

Sur la régulation de la température chez les animaux à sang chaud;

PAR

LÉON FREDERICQ,

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE.

Mémoire couronné par la Classe des sciences de l'Académie royale de Belgique
dans sa séance du 15 décembre 1882.

(Avec figures dans le texte.)

CHAPITRE PREMIER.

INTRODUCTION.

Chez les animaux supérieurs, les éléments vivants sont soustraits à l'influence du milieu extérieur et vivent dans ce que Cl. Bernard a appelé le milieu intérieur. Un certain nombre de mécanismes nerveux automatiques ou réflexes sont chargés de maintenir constantes les conditions chimiques et physiques du milieu intérieur. Exemples : la régulation de la composition gazeuse du sang par l'activité du nœud vital; celle de la pression artérielle par le centre modérateur du cœur. Les influences nuisibles agissent comme stimulus sur les mécanismes chargés de compenser leur action. Ces appareils sont surtout développés chez les animaux supérieurs. Apparition chez les Oiseaux et les Mammifères d'une fonction de régulation de la température, maintenant leur chaleur interne à un degré élevé et constant.

Animaux à sang froid. — Faible production de chaleur, température variant avec celle du milieu extérieur. Exception pour les Insectes, où les phénomènes chimiques de calorification sont très actifs. Leur température varie cependant; ils ne peuvent conserver la chaleur qu'ils produisent, à cause de leur taille exigüe. Température de 41°, 5 observée chez le Python.

Animaux à sang chaud. — Température interne des Oiseaux : 40°-44°; des Mammifères : 38°, 5-40°. Régulation de la température incomplète chez les animaux hibernants. Température peu élevée, mais très constante chez les grands Mammifères. Constance de la température des parties profondes. Variations de celle des organes superficiels.

L'influence du froid extérieur sur le degré de chaleur interne de l'homme paraît nulle dans les limites ordinaires. L'influence du chaud (séjour dans un climat chaud, été, bains chauds, boissons chaudes) augmente légèrement la température interne. De même les mouvements musculaires, le travail de la digestion exagèrent la production de chaleur et augmentent la température interne. Variations diurnes, température élevée, à marche ascendante, le jour ; température basse, la nuit.

Les moyens de régulation sont : 1^o artificiels, intentionnels ; ou 2^o involontaires (automatiques, réflexes). La régulation inconsciente a pour base des variations dans la production et dans les pertes de chaleur.

§ I. — « Chez tous les êtres vivants, le milieu intérieur, qui est un produit de l'organisme, conserve des rapports nécessaires d'échange et d'équilibre avec le milieu cosmique extérieur, mais à mesure que l'organisme devient plus parfait, le milieu organique se spécifie et s'isole en quelque sorte de plus en plus du milieu ambiant. » (CLAUDE BERNARD) (1).

Si l'organisme entier des animaux supérieurs se trouve encore plongé dans le milieu cosmique, exposé aux vicissitudes et aux changements extérieurs, il n'en est plus de même des fibres, des cellules qui constituent la trame de ses organes. La plupart de ses éléments, vivant dans la profondeur des tissus, sont entièrement soustraits aux influences souvent délétères du dehors : ils forment un petit monde à part, qui peut ignorer complètement ce qui se passe à l'extérieur, et qui n'a de rapports immédiats qu'avec ce milieu intérieur dont parle Cl. Bernard.

Or, ce milieu intérieur, constitué en grande partie par le sang et la lymphe, présente une remarquable constance dans ses propriétés chimiques et physiques. Il existe, en effet, dans l'organisme un grand nombre de mécanismes compensateurs dont l'activité est mise en jeu, dès qu'une cause quelconque tend à altérer la composition du milieu intérieur.

Je citerai comme exemple l'appareil qui est chargé de conserver au sang sa proportion normale d'oxygène et d'anhydride carbonique et qui atteint ce but en précipitant ou en ralentissant les mouvements respiratoires du thorax.

(1) CL. BERNARD, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, p. 110, 1865.

Le mécanisme qui règle ainsi l'activité de la respiration, qui l'accommode aux besoins de l'organisme, ce mécanisme est constitué par des centres nerveux situés dans la moelle allongée et probablement aussi dans la moelle épinière (nœud vital et centres spinaux). C'est la composition chimique, le degré de vénosité du sang qui baigne le *nœud vital*, qui constitue son stimulus physiologique. Le sang est-il pauvre en oxygène, riche en anhydride carbonique, il agira directement sur les centres respiratoires pour exagérer leur activité. Les mouvements respiratoires deviennent alors plus profonds et plus rapides; cette ventilation pulmonaire plus complète a bientôt rétabli l'équilibre, comblé le déficit d'oxygène, éliminé l'excès d'anhydride carbonique.

Le sang est-il trop artérialisé, trop riche en oxygène, aussitôt le centre respiratoire, n'étant plus normalement excité, ralentit ou suspend son action. Les mouvements respiratoires s'arrêtent momentanément et bientôt la composition normale du sang se trouve rétablie.

De son côté, le rein se charge de maintenir la proportion d'eau et de sels dans de justes limites et d'éliminer du sang toutes les substances nuisibles qui pourraient s'y accumuler. D'autres organes restituent au milieu intérieur les matériaux nutritifs consommés par les tissus.

Les conditions *physiques* du milieu intérieur sont également sous la dépendance de régulateurs fonctionnant automatiquement.

Certains centres nerveux de la moelle allongée sont chargés de maintenir la pression artérielle à sa moyenne ordinaire. Celle-ci vient-elle à baisser, le centre d'arrêt des mouvements du cœur suspend ou relâche l'action modératrice qu'il exerce normalement par la voie du pneumogastrique. Aussitôt les pulsations cardiaques s'accélèrent et rétablissent la tension artérielle. Une augmentation de pression agit, au contraire, comme un stimulant local sur le centre modérateur : d'où, ralentissement des battements du cœur et chute de la pression sanguine jusqu'à son niveau primitif.

A côté de ces mécanismes nerveux à fonctionnement *automatique*, il en est d'autres où l'agent nuisible agit à la périphérie du corps et provoque la réaction protectrice par *voie réflexe*. Le grain de poussière dans l'œil appelle le flux de larmes et les mouvements des paupières qui doivent l'expulser.

L'organisme est agencé de manière que chaque influence perturbatrice provoque d'elle-même la mise en activité de l'appareil compensateur qui doit neutraliser et réparer le dommage.

A mesure que l'on s'élève dans l'échelle des êtres, ces appareils régulateurs deviennent plus nombreux, plus parfaits et plus compliqués; ils tendent à affranchir complètement l'organisme des influences nuisibles et des changements survenus dans le milieu extérieur.

C'est ainsi que nous voyons apparaître chez les Vertébrés supérieurs, Oiseaux et Mammifères, une fonction nouvelle, celle de la *calorification*, qui a pour effet de maintenir leur température à un niveau élevé et constant. Grâce à cette propriété qui les rend semblables à une étuve réglée pour une température déterminée, les animaux à sang chaud créent artificiellement autour de leurs organes un milieu intérieur de serre chaude, un été perpétuel et jouissent d'une indépendance, pour ainsi dire, sans limites, vis-à-vis des conditions thermiques du milieu extérieur.

§ II. — Chez les *animaux à sang froid*, la température des centres nerveux, des muscles, etc., variant à chaque instant avec la température de l'atmosphère ou de l'eau, le fonctionnement de ces organes se trouve entièrement sous la dépendance de la chaleur ou du froid extérieur. En hiver, ces animaux sont engourdis : ils ne possèdent toute leur vivacité que pendant la saison chaude. Au contraire, les animaux à température constante et élevée possèdent en tout temps cette vigueur, cette activité qui leur assurent la suprématie dans le *struggle for life*.

Les animaux à sang froid produisent également de la chaleur, attendu que chez tous les êtres les phénomènes de la vie sont

liés à des actes chimiques qui mettent de la chaleur en liberté. Mais chez eux, les réactions chimiques, qui sont la source de la thermogénèse, n'atteignent le plus souvent qu'un faible degré d'intensité. Aussi leur température propre varie à chaque instant avec celle du milieu ambiant et ne la dépasse ordinairement que de quelques dixièmes de degré. Leur contact produit sur nous la sensation du froid.

Les Insectes aériens font jusqu'à un certain point exception à cette règle. Les phénomènes chimiques de combustion y sont extraordinairement actifs : la respiration des Insectes est, sous ce rapport, comparable à celle des Mammifères d'après Regnault et Reiset et d'après Pott (1). Ces animaux produisent donc une grande quantité de chaleur, mais ils la perdent rapidement à cause de leur petite taille et de la grande surface de rayonnement de leur corps. Il faut les réunir en grand nombre pour se faire une juste idée de l'énorme quantité de chaleur qu'ils produisent. Plus d'une fois, on a signalé dans les ruches et les essaims d'Abeilles des températures dépassant $+ 40^{\circ}$, tandis que la température d'un de ces insectes pris isolément et exposé au rayonnement, diffère peu de celle de l'air.

Il faut citer ici également ce Python dont parle Valenciennes (2) qui se transforma plus ou moins en animal à sang chaud lors de la période d'incubation. Pendant tout le temps qu'il resta enroulé autour de ses œufs, sa température propre dépassa notablement celle de l'air : elle atteignit $+ 41^{\circ},5$ au début, puis descendit graduellement jusqu'à 28° . (Température de l'air = $+ 22^{\circ}$.)

§ III. — Chez les Oiseaux et les Mammifères, l'intensité des phénomènes chimiques qui sont la source de la chaleur animale est toujours considérable : de plus, il s'établit chez eux un équilibre remarquable entre les pertes et les recettes de chaleur,

(1) REGNAULT et REISET, *Ann. de chimie et de physique* [3], XXVI, 1849.

— POTT, *Landw. Versuchstationen*, XVIII, p. 81.

(2) VALENCIENNES, *Comptes rendus*, XIII, p. 127.

de sorte que leur température reste sensiblement constante, quelles que soient les variations du milieu extérieur.

De là vient le nom d'animaux à température constante, animaux *homéothermes* que leur a donné Bergmann (1) par opposition aux animaux à température variable, *poikilothermes*, à sang froid. On sait que la chaleur de la bouche de l'homme a été prise comme point fixe (100°) par Fahrenheit dans la construction de son thermomètre.

Gavarret (2) a publié un tableau résumant les données que nous possédons sur la chaleur d'un grand nombre d'Oiseaux et de Mammifères. La température interne des Oiseaux dépasse + 40° pour la plupart des espèces; elle atteint même + 44° pour quelques-unes. Chez les Mammifères elle est moins élevée et varie de + 33°,5 à + 40°. Les espèces de grande taille ont en général la température la plus basse, mais aussi la moins sujette aux variations. Chez l'homme, la moyenne est de 37°,2 d'après Jürgensen.

Le pouvoir régulateur de la température est plus ou moins parfait suivant les espèces. Chez les animaux hibernants, il ne s'exerce que dans certaines limites et seulement pendant la belle saison. En hiver ils se transforment en animaux *poikilothermes*: leur température propre s'abaisse et est soumise alors aux fluctuations de la température extérieure.

Avant d'aborder l'étude de la régulation de la température chez les animaux *homéothermes*, ils nous faut la définir nettement et établir dans quelles limites elle s'exerce.

Toutes les parties de l'organisme n'ont pas le même degré de température. Les recettes et les dépenses de chaleur sont en effet très inégales dans les différents tissus de notre corps. Les réactions chimiques qui sont la base de la thermogénèse s'accomplissent principalement dans les muscles, les glandes et les centres nerveux. Ces organes, vrais foyers de chaleur, sont en

(1) BERGMANN, *Göttinger Studien*. Abth. I, p. 595.

(2) GAVARRET, *De la chaleur produite par les êtres vivants*, Paris, 855.

même temps par leur situation profonde, assez peu exposés aux causes de refroidissement. Les os, les cartilages, les ligaments, la peau, etc., produisent, au contraire, fort peu de chaleur et se réchauffent surtout au contact du sang.

