.
Berger (1833)	40°,90	41°,40	0°,50	Mouton.	Cœur droit plus chaud que le cœur gauche.	Procédé non indiqué.
Collard de Martigny et Malgaigne (1832)	»	»	»	Chien.	Cœur droit plus chaud que le cœur gauche.	Animal récemment mort; poitrine en partie ouverte.
Magendie et Claude Bernard (1844).	»	»	»	Cheval.	Cœur droit plus chaud que le cœur gauche.	Animal vivant et debout, circulation non interrompue.
Cl. Bernard (1849).	»	»	»	Chien.	Sang de la veine cave au niveau du foie plus chaud que le sang de l'aorte.	Animal vivant; thermomètre introduit par le ventre.
Hering (1850).	38,77	39,30	0,53	Veau atteint d'ectopie du cœur.	Cœur droit plus chaud que le cœur gauche.	Incision des ventricules du cœur.
G. Liebig (1854).	36,32	36,35	0 03	Chien.	Cœur droit plus chaud que le cœur gauche.	Animaux vivants; circulation non interrompue; thermomètre introduit par le cou.
Cl. Bernard (1857).	38,0	38,2	0,02	Chien.	Cœur droit plus chaud que le cœur gauche.	Animaux vivants; circulation non interrompue; thermomètre introduit par les vaisseaux du cou.
1 ^{re} série.	39,3	39,5	0,02	Id.	Id.	
	39,1	39,2	0,01	Id.	Id.	
	38,6	38,8	0,02	Id.	Id.	
	38,5	38,7	0,02	Id.	Id.	
	38,6	38,8	0,02	Id.	Id.	
	39,1	39,2	0,01	Id.	Id.	
	38,7	38,9	0,02	Id.	Id.	
	38,8	38,9	0,01	Id.	Id.	
	39,2	39,4	0,02	Id.	Id.	
	40,12	40,37	0,25	Mouton.	Cœur droit plus chaud que le cœur gauche.	Animaux vivants; circulation non interrompue; thermomètre introduit par les vaisseaux du cou.
2 ^e série.	39,92	40,32	0,40	Id.	Id.	
	39,53	39,60	0,01	Id.	Id.	
	40,24	40,59	0,28	Id.	Id.	
	39,58	39,87	0,08	Id.	Id.	
	40,09	40,48		Id.	Id.	

0 1 2 3 4 5 (cm)

<i>Répartition de la température dans les diverses régions du corps d'un agneau (réservoir du thermomètre sous la peau).</i>		<i>Répartition de la température dans les diverses régions du corps d'un homme vivant (réservoir du thermomètre à l'extérieur).</i>	
Sur l'os du tarse.....	32°,22	Sous la plante du pied.....	32°,22
Sur l'os du métatarse.....	36,44	Entre la malléole interne et l'insertion du tendon d'Achille, sur l'artère.....	33,89
Sur l'articulation du genou....	38,89	Sur le milieu du tibia.....	33,06
Vers le haut de la cuisse.....	29,44	Sur le milieu du mollet.....	33,89
Sur la hanche.....	40,00	Sur l'artère poplitée au pli du genou.....	35,00
Au milieu de la matière cérébr.	40,00	Sur la fémorale au milieu de la cuisse.....	34,44
Dans le rectum.....	40,56	Sur le milieu du muscle droit..	32,78
Dans le sang de la veine jugulaire	40,84	Sur les gros vaisseaux de la hanche.....	35,84
Vers la base du foie.....	41,11	Un quart de pouce au-dessous du nombril.....	35,00
Dans le ventric. droit du cœur	41,11	Sur la sixième côte gauche, sur le cœur.....	34,44
Dans le parenchyme du foie....	41,39	Sur la sixième côte droite.....	33,89
Dans le parenchyme du poulmon	41,39	Sous l'aisselle, où l'on applique la surface entière du réservoir du thermomètre.....	36,67
Dans le sang de la carotide.....	41,67		
Dans le ventric. gauche du cœur	41,67		

Il existe donc une *topographie calorifique* et, outre J. Davy, un grand nombre de physiologistes se sont occupés de comparer d'abord la température du sang veineux et artériel, dans le cœur ou dans les vaisseaux.

Nous touchons ici à cette grande question physiologique de la température du sang. Ce terrain n'est pas le nôtre, et nous ne devons pas nous y engager; surtout nous éviterons d'entrer dans la discussion des résultats. Toutefois, en tant que résultats et méthodes thermométriques, ces déterminations rentrent dans notre cadre et nous devons au moins les faire figurer dans l'énoncé des faits que possède la science. Pour rester dans les limites qui nous sont tracées, nous nous contenterons d'emprunter au livre de M. Cl. Bernard (*Leçons sur la chaleur animale*, p. 40-44 et 48-49), les tableaux ci-après, on y trouve à la fois l'historique de la question, ses deux

phases principales, les noms et les résultats des principaux auteurs, les animaux et les vaisseaux qui ont servi aux expériences et enfin les procédés d'expérimentation.

A cette époque (1857), la question paraissait jugée, et, pendant dix ans, il ne se rencontra personne pour soutenir la thèse contraire.

En 1867 cependant, M. Colin d'Alfort (1) publia des

Expériences de MM. Heidenhain et Körner (1871).

MESURES THERMOMÉTRIQUES.				MESURES THERMO-ÉLECTRIQUES.			
Cœur droit.	Cœur gauche.	Différences.		Différence à l'avantage du cœur droit.			
37,32.....	37,19	+	0,13	+	0,18	+	0,22
	37,10	+	0,32	+	0,16	+	0,08
37,30.....	37,01	+	0,29	+	0,13	+	0,05
	38,31	+	0,10	+	0,10	+	0,22
38,41.....	38,29	+	0,12	+	0,11	+	0,26
	38,42	+	0,10	+	0,14	+	0,09
38,22.....	38,42	+	0,28	+	0,14	+	0,13
37,51.....	37,31	+	0,20	+	0,21	+	0,14
38,42.....	38,42	=	0,00	+	0,06	+	0,21
38,82.....	38,80	+	0,02	+	0,02	+	0,24
38,51.....	38,32	+	0,19	+	0,27	+	0,28
38,55.....	.....	+	0,28	+	0,15	+	0,27
38,50.....	38,44	+	0,06	+	0,17	+	0,25
38,72.....	38,69	+	0,03	+	0,13	+	0,20
38,60.....	38,51	+	0,09	+	0,09	+	0,27
38,61.....	38,21	+	0,40	+	0,06	+	0,30
38,15.....	37,83	+	0,32	+	0,06	+	0,22
39,13.....	39,05	+	0,08	+	0,13	+	0,60
39,21.....	39,13	+	0,08	+	0,08	+	0,06
38,63.....	38,56	+	0,07	+	0,08	+	0,02
38,65.....	.....	+	0,09	+	0,07	+	0,28
39,78.....	49,64	+	0,14	+	0,06	+	0,19
39,91.....	39,68	+	0,23	+	0,11	+	0,18
38,75.....	38,54	+	0,21	+	0,11	+	0,33
39,58.....	39,43	+	0,15	+	0,13	+	0,25
39,58.....	39,39	+	0,19	+	0,22	+	0,45
37,90.....	37,74	+	0,16	+	0,20	+	0,17
37,75.....	37,62	+	0,13	+	0,19	+	0,02
38,85.....	38,75	+	0,10	+	0,24	+	0,54
38,88.....	.....	+	0,13	+	0,19	+	0,31
39,98.....	38,81	+	0,17	+	0,17	+	
37,04.....	37,02	+	0,02				
38,53.....	38,36	+	0,17				
58,09.....	33,79	+	0,30				

(1) Annales des sciences naturelles. Zoologie, 5^e série, t. VII.

expériences d'où il conclut que le sang *s'échauffe dans le poumon*.

Puis vinrent M. Lombard en Amérique, 1869; M. Jacobson, 1870, et, en 1871, un travail important de MM. Heidenhain et Körner qui confirment les résultats de M. Cl. Bernard.

Enfin, en 1872, M. Riegel, de Wurtzbourg, a publié des expériences.

Disons encore que M. Cl. Bernard vient de reprendre les expériences avec tout le soin imaginable et au moyen des méthodes les plus sensibles dont on dispose actuellement. (Nous y reviendrons en parlant des méthodes thermométriques.) Les nouvelles observations confirment les anciennes et concluent dans le même sens, c'est-à-dire que le cœur droit présente toujours un excès de température sur le cœur gauche (1).

Il est donc établi que le sang se refroidit en traversant le poumon. Mais si le ventricule droit est plus chaud que le ventricule gauche, il ne s'ensuit pas cependant que le maximum de la température animale se produise en cet endroit.

Les travaux de M. Cl. Bernard ont, en effet, montré que le passage du sang à travers l'appareil digestif est suivi d'une augmentation de température.

Les résultats sont consignés dans les tableaux suivants (2) :

Le premier tableau montre qu'à la sortie de l'appareil digestif, après avoir traversé l'intestin et le foie, le sang est toujours plus chaud qu'à l'entrée.

(1) C. BERNARD. Leçons sur la ch. animale, p. 70, 75, 80, 83, 92, etc.

(2) GAVARRET. Dict. Dechambre, p. 41 et 42.

TABLEAU 1.

Température du sang comparée dans l'aorte ventrale et dans les veines hépatiques (avant et après l'appareil digestif).

	Aorte ventrale.	Veines hépatiques.	Différences.	Observations.
1 ^{er} chien	40°3	40°6	+0°3	à jeun.
2 ^e —	40,3	40,9	+0,6	en digestion.
3 ^e —	39,4	39,6	+0,2	à jeun, deux jours.
4 ^e —	39,6	39,9	+0,3	en digestion.
5 ^e —	39,4	39,6	+0,2	digestion, affaibli.
6 ^e —	38,6	38,9	+0,3	en digestion.
7 ^e —	41,0	41,6	+0,6	fin. digestion; vigoureux.
8 ^e —	40,0	40,2	+0,2	début, digestion.
9 ^e —	39,5	40,0	+0,5	début, digestion.
10 ^e —	40,0	40,7	+0,7	à jeun, vigoureux.
11 ^e —	41,0	41,6	+0,6	digestion, vigoureux.
12 ^e —	39,0	39,6	+0,6	à jeun, alcool.
13 ^e —	37,6	38,4	+0,8	à jeun 4 jours, éther.
14 ^e —	38,7	39,6	+0,9	digestion, vigoureux.
15 ^e —	38,4	39,4	+1,0	petite taille.
16 ^e —	37,5	38,2	+0,7	affaibli.
17 ^e —	37,1	38,7	+1,6	affaibli.
18 ^e —	38,7	38,9	+0,2	à jeun, vigoureux.

TABLEAU 2.

Température comparée du sang dans l'aorte ventrale et dans la veine-porte (avant et après l'intestin).

	Aorte ventrale.	Veine porte.	Différences.	Observations.
1 ^{er} chien	30°6	39°8	+0°2	digestion.
2 ^e —	40,3	40,7	+0,4	digestion.
3 ^e —	39,4	39,5	+0,1	à jeun.
4 ^e —	39,5	39,7	+0,2	digestion.
5 ^e —	40,9	40,6	-0,3	digestion.
6 ^e —	40,3	40,2	-0,1	digestion, a bu.
7 ^e —	38,6	38,6	0,0	digestion.
8 ^e —	39,9	39,5	-0,4	début de digestion.
9 ^e —	39,4	39,3	-0,1	à jeun 2 jours.
10 ^e —	40,0	40,2	+0,2	à jeun.
11 ^e —	39,0	39,4	+0,4	à jeun.
12 ^e —	37,6	38,0	+0,4	à jeun.
13 ^e —	38,7	39,2	+0,5	fin de digestion.
14 ^e —	37,5	37,8	+0,3	fin de digestion.
15 ^e —	38,7	38,8	+0,1	à jeun.

TABLEAU 3.

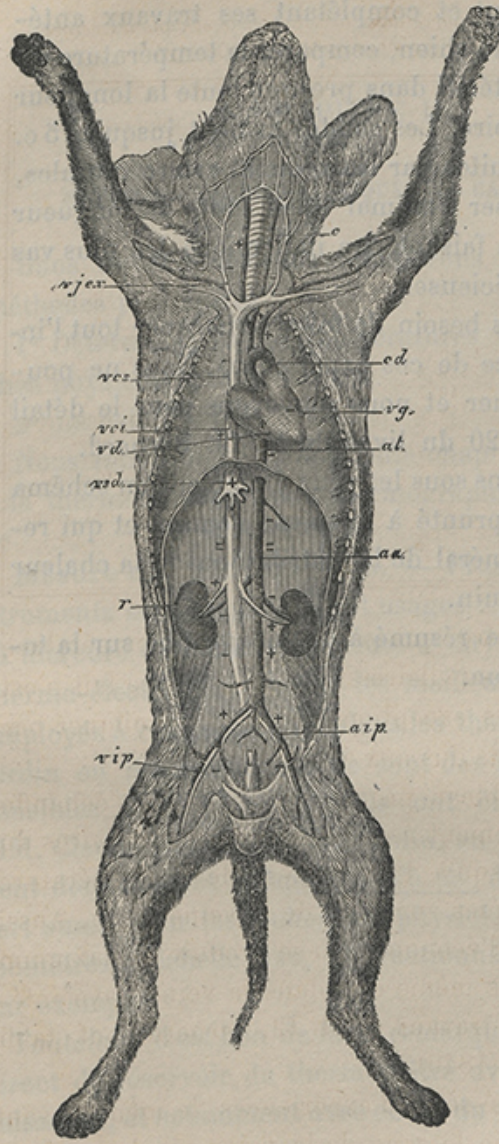
Température du sang comparée dans la veine porte et dans les veines hépatiques (avant et après le foie).

	Veine porte.	Veines hépatiques.	Différences.	Observations.
1 ^{er} chien.	40°,2	40°,6	+0°,4	à jeun.
2 ^e —	41°,3	41°,5	+0°,2	à jeun.
3 ^e —	40°,6	40°,9	+0°,3	en digestion.
4 ^e —	40°,7	40°,9	+0°,2	à jeun.
5 ^e —	39°,4	39°,6	+0°,2	à jeun.
6 ^e —	29°,8	39°,9	+0°,1	digestion, affaibli.
7 ^e —	39°,5	39°,6	+0°,1	à jeun.
8 ^e —	38°,6	38°,9	+0°,3	digestion, affaibli.
9 ^e —	39°,5	40°,2	+0°,7	digestion.
10 ^e —	39°,6	39°,8	+0°,2	digestion.
11 ^e —	40°,2	40°,7	+0°,5	à jeun.
12 ^e —	39°,7	41°,3	+1°,6	digestion, vigoureux.
13 ^e —	39°,4	39°,6	+0°,2	à jeun, 4 jours.
14 ^e —	37°,8	38°,4	+0°,6	à jeun, 4 jours.
15 ^e —	39°,3	39°,8	+0°,5	digestion, féculents.
16 ^e —	39°,6	39°,7	+0°,1	digestion.
17 ^e —	35°,0	35°,2	+0°,2	mort, respirat. artific.
18 ^e —	37°,8	38°,2	+0°,4	" "
19 ^e —	38°,8	38°,9	+0°,1	à jeun.

Le second montre que *généralement* la température augmente dans les capillaires intestinaux — ce fait n'est pas absolu — et les exceptions peuvent s'expliquer par des refroidissements dus aux aliments.

Le troisième tableau prouve que le sang s'échauffe *toujours* et relativement *beaucoup* dans les capillaires du foie. On y voit jusqu'à 1°,6 d'excès de la température des veines hépatiques sur celle de la veine porte. Aussi est-ce l'endroit de l'économie où se produit le maximum de température, de même que dans la veine cave inférieure, comme les travaux de M. Cl. Bernard l'ont établi depuis longtemps (1849).

Dans une autre série d'expériences, le même savant avait démontré que le sang de la veine rénale est constamment plus chaud que celui de l'artère.



vc. Veine cave inférieure au-dessus du diaphragme, le sang est toujours plus chaud +.
c. Artère carotide primitive, sang plus chaud +.
vj ex. Veine jugulaire externe; sang moins chaud —.
 Vaisseaux du membre supérieur : Artère axillaire; sang plus chaud +. — Veine axillaire; sang moins chaud —.
vc s. Veine cave supérieure; sang moins chaud —.
cd. Crosse aortique; sang plus chaud +.
vd. Ventricule droit; sang plus chaud +.
vg. Ventricule gauche; sang moins chaud —.

ai p. Artère crurale et iliaque primitive, sang artériel plus chaud +.
vi p. Veine crurale et iliaque primitive, sang veineux moins chaud —.
r. Rein : dans les artères rénales, sang moins chaud — ; dans les veines rénales, sang plus chaud —.
aa. Aorte abdom. : en ce point il y a égalité entre la temp. du sang de l'aorte et de la veine cave inférieure.
vs d. Veines sus-hépatiques; la le sang veineux est le plus chaud + ; le sang de l'aorte est moins chaud —.
at. Aorte thoracique; le sang est moins chaud —.

Fig. 3. — Représentation du système circulatoire du chien.
 Empruntée aux Leçons sur la chaleur animale, de M. Cl. Bernard.

Enfin, généralisant et complétant ses travaux antérieurs, il a pu, sur un chien, comparer la température du sang veineux et artériel dans presque toute la longueur de l'arbre circulatoire. Les sondes avaient jusqu'à 75 c. de longueur introduites par les veine et artère crurales, elles ont pu traverser l'animal dans toute sa longueur et donner, chemin faisant, les indications les plus variées et les plus précieuses.

Nous n'avons pas besoin de faire remarquer tout l'intérêt et l'importance de ces expériences. Nous ne pouvons que les indiquer et nous renvoyons pour le détail aux pages 110 à 120 du livre de M. Cl. Bernard.

Mais nous mettons sous les yeux du lecteur un schéma très-important, emprunté à la même source, et qui reproduit l'aspect général de la distribution de la chaleur dans le fluide sanguin.

Il nous servira de résumé à ce paragraphe sur la topographie calorifique.

CHAPITRE II.

MÉTHODES THERMOMÉTRIQUES. — CALORIMÉTRIE.

Dans ce chapitre nous étudierons brièvement deux méthodes principales :

1° Détermination des températures dans les recherches physiologiques ;

2° La calorimétrie.

Nous renvoyons au cinquième chapitre ce qui a trait à la thermométrie et à la thermographie médicale.

Mesure des températures. — Plusieurs sortes d'instruments sont employés à cet usage : les thermomètres (à mercure ou alcool ou même à air) et les appareils thermo-électriques. Parmi les meilleurs thermomètres employés à cet usage, signalons les thermomètres Walferdin ou métastatiques. Ce sont des instruments très-sensibles et fort exacts ; ils ont été employés par MM. Claude Bernard et Walferdin, en 1856 (1) ; ils peuvent donner $\frac{1}{100}$ et même jusqu'à $\frac{1}{1000}$ de degré. On se sert aussi, pour les recherches physiologiques, de thermomètres à échelle fixe, et fractionnée entre 30 et 45° par exemple.

Toutefois, il est bon de faire remarquer que le contact direct du réservoir du thermomètre avec les parois des vaisseaux, et notamment avec celles du cœur, présentent

(1) Recherches expérimentales sur la température animale, C.-R. de l'Institut, t. XLIII, 1856.

Prunier.

des inconvénients et peuvent devenir une source d'erreurs. Pour y remédier, on a proposé d'entourer le thermomètre d'un treillis métallique (Liebig) ou d'un tube en métal fenêtré (Colin).

Actuellement, on donne presque toujours la préférence aux appareils thermo-électriques qui sont, à la fois, extrêmement sensibles, parfaitement maniables, mobiles et d'une commodité d'application tout à fait remarquable.

On les emploie dans une foule de circonstances.

Le principe de leur fonctionnement est celui-ci : quand un circuit composé de deux métaux différents (prenons cuivre-fer) présente deux soudures à des températures différentes, l'une étant chauffée, l'autre maintenue à une température constante, il se produit dans le circuit un courant électrique qui traverse la soudure chaude, *en allant du cuivre au fer*.