L'appareil vasculaire représente un système de canaux dans lesquels circule un liquide chauffé, le sang, qui tend à répartir également la chaleur produite et à uniformiser la température des organes internes : celle-ci varie peu d'un organe à l'autre. Je me borne à citer comme exemple les chiffres suivants :

Chez l'homme	}	bouche	37.19	
		rectum	38.01	
		vagin	38.30	
		urine	37.05	
Chez le Chien	}	sang du cœur droit	38.8	} Cl. Bernard.
		— gauche	38.6	
		sang de l'aorte	38.7	
		sang des veines hépathiques.	39.7	

Les organes internes produisent constamment de la chaleur, et cependant leur température n'augmente pas. C'est qu'il se fait à la surface du corps, par rayonnement et par contact une déperdition considérable de calorique. Le milieu extérieur présente en effet une température qui d'ordinaire est notablement plus basse que celle de notre corps. Les parties superficielles doivent donc se refroidir, et se refroidir d'autant plus que la température extérieure est plus basse. Aussi la température de la peau est peu élevée et des plus variables. Quand on parle de régulation et de constance de la température, c'est toujours celle de l'intérieur du corps que l'on a en vue. On trouve dans les traités de physiologie, des tableaux indiquant la température de différentes parties superficielles du corps. Nous n'avons pas à nous en occuper ici, le présent travail est uniquement consacré à l'étude de la régulation de la température interne (température rectale, par exemple).

§ IV. — Les causes extérieures ont peu d'influence sur cette température. L'action du froid paraît nulle si on la considère dans les limites naturelles ordinaires. Les individus vigoureux, convenablement nourris et habillés, supportent parfaitement les rigueurs de l'hiver ou d'un climat glacé. Je ne crois pas que l'on ait, dans ces conditions, constaté avec certitude la moindre diminution de la température interne, comparée à ce qu'elle est dans une saison moyenne et un climat tempéré, quoique la plupart des traités de physiologie affirment le contraire (1). Les observations thermométriques de John Davy (2) sur lesquelles on se base ont été prises après une longue immobilité dans une église non chauffée où leur auteur souffrait vivement du froid.

Si l'on a recours à une action exagérée du froid, si l'on plonge, par exemple, le corps tout entier dans de l'eau glacée, l'organisme ne pourra plus compenser de telles pertes de chaleur. La température interne baissera et la vie ne tardera pas à être compromise. On a pu encore rappeler à la vie, en réchauffant rapidement le corps, des Mammifères dont la température interne avait été abaissée artificiellement jusque près de $+ 20^{\circ}$. Au delà, la mort paraît certaine, à moins que l'on ne combine la respiration artificielle avec l'action du réchauffement.

L'organisme lutte moins bien contre les causes d'échauffement, ce qui se comprend facilement puisqu'il porte en lui-même un foyer de chaleur toujours en activité. Pendant les journées chaudes de l'été, la température interne dépasse d'un ou plusieurs dixièmes de degré la moyenne prise au printemps. Davy, Eydoux et Souleyet (3), Brown-Sequard, Rattray, Crombie, O. Löw

(1) D'après Thomson, la température moyenne des Islandais serait, au contraire, plus élevée que chez les habitants des climats tempérés. (Cité par Wunderlich.)

(2) JOHN DAVY, *Philosophical transactions*, 1850.

(3) SOULEYET ET EYDOUX, *Comptes rendus*, VI, p. 436.

BROWN SEQUARD, *Journal de physiologie*, II, p. 551.

A. RATTRAY, *On some of the more important physiological changes induced in the human economy by change of climate.* (Proceedings of the royal Society.) London, XVIII, p. 513; XIX, p. 295, 1871.

et d'autres encore, ont établi par de nombreuses mensurations thermométriques, que la température interne augmente légèrement (quelques dixièmes de degré) lorsqu'on se transporte d'un climat tempéré dans un climat très chaud. Les jours de forte chaleur, l'augmentation atteint facilement 0.5° chez l'individu au repos et 1° s'il travaille.

L'ingestion de boissons chaudes, les bains chauds produisent des effets analogues. On a signalé des températures dépassant + 40° et même + 41° après un bain de vapeur. (Jürgensen et Bartels.)

Les causes d'échauffement, précédemment citées, agissent surtout en réduisant les pertes normales de chaleur. Le calorique produit dans le corps s'y accumule et provoque l'augmentation de la température interne parce qu'il ne peut s'échapper au dehors en quantité suffisante.

D'autres causes d'échauffement agissent uniquement sur la production de chaleur qu'elles augmentent. Il faut citer surtout le travail musculaire et la digestion. Dans ces deux cas, l'élévation de la température interne est également de règle.

Les muscles, même quand ils sont au repos, produisent des quantités notables de chaleur. Les combustions interstitielles y sont fort actives. Il y a, sous ce rapport, une grande différence entre un muscle au repos et un muscle paralysé, dont on a coupé le nerf (Cl. Bernard). Mais c'est surtout pendant la contraction que les muscles produisent des quantités considérables de chaleur. Les recherches de Davy, Speck, Obernier, Jürgensen, v. Bärens-

CROMBIE, *On the daily range of normal temperature in India* (Indian annals of medical science), n° 52, 1874. (London medical record, II, 743.)

O. Löw, *Ueber das Verhalten des Körpers in einem sehr heissen Klima.* (Acztl. Intelligenzblatt.) 25, p. 296, 1878.

BOILEAU, *The temperature of the human body* (Lancet, 1878, I, n° 42), a cependant nié l'élévation de température admise par tous les auteurs précédents.

prung, Kernig, Villari, Bonnal (1), etc., ont montré que tout travail musculaire énergique, même de courte durée, augmentait la température interne. L'augmentation peut dépasser 1°, parfois 2°.

L'augmentation considérable de la température interne dans le tétanos (atteignant 44°,75 d'après Wunderlich et d'autres) doit probablement être rapportée aux contractions musculaires qui caractérisent cet état morbide. Leyden et Charles Richet (2) ont réussi à réaliser chez le Chien des augmentations analogues de la température interne en provoquant des contractions musculaires généralisées, au moyen d'excitations électriques.

Pendant la digestion, le foie et les autres glandes digestives sont le siège d'une calorification énergique. Cl. Bernard a mesuré la température du sang de la veine porte et des veines sushépatiques chez le Chien, à jeun et pendant le travail de la digestion. Il trouva les chiffres suivants :

	SANG de la veine porte.	VEINES hépatiques.	SANG du cœur droit.
Chien à jeun depuis quatre jours	37,8°	38,4°	38,8°
Commencement de la digestion	39,9	39,5	.
En pleine digestion	39,7	41,3	39,2

(1) J. DAVY, *loc. cit.*

SPECK, *Arch. d. Ver. f. Wiss. Heilkunde*, 1865.

OBERNIER, *Der Hitzschlag*.

VON BÄRENSPRUNG, *Arch. f. Anat. u. Physiol.*, 1851, p. 142.

KERNIG, *Experimentelle Beiträge zur Kenntniss der Wärmeregulirung*, 1864.

VILLARI, *Osservazioni sulla variazione de temperatura del corpo umano prodotta dal movimento*. (Nuovo Cimento, [5] VIII, pp. 155-167.)

BONNAL, *Recherches expérimentales sur la chaleur de l'homme pendant le mouvement*. (Comptes rendus, XCI, p. 798.)

(2) LEYDEN, *Arch. f. pathol. Anat.*, XXVI, p. 538, 1865.

CH. RICHTET, *Les nerfs et les muscles*.

L'étude des phénomènes chimiques de la respiration nous apprend également que les combustions interstitielles sont notablement plus intenses pendant le travail de la digestion. Cette production exagérée de chaleur exerce son influence sur la température interne qui augmente de quelques dixièmes de degré.

Il nous reste à parler des *variations diurnes* de la température interne de l'homme. Les périodes d'activité, de travail musculaire qui sont, avec les repas, les deux principales causes d'élévation de la température interne du corps, correspondent aux heures du jour et alternent avec la phase nocturne de repos, de sommeil et de diète. Il n'est donc pas étonnant de voir la température interne du corps présenter des variations à période diurne, en rapport avec ces deux causes d'échauffement. D'après Davy (1), Bärensprung, Hallmann, Gierse, Jürgensen, Lichtenfels, Frölich, Wunderlich, Casey, Bonnal, Ringer et Stuart, etc., la température interne de l'homme présente une périodicité diurne des plus caractéristiques. Pendant toute la matinée, la température s'élève rapidement jusqu'à dix et demie à une heure, puis elle reste quelque temps stationnaire, monte ou descend légèrement. Elle continue ensuite à monter lentement jusque vers quatre à six

(1) J. DAVY, *loc. cit.*

HALLMANN, *Ueber eine zweckmässige Behandlung des Typhus*, Berlin, 1844.

GIERSE, *Diss.*, Berlin, 1842.

BÄRENSPRUNG, *Arch. f. Anat. u. Physiologie*, 1851, p. 138.

LICHTENFELS et FRÖBLICH, *Wiener Acad. Denkschrift*, III.

DAMROSCH, *Deutsche Klinik*, 1855, p. 517.

OGLE, *St-George's hospital reports*, I, p. 221, 1866.

HOOPER, *Medical Times*, 1866, 5 nov.

LIEBERMEISTER, *Handbuch der Pathologie und Therapie des Fiebers*, p. 77.

JÜRGENSEN, *Die Körperwärme des gesunden Menschen*, Leipzig, 1875.

CASEY, *Lancet*, 1875, p. 200, *On the diurnal variation of the temperature of the body.*

RINGER et STUART, *On the temperature of the human body in health.* (Proceedings of the royal Society, XXVI, p. 186-210.)

heures du soir; elle atteint alors son maximum, auquel elle se maintient pendant deux à trois heures. Le soir, la température commence à descendre et cette chute de température se continue jusqu'au matin. La différence entre le minimum de la nuit $36^{\circ}.6$ et le maximum du soir $+ 37^{\circ}.5$ atteint près d'un degré.

Les causes énumérées précédemment ne paraissent pas seules capables d'expliquer entièrement cette périodicité si caractéristique; en effet, la diète et le repos au lit diminuent les écarts de la courbe diurne normale de la température, mais ne la suppriment pas complètement. Peut-être l'organisme conserve-t-il alors ce rythme par un effet de l'habitude. Chez les ouvriers qui travaillent d'ordinaire la nuit, la courbe diurne de la température interne serait toute différente d'après Krieger.

Quoi qu'il en soit, le fait capital qui se dégage de tout ce qui précède, c'est que chez l'homme et les autres animaux à sang chaud, la température des organes internes se maintient à un niveau remarquablement élevé, et reste sensiblement constante malgré les variations souvent fort étendues de la température extérieure. Les pertes et les recettes de chaleur se trouvent exactement réglées par des mécanismes dont nous allons chercher à pénétrer le jeu.

§ V. — Je laisserai complètement de côté, dans l'étude qui va suivre, les moyens de régulation que j'appellerai artificiels, ceux où l'intelligence de l'individu intervient pour lutter contre le froid d'une façon consciente et intentionnelle. En hiver, nous nous livrons volontiers aux exercices du corps, nous mangeons davantage, nous recourons aux boissons à température élevée, aux vêtements épais, aux appartements chauffés, pour nous

(1) D'après Jürgensen, la moyenne de la température du corps pour une période de vingt-quatre heures est chez l'homme adulte une quantité constante et typique ($37^{\circ}.2$). Il en résulte que cette constance de la moyenne diurne ne peut être atteinte que parce que chaque élévation accidentelle de la température est suivie spontanément d'une chute compensatrice. De même chaque abaissement artificiel entraînerait un échauffement consécutif.

protéger contre l'action envahissante du froid. En été, nous évitons, au contraire, les efforts musculaires, nous recherchons l'ombre, les endroits aérés, les bains froids, les boissons glacées, les vêtements légers. Ce sont là des vérités banales qui sortent du cadre de ces recherches. Je me suis occupé exclusivement de la lutte inconsciente de l'organisme contre le froid et le chaud. La volonté n'intervient plus alors et la régulation de la température est confiée à des mécanismes fonctionnant soit automatiquement, soit par action réflexe.

J'étudierai d'abord les moyens employés par l'organisme pour combattre l'action du froid extérieur, et qui consistent à la fois à augmenter la production de la chaleur animale et à diminuer les pertes par rayonnement et par contact. Ensuite je passerai en revue les causes d'échauffement qui empêchent la chaleur produite dans le corps de s'échapper au dehors et les procédés mis en jeu pour refroidir l'organisme, quand la constance de sa température est ainsi menacée.

Je m'attacherai surtout à déterminer la voie par laquelle le froid et le chaud provoquent l'activité de ces mécanismes compensateurs. C'est un sujet que les physiologistes ont à peine ébauché. (Voir : Rosenthal, *Thierische Wärme* 1882 dans le grand HANDBUCH DER PHYSIOLOGIE publié sous la direction de Hermann.)

CHAPITRE II.

LUTTE CONTRE LE FROID PAR AUGMENTATION DANS LA PRODUCTION DE CHALEUR.

La chaleur produite dans le corps est la conséquence de phénomènes chimiques d'oxydation. En hiver nous introduisons plus d'aliments combustibles dans le corps, et nous nous livrons à des exercices musculaires plus actifs, d'où augmentation dans la production de chaleur. Difficultés de la méthode calorimétrique dans l'étude de l'influence directe du froid sur la thermogenèse. Méthode indirecte consistant à mesurer non la quantité de chaleur produite, mais la quantité de combustible brûlé, c'est-à-dire l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration.

Historique des recherches faites depuis Crawford et Lavoisier. — Travaux de Vierordt, de Ludwig et de ses élèves, de Pflüger et de ses élèves, de Voit démontrant l'action exci-

tante du froid sur les phénomènes chimiques de la respiration. Résultats opposés fournis par les recherches de Senator, Sanson, etc.

Expériences nouvelles de l'auteur. — Insuffisance des méthodes de Pettenkofer et Voit et de celle d'Andral et Gavarret. Choix de la méthode de Regnault et Reiset. Appareil respiratoire applicable à l'homme. Le sujet respire au moyen d'une embouchure dans une atmosphère confinée, riche en oxygène, dont on enlève l'anhydride carbonique à mesure qu'il est produit. Réservoir d'oxygène équilibré automatiquement par un contre-poids à siphon. Caisses d'absorption de CO_2 . Jaugeage du réservoir d'oxygène. Marche de l'expérience. Aspirateur destiné à absorber les dernières traces de CO_2 avant le mesurage du gaz restant. La diminution de volume constatée à la fin d'une expérience (de 45 minutes) représente le volume de l'oxygène consommé. Le procédé consistant à analyser le gaz restant dans l'appareil est fautif.

Résultats obtenus. — Courbe diurne de la quantité d'oxygène consommée par l'homme. Influence considérable des repas. Après le déjeuner, augmentation de 33 %; après le dîner, augmentation de plus de 45 %. Chez l'individu qui reste à jeun l'intensité de la consommation de l'oxygène va en diminuant.

Action du froid. — Mêmes expériences répétées sur l'homme complètement nu. L'influence excitante du froid sur la consommation de l'oxygène est en rapport avec l'intensité de la sensation subjective de froid. Pendant le travail de la digestion le froid augmente à peine la quantité d'oxygène consommée. A jeun l'influence du froid est très marquée.

Expérience sur le Lapin. — Appareil respiratoire analogue à celui employé pour les expériences sur l'homme. Absorption de CO_2 par des flacons laveurs faisant office de soupape. Enregistrement continu de la consommation d'oxygène. La plume qui inscrit les mouvements de la cloche à oxygène sert en même temps de signal chronographique. Elle appartient à un électro-aimant en relation avec une pile électrique et une horloge. L'immersion dans un bain froid, l'aspersion d'eau froide augmentent notablement la consommation de l'oxygène.

Un abaissement de la température extérieure augmente donc l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration chez les animaux à sang chaud, les diminue au contraire chez les animaux à sang froid. Cette action différente du froid sur ces deux groupes d'animaux ne provient pas d'une différence de propriétés des tissus dans lesquels se produit la chaleur. Les organes des animaux à sang chaud, isolés ou soustraits à l'influence du système nerveux central, se comportent comme ceux des animaux à sang chaud : leur respiration augmente et diminue d'intensité à mesure que la température extérieure monte ou baisse. Le mécanisme qui contre-balance chez les animaux homéothermes cette activité propre des tissus réside dans le système nerveux central.

Expériences de Pflüger montrant que les principaux centres nerveux qui président aux combustions respiratoires, sont situés plus haut que la moelle épinière et plus bas que les hémisphères cérébraux. Diminution de ces combustions dans l'empoisonnement par le curare et après la section de la moelle. Expériences prouvant que chez les Pigeons, la régulation de la température est indépendante des hémisphères cérébraux. Expériences de Tscheschischin sur l'augmentation de la température qui survient à la suite d'une lésion de la partie supérieure de la moelle allongée. Débat entre Naunyn et Quincke, Bruck et Günther, etc., sur la cause de cette augmentation de la température. Expériences avec l'appareil respiratoire précédemment décrit montrant que la moelle allongée contient un centre dont l'excitation (par piqure, par l'électricité) augmente les phénomènes chimiques de la thermogenèse. Action excitante de CO_2 sur ce centre. Augmentation de la consommation de l'oxygène dans le cas de dyspnée légère par excès de CO_2 dans l'air inspiré. Diminution de l'oxygène consommé dans le cas de dyspnée par défaut d'oxygène.

Mode d'action du froid sur la thermogenèse. — Le refroidissement de l'intérieur du corps (ingestion de glace, respiration d'un air très froid) n'a pas l'action stimulante que nous avons reconnue au froid lorsqu'il agit sur les nerfs sensibles de la peau. Le refroidissement local des centres nerveux diminue également chez le Lapin l'intensité des combustions interstitielles. L'action excitante du froid s'exerce par l'intermédiaire des nerfs sensibles de la peau sur des centres nerveux situés vraisemblablement dans la partie supérieure de la moelle allongée. Ces centres réagissent en provoquant par les nerfs centrifuges une exagération des phénomènes de combustion interstitielle, surtout dans les muscles.

§. VI. — Les immortels travaux de Lavoisier ont prouvé que la chaleur animale a pour base un phénomène chimique, qu'elle a la même origine que celle d'un foyer ordinaire. « *La respiration n'est qu'une combustion lente de carbone et d'oxygène. Les animaux qui respirent sont de véritables corps combustibles qui brûlent et se consomment (1).* »

Les matières riches en carbone et en hydrogène, introduites dans notre corps par l'alimentation et plus ou moins assimilées à notre propre substance, subissent une série de transformations et d'oxydations aboutissant finalement à la formation d'eau et d'anhydride carbonique. L'énergie devenue libre par cette combustion apparaît en grande partie sous forme de chaleur. La chaleur animale n'est qu'un des modes de transformation du mouvement contenu dans les rayons du soleil. En effet, c'est l'énergie des rayons solaires, qui dans les parties vertes des végétaux, décompose l'acide carbonique et met l'oxygène en liberté, tandis que le carbone sert à édifier les tissus de la plante. Or nos aliments sont empruntés au règne végétal, soit directement, soit indirectement. Le bœuf que nous mangeons s'est lui-même nourri d'herbe.

La quantité de chaleur produite dans notre corps est donc la conséquence d'un phénomène chimique : elle dépend de la quantité et de la qualité des substances brûlées pour les besoins du chauffage de l'organisme. En réalité, il ne s'agit pas d'une

(1) LAVOISIER, *Expériences sur la respiration des animaux et sur les changements qui arrivent à l'air en passant par leurs poumons.* (Mém. Acad. des sciences, 1777.)

combustion directe, mais de métamorphoses chimiques nombreuses qui se succèdent dans les tissus vivants. Mais le détail de ces réactions importe peu ici. Au point de vue de la chaleur produite, il suffit de connaître les deux termes extrêmes de ces métamorphoses, d'une part l'oxygène et les aliments, de l'autre, l'anhydride carbonique, l'eau, l'urée, etc. (1), en admettant, bien entendu, que l'état final du système soit identique avec son état initial, ce qui n'est exact qu'approximativement.

La première question que nous nous posons dans l'étude de la chaleur animale, est celle-ci : L'organisme de l'animal à sang chaud est-il capable de varier la production de chaleur pour la mettre en harmonie avec les besoins du maintien de sa température? Peut-il augmenter ou diminuer l'énergie des phénomènes chimiques suivant que la température extérieure descend ou remonte, comme nous réglons l'activité de la combustion d'un calorifère pour le chauffage d'une maison d'après le degré de froid qu'il fait à l'extérieur?

Un grand nombre de faits empruntés à l'observation la plus vulgaire nous permettent de répondre affirmativement à cette question prise dans un sens tout à fait général. En hiver, surtout pendant les grands froids, nous introduisons une plus grande quantité de charbon dans les foyers de nos appartements, nous augmentons ainsi leur action réchauffante. Nous agissons exactement de même vis-à-vis du foyer de chaleur que chacun de nous porte en lui-même. En hiver, nous mangeons davantage, nous introduisons dans notre corps pour les besoins du chauffage de l'organisme un surcroît d'aliments combustibles et nous choisissons spécialement ceux dont la transformation en anhydride carbonique et eau dégage le plus de chaleur, les graisses.

Or, nous savons par les recherches de Vierordt (2), Berg, Bid-

(1) BERTHELOT, *Sur la chaleur animale*. (Journal de l'Anatomie et de la Physiologie de Robin, II, p. 652, 1865 et Ann. de chimie et de physique, 3^e série, t. VII, p. 442.)

(2) K. VIERORDT, *Physiologie des Athmens mit bes. Rücksicht auf die Ausscheidung der Kohlensäure*, Karlsruhe, 1845.

der et Schmidt, Pettenkofer et Voit, Senator, Leyden et Frankel, etc., que les phénomènes chimiques de la respiration s'accroissent notablement pendant la digestion. Plus un repas est copieux et plus est énergique son action excitante sur la production de chaleur animale. On trouvera plus loin la relation d'un grand nombre d'analyses qui permettent de se rendre compte de l'importance de l'alimentation sur la thermogénèse. Je me borne à citer quelques chiffres pour le moment.

Étudiant sur moi-même la consommation de l'oxygène aux différentes heures de la journée, au printemps et par une température voisine de 15°, j'ai trouvé qu'en opérant à jeun, avant le déjeuner du matin, j'absorbais en moyenne par le fait de la respiration 4 1/2 litres d'oxygène en quinze minutes (4 litres 571 c. c., moyenne de cinq analyses, dont le chiffre le plus élevé était 4 l. 700 c. c., le plus bas 4 l. 422 c. c.). La digestion du déjeuner du matin, composé de café au lait et de pain beurré, faisait rapidement monter ce chiffre à près de 6 litres d'oxygène (5,990 c.e. en quinze minutes, moyenne de cinq analyses, dont les chiffres étaient compris entre 5,928 c. c. et 6,120 c. c.). La consommation d'oxygène qui était redescendue au-dessous de 5 litres avant le dîner, dépassait 6 1/2 litres, environ une heure et demie après le repas principal du milieu du jour.

Un repas léger, tel que le premier déjeuner du matin, suffit donc pour élever de 33 % l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration (de 4 1/2 à 6 litres en quinze minutes). Après le dîner l'augmentation dépasse 45 % (de 4 1/2 litres à plus de 6 1/2 litres).

BERG, *Deutsches Archiv f. Klin. Medicin*, VI, p. 291.

BIDDER et SCHMIDT, *Die Verdauungssäfte und der Stoffwechsel*, p. 521-502.

PETTENKOFER et VOIT, *Annalen der Chemie und Pharmacie*, Leipzig, 1852, 1862, 2 suppl. Bd. p. 52.

SENATOR, *Arch. f. Anatomie und Physiologie*, 1872, p. 1.

LEYDEN et FRANKEL, *Arch. f. Patholog. Anatomie*, LXXVI, p. 156, 1879.

Il est donc certain que le surcroît d'aliments que nous consommons pendant la saison froide contribue à exagérer les phénomènes chimiques de la respiration et de la combustion organiques, sources de la chaleur animale.