L'ensemble des deux soudures constitue un couple thermo-électrique, et l'effet augmente avec le nombre des couples. La pile thermo-électrique de Melloni n'est pas autre chose qu'un assemblage de couples bismuth antimoine, disposé en prisme, pour rendre plus commodes les observations sur la chaleur rayonnante, et l'on sait l'importance des résultats fournis par cet instrument. Quand on met une pile semblable en communication avec un galvanomètre sensible et qu'on établit une différence de température entre les deux faces de la pile, le courant qui traverse le galvanomètre produit une déviation de l'aiguille *proportionnelle* à la variation de température, ou ce qui revient au même, à l'intensité du courant, pourvu qu'il ait une faible intensité, c'est-à-dire que les déviations n'excèdent pas 15 à 20°. Si l'intensité devient plus considérable, une graduation directe devient

nécessaire ; elle est toujours facile et il nous suffira, sur ce point, de rappeler le cercle à quatre cadrans dont se sert M. le professeur Desains.

Dans les recherches physiologiques, les différences de températures sont toujours peu considérables. Ces courants sont donc faibles, et les déviations sont exactement proportionnelles aux variations de température. Et quand on connaît la déviation qui correspond à un degré, l'instrument est un véritable thermomètre.

Ce que nous venons de dire a surtout pour but de faciliter l'intelligence du fonctionnement des aiguilles thermo-électriques, car la pile de Melloni se prête peu aux applications que nous avons en vue et n'est pas employée en physiologie.

C'est à Becquerel (1) que l'on doit l'application de ces appareils à la thermométrie animale. Il a donné à la pile thermo-électrique une forme extrêmement simple et maniable. Elle se réduit à deux aiguilles fer et cuivre. Le courant traverse la soudure chaude en allant du cuivre au fer. Cette soudure se place où l'on veut, grâce à la forme de l'aiguille qui peut-être droite, ou courbée de toutes les façons imaginables.

Rappelons seulement que, pour les recherches physiologiques, les soudures doivent avoir une masse très-faible et un très-petit diamètre. M. Becquerel dit en effet (2) « qu'en général, un appareil destiné à mesurer la température de divers milieux doit être construit de telle sorte que la partie qui plonge dedans ne cède pas, ou du moins ne cède que difficilement au reste de l'appareil, la chaleur

(1) Ann. de chimie et de physique.

(2) BECQUEREL. Traité expér. de l'électricité et du magnétisme, 1836, t. IV, p. 11.

dont elle s'empare. Si cette condition n'est pas remplie, on a toujours à craindre d'avoir une température plus basse que la véritable.

« C'est donc un motif pour que les aiguilles de métal destinées à déterminer la température des corps organisés aient le plus *petit diamètre possible*. »

M. Becquerel se servait d'aiguille à soudure médiane. Pour donner un exemple des applications de cette méthode irréprochable et délicate, nous dirons comment M. Becquerel mesurait la température des muscles du bras (*fig. 4*). On commence par traverser la masse mus-

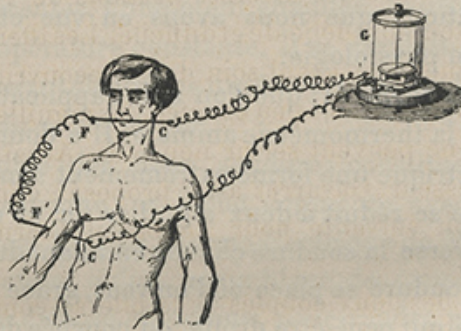


Fig. 4.

(Empruntée à Dechambre. Art. Chaleur animale.)

culaire avec l'une des aiguilles, ce qui peut toujours se faire sans déchirure et sans occasionner des troubles sérieux. L'autre soudure est placée dans la bouche et maintenue ainsi à une température constante. Les extrémités FF sont reliées par un fil de fer, les extrémités cuivre CC par un fil de cuivre qui traverse le galvanomètre, et la déviation se transforme en degrés centésimaux ainsi que nous l'avons expliqué plus haut.

La sensibilité de ces instruments est très-grande. Bec-

querel et après lui Helmholtz (1) ont pu apprécier le *centième de degré*. Les aiguilles à soudure *termino-latérale* plus spécialement employées par Dutrochet (2) se composent d'un fil de fer recourbé sur lui-même et soudé latéralement à chacune de ses extrémités avec un fil de cuivre. (Voir la *fig. 2*, qui représente l'une des expériences de Dutrochet.) On a vu plus haut tout le parti qu'on peut tirer de cette méthode pour la mesure de la température des animaux d'un petit volume.

Température de la peau. — La détermination exacte de la température des diverses portions de l'enveloppe cutanée est toujours délicate et difficile. Les thermomètres à mercure, même en ayant soin de les recouvrir de coton, donnent des indications peu exactes, les aiguilles thermo-électriques ne peuvent servir non plus. Aussi, en 1855, M. le professeur Gavarret a-t-il proposé, dans ce but, la disposition suivante pour l'appareil thermo-électrique (3).

« Chacun des deux couples de la pile se compose d'un cylindre de bismuth étalé à sa partie inférieure de manière à former un disque mince de 1 centimètre au plus de diamètre. A la face inférieure du disque de bismuth est soudée une lame de cuivre très-mince et de même diamètre. A la partie supérieure du cylindre de bismuth est soudé un cylindre de cuivre terminé par une poupée à vis à laquelle vient se fixer une des extrémités du fil du galvanomètre. Le cylindre de cuivre, le cylindre de

(1) HELMHOLTZ. Ueber die Wärmentwicklung bei der muskelaaction (J. Muller's. Archiv für Anat. und Physiol. 1848).

(2) Annales des sciences naturelles, 2^e série, Botanique, t. XIII, p. 5.

(3) GAVARRET. De la chaleur produite par les êtres vivants, 1855, p. 34.

bismuth et la partie supérieure du disque de bismuth sont mastiqués dans un tube de bois ou d'ivoire muni d'un manche qui permet de manœuvrer le couple sans que la chaleur de la main puisse lui être communiquée. La face inférieure du disque de cuivre est recouverte d'une couche mince de vernis pour la garantir contre l'action chimique des liquides. Les deux couples sont reliés l'un à l'autre par leur élément cuivre, à l'aide d'un fil de même métal entouré de soie, et assez long pour permettre de les appliquer sur les parties les plus éloignées d'un animal.

« Chaque couple étant appuyé par sa face cuivre sur une portion de la peau, se met rapidement en équilibre avec elle, et l'aiguille du galvanomètre indique, par le sens et l'étendue de sa déviation, quelle est la partie la plus chaude et la valeur en degrés centigrades de l'excès de température. En employant le cuivre et le bismuth, le courant est dirigé de manière à traverser la soudure la plus chaude en allant du bismuth au cuivre. Il serait toujours facile de modifier, dans sa forme et son étendue, la partie inférieure évasée de chaque couple de manière à pouvoir explorer successivement les portions de peau situées sur les parties les plus anfractueuses. »

Les appareils thermo-électriques dont l'emploi est si facile et qui n'ont guère d'autre défaut que leur excessive sensibilité et la difficulté qui provient de la résistance du galvanomètre, ont servi presque exclusivement, dans ces derniers temps, aux recherches physiologiques.

Nous devons maintenant donner une idée des formes adoptées actuellement pour cet usage.

MM. Heidenhain et Körner s'en sont servis pour leurs recherches. Ils ont constaté avec leurs aiguilles thermo-

métriques les mêmes perturbations que les auteurs précédents avaient remarqués quand les thermomètres touchaient aux parois du cœur.

Leurs aiguilles étaient à soudure libre, c'est-à-dire non recouvertes de substances isolantes, ainsi que cela se pratique d'ordinaire. Cette disposition n'est pas sans inconvénient comme on le verra plus loin. Aussi, M. Cl. Bernard fait-il construire, par M. Rhumkorf, des aiguilles thermo-électriques enfermées dans une sonde de gomme élastique. L'instrument présente exactement l'aspect d'une *bougie*, il n'y a aucune ouverture latérale. Enfin, une très-mince feuille d'étain entoure l'extrémité, la soudure ne pénétrant pas jusqu'au bout de la sonde.

Voici maintenant l'un des appareils employés au Collège de France. (La figure 5 et la description sont empruntées à l'ouvrage de M. Cl. Bernard, *Leçons sur la chaleur animale*, p. 72 et suivantes.)

« Dans la figure, le galvanomètre B est placé sur une borne de pierre que nous avons fait sceller dans le sol, parce qu'il est, avant tout, indispensable que l'aiguille du galvanomètre n'oscille pas sous l'influence des trépidations environnantes. Au-dessus de la cage de verre qui recouvre le galvanomètre, se trouve un prisme P qui a pour objet de réfléchir les déviations de l'aiguille aimantée qu'on peut lire à distance à l'aide d'une lunette, sans craindre d'influencer le galvanomètre. D'autre part, nous avons ici un appareil amplificateur des déviations galvanométriques. Vous voyez un petit miroir G, qui est fixé au fil de suspension de l'aiguille aimantée et qui tourne avec elle. Ce petit miroir reçoit et réfléchit à sa surface les rayons lumineux provenant d'une source lumineuse émanant de la lampe SS'. Ces

rayons lumineux viennent former une image brillante L sur une échelle R divisée en millimètres. On conçoit

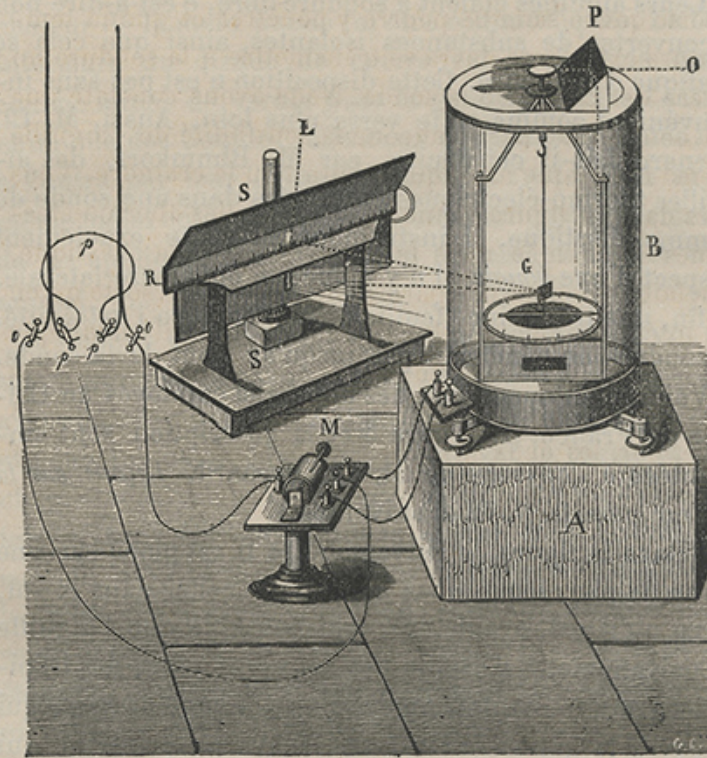


Fig. 5.

Empruntée aux Leçons sur la Chaleur animale de M. Cl. Bernard.

facilement que le point lumineux L en parcourant les degrés de l'échelle, traduira, avec une grande amplification, les moindres oscillations de l'aiguille du galvanomètre. Tel est succinctement l'appareil galvanométrique. Maintenant, il faut le mettre en rapport avec les sondes thermo-électriques dont nous ferons usage pour déterminer la température du sang.

Nous vous avons dit que nous plaçons nos fils métalliques cuivre et fer, réunis par une soudure, dans une sonde de gomme élastique imperforée à son extrémité, de sorte que le sang ne pourra y pénétrer et que la température extérieure devra se transmettre à la soudure au travers des parois de la sonde. Nous avons constaté que cela ne diminue pas beaucoup la sensibilité de l'aiguille thermo-électrique ainsi qu'on aurait pu le craindre. Vous voyez dans la figure 6 une de ces aiguilles thermo-électriques renfermée dans la sonde de gomme élastique, On a fait une coupe des parois de la sonde, de sorte qu'on voit intérieurement le fil métallique D et le fil métallique O réunis à leur extrémité par une soudure terminale qui ne descend pas jusqu'au fond de son tube protecteur. A l'extérieur, les deux fils *p* et *o* sont réunis à l'aide d'une borne (*pp*, d'une part, *b*, *o*, *o*, d'autre part), à d'autres

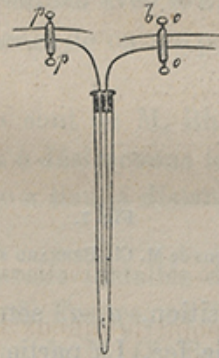


Fig. 6.

Empruntée aux Leçons de M. Cl. BERNARD sur la chaleur animale.

fil métalliques, de même nature, destinés à faire communiquer l'aiguille thermo-électrique avec l'appareil galvanométrique.

Prunier.

Il est bien entendu que les bornes sont de même nature que les fils qu'elles servent à relier. Par surcroît de précaution, M. Cl. Bernard les entoure de substance peu conductrice, comme du coton, pour se mettre à l'abri de toute variation thermométrique qui pourrait peut-être donner lieu à des complications.

Quant au galvanomètre, il est variable avec la nature des expériences. Parfois on a recours à l'appareil de Weber.

Les aiguilles à-soudure terminale et à extrémités libres, servent aussi à M. Cl. Bernard, et la *fig. 7*

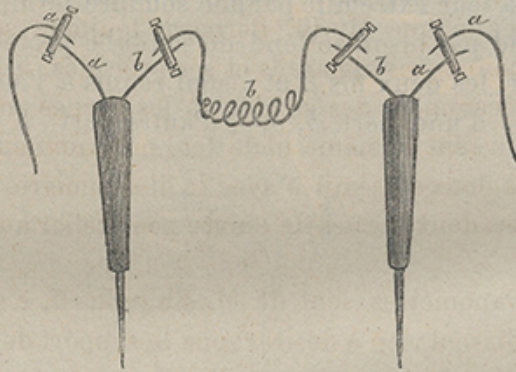


Fig. 7.

Empruntée aux Leçons de M. Cl. BERNARD sur la chaleur animale.

en montre la disposition. *a, a.* sont des fils de cuivre, *b, b.* sont des fils de fer. La partie moyenne est noyée dans une masse de substance isolante qui sert à manœuvrer l'instrument.

La portion libre est entourée d'une couche de vernis pour éviter l'action des liquides de l'économie animale, qui produirait des courants hydro-électriques. Ce vernis

est généralement assez mince pour ne pas diminuer la sensibilité de l'appareil. Mais alors il arrive parfois que le vernis s'écaille, et dans les recherches délicates, il pourrait y avoir là une légère source d'erreur.

Aussi, se propose-t-on, au laboratoire du Collège de France, de faire construire des aiguilles thermo-électriques présentant la disposition suivante : Un *tube en acier* aminci en pointe à l'une de ses extrémités sera soudé par cette même extrémité à un *fil de cuivre* qui restera contenu à l'intérieur du tube dont il sera facile de l'isoler par une substance non conductrice. De la sorte, on se trouvera préservé des inconvénients offerts par les aiguilles actuelles (1).

Disons enfin que M. Cl. Bernard, toujours soucieux de perfectionner ses appareils et ses procédés, a fait établir tout récemment des sondes où les bornes sont supprimées. Un seul et même fil de fer, suffisamment long, est soudé à deux extrémités avec le fil de cuivre, et il ne reste que les deux bornes de cuivre pour relier au galvanomètre.

Les galvanomètres sont de M. Rhumkorff, c'est dire qu'ils ne laissent rien à désirer sous le rapport de la construction. La lecture a lieu, à distance, par le procédé même de Gauss.

Tels sont les appareils installés dans les meilleures conditions au Collège de France, où ils fonctionnent sous les yeux et la direction de M. Cl. Bernard, secondé par des aides comme MM. Duval, Dastre, qu'il nous suffira de nommer et dont le savoir et l'habileté sont bien connus.

(1) Communication verbale due à l'obligeance de M. Arsonval, chef du laboratoire.

Calorimétrie. — Les indications thermométriques conservent toujours une grande importance ; mais elles sont insuffisantes pour servir à comparer les quantités de chaleur mises en jeu en différentes circonstances et notamment dans les questions générales de calorification. C'est pourquoi nous devons dire au moins quelques mots de la calorimétrie.

Il est évident, en effet, que dans tout phénomène, la quantité de chaleur gagnée ou perdue est liée :

- 1° A l'étendue de la variation thermométrique ;
- 2° Au poids, c'est-à-dire à la nature du corps considérée à sa chaleur spécifique enfin, s'il ya lieu, au changement d'état. La détermination de cet ensemble de données constitue la *calorimétrie*.

Les procédés usités en calorimétrie sont les suivants :

- 1° Le *calorimètre à glace* de Lavoisier et Laplace ;
- 2° La *méthode des mélanges* qui a pris entre les mains de M. Regnault un si étonnant degré de précision ;
- 3° La *méthode de refroidissement* qui a servi à Dulong et Petit à établir la loi physique si importante à laquelle ils ont attaché leur nom ;
- 4° Enfin, le calorimètre à mercure de MM. Favre et Silbermann, le calorimètre à glace de Bunsen, etc.

Ces méthodes employées d'abord dans les recherches de physique pure, ont été successivement appliquées, (sauf la méthode de refroidissement), aux études de physiologie et de thermo-chimie.

Nous verrons dans le chapitre suivant que là encore Lavoisier a ouvert le chemin.

Il se servait de son calorimètre à glace. Après lui, Dulong puis Despretz se sont servis d'un calorimètre à eau pour la mesure de la chaleur animale.

Ces observateurs complétaient leurs observations calorimétriques par l'étude des produits de la respiration.

Nous ne pouvons entrer ici dans la description détaillée des appareils ; on les trouvera dans les différents ouvrages. (1)

La calorimétrie présente aussi une importance de premier ordre à un autre point de vue.

C'est elle qui permet l'étude physique des quantités de chaleur dégagée dans chaque réaction spéciale. Rappelons, sur ce sujet, les expériences de Lavoisier et de Rumford sur les chaleurs de combustion, celles de Desprez et de Dulong, celles aussi de MM. Favre et Silbermann.

Mais c'est surtout aux travaux de M. Berthelot dans ces derniers temps, que le thermo-chimie est redevable de l'importance sans cesse grandissante qu'elle acquiert, soit en physique, soit en chimie.

On trouvera plus loin, au paragraphe relatif aux actions physico-chimiques, quelques-uns des résultats auxquels est déjà parvenu M. Berthelot. Nous devons nous borner ici à renvoyer pour les détails de la méthode, aux remarquables et nombreux mémoires qu'il a publiés sur ce sujet.

(1) Voir notamment Gavaret. De la chaleur produite par les êtres vivants, p. 33 à 89.

CHAPITRE III.

ORIGINES DE LA CALORIFICATION.

Historique. — Considérée chez l'homme et les animaux supérieurs, la production de la chaleur n'a jamais été méconnue. Aussi de tout temps, les physiologistes, les médecins, les philosophes, ont cherché à découvrir ses causes et à en donner l'explication.

Pour Hippocrate, Aristote, Galien, la *chaleur innée* avait son siège dans le cœur. Aristote pensait que le sang s'échauffe dans le ventricule droit; Galien, dans le ventricule gauche.

Ces hypothèses erronées furent érigées en principe et admises sans conteste pendant toute l'antiquité et le moyen âge. Pour trouver une doctrine différente, il faut arriver au physiologiste J. Hunter qui faisait dépendre la production de chaleur d'un *principe spécial* dont il plaçait le siège dans l'estomac (1).

Barthez attribua la chaleur animale au frottement des parties liquides et solides, mouvement entretenu par l'action des forces du *principe vital* (2).

Plus récemment, Brodie d'abord, puis M. Chossat ont vainement tenté de localiser la source de la calorification, soit dans le système nerveux de la vie de relation, soit dans le grand sympathique.

Le mouvement philosophique du xvi^e siècle, qui amena

(1) Œuvres complètes (trad. de Richelot), t. I, p. 366, t. III, p. 377, etc.