Si nous comparons le régime alimentaire de l'homme vivant sous différentes latitudes, nous constatons les mêmes changements que nous observions chez nous, aux différentes saisons d'un climat tempéré. Les habitants des régions polaires du globe consomment des quantités colossales de substances alimentaires, surtout de graisses. Tout le monde sait que les Esquimaux se délectent en buvant de l'huile de poisson et que le beurre fondu constitue une des boissons favorites des habitants de la Sibérie orientale.

Les peuples du Midi sont au contraire cités pour leur sobriété proverbiale en fait d'aliments aussi bien que de boissons. Sans sortir de l'Europe, il suffit de comparer le régime alimentaire de l'Anglais et du Napolitain pour être frappé de l'influence de la température.

L'alimentation constitue donc un moyen indirect de varier la production de chaleur d'après la température extérieure, et il n'est pas douteux que l'augmentation des phénomènes chimiques de combustion qui en résulte ne soit pour l'organisme une ressource puissante qui lui permet de lutter victorieusement contre le froid.

Mais on peut donner à la question posée précédemment un sens un peu différent et se demander si chez l'individu à jeun ou soumis à un régime alimentaire uniforme, le froid ou le chaud extérieur agissent pour exciter ou modérer les phénomènes chimiques de la thermogénèse. Les combustions respiratoires subissent-elles des variations compensatrices, quand on a fait brusquement passer un homme ou un animal, d'un milieu chaud dans un milieu froid ou réciproquement? Existe-t-il dans ces conditions une régulation de la température par variation de la production de chaleur?

Il est bien entendu qu'il faut exclure toute influence venant masquer celle que le froid peut exercer par lui-même sur la

thermogenèse. La principale cause d'erreur résulte ici des mouvements plus ou moins volontaires exécutés par l'homme ou l'animal, mouvements accompagnés, comme on sait, d'une production de chaleur considérable. Nous reviendrons plus loin en détail sur ce fait : nous nous bornons pour le moment à signaler son importance au point de vue de la lutte que l'organisme a à soutenir contre le froid.

Tout le monde sait qu'une température extérieure élevée prédispose à l'indolence : l'homme évite tout mouvement sous le ciel brûlant des tropiques ou chez nous, au plus fort des chaleurs de l'été. En hiver, au contraire, il s'adonne avec délices aux exercices violents : chaque effort musculaire active en effet la circulation, développe de la chaleur et produit une sensation de bien-être et de force. Les hommes condamnés à une immobilité relative par une basse température, les portefaix qui attendent la besogne en plein air, se réchauffent en se frappant le tronc à tour de bras. Enfin il n'est pas jusqu'au tremblement produit par la sensation de froid qui ne contribue en tant que contraction musculaire à réchauffer l'organisme.

Nous formulerons donc ainsi notre question : L'homme ou l'animal à sang chaud que l'on transporte brusquement dans un milieu froid, est-il le siège d'une production de chaleur plus abondante, du moment où l'on supprime l'intervention des mouvements plus ou moins volontaires ?

Cette question a depuis Crawford et Lavoisier occupé un grand nombre d'expérimentateurs : quoique la plupart l'aient résolue affirmativement, elle soulève encore aujourd'hui de vives controverses et ne peut être considérée comme entièrement résolue. C'est ce qui m'a engagé à la soumettre également à un examen approfondi.

La méthode directe consistant à mesurer à l'aide du calorimètre les quantités de chaleur perdues par l'animal paraît difficilement applicable à l'étude du problème qui nous occupe. En effet, en dehors des erreurs inhérentes à la méthode calorimétrique elle-même, on est exposé à en commettre dépendant du sujet en expérience.

S'agit-il d'étudier l'action du froid sur l'homme ou l'animal immobile, on constatera à la fin de l'expérience que la température propre du sujet a baissé. Il cédera donc au calorimètre une quantité de chaleur supérieure à celle produite réellement pendant le temps de l'expérience. L'erreur sera plus ou moins grande et dans tous les cas fort difficile à évaluer. D'ailleurs les calorimètres de Lavoisier (1), de Dulong, de Despretz, de Senator, d'Arsonval, etc., sont des appareils fort compliqués en raison des nécessités de la respiration. Ils ne conviennent que pour des expériences sur des animaux de petite taille. On a jusqu'ici reculé devant les difficultés de la construction d'un appareil de ce genre pouvant s'appliquer à l'homme. Les mesures calorimétriques de Leyden, de Winternitz (2) ne portaient que sur la chaleur dégagée pendant un temps donné par une partie du corps, la jambe, par exemple, ou même par une surface beaucoup plus petite. Les recherches de Scharling, de Vogel, de Hirn (3) ont été faites avec un appareil qui mérite à peine le nom de calorimètre. D'Arsonval (4) a récemment poussé la méthode calorimétrique à un haut degré de perfectionnement, mais son appareil serait difficilement applicable à des animaux de grande taille. S'agit-il d'étudier au moyen du calorimètre, l'action de températures relativement élevées, approchant de celle du corps humain, à côté de ces mêmes difficultés, on en voit surgir d'autres bien plus graves.

-
- (1) LAVOISIER, *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1780, p. 555.
 DESPRETZ, *Annales de chimie et de physique* (2), XXVI, p. 557, 1824.
 DULONG, *Ibid.*, I, p. 440, 1845. (Comptes rendus, XVIII, p. 527.)
 SENATOR, *Centralblatt f. d. med. Wissenschafte*, 1871, nos 47 et 48. —
Archiv f. Anatomie und Physiologie, 1872, p. 1; 1874, p. 18.
- (2) WINTERNITZ, *Der Einfluss von Wärmeentziehungen auf die Wärmeproduction. Medic. Jahrb. d. Gesellschaft der Aezte, Wien*, 1871, p. 180, et *Virchow's Archiv.*, LVI, pp. 181-197.
- (3) HIRN, *Recherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur*, Colmar, 1858. *Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur*, I, p. 27. Paris, 1875.
- (4) D'ARSONVAL, *Travail du laboratoire de Marey*, p. 587, 1878-79. *Rech. sur la chaleur animale et Comptes rendus.*

Comment chauffer l'appareil et mesurer en même temps la part de chaleur qui revient au sujet en expérience ?

On a donc renoncé presque complètement à étudier la question de la thermogenèse par les méthodes calorimétriques directes. Au lieu de chercher à mesurer la chaleur produite, on s'est attaché à mesurer l'intensité des phénomènes chimiques qui engendrent cette chaleur, se basant sur ce fait qu'aux variations dans la production du calorique doivent correspondre des variations dans la quantité des matériaux brûlés et dans la quantité des produits de la combustion. Mesurer la quantité d'oxygène consommé par un animal soumis à l'action du froid ou du chaud, celle de l'anhydride carbonique produit, est infiniment plus simple et plus facile, grâce à la rigueur des méthodes gazométriques, que de mesurer même approximativement les quantités de chaleur produites dans les mêmes conditions. Les gaz, une fois introduits dans la cloche graduée qui sert à l'analyse, ne s'en échappent plus et peuvent être mesurés avec un grand degré de précision. Toute la surface du calorimètre représente au contraire une immense fuite par laquelle s'échappe incessamment une partie de la chaleur qu'il s'agit de mesurer. Sauf un petit nombre d'exceptions, tous les expérimentateurs ont eu recours aux méthodes indirectes gazométriques.

§ VII. — Je ferai rapidement l'historique de la question, avant d'exposer les résultats qui me sont personnels. Les premières recherches sur le sujet qui nous occupe sont celles de Crawford (1) (1789). Dans trois expériences sur le Cochon d'Inde, il trouva la consommation de l'oxygène plus active à $+ 8^{\circ}$ qu'à $+ 40^{\circ}$. Lavoisier et Seguin étudièrent, fort peu de temps après, l'influence que la température extérieure exerce sur la respiration de l'homme. Le sujet en expérience absorba par heure 34.49

(1) CRAWFORD, *Versuche und Beobachtungen über die Wärme der Thiere.* Leipzig, 1789, p. 242. (Trad. Crell.)

LAVOISIER, *OEuvres*, t. II, p. 688.

grammes d'oxygène à 32°,5, et 38.31 grammes à 15°. Delaroché (1), en 1813, puis Vierordt et Letellier, en 1845, arrivèrent au même résultat, en ce qui concerne l'anhydride carbonique.

Les recherches plus récentes de C. Ludwig et Sanders-Ezn (2), de Liebermeister, Kernig, Gildemeister, L. Lehman, Speck, conduisirent également à cette conclusion, que chez l'homme et les Mammifères, les phénomènes chimiques de la respiration augmentent d'intensité quand la température extérieure s'abaisse. L'élévation de la température interne observée par Hoppe et par d'autres, immédiatement après l'immersion dans un bain froid, a été citée également comme argument, en faveur d'une augmentation dans la production de chaleur, sous l'influence du refroidissement extérieur.

Cependant, le fait de la régulation de la température par variation dans la production de chaleur, est loin d'être adopté par tous les physiologistes. Un certain nombre d'entre eux ont vivement combattu cette doctrine; ils ont cherché à démontrer que les variations dans les pertes de chaleur subies par la peau offrent une importance beaucoup plus grande, et suffisent à expliquer le maintien de la constance de la température.

De nouvelles expériences ont été faites dans ces dernières années. Parmi celles qui confirmèrent les vues émises par Crawford et Lavoisier, je citerai les travaux de Röhrig et Zuntz (3),

(1) DELAROCHE, *Journal de physique*, t. LXXVII, p. 5, 1813.

VIERORDT, *Physiologie des Athmens*, Karlsruhe, 1845.

LETELLIER, *Ann. de chimie et de physique*, Sér. 3, t. XIII, p. 478, 1845.

(2) SANDERS-EZN, *Ber. der Sächs. Ges. der Wissens.*, 1867, p. 58. *Math. Phys. Classe.*

KERNIG, *Exp. Beiträge zur Kenntniss der Wärmeregulirung. Diss.*, Dorpat, 1864.

J. GILDEMEISTER, *Ueber die Kohlensäureproduction bei Anwendung von kalten Bädern. Diss.*, Bâle, 1870.

L. LEHMANN, 40 *Badetage. Virchow's Archiv*, vol. LVIII, p. 94-120.

(3) RÖHRIG ET ZUNTZ, *Archiv. f. d. ges. Physiologie*, IV, p. 57, 1871. *Zur Theorie der Wärmeregulation und der Balneotherapie.*

Colasanti (1), Dittmar Finkler, entrepris au laboratoire de Bonn, sous la direction de Pflüger, d'après des procédés expérimentaux analogues à ceux de Regnault et Reiset, et les recherches exécutées presque en même temps à Munich par le duc Charles Théodore de Bavière et par Voit, à l'aide de l'appareil respiratoire de Voit et Pettenkofer. Les tableaux suivants reproduisent les principaux chiffres de ces expériences :

Expérience de Colasanti faite en été sur un Cochon d'Inde à l'aide d'un appareil de Regnault et Reiset.

Expériences 1-10 (moyennes).			
TEMPÉRATURE extérieure.	OXYGÈNE CONSOMMÉ par heure et kilogramme d'animal.	CO ₂ par heure et kilogramme d'animal.	QUOTIENT respiratoire.
16.9°	4086.8 c. c.	937.04 c. c.	0.86
7.3	4496.66	1203.44	0.80
Expériences 10-20 (moyennes).			
21.3°	4434.3°	992.8°	0.88
7.8	4634.4	4457.4	0.88

(1) COLASANTI, *Arch. f. d. ges. Physiologie*, XIV, p. 92.

PFLÜGER, *Arch. f. d. ges. Physiologie*, XIV, p. 471. — *Arch. f. d. ges. Physiologie*, X, p. 251. *Ueber die physiologische Verbrennung in den lebendigen Organismen.*

DITTMAR FINKLER, *Arch. f. d. ges. Physiologie*, XV. *Beiträge zur Lehre von der Anpassung des Wärmeproduction an den Wärmeverlust bei Warmblütern.*

HERZOG CARL THEODOR IN BAIERN, *Zeitschrift f. Biologie*, XIV, p. 54.