(2) Nouveaux éléments de la science de l'homme. 2^e édit., t. I, p. 303.

L'introduction du libre examen dans la philosophie et dans la science, fit tomber en discrédit les doctrines d'Aristote et de Galien et la *chaleur innée* avec elles. On s'efforça de rapporter aux réactions chimiques internes la production de la chaleur animale. Les chimistes, et parmi eux Van Helmont d'abord, et après lui François Dubois, plus connu sous le nom de Sylvius, proposèrent des explications physico-chimiques adoptées avec enthousiasme par les plus grands esprits de l'époque. Mais, emportés par leur élan, ils en vinrent bientôt à remplacer les anciennes hypothèses par des hypothèses nouvelles et compromirent leur œuvre par des généralisations prématurées.

Toutefois, il faut reconnaître que leurs idées se rapprochaient, et parfois même d'une manière surprenante, de celles qui ont fini par prévaloir définitivement. C'est ce qui ressort de la lecture des œuvres de Stevenson et de Hamberger. Mais c'est surtout en consultant les écrits de John Mayow, médecin et physiologiste anglais, que l'on peut voir les immenses progrès faits par la théorie de la chaleur animale.

Mayow commence par définir la nature de l'air et le mécanisme de l'oxydation des métaux, avec augmentation de poids.

Quant à la respiration, il pense que, dans le poumon, l'air cède au sang une partie de son *esprit nitro-aérien* (oxygène), qui en se combinant avec les parties *sulfureuses* (combustibles), transforme le sang *noirâtre* en sang *rutilant* et produit en fin de compte la chaleur animale (1).

Mayow n'en reste pas là. Il déclare que sans l'esprit

(1) *Tractatus quinque medico-physici. Oxonii e theatro sheldoniano, 1674.*

nitro-aérien, la vie animale serait *impossible*, et, conséquent avec lui-même, il affirme que le fœtus respire dans le sein de sa mère et que *le placenta ne doit pas être considéré comme un foie, mais bien comme un poulmon utérin*.

On se demande en vérité où se serait arrêté un pareil génie, s'il eût pu s'appuyer sur des déterminations précises au lieu de pressentiments, de conjectures, si remarquables qu'elles soient d'ailleurs.

Mais à cette époque Lavoisier n'avait pas encore introduit la balance dans l'analyse chimique, ou pour mieux dire la chimie elle-même n'existait pas en tant que science, et la doctrine de Mayow, dénuée de base solide, demeurait à l'état de vérité non démontrée. Aussi, tout en rendant justice à la remarquable puissance d'induction qui lui fit énoncer un siècle avant Lavoisier les principes fondamentaux de la respiration et de l'oxydation, nous dirons, avec M. le professeur Gavarret, que « le jeune et grand chimiste anglais ne peut pas revendiquer le titre de *fondateur* qu'on a voulu lui décerner. Mais le fond de sa doctrine est vrai; on ne saurait lui contester dans la science le rang de véritable *précurseur*. »

Après les chimiâtres, vinrent les iatro-mécaniciens qui, à des théories chimiques prématurées, substituèrent les exagérations du calcul et des hypothèses mécaniques.

Le frottement devint la base de tout et l'on trouve dans l'*Hémostatique* de Hales un exposé complet du système. De grands esprits furent séduits, parmi lesquels il faut mentionner Haller lui-même.

Cependant, ainsi que le disait M. de Senarmont, « le calcul ne rend que ce qu'on y a mis, et les conclusions ne peuvent jamais avoir une valeur autre que leurs pré-

misses » (1). Les prémisses, dans ce cas, ce sont les observations bien faites, les méthodes expérimentales exactes, les déterminations précises et nombreuses. Tout cela faisait défaut, au moins en grande partie.

Aussi se produisit-il une réaction vigoureuse, et D'Alembert, bon juge en ces matières, fit justice de ces exagérations :

« On a voulu, dit-il dans le discours préliminaire de l'Encyclopédie, réduire en calcul jusqu'à l'art de guérir; et le corps humain, cette machine si compliquée, a été traitée par nos médecins algébristes comme la machine la plus simple et la plus facile à décomposer. C'est une chose singulière de voir ces auteurs résoudre d'un trait de plume des problèmes d'hydraulique et de statique capables d'arrêter toute leur vie les plus grands géomètres. Pour nous, plus sages ou plus timides, contentons-nous d'envisager la plupart de ces calculs et de ces suppositions vagues, comme des jeux d'esprit auxquels la nature n'est pas obligée de se soumettre. »

Cependant des physiologistes éminents, Boyle, Verrati, Cigua de Turin, demandaient à la méthode expérimentale des enseignements nouveaux. Ils établissaient que les animaux meurent dans l'air confiné; que cet air est impropre à la combustion d'une bougie, et qu'il y a proportionnalité entre le volume d'air conservé et la rapidité de l'action.

Priestley découvrait la présence de l'*air fixe* dans l'air vicié par la respiration animale (1772), et montrait que cet air vicié devenait *respirable* si l'on avait soin d'y introduire une plante verte.

(1) DE SENARMONT. Cours de physique professé à l'Ecole polytechnique, 1862.
Prunier. 8

Plus tard, après avoir isolé l'oxygène, il étudia son action sur le sang veineux directement ou à travers des membranes, ainsi que la transformation inverse du sang *rutilant* en sang *noirâtre* en présence de l'azote, de l'hydrogène et de l'acide carbonique.

Malheureusement, Priestley était imbu de la doctrine stahlienne, et malgré tout, jusqu'à sa mort, il soutint l'hypothèse du phlogistique; aussi, pour lui, la respiration est un procédé *phlogistique*. Nous ne suivrons pas Priestley dans ses erreurs et ses écarts. Aussi bien avons-nous à parler maintenant de Lavoisier.

Doctrines de la combustion respiratoire. — Comme l'a dit, dans une analyse remarquable, M. le professeur Gavarret, aux travaux duquel nous avons fait et nous ferons encore de nombreux emprunts : « il était réservé à l'homme qui venait de renverser la théorie surannée du phlogistique, de poser les bases inébranlables de la théorie de la respiration et de la calorification, de cette même main qui traçait, en caractères ineffaçables, l'immortelle monographie de l'oxygène(1). »

Conduit, par ses découvertes sur la composition de l'air, à étudier ses effets dans la nature, Lavoisier porta dans le domaine de la physiologie ce génie novateur, prudent et hardi tout à la fois, qui caractérisait toutes ses recherches. Dans un mémoire justement célèbre, communiqué à l'Académie en mai 1777, Lavoisier se préoccupa de « cette fonction singulière » (2), de ce phénomène dont « il n'est pas de plus frappant ni de plus digne de

(1) GAVARRET. Dict. Dechambre, XV, 33.

(2) Mém. de l'Ac. royale des sciences, 1777, p. 485.

l'attention des physiciens et des physiologistes » (1), la respiration.

Examinant tout d'abord les opinions et les expériences de ses devanciers ou de ses contemporains, et s'attachant surtout à Priestley, comme au plus sérieux adversaire : « Je me suis trouvé, dit-il, invinciblement conduit, par la suite de mes expériences, à des conséquences tout opposées aux siennes » (2). En effet, tandis que Priestley attribuait l'altération de l'air expiré à la propriété qu'il supposait aux animaux de *phlogistiquer* l'atmosphère par leur respiration, Lavoisier expliquait les phénomènes chimiques de cette fonction encore inconnue par une simple hypothèse de *combustion*.

Sans prétendre indiquer le lieu de cette combustion respiratoire, Lavoisier se contentait d'affirmer l'exactitude de cette hypothèse, confirmée depuis par tant d'expériences célèbres. Procédant avec sa réserve habituelle : « Je me trouve, dit-il, conduit à deux conséquences également probables et entre lesquelles l'expérience ne m'a pas encore mis en état de prononcer. Il arrive de deux choses l'une par l'effet de la respiration : ou la portion d'air éminemment respirable contenue dans l'air atmosphérique est convertie en acide crayeux en passant par le poumon, ou bien il se fait un échange dans ce viscère ? D'une part, l'air éminemment respirable est absorbé et d'autre part, le poumon restitue à la place une partie d'acide crayeux aéri-forme presque égale en volume » (3).

Durant cette même année 1777, dans un deuxième

(1) Ibid.

(2) Mém. de l'Acad. roy. des sciences, 1777, p. 186.

(3) Mém. de l'Acad. roy. des sciences, 1777, 191.

mémoire présenté le 5 septembre, Lavoisier dota la science d'une découverte nouvelle en trouvant que la véritable source de la chaleur animale n'était autre chose que cette combustion respiratoire.

« J'ai fait voir, dit-il, dans le mémoire que j'ai lu à la séance publique de Pâques dernier, que l'air pur, après être entré dans le poumon, en ressortait en partie dans l'état d'air fixe ou d'acide crayeux. L'air pur, en passant par le poumon, éprouve donc une décomposition analogue à celle qui a lieu dans la combustion du charbon; or, dans la combustion du charbon, il y a dégagement de la matière du feu; donc il doit y avoir également dégagement de matière du feu dans le poumon dans l'intervalle de l'inspiration à l'expiration, et c'est cette matière du feu sans doute, qui, se distribuant avec le sang dans toute l'économie animale, y entretient une chaleur constante de 32 degrés $1\frac{1}{2}$ environ, au thermomètre de M. de Réaumur. Cette idée paraîtra peut-être hasardée au premier coup d'œil; mais avant de la rejeter ou de la condamner, je prie de considérer qu'elle est appuyée sur deux faits constants et incontestables, savoir sur la décomposition de l'air dans le poumon, et sur le dégagement de matière du feu qui accompagne toute décomposition d'air pur, c'est-à-dire tout passage de l'air pur à l'état d'air fixe; mais ce qui confirme encore que la chaleur des animaux tient à la décomposition de l'air dans le poumon, c'est qu'il n'y a d'animaux chauds dans la nature, que ceux qui respirent habituellement, et que cette chaleur est d'autant plus grande que la respiration est plus fréquente, c'est-à-dire qu'il y a une relation constante entre la chaleur de

l'animal et la quantité d'air entrée ou au moins convertie en air fixe dans les poumons » (1).

En considérant le poumon comme le siège de cette combustion physiologique, Lavoisier n'entendait se servir que d'une hypothèse. Comme on l'a dit avec beaucoup de justesse, « le problème restait toujours indéterminé dans son esprit, et, en attendant que ses doutes fussent dissipés, il avait adopté le langage le plus simple pour caractériser le phénomène » (2).

Reprenant, comme il en exprimait le désir à la fin du second mémoire de 1777, l'étude des sources de la chaleur animale, Lavoisier, aidé de Laplace, présenta à l'Académie des sciences, en 1783, un grand travail sur ce sujet. Il détermina la quantité de carbone brûlée par heure chez les animaux en prenant pour sujet d'expérience le cochon d'Inde. Ses observations antérieures lui faisaient connaître la quantité de chaleur produite par la conversion de ce carbone en acide carbonique; il s'agissait de prouver en outre que cette source de chaleur est suffisante pour maintenir constante la température.

Dans une autre série d'expériences, il détermine au moyen de son calorimètre à glace la chaleur perdue par l'animal en *dix heures*. Lavoisier remarque fort justement que l'animal, *maintenu immobile*, s'est nécessairement *refroidi au moins par les extrémités*, et que les nombres obtenus sont dès lors « un peu trop forts. » En outre, tous les gaz qui sortent du calorimètre sont refroidis à 0°, nouvelle cause de réchauffement (3). Lavoisier, dis-

(1) Mém. de l'Acad. roy. des sciences, 1777, 599.

(2) GAVARRET. Dict. Dechambre, XV, 25.

(3) Mém. de l'Acad. roy. des sciences, 1780.

cutant son expérience, établit en définitive que le rapport entre la quantité de chaleur *produite par la combustion respiratoire du carbone*, et celle que dans le même temps l'animal *cède* au milieu ambiant est égal à $\frac{326,75}{341,08} = 0,96$

Ainsi « la chaleur due à la combustion du carbone dans l'acte de la respiration représente les 96 centièmes de celle que perd l'animal par le rayonnement, l'évaporation et le contact des gaz au milieu desquels il vit. La compensation est presque absolue, cependant Lavoisier fait observer en outre, que la chaleur perdue a été mesurée dans un milieu à 0°, tandis que l'activité respiratoire a été observée à 14 ou 15 degrés. Nul doute, ajoute-t-il, que la quantité d'acide carbonique exhalé n'eût été plus considérable si la cloche qui servait à l'évaluer avait été maintenue à la température de la glace fondante, comme le calorimètre employé pour apprécier la chaleur perdue. Lavoisier n'était donc pas pleinement satisfait de ses recherches.... » (1). Cependant, il en résuma les résultats dans la proposition suivante :

« 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'environne; 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

(1) GAVARRET. De la chaleur produite par les êtres vivants, p. 171.

de l'air pur (oxygène) respiré par les animaux, avec la base de l'air fixe (carbone) que le sang lui fournit » (1).

Le grand chimiste poursuivit encore l'étude de la respiration. Dans son mémoire « *Sur les altérations qui arrivent à l'air dans plusieurs circonstances où se trouvent les hommes réunis en société* » lu devant la Société royale de médecine en février 1785, il démontra par l'analyse des salles d'hôpital et des salles de spectacle, que l'air se trouve vicié par l'agglomération d'hommes dans un espace limité, l'oxygène diminuant et l'acide carbonique augmentant. Renouvelant ses expériences sur les cochons d'Inde, il put conclure de ses analyses que pour 100 parties d'oxygène absorbé, 81 parties seulement sont expirées par l'animal sous forme d'acide carbonique et 19 parties ne se retrouvent pas dans les produits gazeux de l'expiration.

« Il est donc évident, dit-il, qu'indépendamment de la portion d'air vital qui a été convertie en air fixe, une portion de celui qui est entré dans le poumon n'en est pas ressortie dans l'état élastique, et il en résulte qu'il se passe de deux choses l'une pendant l'acte de la respiration: ou qu'une portion de l'air vital s'unit avec le sang, ou bien qu'elle se combine avec une portion d'air inflammable *pour former de l'eau*. Je discuterai dans un autre mémoire les motifs qu'on peut alléguer en faveur de chacune de ces opinions. Mais en supposant, comme il y a lieu de le croire, que la dernière soit préférable, il est aisé de déterminer la quantité d'eau qui se forme par la respiration et la quantité d'air inflammable qui est extraite du poumon » (2).

(1) Mém. de l'Acad. roy. des sciences, 1780, 407.

(2) Hist. de la Soc. roy. de médecine, an 1782, p. 569.

« Ainsi, dès 1785, Lavoisier avait ramené les phénomènes physico-chimiques de la respiration à une double combustion et déterminé les proportions dans lesquelles l'oxygène inspiré se partage entre le carbone et l'hydrogène des matériaux du sang pour produire de l'acide carbonique, de l'eau et de la chaleur » (2).

Nous arrivons enfin à ce célèbre mémoire de 1789, où Lavoisier, résumant et généralisant tout ce qu'il avait dit antérieurement sur la chaleur animale, établit une théorie complète de ce phénomène et de celui de la respiration. Ses expériences antérieures l'amenaient à conclure que :

1° Pendant la respiration, il n'y a ni exhalation ni absorption d'azote ;

2° Dans l'oxygène pur, les phénomènes de la respiration sont les mêmes que dans l'air atmosphérique.

3° La proportion d'azote peut être notablement augmentée sans que les phénomènes de la respiration soient notablement altérés.

4° Les animaux peuvent vivre longtemps sans souffrir dans une atmosphère artificielle composée d'oxygène et d'hydrogène dans les mêmes proportions en volume que l'oxygène et l'azote de l'air. L'hydrogène d'ailleurs n'est pas absorbé.

En collaboration avec Seguin, il fit aussi des expériences sur la respiration de l'homme et montra :

1° Que l'abaissement de la température extérieure entraîne une plus grande consommation d'oxygène ;

2° Que cette quantité d'oxygène est plus forte pendant la digestion qu'avant le repas ;

(2) GAVARRET. De la chaleur produite par les êtres vivants, p. 177.

3° Que la quantité d'oxygène augmente également par le mouvement et l'exercice.

Nous ne saurions mieux faire que de laisser ici pour quelque temps la parole à Lavoisier lui-même, en reproduisant quelques-unes de ces pages « non moins remarquables par la noble simplicité et l'élévation du style que par la grandeur de la pensée » (1).

« C'est une chose vraiment admirable que ce résultat de forces continuellement variables et continuellement en équilibre, qui s'observent, à chaque pas, dans l'économie animale, et qui permettent à l'individu de se prêter à toutes les circonstances où le hasard le place. L'homme, à cet égard, a été plus favorisé, par la nature, qu'aucun des autres animaux : il vit également dans toutes les températures et dans tous les climats, son tempérament se prête au mouvement et au repos, à l'abstinence comme aux excès de nourriture ; presque tous les aliments lui sont bons, soit qu'ils soient succulents, soit qu'ils ne le soient pas, soit qu'ils appartiennent à un règne ou à un autre.

Se trouve-t-il dans un climat froid ? D'un côté, l'air étant plus dense, il s'en décompose une plus grande quantité dans le poumon ; plus de calorique se dégage et va réparer la perte qu'occasionne le refroidissement extérieur. D'un autre côté, la transpiration diminue, il se fait moins d'évaporation, donc moins de refroidissement.

Le même individu passe-t-il dans une température beaucoup plus chaude ? l'air est plus raréfié, il ne s'en décompose plus une aussi grande quantité ; moins de calorique se dégage dans le poumon ; une transpiration abon-

(1) GAVARRET. De la chaleur produite par les êtres vivants.
Prunier.

dante, qui s'établit, enlève tout l'excédant du calorique qui fournit la respiration; et c'est ainsi que s'établit cette température à peu près constante de 32° (thermomètre de Réaumur), que plusieurs quadrupèdes, et que l'homme, particulièrement, conservent dans quelque circonstance qu'ils se trouvent.

Il existe de semblables compensations qui permettent à l'homme de passer successivement, suivant ses besoins et sa volonté, d'une vie active à une vie tranquille: se tient-il dans un état d'inaction et de repos? la circulation est lente ainsi que la respiration; il consomme moins d'air; il exhale par le poumon, moins de carbone et d'hydrogène, et, conséquemment, il a besoin de moins de nourriture.

Est-il obligé de se livrer à des travaux pénibles? la respiration s'accélère, il consomme plus d'air, il perd plus d'hydrogène et de carbone, et, conséquemment, il a besoin de réparer plus souvent et davantage la nutrition.

En rapprochant ces réflexions des résultats qui les ont précédées, on voit que *la machine animale est principalement gouvernée par trois régulateurs principaux: la respiration qui consomme de l'hydrogène et du carbone, et qui fournit du calorique; la transpiration qui augmente ou diminue suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique; enfin la digestion qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration.*

L'intensité de l'action de ces trois agents peut varier dans des limites assez étendues: mais il est des bornes au-delà desquelles les compensations ne peuvent plus avoir lieu, et c'est alors que commence l'état de maladie.....

« Dans la course, dans la danse, dans tous les exercices violents, quelque accélération qu'éprouvent la respiration et la circulation, quelque accroissement que prenne la consommation d'air, de carbone et d'hydrogène, l'équilibre de l'économie animale n'est pas troublé. »

Passant ensuite à quelques remarques sur les applications à la pathologie et à la thérapeutique générales:

« On conçoit, dit-il, d'après ces simples aperçus, comment l'art du médecin consiste souvent à laisser *la nature aux prises avec elle-même*.... comment, par la diète seule, il est possible de changer la qualité du sang, la quantité de carbone et d'hydrogène qu'il contient: en effet alors la respiration consommant toujours, et la digestion ne fournissant plus, le sang doit alors se dépouiller de plus en plus de carbone et d'hydrogène. On conçoit encore comment une diète trop austère et trop longtemps continuée, pourrait changer, à la longue la nature de la maladie.

Nous ne nous dissimulons pas une objection qu'on peut faire, et que nous nous sommes faite à nous-même, contre la théorie que nous venons de présenter. *Aucune expérience ne prononce d'une manière décisive que le gaz acide carbonique, qui se dégage pendant l'expiration, se soit formé immédiatement dans le poumon, ou dans le cours de la circulation* par la combinaison de l'oxygène de l'air avec le carbone du sang. Il serait possible qu'une partie de cet acide carbonique se formât par la digestion, qu'il fût introduit dans la circulation avec le chyle; enfin, que parvenu dans le poumon, il fût dégagé du sang à mesure que l'oxygène se combine avec lui par une affinité supérieure.

Les expériences que nous avons déjà entreprises sur la

digestion et sur la transpiration, éclairciront probablement ce doute; elle lèveront, nous l'espérons du moins, les *incertitudes* qui nous restent encore sur cet objet. Peut-être alors serons nous obligés d'apporter quelques changements à la doctrine que nous avons présentée dans ce mémoire. Ces modifications des premières idées, ne coûtent rien à ceux qui ne cherchent la vérité que pour elle-même, et sans autre désir que celui de la trouver » (1).

Ce mémoire, on le voit, est un des modèles du genre. N'était le cadre où nous devons nous renfermer, nous l'aurions reproduit en entier. Au moins avons-nous cherché à n'en pas trop rompre l'unité, et à conserver à ces pages qui semblent écrites d'hier tantelles expriment avec force et netteté les idées de ce grand esprit, leur cachet naturel de simplicité majestueuse.

Plus tard Lavoisier découvrit la respiration cutanée, et dans un mémoire *Sur la transpiration des animaux* on trouve ces paroles remarquables :

« Si le gaz acide carbonique qui se dégage pendant l'expiration, était en partie un produit de la digestion, il faudrait attribuer à une autre cause la consommation de l'air vital qui s'opère dans l'acte de la respiration; il faudrait supposer qu'il se forme plus d'eau soit dans le poumon, soit pendant la circulation, ou il faudrait admettre qu'une partie de l'air vital, étant absorbée dans le poumon, se fixe pendant la circulation avec quelques parties de notre système. Il résulte de ces réflexions que ce problème est indéterminé et susceptible de plusieurs solutions. Mais ce n'est pas le moment de discuter cette question

(1) Mém. de l'Acad. roy. des sciences, 1789.

très-épineuse que de nouvelles expériences éclairciront et nous nous en tiendrons *provisoirement* à la solution qui nous paraît la plus probable » (1).

« Frappé de ce double mouvement centripète qui verse incessamment dans le torrent circulatoire les aliments digérés et absorbés par la surface intestinale et l'oxygène de l'air introduit dans la cavité thoracique, Lavoisier se demanda ce que deviennent ces matières mises en présence dans les vaisseaux de la circulation sanguine. Procédant à cette recherche avec toute la rigueur de l'analyse chimique, il démontra, que l'oxygène introduit par les voies respiratoires attaque les substances organiques fournies par la digestion, les brûle, se combine avec leur carbone et leur hydrogène pour former de l'acide carbonique et de l'eau. Il montra que cette combustion lente des matériaux organiques du sang est une source incessante de chaleur suffisante pour maintenir la température des animaux; il fournit la véritable solution du double problème de la respiration et de la calorification depuis si longtemps agité dans la science. Dans cette grande question de physiologie, son esprit resta indécis sur un seul point : sur le siège de cette combustion respiratoire. Sans doute, il penchait vers l'idée d'une combustion directe dans le poumon; mais il n'a jamais présenté cette idée que comme *probable*. Dans son dernier mémoire de 1790 comme dans le premier travail de 1777, il en appelle à de nouvelles expériences pour éclaircir ses doutes » (2).

On ne peut ni rien ajouter, ni rien retrancher à cette

(1) Loc. cit., 1790, 607.

(2) GAVARRET. Loc. cit.

appréciation générale de l'œuvre de Lavoisier : elle en donne une idée complète, et pour suivre l'ordre historique, nous passons à l'étude des résultats des recherches de Crawford sur le même sujet : la chaleur animale.

Nous citons postérieurement à ceux de Lavoisier les travaux du savant anglais, car il est constant que le mérite de la découverte appartient à notre compatriote, quoi qu'en ait pu dire l'orgueil national britannique. « Les pièces du procès sont du domaine public : elles sont imprimées, tout le monde peut les consulter ; leur signification est tellement claire que l'on a peine à comprendre comment une question de priorité a pu être soulevée à ce sujet » (1).

Dans sa première publication de 1779, d'abord partisan du *phlogistique* comme élève de Priestley, Crawford, en 1788, présentait à la Société royale de Londres un mémoire dans lequel, renonçant au phlogistique, il se ralliait, en faisant toutefois quelques réserves, aux idées énoncées par Lavoisier.

La phrase suivante, citée textuellement, résume très-nettement la pensée de Crawford :

« Ainsi, il paraît que pendant la respiration, le sang émet continuellement le *principe inflammable* (hydrogène carboné) et absorbe la *chaleur* ; et que dans le cours de la circulation, il absorbe continuellement le *principe inflammable* (hydrogène carboné) et émet de la *chaleur* » (2).

L'attention du monde savant, depuis les beaux tra-

(1) Gavarret. Dict. Dechambre, XV. 40.

(2) Exper. and observ. on animal heat, etc., the second edition with very large additions, London, 1788.

vaux de Lavoisier, était vivement préoccupée de ces théories de la respiration et de la chaleur animale. Lagrange, remarquant que si la combustion du carbone et de l'hydrogène s'opérait directement dans le poumon, la température de cet organe s'élèverait assez haut pour entraîner de graves lésions de texture, en conclut que le poumon n'était le siège que d'un simple échange (1).

Cette théorie, qui rendait exactement compte des faits, fut adoptée par un grand nombre de savants, et Hassenfratz la développa dans un mémoire lu devant l'Académie des sciences en 1791. En même temps, Gaspard de la Rive, de l'Université d'Édimbourg, se faisait l'interprète des idées nouvelles dans une thèse inaugurale (2) des plus remarquables.

Spallanzani, en 1803, démontra que les escargots enfermés dans une atmosphère d'hydrogène pur continuent à exhaler de l'acide carbonique. Cet acide carbonique exhalé préexistait donc dans le sang veineux. « Le gaz acide carbonique, dit-il, qui se manifeste dans la respiration semble plutôt un produit de l'acide carbonique préexistant dans le sang, suivant l'opinion de Lavoisier, que je confirmerai par de nouvelles preuves (3). »

Edwards, à son tour, chercha à déterminer le rôle joué par l'azote dans la respiration, et proposa une vue très-ingénieuse (4). Pour lui, il s'effectue normalement dans le poumon un échange continuuel entre l'azote exté-

(1) M. Berthelot a montré que l'hypothèse de Lagrange n'était pas fondée, ce qui n'a pas empêché cette hypothèse de conduire à des découvertes ultérieures.

(2) *Tentamen physiologicum inaugurale de calore animali*. Edinburgi, 1797.

(3) *Mémoire de la respiration*, p. 216.

(4) *Infl. des agents phys. sur la vie*, p. 420-436.

rieur et l'azote du sang, il y a donc à la fois absorption et exhalation.

Du moment où les combustions s'opèrent dans le torrent circulatoire, le sang doit contenir des gaz à l'état libre et simplement dissous.

M. Magnus a, le premier, étudié convenablement cette importante question dans son mémoire *Sur les gaz que contient le sang* (1) (fig. 8). Pour éviter toute réaction chimique, il a extrait les gaz en se contentant de soumettre le sang à l'action du vide. Il a opéré comparativement sur le sang artériel et sur le sang veineux du même animal et a constaté ainsi que, quelle que soit sa provenance, le sang contient toujours de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote à l'état de simple dissolution. » (2)

L'étude de cette question a été reprise par MM. Fernet (3), Lothar-Meyer (4), Setschenow (5) et Schoffer (6).

Méthode directe. — En 1822, Dulong, puis Despretz, admettant les idées de Lavoisier, reprirent les expériences par une méthode toute semblable. Le calorimètre était perfectionné. Ces expérimentateurs arrivèrent

(1) Annales de chimie et de physique, 2^e série, 1847, t. LXV, p. 169.

(2) GAVARRET. Phén. phys. de la vie, p. 380.

(3) Note sur la solubilité du gaz. (Comptes-rendus de l'Acad. des sciences, 1855, t. XLI, p. 4237). — Thèse inaugurale (Ann. des sc. nat., 4^e série, Zoologie, t. VIII, p. 425).

(4) Die Gase des Blutes (Inaugural dissertation der Hoden medicinischen Facultat Wurzburg. Göttingen, 1857).

(5) Beiträge zur Pneumatologie des Blutes (Sitzungsber. d. Wien, Akad. Math. Naturv. Cl., 1859. Bd. XXXVI, p. 293. Zeitschr. für rat. Med. III, Reihe, Bd. X, S. 101, 285).

(6) Ueber die Kohlensäure des Blutes und ihre Ausscheidung (Sitzungsber. de Wien. Akad., 1860, Bd. XLI, S. 519).

à conclure qu'il y a exhalation d'azote. Leurs chiffres étaient seulement trop élevés, au moins c'est ce que M. Liebig a cherché à faire ressortir, de telle sorte que les résultats des recherches de Dulong et de Despretz ne doivent être acceptées qu'avec réserve.

En suivant l'ordre chronologique nous voyons se produire une sorte de lacune que nous devons signaler en passant. Les observateurs abandonnent la calorimétrie pour s'appliquer à faire une étude approfondie de la combustion respiratoire. On est ainsi arrivé à des résultats aussi importants que nombreux, mais non définitifs au point de vue de la calorification.

On employa diverses méthodes.

Mais, ainsi que le dit M. Wurtz (1) dans la très-claire et très-exacte description qu'on va lire :

« Celle qui a été employée par MM. Regnault et Reiset dans leurs recherches classiques sur la respiration des animaux (*Ann. de Chim. et de Phys.* (3), t. XXVI, p. 299), ne laisse, au contraire, rien à désirer en ce qui concerne la rigueur des déterminations. Les animaux étaient enfermés dans une cloche de verre tubulée (fig. 8), mastiquée hermétiquement sur un disque. Ce dernier portait au centre une ouverture assez grande pour que l'animal pût y être introduit facilement, et cette ouverture était ensuite fermée au moyen d'un obturateur bouchonné. L'animal reposait d'ailleurs sur un petit plancher à claire-voie et en bois. La cloche était enveloppée d'un manchon de verre, mastiqué dans une seconde rainure que portait le disque. Ce manchon était rempli d'eau que l'on maintenait à une température constante pen-

(1) WURTZ. Dictionnaire de chimie, art. Respiration, p. 4336.

Prunier

dant la durée de l'expérience. Par sa tubulure garnie d'une monture métallique, la cloche elle-même était en

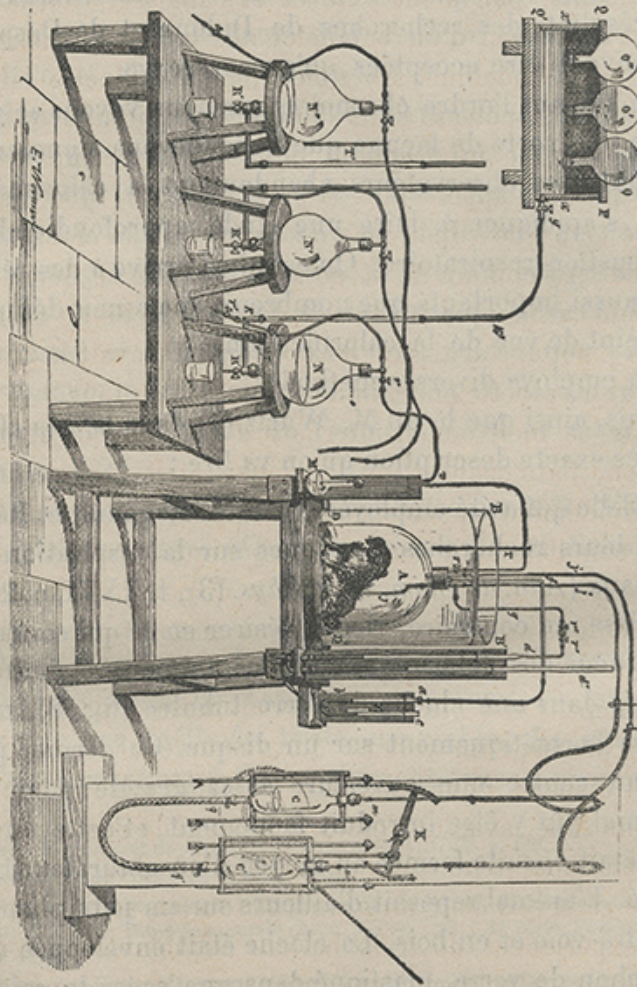


Fig. 8.

Empruntée au Dictionnaire de DECHAMBRE, art. Chaleur.

contact, d'un côté avec un système de deux pipettes communiquant l'une avec l'autre par le moyen d'un tube

de caoutchouc vulcanisé et à moitié remplies de potasse caustique; ces pipettes, représentant deux vases communicants, pouvaient s'élever et s'abaisser alternativement au moyen d'un balancier mis en mouvement par une petite machine. En s'élevant, une pipette laissait échapper la potasse dans l'autre, et le liquide qui s'écoulait par le tube communiquant, était remplacé par l'air qui était appelé dans la pipette par un tube disposé entre la partie supérieure de celle-ci et la cloche elle-même. Au contact de la potasse, cet air se dépouillait d'acide carbonique et rentrait dans la cloche au moment où la pipette, s'abaissant de nouveau, recevait la potasse de l'autre pipette en train de s'élever à son tour.

Par ce mouvement alternatif d'abaissement et d'élévation, l'atmosphère de la cloche était incessamment et rapidement appelée dans les pipettes et s'y dépouillait complètement du gaz carbonique produit par la respiration. Mais par suite de la disparition de l'acide carbonique ou plutôt de l'oxygène absorbé par l'animal, la tension de l'air dans la cloche devait diminuer incessamment. Cette circonstance était mise à profit pour y faire pénétrer un volume d'oxygène égal à celui qui avait disparu. Pour cela, la cloche était mise en contact, par un tube, avec un réservoir d'oxygène dans lequel ce gaz était maintenu à une pression constante.

Ce réservoir était un grand ballon (on se servait dans les expériences de trois ballons semblables), compris entre deux tubulures, l'une inférieure, l'autre supérieure. Ce ballon était d'abord rempli d'une solution de chlorure de calcium, puis rempli d'oxygène pur, qui y pénétrait par la tubulure supérieure en même temps que la solution de chlorure de calcium s'écoulait par l'infé-

rieure. Rempli d'oxygène, le ballon était mis en communication : 1° par la tubulure supérieure, avec l'atmosphère de la cloche, non pas directement, mais par l'intermédiaire d'un petit ballon laveur, renfermant une solution de potasse à travers laquelle l'oxygène, qui se rendait du réservoir dans la cloche, barbotait bulle par bulle; 2° par la tubulure inférieure et par le moyen d'un tube deux fois recourbé avec un réservoir supérieur rempli d'une solution de chlorure de calcium; ce liquide, dont le niveau était maintenu constant, communiquait librement par ce système de tubes avec la solution de chlorure de calcium restée dans le ballon. L'oxygène du ballon était ainsi soumis à la pression de l'air augmentée de celle d'une colonne de solution de chlorure de calcium, égale à la différence de hauteur de cette solution dans le ballon à oxygène et dans le réservoir supérieur. Qu'arrivait-il donc lorsque la pression de l'air venait à diminuer dans la cloche? L'oxygène qui supportait une pression supérieure dans le ballon était appelé dans la cloche et s'y rendait après avoir traversé bulle à bulle le ballon laveur, et cet oxygène qui disparaissait du ballon y était remplacé par un volume égal d'une solution de chlorure qui descendait du réservoir supérieur maintenu toujours plein.

Ainsi l'animal ne cessait de respirer dans une atmosphère renfermant, à peu de chose près, la proportion normale d'oxygène (1) et la consommation de ce gaz ainsi que la quantité d'acide carbonique pouvaient être évaluées rigoureusement. D'un autre côté, l'acide carbonique seul disparaissant de cette atmosphère, on pou-

(1) Cette proportion pouvait être variée à volonté, ainsi que la composition même de l'atmosphère

vait découvrir et doser les petites quantités de gaz non absorbables par la potasse; tels que azote, hydrogène carboné, hydrogène libre, que l'animal versait dans cette atmosphère par les voies respiratoires ou digestives, et qui s'y accumulaient pendant tout le temps de l'expérience.

Tels étaient les avantages de cette ingénieuse méthode. Les inconvénients résident dans l'accumulation de la vapeur d'eau et de divers produits odorants de la perspiration, conditions qui devaient apporter, au bout de quelque temps, une certaine gêne dans la respiration.

Nous réunissons, ci-dessous, quelques-uns des résultats de MM. Regnault et Reiset relatifs au rapport de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique exhalé à l'oxygène totalement absorbé (1).

Lapin n. 1, poids 2,755, nourri aux carottes.....	0,916
Lapin n. 2, poids 4,140, nourri aux carottes.....	0,918
Lapin n. 3, poids moyen, 3,998, nourri aux carottes.....	0,950
Lapin n. 3, inanitié, poids moyen 3,577 (il a perdu 195 gr. pendant la durée de l'expérience, 28 h. 25 m.).....	0,707
Chien n. 1, poids 6,393, nourri à la viande.....	0,742
Chien n. 2, poids 6,213, nourri à la viande.....	0,740
Marmotte éveillée, poids moyen 2,685.....	0,686
La même marmotte engourdie, 2,735.....	0,399
Poule n. 1, poids moyen 1,610, nourrie à l'avoine.....	1,024
La même poule inanitiée.....	0,707
La même poule nourrie à la viande.....	0,767
Poule n. 2, jeune, poids moyen 1,051, nourrie au grain.....	0,782
La même poule inanitiée.....	0,640
La même poule nourrie à la viande.....	0,627
Canard gavé avec du pain, de l'avoine et de l'eau, poids moyen 1,382.....	0,892
Verdier, poids 25 gr.....	0,760
Cinq grenouilles, poids 287 gr.....	0,729
Quatre grenouilles, poids 243 gr.....	0,786
Deux grenouilles sans poumons, poids 115 gr.....	0,795
Trois lézards éveillés, poids 62 gr.....	0,752

(1) REGNAULT et REISET. Ann. de chimie et de physique. 3, t. XXVI, p. 299.

Trois lézards engourdis, poids 68 gr. 5.....	0,733
Quarante hannetons, poids 40 gr. 3.....	0,791
Dix-huit vers à soie prêts à filer, poids 42 gr. 5.....	0,798
Quarante-deux vers à soie au troisième âge.....	0,739
Vingt-cinq chrysalides de ver à soie.....	0,639
Vers de terre, poids 112 gr.....	0,776

On voit donc que : 1° le poids de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique exhalé est plus faible que celui de l'oxygène absorbé;

2° Tous les animaux absorbent de l'oxygène en quantité variable suivant le poids et l'espèce;

3° Enfin, les mammifères et les oiseaux ont exhalé de l'azote d'une manière constante dans la proportion de 1 à 2 centièmes de l'oxygène absorbé.

MM. Regnault et Reiset, variant leurs expériences, sont arrivés à des résultats aussi nombreux qu'intéressants. Ces résultats sont appuyés d'analyses eudiométriques exécutées avec un soin et une habileté connus de tous les chimistes.

Ce travail constitue en quelque sorte une mine de renseignements précis et de déterminations exactes, mais nous ne pouvons faire autre chose que de renvoyer le lecteur à ce Mémoire lui-même.

RESPIRATION CHEZ L'HOMME

Les méthodes précédentes ne s'appliquaient point à l'homme. On doit à MM. Andral et Gavarret des recherches classiques sur la respiration humaine (1).

Davy, en 1802, paraît s'être occupé le premier de ce sujet. Allen et Pepys, en 1809 (2), ont repris la question sans la faire avancer beaucoup.