Expériences de Dittmar Finkler faites dans les mêmes conditions, mais en hiver (moyennes de 11 expériences).

TEMPÉRATURE extérieure.	OXYGÈNE CONSOMMÉ par heure et kilogramme d'animal.	CO ₂ exhalé.	QUOTIENT respiratoire.
3.64°	4886.8 c. c.	4564.8°	0.83
26.21	4148.5	4057.4	0.94

Expériences du duc Charles Théodore de Bavière, faites sur un Chat, à l'aide du petit appareil de Péttenkofer et Voit.

Température extérieure.	OXYGÈNE consommé en 6 heures (en grammes).	CO ₂ exhalé.	Température extérieure.	OXYGÈNE consommé en 6 heures (en grammes).	CO ₂ exhalé.
— 5.5°	47.48	49.83	14.1	46.75	46.94
— 4.7	20.54	24.34	45.6	45.80	47.36
— 3.4	21.39	22.03	46.3	44.74	45.73
— 3.0	48.26	48.42	48.0	42.30	43.93
+ 0.2	49.95	48.24	49.8	»	45.88
+ 4.3	47.73	48.92	24.1	42.78	44.34
+ 2.0	45.79	47.87	20.3	43.00	44.96
+ 2.4	48.43	49.24	27.8	»	43.48
+ 3.7	20.64	24.97	29.6	40.87	43.12
+ 5.0	44.82	47.90	29.7	43.91	42.81
+ 12.3	47.74	47.63	30,8	»	42.03

Ueber den Einfluss der Temperatur der umgebenden Luft auf die Kohlensäure Ausscheidung und die Sauerstoff Aufnahme bei einer Katze. Voit, Zeitschrift f. Biologie. XIV, p. 57. Ueber die Wirkung der Temperatur der umgebenden Luft auf die Zersetzungen im Organismus der Warmblüter.

Expériences de Voit faites sur un homme pesant 71 kilogrammes (à jeun) à l'aide du grand appareil respiratoire de Voit et Pellenkofer.

DATES.	TEM- PÉRATURE de l'air.	CO ₂ en grammes pendant 6 heures.	AZOTE de l'urine en grammes.
10 février 1876	4.4°	210	4.23
3 février	6.5	206	4.05
31 janvier	9.0	192	4.20
24 février	14.3	155	3.81
27 janvier	16.2	158.3	4.00
7 février	23.7	164.8	3.40
14 février	24.2	166.5	3.34
17 février	26.7	1 0.0	3.97
21 février	30.0	170.6	»

Il nous reste à passer en revue les travaux moins nombreux, et pour la plupart moins importants, qui conduisirent à des résultats diamétralement opposés à ceux que nous avons exposés jusqu'ici. Je pourrai d'abord citer comme ne cadrant pas avec la théorie, quelques expériences isolées, empruntées aux recherches des auteurs précédemment analysés. Ainsi, dans l'expérience n° II de Röhrig et Zuntz (page 65, *loc. cit.*), nous voyons un Lapin consommer en 15 minutes, 270 c. c. d'oxygène, par une température extérieure de 18° (à l'air). Le chiffre d'oxygène, au lieu de monter, descend à 239 c. c. quand l'animal est plongé dans de l'eau à + 4°. Il est vrai qu'il y a dans ce cas augmentation dans la production de CO₂ (154.8 c. c. à l'air et 205.4 dans le bain froid). L'expérience n° XVI des mêmes auteurs conduit également à ce résultat contradictoire, d'une augmentation du chiffre de CO₂, d'une diminution de celui de l'oxygène par l'immersion dans un bain froid.

Winternitz (1), Murri, Senator et d'autres ne contestent pas absolument l'augmentation dans la quantité d'anhydride carbonique exhalé chez l'homme ou l'animal plongé dans un bain froid; mais cette augmentation n'a pas pour eux la signification qu'on a voulu lui attribuer. Elle ne serait pas l'indice d'une augmentation dans la production de chaleur, mais serait simplement due à une ventilation pulmonaire plus énergique, sous l'influence du froid. L'excès de CO_2 recueilli ne se montrerait qu'au début de l'expérience. Quelques expériences récentes de Speck semblent également établir le peu d'influence des bains froids sur les phénomènes chimiques de la respiration.

Rosenthal (2) dans ses premiers travaux, Ackermann, mais surtout Senator, combattirent vivement la théorie de la régulation de la température, par variation de la production de chaleur, et attachèrent, au contraire, la plus grande importance aux change-

(1) WINTERNITZ, *Der Einfluss von Wärmeentziehung auf die Wärmeproduction*. (Wiener medicinisches Jahrbuch. 1871, p. 180.)

MURRI, *Del potere regolatore della temperatura animale*. (Studio critico sperimentale.) Firenze, 1875.

SENATOR, *Arch. f. Anat. Physiol.*, 1872, p. 4; 1874, p. 18. *Centralblatt, f. med. Wiss.* 1871, p. 737.

SPECK, *Ueber den Einfluss der Abkühlung auf den Athemprocess. Vorläufige Mittheilung*. (Centralblatt, f. med. Wissenschaften, 1880, n° 18, p. 853 et 856.)

(2) ROSENTHAL, *Zur Kenntniss der Wärmeregulirung bei den warmblütigen Thieren*, Erlangen, 1872.

ACKERMANN, *Ueber Wärmeregulirung*. (Berliner klinische Wochenschrift. 1872, n° 38.)

SENATOR, *Ueber Wärmebildung und Stoffwechsel in gesunden und fieberhaften Zustände*. (Centralblatt, f. d. med. Wiss. 1871, p. 737-735.)

Arch. f. Anat. u. Physiologie, 1872, p. 4-54. *Neue Untersuchungen über die Wärmebildung und den Stoffwechsel*. (Archiv. f. Anat. u. Physiol. 1874, p. 18-57.) — *Untersuchungen über den fieberhaften Process und seine Behandlung*. Berlin, 1875, p. 208.

SANSON, *Recherches expérimentales sur la respiration chez les grands mammifères domestiques*. (Comptes rendus, t. LXXXII, p. 1003.)

ments de la circulation cutanée, et aux variations dans les pertes de chaleur qui en sont le résultat. Senator fit plusieurs séries d'expériences sur des Chiens adultes, les unes en été, les autres en hiver. A l'aide d'un calorimètre à eau, il détermina les quantités de chaleur produites par l'animal, et mesura également l'anhydride carbonique exhalé. Il arriva dans toutes ces expériences au même résultat : pendant la saison froide, la production de chaleur et celle de CO_2 subissent chez le Chien une diminution manifeste et non une augmentation.

Les recherches entreprises par Sanson sur la respiration des Chevaux et des Bœufs le conduisirent également à formuler cette conclusion que l'exhalaison de l'anhydride carbonique augmente avec l'élévation de la température extérieure.

D'ailleurs, parmi les expériences de Voit citées précédemment, toutes celles où la température de l'air dépassait 15° à 20° furent marquées par une augmentation, et non une diminution du chiffre de l'anhydride carbonique exhalé. 155 grammes à $14^\circ,3$; 158,3 à $16^\circ,2$; 164,8 grammes à $23^\circ,7$; 166,5 grammes à $24^\circ,2$; 160 grammes à $26,7$; et 170,6 grammes à 30° .

Il est intéressant de rapprocher de ces expériences de Voit faites sur l'homme, celles de Page faites sur le Chien. Page (1) constata également que lorsque le milieu ambiant est à une certaine température (+ 25° dans les expériences sur le Chien), la production de l'anhydride carbonique est à son minimum. Si la température extérieure monte ou descend, l'exhalaison de CO_2 est augmentée dans les deux cas. En représentant par 100 la quantité de CO_2 exhalée à la température de + 25° , celle exhalée dans les différentes expériences à + 20° fut respectivement représentée par 107, 109, 107, 107; à 15° par 118, 134, 141, à + 30° par 111, 112, 105, 112; à + 35° par 149, 155, 149.

(1) PAGE, *Some experiments as to the influence of the surrounding temperature on the discharge of carbonic acid in the dog.* (Journal of physiology. Vol. II, pp. 228-254.) Aussi dans *Collected papers of the physiological Laboratory.* University College. London, 1879-81.

§ VIII. — Après le résumé historique qui précède, je n'ai pas besoin, je pense, de m'excuser d'avoir voulu soumettre encore une fois au contrôle de l'expérience la question de l'influence du froid sur la thermogénèse. Dans toutes mes expériences, j'ai eu recours à la méthode indirecte, à celle qui consiste à mesurer la quantité de chaleur produite, d'après l'intensité des phénomènes chimiques de combustion interstitielle.

J'avais à choisir entre trois méthodes principales pour l'analyse des gaz de la respiration :

1° Faire respirer l'homme dans un espace clos, ventilé par un courant d'air énergétique, et doser l'anhydride carbonique et la vapeur d'eau dans un échantillon de l'air qui sort de l'appareil; analyser pareillement un échantillon de l'air avant son entrée dans l'appareil. C'est le principe sur lequel est construit le grand appareil respiratoire de Voit et Pettenkofer (1). Quand bien même les ressources dont je dispose m'auraient permis l'emploi de cet engin dispendieux et compliqué, je n'aurais pas cru devoir lui donner la préférence. En effet, le facteur le plus important de toute expérience sur les gaz de la respiration, l'oxygène consommé se dose ici indirectement, par différence. C'est sur le chiffre de l'oxygène que s'accumulent toutes les erreurs commises dans les autres déterminations (déterminations de CO_2 , H_2O , des aliments, etc.), qui elles-mêmes ne s'obtiennent qu'en multipliant les chiffres d'une analyse partielle à l'aide d'un facteur colossal.

Je citerai comme exemple de l'incertitude du chiffre de l'oxygène, le fait suivant : on crut pendant plusieurs années, sur la foi d'analyses exécutées avec l'appareil respiratoire de Munich, que la nuit, l'organisme emmagasine des quantités notables d'oxygène qui ne sont consommées que plus tard. Cette réserve

(1) PETTENKOFER, *Abhandl. d. math. phys. Cl. d. Acad. zu München*, IX (2), p. 252, 1862.

PETTENKOFER et VOIT, *Liebig's Ann. Supplem. Bd. II*, p. 82. — *Zeitschrift f. anal. Chemie*, I, 1866.

d'oxygène fixée provisoirement dans les tissus ressortait directement de la comparaison des chiffres d'oxygène et d'anhydride carbonique, correspondant aux périodes de jour et de nuit. Or Pettenkofer a reconnu lui-même depuis, que cet excédant d'oxygène était simplement le résultat d'erreurs commises dans la détermination de l'oxygène. En outre, l'appareil respiratoire de Munich ne permet pas de faire des séries d'expériences de courte durée, se suivant à peu d'intervalle.

2° Mesurer les volumes d'air inspiré et expiré, et analyser des échantillons de ces deux mélanges gazeux. Andral et Gavarret (1), Vierordt, Speck, etc., ont perfectionné cette méthode à laquelle on peut faire également le reproche que l'analyse ne porte que sur une minime fraction des gaz recueillis.

3° La troisième méthode qui seule, à mon avis, présente une rigueur vraiment scientifique, est celle imaginée par Regnault et Reiset. Elle consiste à respirer dans une atmosphère confinée dont on maintient la composition constante en lui restituant l'oxygène consommé, en lui enlevant l'anhydride carbonique à mesure de sa production. La diminution de volume des réservoirs d'oxygène représente la consommation de ce dernier. Une analyse de l'air resté dans l'appareil peut être faite après chaque expérience. C'est à l'aide de cette méthode si parfaite et si élégante, qu'ont été exécutées les recherches de Regnault et Reiset, continuées par Reiset, celles de plusieurs élèves de Ludwig, celles de Pflüger, Colasanti, Röhrig et Zuntz, Stroganoff, Jolyet et Regnard, etc., etc.

Malheureusement, cette méthode n'avait pu jusqu'ici être

(1) ANDRAL et GAVARRET, *Recherches sur l'acide carbonique exhalé*, Paris, 1845.

VIERORDT, *Physiologie des Athmens.*, Karlsruhe, 1845.