(1) Ann. de chimie et de physique, t. VIII, p. 129.

(2) Biblioth. britannique, 1809, t. XLII.

M. Dumas, en 1820, entreprit aussi un travail qui n'a jamais été terminé et dont les résultats publiés postérieurement concordent avec les nombres que Lavoisier donne dans son mémoire de 1789.

Mais c'est aux travaux de MM. Andral et Gavarret, que la science est redevable de presque toutes les données dont on se sert en physiologie, relativement à la respiration humaine.

Les auteurs se sont proposé de déterminer, chez l'homme en santé parfaite, les lois de la variation de la quantité absolue d'acide carbonique exhalé suivant l'âge, le sexe et la constitution. Ils se sont d'abord attachés à recueillir les gaz expirés dans des circonstances telles que la fonction pulmonaire s'exécute suivant le rythme naturel à chaque individu. Un masque, d'une construction spéciale, sert à recueillir les produits de l'expiration sans gêner aucune pour le sujet. Un appel, réglé au moyen d'un robinet gradué, conduit ces produits dans un système de ballons collecteurs d'une capacité considérable et dans lesquels on a préalablement fait le vide.

Toutes les précautions étaient prises pour éviter les fuites et les autres causes d'erreur. Les ballons remplis sous la pression de 76 centimètres, on ferme le robinet. (En moyenne l'expérience durerait de 8 à 13 min.) Pour doser l'acide carbonique expiré durant ce temps, on mettait les ballons renfermant l'air expiré en communication avec un autre système de ballons vides d'égale capacité, et en passant des premiers dans les seconds l'air traversait une série d'appareils qui le dépouillaient de sa vapeur d'eau et de son acide carbonique. On pesait avec soin ces différents tubes. On prenait la nouvelle pression des ballons et on avait toutes

les données nécessaires pour calculer le poids de l'acide carbonique fourni par la respiration de l'individu soumis à l'expérience (1).

Tel est, très-succinctement, le principe de cette excellente méthode.

Voici quelques résultats extraits du volume de M. le professeur Gavarret (2).

SEXE MASCULIN.

Un enfant de 12 ans brûlait par heure..	8 gr. 3 c. de carbone,
Un jeune homme de 26 ans.....	14 gr. 1 —
Un homme de 60 ans.....	13 gr. 6 —
Un homme de 63 ans.....	12 gr. 4 —
Un homme de 92 ans.....	8 gr. 8 —

CONSOMMATION MOYENNE DU CARBONE PAR HEURE.

1° De 10 à 15 ans	{ Chez le jeune garçon non pubère.....	7 gr. 8
	{ Chez la jeune fille non réglée.....	6 gr. 4
2° De 16 à 30 ans	{ Chez l'homme adulte.....	11 gr. 2
	{ Chez la femme réglée.....	6 gr. 4

Remarquons en terminant que MM. Andral et Gavarret recueillaient la totalité des gaz expirés (3).

Une autre méthode dite des *analyses qualitatives* a été employée par Fyfe, Murray, Coutanceau, Nysten, Prout, Thomson, Apjohn, Mac-Grégor, Coathupe, Vierrordt, Valentin, Brunner, M. Doyère. Cette méthode est très-commode en ce qu'elle dispense de mesurer le gaz inspiré, de recueillir la totalité du gaz expiré, et permet de n'agir que sur de faibles volumes. Mais elle ne peut tenir compte de l'exhalation d'azote.

(1) Voir pour plus de détails :

GAVARRET. De la chaleur produite par les êtres vivants. Paris, 1855, p. 340 à 357.

Ann. de chimie et de phys., t. VIII, p. 129.

(2) GAVARRET. Loc. cit., p. 351-352.

(3) Voyez WURTZ. Dict. de chimie, art. Respiration.

D'autre part, elle suppose la détermination préalable du volume réel d'une expiration normale. Cette détermination exacte est extrêmement difficile, pour ne pas dire plus.

Pour ces diverses raisons nous dirons donc, avec M. le professeur Gavarret, que la méthode des analyses qualitatives telle que l'ont pratiquée ces observateurs doit être réservée pour certaines circonstances spéciales dans lesquelles il est impossible de procéder autrement. C'est ce que montrent du reste les chiffres (1) divergents auxquels sont arrivés ces différents expérimentateurs.

Jusqu'ici nous avons vu les observateurs s'efforçant de doser directement, les gaz absorbés et exhalés par le sujet. C'est là ce qu'on appelle la *méthode directe*. Il en existe une autre, entièrement différente, et dont nous devons au moins donner une idée, bien que cette méthode soit plus particulièrement chimique.

Méthode indirecte. — M. Boussingault a indiqué une autre méthode pour déterminer indirectement la quantité de carbone brûlé, celle de l'hydrogène consommé, celle enfin de l'azote exhalé ou absorbé.

Un animal adulte et en bon état de santé, étant soumis à la ration d'entretien, ne perd ni ne gagne en poids, si donc on tient compte de tout ce que l'animal ingère sous forme liquide ou solide, puis de tout ce qu'il expulse à l'état d'excréments, en retranchant la seconde quantité de la première, la différence représente en nature et en poids la perte par la respiration et l'exhalation cutanée. On suppose bien entendu que l'animal ne fixe

(1) Les nombres varient en effet depuis 3.300 (Prout) jusqu'à 10.500 (H. Davy) et même 13.000 (Berthollet).

aucun des éléments de l'atmosphère. Nous ne pouvons entrer dans le détail des expériences de M. Boussingault; nous dirons seulement que les chiffres de MM. Regnault et Reisel, obtenus par la méthode directe, se sont accordés d'une manière extrêmement remarquable avec ceux que fournit la méthode indirecte, ce qui constitue pour l'une et pour l'autre une vérification réciproque, dès lors en les combinant ensemble on arrive à des résultats *très-exacts*.

C'est ce qu'ont cherché à réaliser dans ces derniers temps MM. Pettenkofer et Voit. L'appareil est extrêmement compliqué, aussi n'essaierons-nous pas d'en donner ici la description. Nous dirons seulement qu'ils ont pu y faire entrer un homme et l'y laisser séjourner pendant 24 heures et davantage, sans inconvénient, grâce au renouvellement de l'air. Les opérateurs prélevaient ensuite sur l'air qui avait traversé la chambre d'expérience une fraction connue de son volume et cette portion était analysée avec soin. Mais, ainsi que le fait parfaitement remarquer M. Wurtz « c'est là le côté délicat de la méthode », car la moindre faute commise dans l'analyse venant à se multiplier par le rapport du volume d'air analysé au volume d'air total, rapport toujours considérable, conduirait à des résultats tout à fait erronés.

MM. Pettenkofer et Voit (1) ont exécuté, au moyen de leur appareil, une série de recherches portant sur l'ensemble des phénomènes de la respiration considérés à l'état physiologique ou pathologique (diabète, leucémie). Mais l'analyse de ce travail, dont la véritable place serait

(1) Voir pour plus de détails l'art. Respiration dans le Dict. de chimie de M. Wurtz, p. 4337 et suivantes.

dans une thèse sur la respiration, nous entraînerait trop loin (1).

Laissant les méthodes expérimentales nous passons à l'étude des phénomènes physico-chimiques.

PHÉNOMÈNES PHYSICO-CHIMIQUES.

L'atmosphère des alvéoles pulmonaires est séparée du sang veineux par une membrane humide d'une ténuité extrême. La diffusion des gaz et l'endosmose produisent un double mouvement qui a pour résultat l'échange gazeux entre cette atmosphère relativement riche en oxygène et le sang chargé d'acide carbonique, suivant des proportions déterminées par les solubilités respectives des gaz. L'acide carbonique en excès est donc exhalé, tandis que l'oxygène est absorbé.

Les lois de la physique interviennent dans ces phénomènes d'une manière incontestable. Cependant il serait exagéré de n'admettre ici qu'un fait purement physique. S'il en était ainsi, pour une même pression, la quantité d'oxygène absorbé devrait augmenter en raison directe de la proportion de ce gaz dans l'air respiré.

Les expériences de M. Regnault, d'accord avec celles de Lavoisier, démontrent que les choses ne se passent pas de la sorte.

En second lieu, la composition de l'air restant invariable, les lois de la solubilité nous apprennent que la quantité d'oxygène, dissous physiquement, est directement proportionnelle à la pression extérieure. Ce fait est

(1) Ann. der chemie und pharm., 1863, suppl. II. — Voyez aussi Wurtz, Dict. de chimie, art. Respiration.

inconciliable avec ce que nous voyons chez les oiseaux de haut vol qui passent si rapidement de la surface de la terre aux régions les plus élevées, et aussi avec ce fait que l'homme et les animaux peuvent vivre sans inconvénients sous des pressions barométriques d'environ 45 centimètres (1).

Il se passe, en effet, des phénomènes d'ordre un peu différent.

On sait, depuis ces dernières années, que l'oxygène se fixe sur les globules en convertissant l'hémoglobine réduite en oxyhémoglobine. Cette combinaison est peu stable, il est vrai, elle perd son oxygène à chaud dans le vide (Hoppe-Seyler); néanmoins, elle est définie, surtout par ses caractères optiques. L'analyse spectrale distingue, en effet, les deux spectres d'oxyhémoglobine et d'hémoglobine réduite.

Ainsi fixé sur les globules, l'oxygène traverse le cœur et les grosses artères, arrive aux capillaires généraux et pénètre dans les tissus. C'est alors que s'opèrent les *combustions incomplètes*, les *transformations*, les *dédoublements*, d'où résulte en dernière analyse la production de chaleur.

Ici, nous sommes au cœur de la question, et l'on voit déjà la complexité et l'importance du problème. Nous allons chercher à nous rendre compte, au point de vue physique, de l'ensemble des phénomènes d'où résulte la calorification.

Nous n'entreprendrons pas de préciser l'endroit où s'effectue la production de chaleur. Le cadre tracé par

(1) Voir pour tout ce qui touche aux variations de la pression, l'ouvrage de M. Paul Bert. Sur l'influence que les modifications dans la pression atmosphérique exercent sur les phénomènes de la vie. Paris, 1874.

le sujet de cette thèse (théorie *physique* de la calorification) nous a déjà contraint de passer sous silence une foule de questions intéressantes au point de vue physiologique. L'étude de la circulation qui répartit la chaleur, de l'influence séparée de chaque organe, du rôle du système nerveux, en tant que régulateur, de celui du grand sympathique, des actions réflexes, etc., tout cela n'a pu trouver place dans le plan de ce travail. Nous renvoyons, pour toutes ces questions si pleines d'attrait, aux travaux récents des physiologistes, et en particulier à ceux de M. Cl. Bernard qui a fait de si brillantes découvertes dans cette voie où il est entré le premier.

Par les mêmes motifs que nous venons d'énoncer, nous ne suivrons pas, dans les détails, les réactions chimiques nombreuses et complexes d'où provient la majeure partie de la chaleur produite. Du reste, dans l'état de nos connaissances, ces réactions peuvent être plutôt « pressenties que précisées (Wurtz). »

Nous nous bornerons donc à faire observer qu'un animal complètement développé et soumis à la ration d'entretien, expulse par la surface respiratoire et par la masse excrémentitielle des éléments dont la somme représente forcément celle des matières alimentaires, plus l'oxygène absorbé (nous avons vu que M. Boussingault, a basé là-dessus sa *méthode indirecte*).

Puisque les excréments, considérés par rapport aux aliments sont appauvris en oxygène, carbone, hydrogène et azote, et que de plus le rapport de l'oxygène à l'hydrogène a diminué; il s'ensuit que le poumon élimine tout l'oxygène inspiré, et de plus une partie de l'azote (à l'état libre), du carbone, de l'hydrogène et enfin de l'oxygène provenant des aliments. C'est ce qui ressort des

déterminations de M. Boussingault, Barral, Dumas et Milne Edwards, etc.

Considérons maintenant les aliments en eux-mêmes. Les substances ternaires ne font guère que traverser l'organisme qui les rejette, après les avoir ramenées à l'état minéral. C'est surtout par *combustion lente*, (désignée souvent aussi sous le nom d'*échelles d'oxydations successives*) que ce résultat est atteint. La chaleur qui accompagne ces réactions est considérable et l'on sait qu'elle est égale à celle qui résulte de l'oxydation directe des aliments pour les transformer en produits ultimes de la combustion.

Les matières azotées ou albuminoïdes, rendues assimilables par la digestion, servent à la nutrition et à la réparation des divers organes, et remplacent en quantités correspondantes les principes qui résultent du dédoublement désassimilateur (Robin). Mais l'oxygène intervient, et, par une série d'oxydationssuccessives auxquelles il faut joindre souvent l'hydratation, on arrive à des formes chimiques de moins en moins compliquées pour aboutir aux produits azotés des diverses sécrétions.

Ces problèmes, nous le répétons, sont des plus délicats. Tout dernièrement encore on les eût déclarés insolubles sans les travaux tout récents et si remarquables de M. Schutzenberger. Les recherches poursuivies par cet éminent chimiste sont loin d'être achevées encore, ainsi qu'il le dit lui-même. Ce qu'elles nous ont appris suffit cependant pour montrer que nous touchons à la solution de ce grand problème.

Si maintenant nous cherchons à nous rendre compte de la chaleur dégagée, nous nous trouverons en présence de problèmes non moins ardu.

Voyons d'abord comment opéraient les premiers observateurs. Ils calculaient la combustion du carbone et de l'hydrogène en admettant que le carbone se brûle d'abord et que l'excès d'oxygène se porte sur l'hydrogène, les éléments étant considérés à l'état libre. On a trouvé ainsi une quantité de chaleur égale aux $9\frac{1}{10}$ de la chaleur réellement cédée par l'animal au calorimètre; mais ce n'est pas à l'état libre que les éléments sont brûlés, ils sont engagés dans des combinaisons où leur chaleur de combustion est modifiée. La question est donc plus complexe, aussi dirons-nous avec M. le professeur Gavarret « que les déterminations de la quantité de chaleur développée par les animaux, faites par les différents observateurs qui ont abordé cette belle question de physiologie, peuvent être considérées comme des évaluations plus ou moins approximatives, mais ne sauraient prendre rang dans la science à titre de solution définitive. »

Pour opérer avec exactitude, il faut examiner séparément les effets calorifiques dus à la fixation de l'oxygène et ceux qui résultent de la production ou de l'élimination de l'eau et de l'acide carbonique. C'est à quoi s'est attaché M. Berthelot en prenant ses exemples sur des corps bien définis (1).

M. Berthelot fait remarquer que si l'on applique la méthode ci-dessus aux acides gras homologues, on trouve que, depuis l'acide butyrique, jusqu'à l'acide stéarique, les résultats s'accordent avec ceux de l'observation directe, et dans cette circonstance l'acide carbonique se rapproche des $2\frac{1}{3}$ du volume de l'oxygène consommé, « rapport remarquable parce qu'il est voisin de

(1) Ann. de chimie et de phys. (4), t. VI, p. 296, 310, 334, 399, 442, 464.

celui qui a été trouvé par MM. Regnault et Reiset pour les animaux nourris avec de la viande et pour le chien nourri avec de la graisse. »

Les acides acétique et formique au contraire donnent un notable excès de chaleur. Il y a excès aussi pour l'acide oxalique, l'alcool méthylique, le phénol. Pour le sucre, l'excédant « dépasse le quart de la quantité de chaleur qui correspondrait au volume de l'acide carbonique dégagé (1). » Pour les corps azotés tels que le cyanogène et l'acide cyanhydrique, il y a aussi un excédant notable.

Si l'on vient à comparer la puissance calorifique des divers groupes de composés organiques en s'occupant seulement de l'oxygène consommé et de l'acide carbonique produit par combustion complète, on arrive à une différence remarquable entre les corps gras et les corps peu hydrogénés, et très oxygénés, comme les sucres.

Pour une même quantité d'oxygène consommé, ces derniers corps fournissent une quantité de chaleur sensiblement plus forte et qui dépasse celle qui correspond à leurs éléments combustibles, tandis que les corps gras donnent un peu moins de chaleur que leurs éléments combustibles.

Tels sont les premiers résultats que nous fournit la thermo-chimie, et l'on voit déjà combien elle peut contribuer à élucider les phénomènes de la calorification.

Mais ce n'est pas seulement au point de vue de l'oxydation que ses enseignements sont précieux. Ainsi que l'a fait remarquer M. Berthelot, vérifiant en cela les hypothèses et les opinions émises par un grand nombre

(1) Berthelot. Loc. cit.

de savants (1), il existe en effet une source différente de calorification. Ce sont les dédoublements et notamment les phénomènes d'hydratation et de déshydratation qui se produisent dans l'organisme indépendamment de toute espèce d'oxydation.

Ces réactions s'accompagnent toujours de phénomènes *endo* ou *exothermiques* (2).

Hydratation. — Il y a dégagement de chaleur dans la fixation de l'eau sur la plupart des éthers à acides organiques et même des éthers mixtes. Les corps gras sont des éthers, et leur hydratation conduit aux mêmes résultats.

C'est ce que confirme de plus en plus une série de mémoires du même auteur, actuellement en cours de publication dans les Comptes-Rendus de l'Institut.

Il y a, au contraire, absorption de chaleur lorsqu'on repasse par hydratation des amides aux sels ammoniacaux correspondants.

Déshydratation. — La formation de l'eau en nature conduit généralement à une absorption de chaleur.

Ces considérations ont d'autant plus d'importance que les aliments, pour la plupart, sont susceptibles de donner lieu à des phénomènes analogues. On peut les rapporter à trois catégories principales :

1° Les substances grasses ;

(1) ROBIN, cours de la Faculté. — Voir aussi ROBIN et VERDEIL, t. II, p. 99.

(2) Voir pour les réactions endothermiques et exothermiques Berthelot, Ann. de chimie et de physique (4), t. XVIII ; voir aussi Leçons sur la méthode générale de synthèse, p. 399.

— Leçons sur la thermo-chimie, 1864-65. Revue des cours scientifiques.

Prunier.

2° Les hydrates de carbone ;

3° Les principes albuminoïdes.

Or ces derniers sont des amides.

Sans parler des oxydations proprement dites, les hydrates de carbone dégagent de la chaleur par le seul fait de leurs dédoublements.

Remarquons que ces phénomènes d'hydratation avec dédoublements sont précisément ceux qui sont qui s'effectuent sous l'influence des *ferments solubles* comme ceux que nous voyons échelonnés le long du tube digestif.

Il en est de même des corps gras neutres qui peuvent, en tant qu'éthers, produire de la chaleur par dédoublements ainsi que cela semble se produire en présence du liquide pancréatique. (Cl. Bernard.)

« Tous ces faits montrent comment le problème de la chaleur animale doit être généralisé ; ils fournissent des données nouvelles dont le physiologiste et le médecin devront désormais tenir compte.

L'idée fondamentale subsiste, mais comme il arrive toujours dans les sciences, le problème se complique à mesure que l'on pénètre davantage dans les conditions véritables du phénomène naturel (1). »

Nous bornons ici ces emprunts à la thermochimie. On voit les difficultés de la question, on voit aussi comment ces problèmes doivent être abordés et comment on peut espérer de les résoudre.

Est-il besoin de faire remarquer que les résultats ci-dessus n'ont été obtenus qu'en opérant sur des espèces chimiques bien connues et bien définies ?

(1) BERTHELOT. Ann. de chimie et de physique, p. 464.

Il faut donc que la chimie organique et biologique ait terminé l'étude de principes nombreux et notamment des albuminoïdes avant que l'on puisse arriver à l'explication complète des phénomènes physico-chimiques de la calorification.

APPLICATION DE LA THÉORIE MECANIQUE DE LA CHALEUR A L'ETUDE DE LA CALORIFICATION.

En terminant le chapitre précédent, nous signalions le nombre de lacunes et de questions indécises qui existent encore dans la science.

Prise en détail, l'explication des phénomènes nous échappe encore. Est-ce à dire pour cela qu'il nous soit impossible de nous faire une idée exacte de ces importantes questions et de la formuler en théorie générale?

Nous allons essayer de prouver le contraire, en nous aidant pour cela des données tirées de la théorie mécanique de la chaleur.

La chimie nous montre que les aliments dégagent de la chaleur dans leur combinaison avec l'oxygène, et la thermochimie mesure ces dégagements soit dans leur totalité, soit par échelons successifs.

Pour le physicien, cet ensemble de notions se résume de la manière suivante :

Les corps organiques en général, les aliments en particulier, sont des réservoirs d'énergie *potentielle* (le mot est de Marquorn-Raukine) et cette énergie devient force vive calorifique au moment de la réaction.

Il est important de se faire, à ce point de vue, des idées aussi nettes que possibles.

Considérons donc un poids de 5 kilog. suspendu à 40 mètr. de hauteur : puis laissons tomber ce poids. La mécanique nous apprend, qu'au moment où il touche le sol, la force vive est égale au produit, 5×40 , de son poids par la hauteur de la chute. Cette force vive est donc de 200 kilogrammètres : c'est l'énergie totale.

Dans le cas qui nous occupe, cette énergie est *actuelle*, c'est-à-dire que le corps, au moment où il touche le sol, la possède réellement.

« Empruntant le langage de la philosophie, on donne le nom d'*énergie potentielle* à la force vive que ce corps à l'état d'équilibre ne possède qu'en *puissance*, c'est-à-dire qu'il *peut* acquérir en tombant de la hauteur à laquelle il est maintenu.

Reprenons l'exemple du poids de 5 kilogrammes suspendu à 40 mètres de hauteur ; son *énergie totale* est de 200 kilogrammètr., tout entière *actuelle* à la fin de la chute, tout entière *potentielle* à l'origine du mouvement. Si nous considérons ce corps à un moment quelconque de sa chute, il a à la fois une *énergie actuelle* qui dépend de la hauteur dont il est déjà descendu, et une *énergie potentielle* qui dépend du chemin qui lui reste à parcourir. La somme de ces deux énergies est toujours égale à 200 kilogrammètres, à l'énergie totale. En effet, prenons le corps au moment où il est descendu à une hauteur de 25 mètres. Il est déjà tombé de 15 mètres ; la force vive acquise, son *énergie actuelle*, est donc $5 \times 15 = 75$ kilogrammètres ; mais, pendant les 25 mètres qu'il a encore à parcourir pour compléter la chute, il acquerra une nouvelle force vive de $5 \times 25 = 125$ kilogrammètres qui représentent son *énergie potentielle*. La

somme de ces deux énergies, l'actuelle et la potentielle du corps, au moment où il est déjà tombé de 15 mètres, est donc égale à $75 + 125 = 200$ kilogrammètres, égale à l'énergie totale du corps transporté à 40 mètres de hauteur.

Ces principes, développés à propos de l'action de la pesanteur, s'appliquent aussi aux actions chimiques. L'affinité, en déterminant l'union, la combinaison de deux corps de nature diverse, développe une force vive qui se manifeste sous forme de chaleur et que nous sommes habitués à évaluer en unités de chaleur convertibles elles-mêmes en kilogrammètres. Cette force vive calorifique n'est autre chose que l'énergie du système de corps considéré, *actuelle* au moment où la combinaison s'effectue et qu'a lieu le dégagement de chaleur, *potentielle* tant que la réaction n'a pas encore commencé entre les corps en présence.

L'expérience démontre que la combinaison d'un kilogramme d'hydrogène avec l'oxygène s'accompagne du dégagement de 34,462 unités de chaleur. Cette quantité de chaleur, *énergie actuelle* du produit de la combinaison, est en réalité l'*équivalent* du travail accompli par l'affinité pendant que s'est effectuée l'union de l'hydrogène et de l'oxygène. Dans cette opération, l'affinité *satisfaite* s'est transformée en force vive calorifique; la *forme* a changé, mais la *quantité* de force disponible est restée invariable. Tant que l'hydrogène et l'oxygène restent en présence sans se combiner, l'action de l'affinité non satisfaite, se réduit à une sorte de tension qui sollicite les deux corps à s'unir; l'*énergie* du système est tout entière à l'*état potentiel*, et nous pouvons dire, dans ce sens, qu'un kilogramme d'hydrogène, considéré

dans ses rapports avec l'oxygène, a une énergie potentielle égale à 34,462 calories (1).

Ce que nous venons de dire pour l'hydrogène, on pourrait le répéter pour le carbone, pour les divers aliments à des degrés variables d'oxydation, en remplaçant les chaleurs qui nous sont fournies par la thermochimie.

Lorsque les plantes avec de l'eau et de l'acide carbonique, c'est-à-dire des substances totalement brûlées, fabriquent les différents principes organiques (matières grasses, sucres, amidons, etc.), elles emmagasinent de l'énergie *potentielle*, de l'affinité chimique; elles effectuent donc un travail intérieur considérable qui est l'équivalent de la chaleur empruntée au soleil.

Les travaux des physiciens ont démontré qu'au principe ancien *ex nihilo nihil* d'où découle l'indestructibilité de la matière dans l'univers actuel, il en faut ajouter un second, celui de l'indestructibilité du mouvement.

Du premier, Lavoisier, avec la balance, fit sortir la chimie moderne; de l'autre est née la théorie mécanique de la chaleur.

C'est en 1842 que MM. J. R. Mayer, Colding et Joule firent entrer définitivement ce principe dans la science, et depuis lors les travaux de Helmholtz, de Hirn, de Clausius, de Macquorn-Rankine, de Thomson, ont complété l'œuvre de leurs devanciers.

Le mouvement étant indestructible, se transforme par voie d'équivalence, et pour la chaleur l'équivalent mécanique mesuré par différents procédés a été trouvé en moyenne de 425 kilogrammètres.

(1) GAVARRET. Phén. phys. de la vie, p. 61-62.

Il résulte de la loi de transformation par voie d'équivalence, ou de la *conservation de l'énergie*, qu'on ne peut jamais augmenter la quantité de force disponible représentée par l'énergie potentielle des corps environnants. Et même, quand on transforme une modalité dynamique en une autre, il y en a toujours une certaine partie perdue pour l'effet utile, c'est-à-dire l'effet considéré, mais non pas détruite. C'est ce qui correspond aux notions de travail utile et de travail résistant. La réaction produite restant la même l'homme reste toujours maître de changer la modalité dynamique en laquelle se transforme la force consommée. — Ici nous prendrons un exemple.

L'action de l'acide sulfurique sur le zinc, pour une même quantité de zinc dissous produit à volonté :

- 1° De la chaleur seule.
- 2° De la chaleur et de l'électricité dans un circuit.
- 3° En plus la décomposition d'un sel (le sulfate de cuivre par exemple) ou encore
- 4° Un travail véritable, par exemple au moyen d'un électro-aimant.

On voit ici nettement la transformation des différentes modalités dynamiques les unes dans les autres. Entrons maintenant dans l'examen des phénomènes.

La plante n'effectue aucun travail extérieur tandis que l'animal est condamné à un travail extérieur incessant. A chaque instant, il se déplace et malgré toutes les pertes de chaleur dues à l'évaporation, au rayonnement, et au contact du milieu ambiant, il maintient sa température propre.

Si nous tenons compte en outre du travail nécessaire à

'entretien de la circulation et de la respiration, nous arrivons à une dépense de force considérable (1).

Pour y subvenir, l'animal consomme les matières organiques préparées par les plantes. Mais en revenant à leur forme minérale, l'énergie potentielle de ces substances se manifeste à l'état actuel. Telle est la source physique des phénomènes vitaux et notamment de la calorification.

Dans tout cela, au point de vue physique, on ne voit que transformation de mouvements.

Les végétaux purifient l'atmosphère, que les animaux vicient, les premiers produisent les matières organiques, les seconds les détruisent. Ceux-là absorbent la lumière solaire, ceux-ci la rendent sous forme de chaleur obscure, ou sous forme de travail, ce qui est la même chose.

« L'homme brûle le bois, la houille et les lignites, il en retire la chaleur solaire ; par la machine à feu il en tire la force. On peut ajouter que le soleil soulève les eaux par l'évaporation, qu'il produit les courants de l'atmosphère, et que l'homme en demandant la force aux vents, aux chutes d'eau, aux animaux et à lui-même, ne fait que retrouver et employer la force vive solaire déposée providentiellement dans les végétaux. C'est ainsi que toute chaleur, toute lumière, tout travail, toute vie végétale ou animale se régénèrent et se transforment et sont puisées à la source unique et intarissable : le soleil. » (Jamin.) (2)

(1) Voir page

(2) La théorie ne s'arrête pas là et nous ne l'avons pas touché à ce qui a trait à l'état final de l'univers. Nous renvoyons les lecteurs curieux d'approfondir ces très-attractives questions au savant article *Mouvement*, publié par M. le professeur Gavarret, dans le Dictionnaire Dechambre, et qui a paru trop tard pour que nous ayons pu l'utiliser dans cette étude déjà en cours d'impression.

CHAPITRE IV.

CAUSES INTERNES ET EXTERNES QUI MODIFIENT LA CALORIFICATION.

INFLUENCE DES CONDITIONS PHYSIOLOGIQUES SUR LA CALORIFICATION

A l'état de repos, les actes physico-chimiques n'aboutissent, en définitive, qu'à une production de chaleur sensible; destinée au maintien de la température animale, mais il n'en est plus de même quand le système musculaire produit un travail extérieur.

D'après Lavoisier (1), un homme qui, au repos, consommait 24 litres d'oxygène par heure, en absorbait 63 lorsqu'il soulevait des fardeaux, « et la température du sang demeurait sensiblement constante. » De nombreuses observations (2) venant à l'appui de celles de Lavoisier établissent que l'exercice s'accompagne d'une augmentation de l'activité respiratoire et par suite, la calorification.

En effet, nous avons vu (page), que MM. Becquerel et Breschet ont constaté l'élévation de température dans tout muscle qui se contracte. C'est aussi le résultat de travaux dûs à M. Helmholtz. Or, dans toutes ces expériences, l'élévation de la température était loin de correspondre à l'intensité des combustions mesurées par l'acide carbonique exhalé.

(1) Mém. de l'Acad. des sciences, 1789, page 575.

(2) LASSAIGNE. Journal de chimie; 1849, t. V, p. 42.— BOUSSINGAULT. Annales de ch. et de physique (3), t. XI, 1844, p. 38.—SCHARLING. Même recueil, t. VIII, p. 488.

Prunier.

M. Bécларd a fait à ce sujet une série d'observations connues de tout le monde et qu'il nous suffit de rappeler ici. Mentionnons aussi l'observation suivante due à M. le Dr Peter : « Chez une petite fille atteinte de convulsions liées à la tuberculisation des méninges, il y avait alternativement contracture et paralysie du mouvement d'un même côté du corps. Quand le bras gauche était convulsé, la température y était de 1 à 4° plus élevée qu'au bras droit ; quand la contracture cessait et que le bras gauche était paralysé du mouvement, la température y était au contraire de 0°,50 à 1°,50 plus basse qu'au bras droit.

Mais les expériences les plus nombreuses et les plus variées sont dues à M. Hirn (de Colmar) (1). Ce savant a commencé par déterminer la quantité de chaleur sensible que produit chaque gramme d'oxygène consommé par un homme au repos, puis il a mesuré la chaleur produite par le même homme pendant le travail d'ascension, ou pendant le travail de descente. Quand l'homme monte, la consommation en oxygène augmente, mais par chaque gramme d'oxygène il y a moins de chaleur produite que pendant le repos. Quand l'homme descend, il y a aussi augmentation d'oxygène consommé, mais la chaleur sensible correspondant à chaque gramme d'oxygène est supérieure à ce qu'on trouve à l'état de repos.

Toutes ces expériences s'accordent pour démontrer que, pendant que le muscle travaille, la chaleur produite par les actes physico-chimiques se partage en deux parties, l'une apparaît comme *chaleur sensible* et déter-

(1) Bulletin de la Société d'hist. nat. de Colmar, 4^e année, 1863.

mine la température, l'autre disparaît autant que la chaleur et se transforme en *travail mécanique*. « Le muscle est un moteur animé qui, comme la machine à vapeur, utilise la chaleur pour produire du travail : dans l'un et dans l'autre cas, il y a nécessairement équivalence entre la chaleur disparue, consommée et le travail extérieur produit » (1).

Ces notions vont nous expliquer comment, dans la théorie de la chaleur animale, il n'y a pas à se préoccuper des frottements qui se produisent dans l'économie. Prenons pour exemple le système circulatoire. Sous l'influence des contractions du cœur, le sang parcourt les vaisseaux ; mais le cœur, comme tous les muscles, emprunte sa force de contraction à la chaleur interne par transformation équivalente. Cette force est toute entière employée à mettre le sang en mouvement ; les frottements en détruisant ce mouvement, ne font que rendre à l'économie la chaleur absorbée par le cœur.

Nous pouvons maintenant déterminer le *coefficient économique* de la machine humaine. Si dans l'expérience de M. Hirn, on calcule le travail utile effectué en une heure d'ascension, on voit qu'il équivaut à 78 unités de chaleur, quand il y en a 443 de dégagées ; ce qui donne 18 centièmes comme coefficient économique, valeur qui s'accorde avec les résultats de M. Helmholtz qui est arrivé à un cinquième.

Si nous comparons ce coefficient avec celui des machines à vapeur les plus perfectionnées, nous voyons que dans ce dernier cas il ne dépasse jamais 12 centièmes. Cette supériorité est encore bien plus marquée si l'on con-

(1) GAVARRET, Phénomènes physiques de la vie, p. 136.

sidère certains muscles isolément. En effet, M. Helmholtz a démontré que les locomotives les plus puissantes, n'ont que le huitième de la puissance motrice développée par un muscle tel que le cœur.

ROLE ET INFLUENCE DE L'ALIMENTATION.

Il n'y a pas longtemps encore que, sur la foi de M. Liebig, beaucoup de physiologistes ont pensé que la chaleur sensible n'a pas la même origine que la puissance mécanique des muscles. La chaleur sensible serait produite par les substances grasses et hydro-carbonées, tandis que la fibre musculaire pourrait seule développer la chaleur transformable en travail. Dès son origine, cette hypothèse fut combattue par J.-R. Mayer, qui fit voir que toute la masse musculaire suffirait à peine à produire la chaleur consommée en quatre-vingts jours de travail. Cette opinion de Mayer s'accorde avec celle qui veut que la fatigue musculaire ne soit pas le résultat de l'usure de la fibre musculaire, mais bien de l'accumulation des matériaux de décomposition dans le tissu du muscle. C'est aussi ce qui résulte de la discussion de la célèbre ascension au Faulhorn, faite au mois d'août 1865, par MM. Fick et Wislicenus. Nous ne la rapporterons pas en détail, d'ailleurs la science ne possède pas tous les éléments nécessaires pour la calculer avec une exactitude complète; mais on en peut cependant tirer cette conclusion importante, qu'en se plaçant dans les conditions les plus favorables à la théorie de M. Liebig, la combustion des matières albuminoïdes n'a pu fournir qu'environ la moitié du travail extérieur utile produit par ces physiologistes pendant leur ascension au Faulhorn. On pourrait ci-

ter, à l'appui de ces conclusions, le travail dans lequel M. Verloren a fait voir que les insectes se nourrissent principalement de matières albuminoïdes quand ils accomplissent peu de travail; tandis que leur alimentation a pour base les matières ternaires à l'époque où leur système musculaire fonctionne le plus énergiquement. Nous n'irons pas cependant jusqu'à dire que les substances ternaires soient seules respiratoires; on sait, en effet, qu'une portion des matières albuminoïdes est attaquée en même temps que les matières grasses pour fournir la source de force disponible qui se divise en chaleur sensible, d'une part, et de l'autre, en puissance musculaire.

Les théories scientifiques déterminent des courants d'idées, des opinions qui finissent par se traduire en faits positifs et d'application usuelle; c'est ainsi que les idées de M. Liebig ont conduit les hygiénistes à multiplier leurs efforts pour arriver à modifier le régime alimentaire des populations ouvrières, en y faisant entrer la viande pour une proportion plus considérable. Nous avons vu que l'hypothèse n'est pas fondée. En France, toutefois, où l'alimentation est trop exclusivement végétale, elle a conduit à d'excellents résultats.

En résumé, d'accord avec l'observation à la fois scientifique et vulgaire, nous dirons, en nous appuyant sur les travaux de M. Boussingault, que le régime alimentaire doit être mixte et contenir assez de matières ternaires pour fournir toute la chaleur consommée par le refroidissement et le travail extérieur, et en outre, assez de matières azotées pour suffire à l'entretien du système musculaire.

Disons, en terminant, que la plupart des calculs des-

tinés à évaluer l'énergie effective développée par les différentes matières alimentaires, brûlées dans l'oxygène, ont pour base un mémoire de M. Frankland, publié sur ce sujet. On trouve dans ce travail un grand nombre de déterminations relatives aux matières azotées et non azotées. Il est seulement regrettable que la méthode dont s'est servi M. Frankland ne soit pas tout à fait irréprochable.

La chaleur de combustion était obtenue en mêlant la substance avec du chlorate de potasse et brûlant le tout dans un calorimètre. La chaleur d'oxydation est égale à la chaleur de l'oxygène libre augmentée de la chaleur de décomposition du chlorate de potasse (1). Le premier nombre avait été d'abord évalué beaucoup trop haut par l'auteur. Dès lors les résultats n'ont guère plus de valeur que les chiffres anciens calculés dans l'hypothèse que tout l'oxygène passait à l'état d'eau et que le reste des éléments se comportait comme s'il était libre.

Ces questions appellent donc des recherches nouvelles. Pour terminer ce qui a trait aux influences des divers états physiologiques, nous rappellerons que les expériences de M. Boussingault ont établi que, durant le *sommeil*, la température est moins élevée que pendant la *veille*, et la résistance au refroidissement moins énergique (1); c'est ce qui a été confirmé par M. Regnault dans ses expé-

(1) MM. Favre et Silbermann avaient donné pour la chaleur de décomposition du chlorate de potasse des nombres, d'où il résulterait que chaque équivalent d'oxygène fourni par le chlorate de potasse dégagerait, dans les réactions, 11,000 calories de plus que l'oxygène libre. — D'après M. Frankland, ce chiffre se réduirait à 7,300, tandis que les résultats de M. Thomsen, obtenus depuis par des méthodes plus exactes, l'abaissent à 2,700.

(BERTHELOT. Cours du Collège de France).

(2) Mém. sur la respiration. Ann. de chimie et de phys., III^e série, 1849, XXVI, p. 299.

riences sur les marmottes à différents états de sommeil.

L'inanition, d'après Lavoisier, abaisse la température. M. Regnault (1), en soumettant successivement des animaux à leur régime habituel et à l'inanition, et Vierrort (2), en opérant sur des grenouilles dans les mêmes conditions, sont arrivés à des résultats qui confirment entièrement cette théorie.

Quant à l'influence de la *température ambiante*, il est certain qu'à mesure que cette température s'élève les causes de refroidissement s'affaiblissent et l'animal brûlant moins de carbone, développe moins de chaleur. C'est ce qu'établissent les expériences de M. Letellier (3) sur divers oiseaux et mammifères de petite taille.

ÉVAPORATION. — RAYONNEMENT. — CONTACT.

Nous avons examiné les sources de la chaleur animale et sa production en proportion variable. Il nous reste à passer en revue, pour expliquer la fixité de la température, les causes de déperdition, c'est-à-dire le contact, le rayonnement, l'évaporation et la transformation en travail mécanique. Ce que nous avons dit plus haut nous dispense de revenir sur ce dernier sujet.

Nous étudierons d'abord le rôle de l'évaporation.

Les recherches de M. Regnault sur la quantité de chaleur totale contenue dans un poids donné de vapeur d'eau, prouvent qu'à la température moyenne de Paris, il faut fournir 599 calories à chaque kilogramme d'eau

(1) Dict. de phys., Richard Wagner. T. II, p. 885.

(2) Ann. de chimie et de phys., 2^e série, 1844, t. II, p. 433.

(3) Ann. de chimie et de phys., 1845, t. XIII, p. 478.

pour la transformer en vapeur (1). Il est évident que cette chaleur est empruntée aux surfaces en contact.