SPECK, *Untersuchungen über Sauerstoffverbrauch und Kohlensäure Athmung d. Menschen*, Cassel, 1871.

REGNAULT et REISET, *Recherches chimiques sur la respiration des animaux de diverses classes*. (Ann. de chimie et de physique (5), XXVI, 1849.)

appliquée à l'homme, à cause de la difficulté d'absorber assez rapidement tout l'anhydride carbonique produit, difficulté que Regnault et Reiset n'avaient pas toujours pu surmonter, quoi- qu'ils opérassent sur des animaux de taille petite ou moyenne.

J'ai réussi à réaliser un appareil respiratoire applicable à l'homme, et construit sur le principe introduit par Regnault et Reiset. Mon appareil permet de déterminer la quantité d'oxygène consommée, en faisant une simple lecture de volume, et sans qu'il soit nécessaire de recourir à une analyse de gaz. Il ne tient compte que de la respiration pulmonaire : il eût été fort difficile de faire intervenir également la respiration cutanée dont l'importance est médiocre.

L'homme respire par l'intermédiaire d'une embouchure sur laquelle s'appliquent les lèvres, dans une atmosphère confinée riche en oxygène, dont on enlève l'anhydride carbonique à mesure de sa production (1).

L'appareil dont la figure 1 (ci-contre) donne une vue schématique a la forme générale d'un spiromètre. Le gaz riche en oxygène est contenu dans une cloche graduée, équilibrée par un mécanisme spécial et flottant sur un bain de chlorure de calcium. Le gaz se rend aux voies aériennes de l'expérimentateur en traversant une caisse d'absorption remplie de chaux sodée, où il se dépouille de l'anhydride carbonique qu'il pourrait contenir. Les gaz de l'expiration retournent au réservoir d'oxygène, en passant également à travers une seconde caisse d'absorption.

Je décrirai l'appareil en passant successivement en revue

(1) L'idée première de cet appareil m'est venue en voyant à l'Exposition universelle de Paris de 1878 les instruments exposés par l'illustre professeur Schwann. Dans l'un d'eux, le problème de l'absorption de l'anhydride carbonique produit par l'homme se trouve résolu de la façon la plus heureuse. L'embouchure et les caisses d'absorption de mon appareil sont donc empruntés aux appareils de Schwann. Voir *Description de deux appareils permettant de vivre dans un milieu irrespirable, et exposés en 1878 à Paris, Liège, De Thier, 1878.*

le spiromètre, sa cloche et son contre-poids automatique, les caisses d'absorption et l'embouchure.

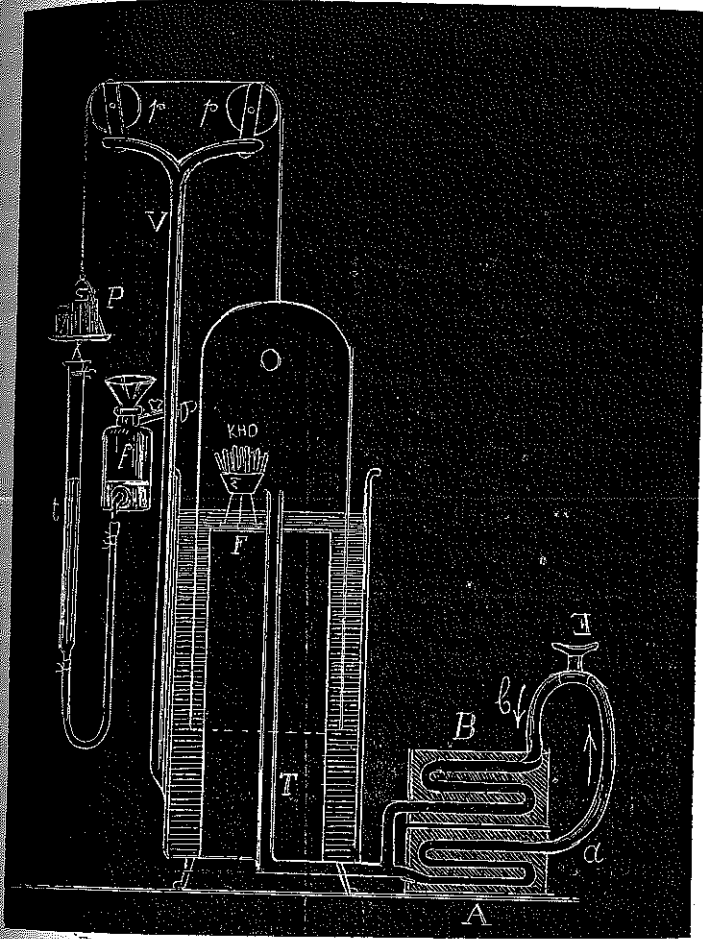


Fig. 1. — Appareil respiratoire applicable à l'homme. Figure schématique. E Embouchure en métal; A et B caisses d'absorption remplies de chaux et de soude; B et b trajet de l'air de l'expiration; A et a trajet de l'air de l'inspiration. F réservoir rempli de solution saturée de chlorure de calcium; T tube allant des caisses d'absorption à la cloche d'oxygène O. La chaînette qui suspend la cloche O passe sur les poulies p, p pour rejoindre le contre-poids automatique P; t tube relié par un siphon au flacon rempli de mercure; KHO potasse.

Le spiromètre se compose des parties suivantes :

1° Un réservoir vertical F en zinc, de forme cylindrique (hauteur 60 centimètres, diamètre, 26 centimètres), reposant sur un fond en fer et soutenu par trois pieds courts, en fer également. Ce réservoir est presque complètement rempli d'une solution saturée de chlorure de calcium sur laquelle flotte la cloche O remplie d'oxygène. La paroi du réservoir porte près de son bord supérieur une fenêtre rectangulaire dans laquelle se trouve enchâssée au moyen d'un lut hermétique une petite glace permettant d'observer le niveau du liquide et de lire le chiffre du volume gazeux contenu dans la cloche O. Pour pouvoir diminuer le volume de la solution de chlorure de calcium, j'ai eu recours à l'artifice usité dans la construction de tous les spiromètres. Du fond du réservoir s'élève un second cylindre F en zinc également, mais moins haut et d'un diamètre un peu plus petit. Ce second cylindre est fermé supérieurement par un fond horizontal. La solution de chlorure de calcium occupe ainsi l'espace libre en forme de manchon situé entre les deux cylindres. C'est dans cet espace que monte et descend la cloche en verre O. Le fond supérieur du cylindre intérieur est percé en son centre pour livrer passage au tube de fer T qui fait communiquer l'intérieur de la cloche d'oxygène avec les caisses d'absorption et les voies respiratoires du sujet en expérience. Ce tube T parcourt verticalement l'axe du grand réservoir jusqu'en bas sous le fond en fer où il se recourbe à angle droit et va rejoindre horizontalement la ou les caisses d'absorption. Une tige de fer V fixée latéralement au réservoir en zinc supporte les deux poulies sur lesquelles s'enroule la ficelle ou la chaînette qui soutient le réservoir d'oxygène et le rattache à son contre-poids.

Le réservoir d'oxygène O a été choisi aussi léger que possible, tout en restant transparent. C'est une cloche cylindrique en verre mince comme les globes de pendule. Quatre ficelles munies inférieurement de crochets métalliques la soutiennent par son bord libre inférieur. Ces ficelles se réunissent supérieurement à la partie convexe de la cloche : de leur point de réunion part la chaînette qui soutient la cloche et qui, passant sur les poulies *pp*, va s'accrocher au contre-poids à siphon P et l.

Le contre-poids mobile P destiné à équilibrer automatiquement la cloche O dans toutes ses positions porte à sa partie inférieure un tube de verre cylindrique *t* communiquant par un tube de caoutchouc flexible avec le réservoir à mercure *f*. Quand la cloche O monte, elle sort plus ou moins du liquide, son poids augmente. Le contre-poids est calculé de manière à augmenter de poids dans les mêmes proportions. En effet le contre-poids descend quand la cloche monte : or, à mesure qu'il descend, il se remplit de mercure venu du flacon *f*. Quand la cloche O descend, elle perd de son poids à mesure qu'elle s'enfonce dans le chlorure de calcium. Le contre-poids *t* monte alors et une certaine quantité de mercure retourne au réservoir *f*. De cette façon la cloche O se trouve équilibrée automatiquement dans toutes ses positions (1).

Il me reste à parler des caisses d'absorption (une ou deux) intercalées entre le réservoir d'oxygène et l'embout qui s'applique à la bouche du sujet en expérience. La figure 2 représente les deux moitiés d'une de ces caisses, où l'air est obligé de parcourir un canal mesurant six fois la longueur de la caisse, canal long de $0^m,40 \times 6 = 2^m,40$ et creusé dans une bouillie de chaux et de soude. La moitié droite montre la disposition intérieure. On a enlevé la feuille de caoutchouc qui complète supérieurement chaque moitié de la caisse d'absorption. La moitié gauche est garnie de sa feuille de caoutchouc et de la plaque métallique qui la maintient en place. Les flèches indiquent la direction du courant d'air à travers tout l'appareil.

Voici la description que le professeur Schwann a donnée de la caisse d'absorption de son appareil (p. 7 de la brochure citée précédemment) :

a Elle se compose de deux moitiés entre lesquelles il y a une plaque métallique moyenne, qui en sépare les cavités, en laissant toutefois un trou de communication qui traverse la plaque. Dans

(1) D'après FINKLER et OERTMAN, Pflüger emploierait dans son appareil respiratoire un contre-poids automatique à mercure qui doit offrir quelque analogie avec celui que je décris ici. Il ne l'a ni décrit en détail ni figuré. (Voir Pflüger's Archiv. 1876, XVIII, p. 247.)

chaque moitié il y a deux cloisons, qui divisent l'espace en trois canaux transversaux. Des trous convenablement forés dans ces cloisons et l'ouverture pratiquée dans la plaque intermédiaire forcent l'air à parcourir les six canaux pour arriver à l'ouverture de sortie.

» Chaque canal renferme au milieu un tube en toile métallique afin d'assurer le passage de l'air : le reste de l'espace laissé libre dans les canaux est rempli de chaux hydratée mouillée d'une solution concentrée de soude caustique. La boîte en renferme cinq kilos, ce qui suffit à la respiration de cinq heures. »

J'ajouterai que la toile métallique des tubes qui manquait de solidité a été remplacée par des tubes formés d'une feuille de zinc offrant, découpés à jour à l'emporte-pièce, un grand nombre de trous presque contigus. Chacun des trois canaux dont se compose une demi-boîte est subdivisé lui-même en trois segments par de petites cloisons de zinc adhérent à la face externe des tubes métalliques (V. la figure ci-contre). Le segment moyen occupant presque toute la longueur de la boîte est rempli de chaux et de soude; les deux petits compartiments situés aux extrémités sont laissés presque vides de chaux sodée; on peut y mettre quelques fragments de soude caustique qui risquent moins de venir faire bouchon aux orifices qui font communiquer les trois canaux de la demi-boîte.

La caisse d'absorption avec ses cloisons et la plaque intermédiaire est entièrement en cuivre. Ses deux moitiés une fois chargées de chaux et de soude sont pressées l'une contre l'autre au moyen de quatre tiges terminées par des vis munies d'écrous. Les tiges passent à travers de petits canaux ménagés dans l'épaisseur des bords latéraux de chaque moitié de la caisse. Une feuille de caoutchouc garnit de chaque côté la plaque de cuivre intermédiaire et lui permet de venir s'appliquer exactement aux bords des deux moitiés de la boîte. De cette façon le système est entièrement clos sans présenter la moindre fuite.

La soude caustique dont on se sert doit être de première qualité (soude à l'alcool). La soude à la chaux du commerce est fréquemment trop carbonatée pour pouvoir être employée ici.

On peut à la rigueur n'intercaler qu'une seule caisse d'absorp-

tion sur le trajet de l'air entre l'embouchure et le spiromètre. Dans ce cas le mélange de soude et de chaux doit être récent et avoir été préparé avec soin. Dans ces conditions l'air de l'inspiration suit le même chemin que l'air de l'expiration.