Dans le poumon, le phénomène est plus complexe; le sang absorbe de l'oxygène et perd de l'azote et de l'acide carbonique, mais cet échange ne produit aucun phénomène thermique. On néglige ici, bien entendu, la chaleur de combinaison de l'oxygène avec les globules, chaleur relativement très-faible.

Le sang, arrivant aux poumons, est d'abord refroidi par le contact direct de l'air, mais de plus, il se produit une évaporation considérable que nous allons chercher à évaluer.

On admet qu'un homme, de constitution moyenne, expire par heure 480 litres de gaz à 38°. Ce gaz étant inspiré à 10°,8, prend au sang 3 calories, 5 par heure, pour passer à 38°. Mais, si l'on admet qu'à 10°,8 il était à demi saturé de vapeur d'eau, cette dernière pesait environ 2 gr. 36. Lorsqu'il est expiré à 38°, il est complètement saturé; il contient donc 22 gr. de vapeur d'eau, et cette nouvelle cause de refroidissement représente 12 calories 13, soit en somme 15,65 par heure. C'est ce qui rend compte des résultats obtenus par M. Cl. Bernard, dans ses expériences sur la différence de température du cœur droit et du cœur gauche. Telle est la première cause du refroidissement.

Il en existe une bien plus énergique dans la transpiration cutanée. Dans ce cas, l'évaporation n'a pour limites que la quantité d'eau qui arrive à la surface de la

(1) Nous rappelons ici la formule de M. Regnault $L = 606,5 + 0,305 T$ déduite d'un très-grand nombre d'expériences. Q est la quantité de la chaleur totale, T la température de la vapeur.

peau, d'une part, et de l'autre, l'état hygrométrique et l'agitation de l'air ambiant.

Le refroidissement se produit encore par rayonnement direct, ou par le contact du milieu ambiant. Ces deux causes de refroidissement agissent d'une manière d'autant plus énergique, que le volume de l'animal est moindre. En effet, on sait que les surfaces variant comme les carrés, les volumes varient comme les cubes. Les petits animaux doivent donc, pour se maintenir, produire plus de chaleur, c'est-à-dire que leurs pertes sont plus considérables.

Le refroidissement par contact est sensiblement amoindri par la disposition du tégument externe.

Ainsi les animaux qui vivent dans l'air sont munis d'appareils spéciaux, plumes, poils, qui immobilisent une certaine quantité d'air. Dans l'eau, les cétacés ne maintiennent leur température que grâce à la couche de graisse dont ils sont enveloppés.

Vêtements. — Chez l'homme les causes de refroidissement seraient trop intenses pour lui permettre de vivre dans tous les climats et en toute saison. M. Gavarret, s'appuyant sur les chiffres de M. Barral, montre que chez un homme à l'état normal, il y a production par kilog. et par heure de 2 calories 609. La perte par l'évaporation pulmonaire et cutanée est égale à 0,615. La différence 1°,994 représente la quantité dont il peut disposer pour compenser les pertes par rayonnement et le contact de l'air. Cette quantité manifestement trop faible pour maintenir la température du corps invariable explique la nécessité des vêtements (1).

(1) Voy. Dr COULIER. Journal de la phys. de l'homme et des animaux, E. Brown-Séquard, t. I, 1878.

Prunier.

RÉSISTANCE A L'ÉCHAUFFEMENT

La fixité de la température est l'une des conditions les plus importantes du fonctionnement du milieu intérieur tel qu'il est constitué chez l'homme et chez les animaux supérieurs. Aussi ne peuvent-ils s'écarter d'une manière sensible et persistante de leur température moyenne sans compromettre gravement leur existence. De là leur résistance si remarquable au refroidissement et à l'échauffement.

Les physiologistes ont longtemps pensé que la vie n'était possible qu'entre 33° et 40°.

Boerhaave admet qu'il se développe dans le poumon une quantité de chaleur qui serait incompatible avec la vie, si l'air extérieur ne venait, à chaque inspiration, l'absorber et la rejeter au dehors.

Pour lui donc, l'air rafraîchit le sang. Sous son inspiration, Fahrenheit institua quelques expériences afin de s'assurer si la respiration de l'air chaud était vraiment nuisible; un chat, un chien et un moineau périrent dans une étuve à 140° Fahrenheit, c'est-à-dire à 63° centigrades. Boerhaave en conclut que l'air chaud empêche la sortie de la chaleur intérieure et suspend les fonctions de la vie. Des objections ne tardèrent pas à se produire contre cette conclusion précipitée de Boerhaave.

En 1748, John Linning (1), montra que l'homme à Charlestown vivait dans une atmosphère de 32° centigrades à l'ombre et 51° centigrades au soleil. Adanson

(1) Philosoph. transact., 1748, p. 330.

rapporte qu'au Sénégal, la température de sa chambre montait à 40 ou 45° Réaumur, c'est-à-dire 50 ou 56° centigrades.

Il était donc démontré que l'homme peut vivre dans un milieu dont la température est supérieure à la sienne. C'est alors que parurent les recherches de Delaroche et Berger.

De l'ensemble de ses nombreuses expériences, Delaroche (1) tire les conclusions suivantes :

Tous les animaux ont la faculté de résister à la chaleur pendant un certain temps : mais cette résistance n'est pas la même chez tous.

Les animaux *de petite masse* meurent dans un espace de temps assez court à une chaleur de 45 à 50°.

Les animaux inférieurs supportent plus longtemps la chaleur que les animaux à température constante.

Dans la deuxième partie de son travail, Delaroche examine la température que peut supporter l'homme. Des expériences faites avec la collaboration de Berger, il conclut que tous les hommes ne peuvent supporter la même température.

L'étuve de 49 à 58° devient insupportable à Delaroche qui en fut malade ; cette température ne fatigue que légèrement Berger. D'autre part, Berger ne peut rester que 7 minutes dans une atmosphère à 87° ; tandis que Blagden supporte pendant 12 minutes une température de 83° 1/3.

Il n'en reste pas moins certain que la chaleur peut être mortelle même à des degrés moins élevés lorsqu'elle est supportée longtemps ; ainsi que le constatent les faits cités par J. Linning (1738) et Franklin (1743).

(1) Thèse inaugurale, 1806.

Franklin, portant dans cette question le bon sens dont il était si largement doué, envoya à Linning des observations très-simples et très-concluantes en faveur de la véritable théorie de la résistance à l'échauffement. Bientôt des résultats nouveaux furent apportés par Tillet et Duhamel, dans leurs recherches sur les degrés extraordinaires de chaleur auxquels les hommes et les animaux peuvent résister. Des expériences furent tentées sur le même sujet par Fordyce, Blagden, Banks, Sorlander et Dobson.

Blagden et Fordyce avaient admis chez les animaux une cause vitale capable de produire du froid et de maintenir la température fixe, quelle que soit la chaleur du milieu ambiant.

C'est contre cette opinion que s'élèvent Delaroche et Berger (1); ils observent, en effet, que les animaux s'échauffent d'une manière très-sensible lorsqu'on les expose à une température de 35° à 40° centigrades. Cette élévation peut aller jusqu'à 6 ou 7° centig. et n'a pour limite que la mort, lorsque la chaleur ambiante devient trop forte. Afin de prouver que la résistance à l'échauffement était bien due à l'évaporation par la peau et les poumons, M. Delaroche compare l'action de la chaleur sur les animaux et sur des corps bruts : alcarazas pleins d'eau et éponges humides.

Dans une étuve à 45°, la température d'un lapin s'élève de 39°,7 à 43°,8; celle de l'alcarazas baisse de 35° à 31°,4, et reste ensuite stationnaire. Dans une étuve à 36°,5, une grenouille prend une température de 28°, et deux éponges humides restent à 27°,9 et 27°,6. M. Delaroche

(1) Journal de physique, t. LXXI, p. 289, 1810.

en conclut que l'évaporation produisant un refroidissement plus marqué que celui qu'on observe chez les animaux, est capable d'expliquer la résistance à la chaleur.

Mais l'évaporation est-elle la seule cause du refroidissement? S'il en est ainsi, en la supprimant chez les animaux, ceux-ci doivent acquérir une température égale et même supérieure à celle du milieu ambiant. C'est, en effet, ce qui ressort avec évidence des résultats obtenus par M. Delaroche, dans une étuve humide.

Lapin, après 59 min. dans une étuve à 38,7 : Temp. avant le séjour, 40°; après le séjour, 42,4 à 43,9.

Cabiais, après 35 min. dans une étuve à 40,7 : T. avant le séjour, 38,4; après le séjour, 44,2.

Pigeon, après 42 min. dans une étuve à 41,9 : T. avant le séjour, 41,8; après le séjour, 46,9.

Grenouille, après 73 min. de séjour, dans une étuve à 25,6 : T. 26°.

On voit, qu'en somme, l'élévation de température n'est pas considérable, et M. Delaroche conclut de son travail que le développement du froid est le résultat de l'évaporation de la matière de la transpiration; mais il s'empresse d'ajouter qu'on ne peut comparer, d'une manière absolue, les corps vivants aux corps bruts, ce phénomène étant à la fois le résultat de causes vitales qui règlent l'action du système exhalant.

Les expériences de Delaroche ont été confirmées par des recherches plus récentes de M. Claude Bernard, dont les premières datent de 1842; elles portent sur des chiens, pigeons, cochons d'Inde et lapins, et se rapportent soit à l'action de la température sèche, soit à celle de la température humide sur l'économie.

Sous l'influence de la dernière, la mort survient dans un temps beaucoup plus court et à une température

moins élevée, pourvu qu'elle soit supérieure à celle de l'animal, ainsi que le prouve le tableau suivant.

Lapin :	T. sèche à 80°,	mort en 18 m.
—	T. humide à 80°,	mort en 2 m.
—	T. sèche à 65°,	mort en 25 m.
—	T. humide à 60°,	mort en 3 m.
—	T. humide à 45°,	mort en 10 m.

Un fait est donc désormais acquis à la science : Une chaleur plus élevée que celle du corps est, chez les animaux supérieurs, un véritable agent toxique ; la mort est d'autant plus rapide que la température est plus élevée.

Un autre fait mis hors de contestation par M. Claude Bernard, est le suivant :

L'échauffement du sang de l'animal est *constant* ; il a lieu jusqu'à un certain degré de température qui est la condition nécessaire de la mort. Cette limite est environ de 4 ou 5 degrés plus élevée que la température normale.

Par là se trouve détruite l'affirmation de Fordyce et Blagden, tandis que sont confirmées les expériences de Delaroche et Berger.

A la suite de recherches entreprises plus récemment encore, M. Cl. Bernard a constaté qu'en supprimant l'évaporation cutanée en huileant le corps des animaux la mort arrive plus lentement qu'à l'état normal ; la mort dans l'étuve humide résulterait de ce que l'animal est dans des conditions physiques plus favorables à l'échauffement, et non du fait d'évaporation par la surface cutanée et pulmonaire. (Voy. la fig. 9 ci-contre qui représente l'étuve dont M. Cl. Bernard se servait en dernier lieu. Du reste, « quel que soit son mode d'application, la chaleur tue le système

musculaire d'une manière complète, définitive, et produit ainsi la mort de l'organisme par l'arrêt de la circulation et de la respiration. » (Cl. Bernard.)

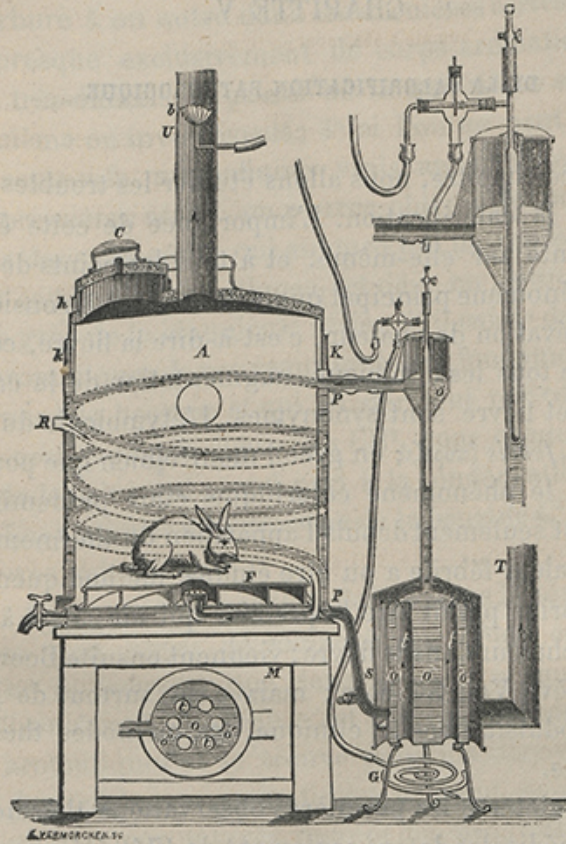


Fig. 3.

Cl. Bernard. Leçons sur la chaleur animale.

CHAPITTE V.

DE LA CALORIFICATION PATHOLOGIQUE.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les troubles morbides de la calorification. L'importance de cette étude est évidente par elle-même, et à tous les points de vue.

Le phénomène principal que nous aurons à considérer c'est l'élévation de chaleur, c'est-à-dire la fièvre, car de l'aveu de tous les cliniciens, augmentation de la calorification et fièvre sont synonymes. L'étymologie du nom de fièvre, *febris* (πυρεζις en grec), montre bien que pour les anciens, le phénomène calorifique était prédominant. Mais c'est seulement depuis l'apparition du thermomètre, que la chaleur fébrile a pu être étudiée méthodiquement.

Sanctorius paraît être le premier qui ait songé à mesurer la chaleur dans la fièvre; viennent ensuite Boerhave et son élève Van Swieten; mais c'est surtout de Haën qui introduisit dans la clinique, les méthodes thermométriques.

En Angleterre les premières observations thermométriques médicales datent seulement de 1740 (Martins, *De animalium calore*). — En Allemagne, Haller, Marcard, Röderer (1744-1758), Pickel (1778), entreprirent des recherches nouvelles sur cette question. En 1797, James Currie (1) reprenait les observations de Haën sur le thermomètre appliqué à la médecine et étudiait surtout les mo-

(1) CURRIE. Medical report on the effect of water, etc., 1797.

VI. 1° Il est facile de passer d'un carbure à un autre dans les quatre premières séries homologues qui ne renferment que des corps gras ; 2° il est facile de passer d'un carbure à un autre dans les dernières séries composées presque exclusivement de corps aromatiques ; 3° il est très-difficile de passer de la quatrième série à la cinquième ou inversement ; 4° si l'on ne peut obtenir de composés aromatiques vrais appartenant aux quatre premières séries, on pourra obtenir des composés gras dans les séries qui aujourd'hui ne renferment que des composés aromatiques, et déjà on connaît un carbure gras de la cinquième série ; 5° il existe dans les séries aromatiques de nouveaux carbures fondamentaux analogues à la benzine et qui en dérivent par condensation, avec perte de deux fois CH^2 , pour chaque molécule de benzine qui prend part à la condensation.

VII. Les 6 atomes d'hydrogène de la benzine C^6H^6 possèdent une valeur égale.

VIII. L'isomérisie de position donne dans la série aromatique trois séries de composés parallèles ; ces trois séries ne se trouvent que dans la série aromatique ; mais l'isomérisie de position n'est pas spéciale aux composés aromatiques et se trouve dans les dérivés gras.

IX. Les carbures aromatiques peuvent, comme les carbures gras non saturés, donner des produits d'addition, mais sans retourner par là au type saturé $\text{C}^n\text{H}^{2n+2}$, comme ces derniers.

De plus les produits d'addition de la série aromatique peuvent retourner facilement aux composés aromatiques proprement dits. Ce sont ces particularités qui ont fait ranger les composés dont il s'agit dans une classe spéciale bien qu'ils rentrent par leur composition

dans les séries C^nH^{2n-4} , C^nH^{2n-2} et C^nH^{2n} , qui renferment surtout des composés gras. Les produits d'addition de la série aromatique sont donc pour ainsi dire des termes de transition entre les composés gras et les composés aromatiques, et nous voyons que la classification sériale n'établit pas de ligne de démarcation nette entre ces deux grandes classes de corps.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Par tout ce qui précède, on voit qu'il n'est pas possible de trouver de différence absolue dans les propriétés des composés gras et aromatiques; que, dans la classification sériale, on trouve des corps gras dans les séries riches surtout en composés aromatiques, que ceux-ci, par leurs produits d'addition, viennent, se placer dans des séries qui renferment surtout des corps gras, à l'exception toutefois de la première série homologue.

Ce qui sépare donc les composés aromatiques des composés gras, c'est l'existence dans les premiers du noyau (C^6) de la benzine C^6H^6 ou quelques autres noyaux d'hydrocarbures qui sont des produits de condensation de la benzine avec perte de 2^oCH^2 .

Les propriétés les plus remarquables de ce noyau sont la stabilité et la facilité avec laquelle, lorsqu'il est saturé par de l'hydrogène, il peut échanger cet hydrogène contre d'autres éléments ou groupements monatomiques sans se détruire; propriétés dont la théorie de Kekulé, qui a fait faire de si nombreuses découvertes depuis dix ans, rend parfaitement compte.

difications imprimées à la calorification par l'action de certains agents. En 1836, M. Bouillaud (1) entreprenait des études sur la chaleur dans les maladies; M. Piorry (2) vantait l'utilité de cette méthode. — En 1837, Brodie, Wistinghausen, Fricke (1838), Nasse (1839), étudiaient les conditions qui font varier la température du corps.

Mais c'est surtout MM. Andral et Gavarret (3) en 1839 qui montrèrent nettement tout le parti à tirer en clinique des mensurations thermométriques. Après eux M. Roger (4) en 1843, puis Magendie et surtout M. Claude Bernard ont résolu d'importants problèmes de thermométrie animale. Depuis lors le nombre des observateurs s'est multiplié : nous citerons parmi eux Wunderlich, Liebermeister, Brand en Allemagne; en Angleterre, Sidney Ringer; en France, Lorain et M. le professeur Charcot.

La chaleur est un agent indispensable à l'activité de la vie; mais il arrive un moment où elle agit sur l'organisme comme un agent toxique (5); l'élément atteint est l'élément musculaire et sa destruction se fait pour les animaux à température variable, entre 37° et 39°; de 43° à 44° pour les mammifères; de 48° à 50° chez les oiseaux.

La température normale du corps humain est comprise, on le sait, entre 36°,50 et 37°,50 (Gavarret). Chaque fois qu'elle s'écarte de ces limites d'une façon notable et persistante, on arrive à l'état pathologique.

Considérons d'abord l'élévation de température. Pour

(1) BOUILLAUD. Clinique médicale.

(2) PIORRY. Traité du diagnostic.

(3) Recherches sur la température du corps humain dans les fièvres intermittentes. Paris, 1839 (Journal l'Expérience).

(4) ROGER. Recherches expérimentales sur la température des enfants (Arch. gén. de méd., 1844 et 1845).

(5) Cl. BERNARD. Loc. cit., p. 387.

Wunderlich (1), à qui l'on doit de nombreuses recherches sur ce sujet, il y a 3 degrés dans l'élévation de la chaleur : *fièvre modérée* au-dessous de 39° — *fièvre considérable* entre 39° et 40° — *hyperpyrexie* au-dessus de 40°. — M. Charcot (2) admet 4 degrés. Si le thermomètre s'élève un peu au-dessus de 38°, la température est dite *subfébrile* — au-dessous de 39°,5, *modérée* — entre 39°,5 et 40°, *intense* — au-dessus de 40° *hyperpyrétique*. — On réserve plus spécialement à ces deux derniers degrés le nom de températures élevées.

La santé et la maladie ne sont pas deux modes différents comme les anciens l'ont cru d'abord ; entre ces deux manières d'être il n'y a que des différences de degré. « Les physiologistes et les pathologistes, qui en somme opèrent sur le même terrain, devront donc se rencontrer quelque jour. » (Cl. Bernard.)

Le phénomène essentiel, avons nous dit, est l'élévation de température : c'est lui qui précède toutes les manifestations, même le frisson de la première période. Cette élévation a été attribuée par les différents auteurs à des causes diverses.

Pour M. Marey (3), « l'élévation de la température consisterait bien plus en un nivellement de la température dans les différents points de l'économie qu'en un échauffement absolu. »

Pour Traube (4), la chaleur fébrile provient simplement de l'accumulation de la chaleur normale.

La question importante est donc de savoir s'il y a aug-

(1) WUNDERLICH. De la tempér. dans les maladies ; trad. 1872, p. 232

(2) CHARCOT Leçons cliniques sur les maladies des vieillards.

(3) MAREY. Physiologie de la circulation du sang, 1863, p. 361.

(4) TRAUBE. Zur fieberlehre (med. Centralzeitung, 1863 et 1864).

mentation de la calorification ou seulement modification dans la distribution et par suite dans la déperdition de la chaleur.

Leyden (1) et Liebermeister (2) ont opéré au moyen de calorimètres semblables à ceux dont on se sert en physique et leurs observations faites avec les plus grands soins, prouvent que la perte de chaleur, dans la fièvre, est plus grande qu'à l'état normal.

Toutefois dans les expériences de Liebermeister, la tête du malade restant hors du bain, on négligeait l'exhalation pulmonaire et la perte par rayonnement. Malgré cela, les chiffres correspondants à l'état fébrile sont toujours plus forts que ceux qui correspondent à l'état normal.

Ces résultats de la méthode calorimétrique directe sont confirmés par une série de preuves indirectes tirées de l'augmentation des résidus des combustions organiques que l'on trouve dans l'air expiré et dans l'urine.

On sait que chez les fiévreux, la respiration est d'autant plus rapide que la chaleur est plus élevée. Il était donc naturel de chercher si la proportion d'acide carbonique dans l'air expiré est plus forte qu'à l'état normal.

Senator (3) et Traube arrivèrent d'abord à des résultats négatifs, ce qui était dû à ce qu'on ne tenait compte que de la composition centésimale du gaz, au lieu de calculer la quantité d'acide carbonique produit dans l'unité de temps. Aussi, quand les expériences furent reprises par Leyden et Liebermeister, en tenant compte

(1) LEYDEN. Deutsch archiv., v. 1869.

(2) LIEBERMEISTER. Id., p. 217, 1868.

(3) SENATOR. Beiträge zur Lehre, etc. Arch. für path. anat., 1869, XLV, p. 351

de ces causes d'erreur, ces observateurs ont constaté que, dans un temps donné, la quantité absolue d'acide carbonique éliminé est considérablement augmentée puisqu'elle est à la quantité normale comme $\frac{3}{2}$ est à 1.

On voit donc que la loi de proportionnalité qui lie entre elles la température, la combustion et la calorification est vérifiée par les expériences de Leyden et Liebermeister : la plus grande élimination d'acide carbonique correspondant au moment où l'élévation de température est la plus considérable.

L'examen des urines et les dosage d'urée viennent confirmer ces résultats. On voit, en effet, que les fiévreux éliminent par kilogramme et par jour, non pas 0, gr. 50 à 0, gr. 60 d'urée, mais bien 1 gr. 50 à 1 gr. 89 (1).

Il est encore un élément important à considérer, c'est la perte de poids. Cette perte représente la somme des pertes relatives aux composés ternaires et quaternaires. Or, Weber (2) a vu que les chiens auxquels on injecte du pus perdent plus de poids que ceux qui sont soumis à l'inanition; il en est de même pour des fébricitants comparés à des individus sains et soumis à la diète. Pour ces derniers, la perte est de 23 à 30 grammes par kilogramme et par jour; chez le fébricitant, la perte a été de 30 à 44 grammes.

Dans tout ce qui précède nous voyons donc que la calorification pathologique peut être rapportée aux mêmes causes physico-chimiques que la calorification normale.

La calorification pathologique doit être aussi consi-

(1) HIRTZ. Thèse de Strasbourg, 1870, p. 45.

(2) WEBER. Thèse de Paris, 1872. Des conditions de l'élévation de température dans la fièvre.

dérée dans ses effets, toujours au point de vue physique. Les cliniciens sont unanimes pour déclarer que la progression continue de la température indique une issue fatale. Liebermeister pense que, dans les fièvres malignes et pernicieuses, c'est la chaleur elle-même qui provoque seule les accidents dits de malignité. Les statistiques de Wunderlich (1) viennent à l'appui de cette opinion. On trouve à l'autopsie, à la suite des pyrexies longues et à températures très-élevées, que les lésions musculaires prédominent : ce qui peut se rapprocher de ce que l'on observe dans les cas d'insolation (2).

Dernièrement Senator (3), se basant sur ce fait de la non-concordance de la courbe de production d'urée et de celle de la perte de poids, en a conclu que la combustion fébrile n'est que partielle. Pour lui ce sont principalement les albuminoïdes qui brûlent et qui disparaissent pendant la fièvre. Il en résulte que bientôt les graisses se trouvent relativement en excès, tel serait le mécanisme de la dégénérescence graisseuse observée à l'autopsie.

Méthode de Réfrigération — L'excès de chaleur étant le principal danger de la fièvre, il n'est pas surprenant qu'on ait été amené à le combattre, par des moyens directs, et nous ne devons nous occuper ici que des moyens physiques. Nous avons vu plus haut comment les animaux, à l'état normal, résistent à l'élévation de température (p.), c'est d'une manière analogue qu'ont procédé les cliniciens et ceci nous amène à dire quelques mots de la

(1) HIRTZ. Dict. méd. et chir. prat., t. XIV, p. 702.

(2) HESTRÈS. Etude sur le coup de chaleur, maladie des pays chauds. Thèse. Paris, 1872.

(3) SENATOR. Untersuchungen über den fieberhaften Process und Seine Behandlung. Berlin, 1873.

méthode dite de Brand, à cause du retentissement qu'ont eu, dans ces dernières années, les tentatives du praticien de Stettin.

Il serait plus juste cependant d'en faire remonter l'honneur au D^r Jacquez de Lure (1) qui, dès l'année 1839, présentait une statistique ayant pour but de démontrer l'efficacité du froid dans le traitement de la fièvre typhoïde. Il opérait au moyen de compresses d'eau froide renouvelées environ toutes les dix minutes, administrait des lavements froids, et ne conseillait que des boissons froides ou glacées. Il eut ainsi 12 décès au lieu de 90 sur un même nombre de malades traités par sa méthode ou par des méthodes différentes.

Depuis lors Wanner (2) (1849-1851), puis Leroy de Béthune (3) (1852), et enfin Valleix (4) s'engagèrent dans la même voie. Malheureusement Valleix se prononça contre cette méthode, en sorte que c'est aux travaux de Liebermeister et de Brand qu'est due sa réapparition.

Liebermeister (5) plonge le malade dans un bain à 22°, dont la température est ensuite abaissée jusqu'à environ 16°. Brand arrose de plus la tête du patient avec de l'eau à 6° ou 8° et le laisse dans le bain jusqu'à ce qu'il se produise un frisson manifeste.

Tel est en principe la méthode qu'un de nos compa-

(1) JACQUEZ DE LURE. Bull. Soc. méd. Besançon, 1846.

(2) WANNER. Emploi de la glace comme agent thérapeutique et règles à observer. Compt. rend. Ac. sciences, 1869, t. XXIX, p. 591.

(3) LÉROY DE BÉTHUNE. Sur le trait. de la fièvre typhoïde (Un. méd., 1872, p. 517.)

(4) VALLEIX. Union méd., 1854.

(5) LIEBERMEISTER. Beobachtungen und Versuch, etc. (Ann. des mediz Klinik zu Basel).

triores, M. Glénard (1), a pu étudier à Stettin en 1870 et qu'il a depuis réimportée en France.

Nous avons vu que Jacquez employait aussi les lavements froids. MM. Foltz (2) et Boyer (3) ont repris les observations à ce point de vue et ont conclu qu'on arrive par les lavements froids au même résultat que par la méthode de Brand, dont on évite ainsi les inconvénients.

Algidité centrale. — Dans ce qui précède nous avons considéré la calorification pathologique à un seul point de vue, nous n'avons étudié qu'un seul côté de la question, l'élévation de température au-dessus des conditions normales. Examinons maintenant ce qui se passe quand la chaleur s'abaisse au lieu de s'élever.

Il est singulier de constater que jusqu'à ces dernières années presque tous les travaux aient été dirigés dans le même sens, l'abaissement de la température étant pour ainsi dire complètement négligé. Depuis 1863 l'attention du professeur Charcot (4) a été attirée sur ce sujet et en 1869 il consacra une leçon clinique à l'*algidité centrale*. C'est ainsi que M. Charcot désigne l'abaissement persistant de la température au-dessous du chiffre normal. Depuis cette époque M. Bourneville (5) et en dernier lieu M. Radouan (6) se sont occupés de la même question.

On a constaté cet abaissement de la température dans un

(1) GLÉNARD. Du traitement de la fièvre typhoïde par les bains froids. Lyon méd., 1874, p. 142.

(2) FOLTZ. Lyon méd., janv. 1875.

(3) BOYER. Thèse de Paris, juin 1875.

(4) CHARCOT. Gaz. hebdomad., 1869.

(5) BOURNEVILLE. Etudes cliniques et thermomét. sur les maladies du système nerveux.

(6) RADOUAN. Thèse Paris. De l'algidité centrale, 1874.

grand nombre de maladies; mais insister sur ce point, nous conduirait sur le domaine de la pathologie, ce que nous devons éviter. Nous renverrons aux travaux de M. Lair, (1) *Influence du froid sur l'économie*, de M. Lortet (2) sur l'abaissement de la température centrale produit par l'ascension sur les hautes montagnes, aux recherches de Chossat (3) et de M. Parrot, (4) sur l'abaissement de la température produit par l'inanition, à celles de Brown-Sequard, (5) Frese (6) sur l'abaissement observé à la suite des hémorrhagies graves. Nous signalerons également les recherches de Bourneville, (7) Hutchinson, (8) Billroth, Lorain, Duméril et Demarquay, (9) Magnan, (10) etc. sur l'abaissement de la température consécutif à la présence dans le sang des matières toxiques.

Méthodes de mensurations. — L'application de la Thermométrie à l'étude des maladies, est de date récente, ce qui est dû surtout à l'absence d'instruments exacts. Car nous n'entendons pas évidemment parler ici du procédé le plus ancien, mais aussi le plus défectueux, qui consiste à apprécier les températures à l'aide de la main.

Sans revenir sur ce que nous avons dit plus haut (p.

(1) De l'influence du froid sur l'économie. Lair. Thèse Paris, 1855.

(2) LORTET. Bull. Acad. sciences, 1869.

(3) CHOSSAT. Recherches expérimentales sur l'inanition, in Mémoire des savants étrangers, 1844, t. VIII.

(4) PARROT. Etude sur l'encéphalopathie urémique et le tétanos des nouveau-nés, in Archiv. méd., 1872.

(5) BROWN. SEQUARD. Société de biologie, 1849.

(6) FRESE. Virchow's Archiv., t. LX, p. 404.

(7) BOURNEVILLE. Loc. cit.

(8) HUTCHINSON. The American Journal of the med. science, 1870, p. 154.

(9) Recherches expérimentales sur les modifications imprimées à la température animale par l'alcool, l'éther et le chloroforme. Paris, 1848.

(10) Etudes expérimentales et cliniques sur l'alcoolisme. Paris, 1871.

et suiv.,) nous rappellerons que dans l'immense majorité des cas, on opère au moyen des thermomètres à mercure ou à alcool (Hirtz), et de nos jours, l'usage en est tellement répandu qu'on a pu dire que le Thermomètre est indispensable au clinicien.

Le réservoir de l'instrument présente les formes les plus variables suivant l'usage auquel on le destine. Dans tous les cas, il doit être de masse assez faible pour se mettre rapidement en équilibre avec les parties environnantes, et, autant que possible, la colonne de mercure tout entière doit être entourée par la partie dont il s'agit de prendre la température. La graduation est généralement très-courte et disposée de manière à donner le dixième de degré.

Le tracé ci-contre emprunté à M. Charcot (3) repré-

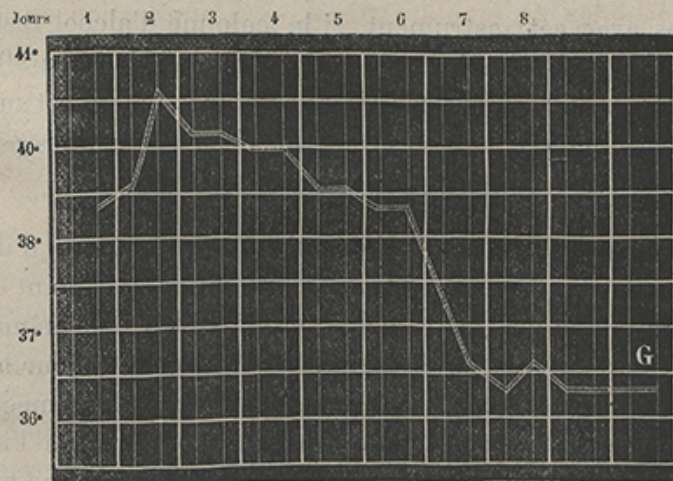


Fig. 10.

Hirtz. Dict. Jaccoud, art. Chaleur dans les maladies.
Prunier.

sente une pneumonie lobulaire chez une femme de 75 ans.

Nous n'entrerons pas dans le détail de tous les instruments proposés par les constructeurs pour les usages médicaux ; nous signalerons seulement parmi l'un des derniers l'instrument proposé par M. Seguin (1), de New-York, et qui n'est autre chose qu'un thermomètre à air. L'index est une petite colonne d'eau. Sans nous arrêter à discuter la valeur de cet instrument, nous dirons seulement que l'auteur le propose pour découvrir le siège exact d'une inflammation locale, 2 ou 3 secondes suffisant à l'index pour atteindre son fastigium.

Mentionnons également le nécromètre de M. Bouchut (2). Ce n'est autre chose qu'un thermomètre ordinaire dont la partie inférieure de la graduation est cachée jusqu'au point $+ 20^{\circ}$. En prenant la température du corps avec cet instrument, si la colonne d'alcool reste invisible, c'est que la température est inférieure à 20° , dans ce cas la mort est certaine. Cet instrument est surtout destiné à fournir des indications aux personnes peu exercées à ce genre d'observations.

Thermographie. — Nous n'avons pas besoin d'insister sur les avantages que présenteraient au point de vue clinique des instruments enregistrant eux-mêmes des températures. Malheureusement jusqu'à ce jour les appareils de ce genre sont peu nombreux et leur mécanisme est assez compliqué. Cependant, eu égard à l'intérêt de la question, nous terminons ce paragraphe par

(1) SEGUIN. Clinical Thermoscope. New-York, 1875,

(2) Gaz. hôp. p. 275, 1872.

(3) In Dictionnaire de Jaccoud, p. 773.

la description du thermographe de M. Marey et de celui de M. Dujardin.

On sait avec quel succès les méthodes d'enregistrement ont été appliquées par M. Marey aux études physiologiques. M. Marey est aussi l'auteur du premier thermographe connu.

Cet instrument, se compose d'un réservoir B, rempli d'air, qui communique par un tube très-fin avec un appareil récepteur. La pièce principale est un tube de verre de 4 mill. de diamètre intérieur et d'environ 6 cent. de long (1). Ce tube est courbé en arc de cercle et fermé à l'une de ses extrémités. Il contient une certaine quantité de mercure. Perpendiculairement au plan de cet axe de cercle, se trouve l'axe de rotation qui passe par le centre. Cet axe supporte une longue aiguille et tout cet ensemble est équilibré de façon à ce qu'il puisse prendre autour de l'axe une position quelconque. Le tout est fixé sur un support dont la base présente une masse considérable.

Le tube très-fin qui termine le réservoir B, présente à son extrémité la même courbure que le tube de verre, de sorte qu'il peut s'engager dans l'intérieur sans y toucher en aucune façon. Il s'y engage en effet par l'extrémité ouverte, traverse l'index de mercure et débouche dans la petite chambre à air. Dès lors toute dilatation de l'air contenu dans le réservoir B, poussera l'index de mercure en arrière; mais comme, par son poids, le mercure tend à occuper la partie inférieure, il s'ensuivra une rotation du tube de verre, rotation qui sera reproduite et amplifiée par la longue aiguille, et au besoin

(1) Journal d'anat. et de P. hy. de M. Robin, t. II, p. 182.

inscrite sur un cylindre enregistreur. Une soupape permet de régler l'instrument pour une température quelconque. Cet appareil présente des inconvénients signalés par M. Marey lui-même, il marque non-seulement la température mais aussi les variations de pression. L'augmentation de pression agit comme un refroidissement, la diminution comme un réchauffement. « Mais, dit M. Marey, ces influences sont très-faibles, elles sont assez lentes à se produire, on peut donc les négliger dans une expérience qui ne dure pas trop longtemps. »

Dans ces temps derniers, M. Dujardin, dans sa thèse de doctorat en médecine (1), a proposé l'emploi d'un *thermographe médical*, dont voici les principales dispositions.

Un couple thermo-électrique *fer-cuivre* ou même *fer-maillehort* (en ayant soin de se garantir des variations de température à la réunion du fil de cuivre et du maillechort) fournit les deux soudures. L'une est plongée dans un bain de mercure maintenu à température constante au moyen d'un régulateur automatique, dont le principe est semblable à celui du régulateur Bunsen.

L'autre soudure est placée dans l'aisselle du malade et fixée avec les précautions convenables.

On règle la température du mercure de manière que son écart soit faible relativement à la température à observer. L'important est l'enregistrement de la température, il se fait au moyen d'un galvanomètre, dont

(1) Thèse de la Faculté de médecine de Paris. A. Dujardin, De la thermographie médicale, 1874.

l'aiguille est disposée de manière à intercepter ou laisser passer un faisceau lumineux fourni par une lampe et qui va impressionner une bande de papier photographique, en des endroits variables avec la déviation.

Ce papier est déroulé avec une vitesse régulière et connue il y a donc enregistrements. Il suffit de fixer ensuite l'épreuve au moyen des procédés connus en photographie.

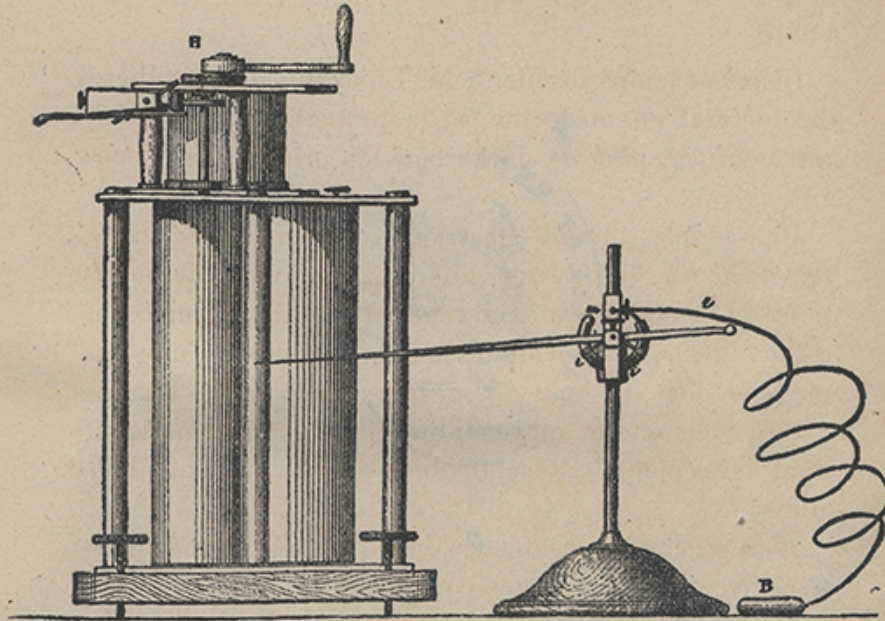


Fig. 11.

Hirtz. Dict. Jaccoud, art. Chaleur dans les maladies.