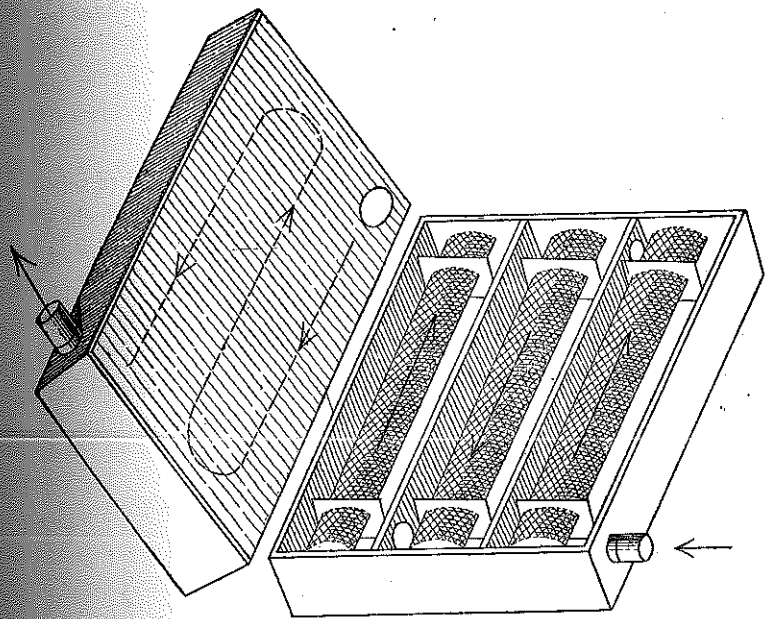


Fig. 2. — Caisse d'absorption pour la respiration de l'homme, modèle du professeur Schwann. L'une des moitiés est représentée ouverte montrant les trois compartiments et les trois tubes destinés au passage de l'air. L'autre moitié est recouverte de sa plaque en caoutchouc percée d'un trou qui la fait communiquer avec la première. Les flèches indiquent la direction du courant d'air. Dimensions, 40 centimètres de long, 14 de haut et 17 de large.

Quand on emploie deux caisses, l'une A sert à l'inspiration, l'autre B à l'expiration. La figure 1, toute schématique, représente cette disposition. A cet effet le tube T qui vient du spiromètre se bifurque; chacune des branches de division se rend à l'une des caisses d'absorption. Le tube qui vient de la pièce buccale E communique de même par un tube bifurqué en forme de T avec chacune des caisses d'absorption. Les tubes en T sont en métal: toutes ces pièces sont reliées entre elles par des caoutchoucs graissés avec soin, épais, mais encore suffisamment flexibles.

J'aurais pu, pour séparer le courant d'air de l'inspiration de celui de l'expiration, employer les valvules d'intestin imaginées par Speck, ou les valvules en forme de flacon laveur de W. Müller. J'ai trouvé plus simple d'opérer cette séparation par une manœuvre consistant à comprimer alternativement avec les doigts le tube d'inspiration et celui d'expiration. L'inspiration se fait, par exemple, dans la caisse A, le tube *b* étant fermé par compression; l'expiration se fera par le tube *b* dans la caisse B, le tube *a* étant fermé cette fois.

Que l'on fasse usage d'une ou de deux caisses, on aura soin, par surcroît de précautions, d'introduire encore dans la cloche à oxygène des vases chargés de bâtons de potasse et destinés à enlever les restes de l'anhydride carbonique qui aurait pu échapper à l'absorption dans les caisses. Ces vases, soutenus par des supports *ad hoc*, se placent sur le fond supérieur du cylindre intérieur du spiromètre à côté d'un thermomètre qui sert à indiquer la température du gaz. La figure 1 montre un de ces vases KHO en place.

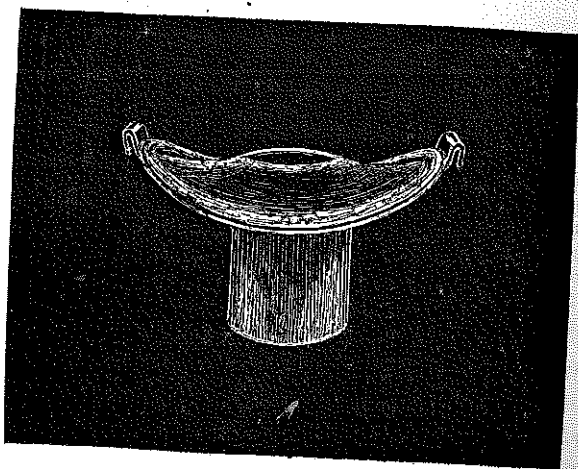


Fig. 3. — Embouchure pour la respiration.

L'embouchure auquel l'expérimentateur adapte les lèvres est construite de façon à se mouler, pour ainsi dire, sur celles-ci. Elle porte un double rebord en saillie formant deux pavillons concentriques, emboîtés l'un dans l'autre. C'est dans l'intervalle

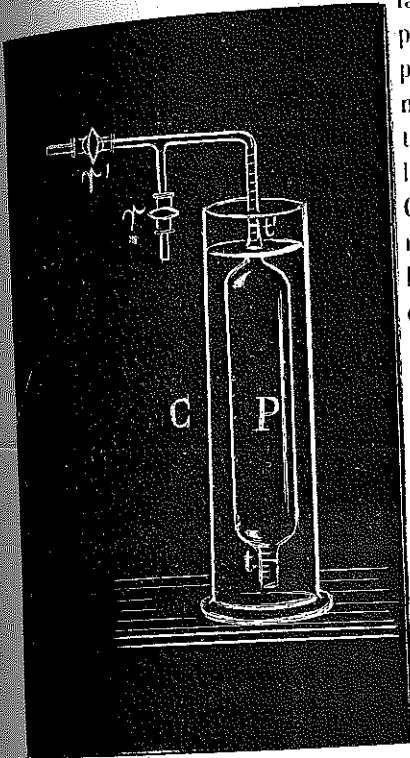
que l'on place les lèvres mouillées au préalable, le pavillon externe appliqué contre leur face externe, le pavillon interne appliqué contre la face interne. La figure 3 en montre une vue latérale.

Pour le jaugeage et la graduation de la cloche à oxygène, j'ai

fait usage de l'appareil représenté figure 4. C'est une pipette P contenant exactement un litre du trait *t* au trait *t'*. Elle est plongée dans l'eau du vase cylindrique C. Cette pipette, ouverte inférieurement, se continue en haut avec un tube en T muni de deux robinets; l'un *r* s'ouvre à l'air extérieur, l'autre *r'* peut établir une communication entre la pipette P et l'intérieur du réservoir d'oxygène de l'appareil respiratoire. Il suffit de relier le robinet *r'* à l'aide d'un tube de caoutchouc et d'un bouchon de caoutchouc avec le large tube qui vient de la caisse d'absorption. A l'aide de cette pipette, il devient facile d'introduire de l'air

Fig. 4. — Pipette d'un litre disposée pour le jaugeage du réservoir à oxygène.

en mesurant cet air rigoureusement litre par litre. Le robinet *r'* étant fermé, on ouvre le robinet *r*, on élève P hors du cylindre C de manière qu'il se remplisse d'air jusqu'au point d'affleurement *t*, on ferme alors *r*, on ouvre *r'* et l'on chasse l'air contenu dans P jusqu'au trait *t'*, on renferme *r'* et ainsi de suite. A chaque manœuvre exécutée ainsi, on chasse un litre d'air dans la cloche à oxygène. Comme elle est équilibrée dans toutes ses positions, elle s'élève chaque fois sur le bain de chlorure de calcium de manière que les niveaux intérieur et extérieur coïnci-



dent exactement. On peut graver la graduation sur le verre de la cloche et la rendre plus apparente en vernissant la surface graduée et en ajoutant des traits de couleur au pinceau. Pour les subdivisions du litre, on retire la cloche du bain et on divise en 10, 20, etc., parties égales ou proportionnelles l'espace correspondant à un litre.

La cloche à oxygène de mon appareil a un diamètre intérieur de 21 centimètres; sa hauteur est de 50 centimètres environ. Elle jauge un peu plus de 16 litres. Chaque litre de capacité correspond à 3 centimètres de longueur de l'échelle sur verre. Il est facile de diviser cet espace de 3 centimètres de long en vingt parties correspondant chacune à 50 centimètres cubes de capacité. On peut encore évaluer une fraction de division. Avec une cloche plus étroite, la graduation aurait été encore plus espacée et les lectures plus exactes; mais alors les mouvements de va-et-vient du réservoir d'oxygène deviennent trop étendus et gênent la respiration du sujet en expérience. Si l'on tient à une plus grande exactitude dans les lectures du niveau du réservoir, on peut fixer un index soit au réservoir d'oxygène, soit au contre-poids, index effilé cheminant le long d'une échelle à graduation serrée, placée en regard. Dans ce cas il faut, au début de chaque expérience, vérifier le niveau du bain de chlorure de calcium qui peut varier dans l'intervalle d'une expérience à l'autre.

L'oxygène destiné aux expériences s'obtient en chauffant dans une cornue de cuivre un mélange de chlorate de potassium et d'oxyde de cuivre; on le recueille sur l'eau dans un gazomètre ordinaire de Pepys. On l'introduit dans le réservoir en le faisant passer à travers les caisses d'absorption où il se dépouille, s'il y a lieu, des traces d'anhydride carbonique qu'il peut contenir.

La construction de l'appareil ayant été décrite *in extenso*, passons au détail d'une expérience.

La cloche est remplie d'oxygène, à la pression atmosphérique et à la température indiquée par le thermomètre intérieur. On ne commence d'expérience que lorsque le gaz est sensiblement à la même température que l'air de l'appartement. L'expérimentateur est assis devant la table qui supporte tout l'appareil.

Une pince nasale à ressort assure l'occlusion des narines. Le

Le sujet se tient prêt à appliquer les lèvres mouillées à l'embouchure, tout en surveillant la montre à secondes. Au moment où l'aiguille commence la minute, il fait une expiration forcée, poussée à ses dernières limites, puis embouche l'appareil et commence à respirer l'oxygène de la cloche. S'il emploie deux caisses à absorption, il comprime entre le pouce et l'index alternativement les deux tubes de caoutchouc de façon à faire l'inspiration à travers l'une des deux caisses et à chasser les gaz de l'expiration à travers l'autre. Quinze minutes m'ont paru être la durée la plus convenable de chaque expérience. Au moment où la quinzième minute s'achève, l'expérimentateur termine par une expiration forcée dans l'appareil, puis il retire immédiatement l'embouchure et la remplace par un bouchon de caoutchouc graissé convenablement et traversé par un tube de verre qui peut mettre l'intérieur de l'appareil en rapport avec un aspirateur. La manœuvre de l'aspirateur est destinée à absorber les dernières traces de CO_2 qui auraient pu échapper aux caisses à chaux sodée. L'aspirateur représenté figure 5 est formé de deux grandes bouteilles A et B reliées l'une à l'autre par un tube de caoutchouc et remplies d'eau ou d'une solution de chlorure de calcium. Il sert à faire passer un certain nombre de fois le gaz de l'appareil respiratoire à travers les caisses de chaux et de soude.

Le flacon A est relié par un tube de caoutchouc à l'appareil respiratoire et communique d'autre part avec le flacon B. Suivant qu'on place le flacon B sur la tablette *b* située plus bas que le flacon A, ou sur la tablette *b'* située plus haut, on aspire le gaz de la cloche, ou on le réinjecte dans l'appareil.

Il suffit de renouveler cette manœuvre trois ou quatre fois pour avoir tous ses apaisements au sujet de l'absorption de l'anhydride carbonique. La diminution de volume qui en résulte indique la proportion de ce gaz dans l'air resté dans le réservoir à la fin de l'expérience. Cette proportion était insignifiante dans la plupart des expériences dont il sera question plus loin. La manœuvre de l'aspirateur présente un second avantage : il a pour effet de refroidir le gaz, de le ramener sensiblement à sa

température initiale au cas où l'expérience l'aurait légèrement réchauffé.

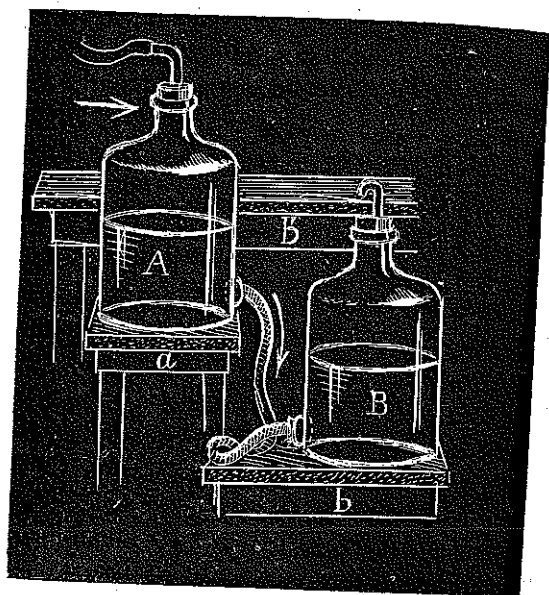


Fig. 5. — Aspirateur réinjectant le gaz dans le réservoir de l'appareil respiratoire.

LA PRESSION ET LA TEMPÉRATURE N'AYANT PAS VARIÉ SENSIBLEMENT, LA DIMINUTION DE VOLUME QUE L'ON CONSTATE A LA FIN DE L'EXPÉRIENCE CORRESPOND TRÈS SENSIBLEMENT AU VOLUME D'OXYGÈNE CONSOMMÉ PAR LE SUJET. La simple mesure du volume gazeux resté dans la cloche donne, sans analyse et sans calcul, la quantité d'oxygène disparue. Il suffit de la réduire à 0° et 760^{mm} P.

On pourrait songer à rendre l'expérience plus rigoureuse en faisant à la fin une analyse du mélange resté dans la cloche pour y doser l'oxygène et, comparant cette quantité à celle qui s'y trouvait au début, conclure à la quantité d'oxygène réellement consommée pendant l'expérience. Ce serait là un procédé absolument fautif à différents égards.

Au moment où l'expérience cesse, l'air résiduel (que l'on peut évaluer à 2,000 c. c.) contenu encore dans le poumon est formé en grande partie d'oxygène, tandis qu'au début de l'expérience

il contient surtout de l'azote (pour les $\frac{4}{5}$, c'est-à-dire environ 1,600 c. c.). Cet oxygène disparu de la cloche ne peut être légitimement compté comme ayant été brûlé, consommé pendant la durée de l'expérience, puisqu'il se trouve encore dans le poumon, qu'il y a eu simple échange d'oxygène du réservoir, qui a été remplacé par un volume équivalent d'azote du poumon.

Un raisonnement analogue nous indique que le sang et les autres liquides de l'organisme, mis en rapport par l'intermédiaire du poumon avec un mélange gazeux où la tension de l'oxygène est plus forte, celle de l'azote plus faible que dans l'air ordinaire, ont dû céder de l'azote, emprunter de l'oxygène à l'appareil (1). Cet oxygène s'est dissous dans le plasma en vertu des lois physiques de la diffusion. L'excès d'oxygène disparu a dû contre-balancer sensiblement l'azote exhalé. L'erreur commise de ce dernier chef est certainement peu importante. Pour ces deux motifs, il serait absolument illogique de faire l'analyse de l'air resté dans la cloche à la fin de l'expérience.

Speck (2), dans ses expériences sur la respiration de mélanges gazeux riches en oxygène, est tombé dans l'erreur que je signale ici. Il a compté comme ayant été réellement consommé par l'individu, tout l'oxygène resté dans le poumon à la fin de l'expérience; il en a conclu que la consommation de l'oxygène dépendait à un haut degré de la richesse en oxygène du mélange respiré. Cette conclusion est contraire à tout ce que nous savons sur la respiration de l'oxygène : elle est formellement contredite par les résultats des expériences de Regnault et Reiset, Pflüger

(1) Le coefficient d'absorption de l'oxygène dans l'eau est notablement plus élevé que celui de l'azote. Il doit donc y avoir une erreur légère de ce chef. Le sang dissout sans doute plus d'oxygène qu'il ne perd d'azote quand on remplace l'azote de l'air inspiré, par de l'oxygène. En fait, le sang ne peut dissoudre beaucoup d'oxygène dans le plasma, car la tension de ce gaz y atteindrait bientôt une valeur suffisante pour produire l'apnée ou le ralentissement de la respiration, ce qui ramènerait la tension de l'oxygène à une valeur voisine de la normale.

(2) Speck, *Ueber den Einfluss der Athemmechanik und des Sauerstoffdrucks auf den Sauerstoffverbrauch.* (Pflügers Archiv., XIX, 1879, p. 471.)

et ses élèves, etc. A la place de l'oxygène enlevé à la cloche de l'appareil respiratoire par l'air résiduel du poumon, on trouve évidemment l'azote de cet air résiduel. Speck, pour être logique, a dû considérer ce volume considérable d'azote comme ayant été exhalé par l'individu pendant la durée de l'expérience! (quelques minutes). Speck a cherché, dans un travail qui a paru récemment, à atténuer l'importance des erreurs qu'il avait commises antérieurement.

Il suffit, comme je l'ai dit, de connaître la température et la pression barométrique, les volumes gazeux contenus dans la cloche avant et après l'expérience, pour calculer par différence le volume d'oxygène consommé pendant les quinze minutes que dure une expérience. J'ai fait usage des tables de Hesse pour la réduction à 0° et 760 millimètres de pression (1).

§ IX. — J'ai pu, à l'aide de cet appareil et de cette méthode, étudier sur moi-même (poids 82 k., âge 30 ans, tempérament mixte), l'influence du froid sur la respiration et la calorification et comparer les effets dus au refroidissement avec les autres variations qui peuvent affecter les combustions respiratoires.

La première série d'expériences, que j'appellerai préparatoire, était destinée à déterminer les chiffres normaux moyens fournis par ma respiration et les limites dans lesquelles ces chiffres étaient susceptibles de varier. Elles devaient servir, pour ainsi dire, de base, de terme de comparaison, pour les expériences ultérieures.

Le régime suivi pendant leur durée fut aussi uniforme que possible : les repas étaient pris régulièrement à heure fixe, le déjeuner à 8 $\frac{1}{2}$ heures du matin, le dîner à 1 $\frac{1}{2}$ heure et le souper à 7 $\frac{1}{2}$ heures du soir. Toutes ces expériences furent faites par des températures comprises entre + 14° et + 20°, chiffres entre lesquels peut osciller la température des appartements dans lesquels nous vivons. Dans aucune de ces expériences, je n'ai éprouvé de sensation marquée ni de froid ni de chaud. Voici les résultats classés d'après les heures de la journée.

(1) Dr WALTER HESSE, *Tabellen zur Reduction eines Gasvolumens auf 0°*.

Quantités d'oxygène en centimètres cubes consommées pendant quinze minutes, aux différentes heures de la journée par un adulte âgé de 30 ans, pesant 82 kilogrammes (suite).

DATES.	PRESSION barométrique réduite à 0°.	TEM- PÉRATURE de l'air.	OXYGÈNE consommé en 15 minutes en cent. cubes à 0° et 760 P.	HEURE de l'expérience.
29 mars	738.0	20,5°	4.718	12 ^h à 12 ^h 15 ^m
8 avril.	762.7	21	4.970	12 à 12 15
7 avril.	761.5	13 - 14	5.374	12 15 ^m à 12 30
2 mai	756.8	14	4.648	12 45 à 1
7 avril.	761.5	14	4.990	12 53 à 1 10
Dîner à 1 1/2 heure.				
2 mai	756.8	14°	6.644	3 ^h à 3 ^h 15 ^m
2 mai	756.8	14	5.835	3 45 ^m à 4
22 mars	754.0	13,5	6.026	4 à 4 20
29 mars	756.3	20	5.565	4 45 à 5
29 mars	756.3	20	5.380	5 15 à 5 30
4 avril.	753.8	13	5.550	6 à 6 15
12 mai.	761.9	17	5.760	6 à 6 15
22 mars	754.0	13,5	5.391	6 à 6 20
29 mars	756.3	20	5.190	6 30 à 6 45
Souper à 7 1/2 heures.				

Le tableau suivant, figure 6, représente graphiquement les résultats des expériences précédentes. L'abscisse horizontale est divisée en parties égales correspondant aux différentes heures de la journée. La longueur des ordonnées verticales est propor-

tionnelle au chiffre d'oxygène consommé à chacune de ces heures. Un simple coup d'œil sur le tableau permet de saisir les résultats généraux qui se dégagent des chiffres précédents.

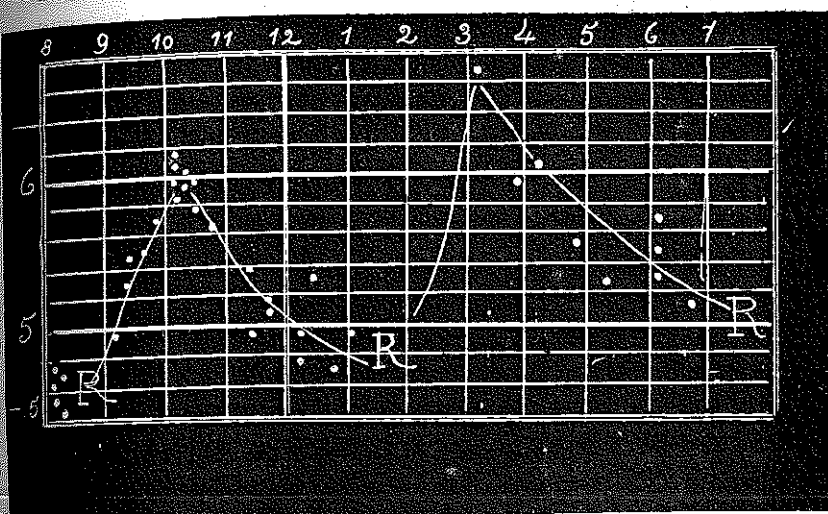


Fig. 6. — Tableau représentant graphiquement les volumes d'oxygène consommés par un homme adulte aux différentes heures de la journée (durée de chaque expérience, quinze minutes). L'abscisse horizontale est divisée en parties égales correspondant aux différentes heures de la journée. Les ordonnées verticales représentent les volumes d'oxygène (4, 5, 6 litres) consommés en quinze minutes. Chaque point blanc correspond à une expérience. R, R, R, repas.

Nous y voyons qu'entre les limites comprises entre 14° et 20° , le degré de la température extérieure n'exerce pas une influence bien manifeste sur la consommation de l'oxygène et de la thermogénèse, lorsque l'individu est bien nourri, bien vêtu et qu'il n'éprouve ni sensation marquée de chaleur ni de froid. Au contraire, l'instant de la journée, ou plus exactement les heures qui suivent les repas, sont caractérisés par une marche typique de la consommation respiratoire.

Avant le déjeuner, vers $8 \frac{1}{2}$ heures du matin, j'absorbe en moyenne $4 \frac{1}{2}$ litres d'oxygène en quinze minutes. Les chiffres extrêmes s'éloignent à peine de cette moyenne (4,422 et 4,700 c.c.). Immédiatement après ce premier repas, la courbe qui représente

les volumes d'oxygène consommé de quinze en quinze minutes monte rapidement; elle atteint son maximum vers 10 heures du matin, c'est-à-dire un peu plus d'une heure après la fin du déjeuner. En ce moment, la consommation atteint presque 6 litres (5.990 c.c., moyenne des cinq expériences dont les chiffres varient entre 5.822 et 6.120 c.c.). A partir de ce moment, la courbe descend lentement. Vers 1 heure, c'est-à-dire peu de temps avant le dîner, elle a presque rejoint le niveau de 4.571 c.c. qui constituait son point de départ.

Après le dîner, les expériences ont été moins nombreuses; elles montrent cependant une ascension brusque avec maximum vers 3 heures, où la consommation dépasse 6 1/2 litres, puis descente lente jusqu'au souper.

C'est bien uniquement au travail de la digestion que sont dues les variations diurnes dans la consommation de l'oxygène. Il suffit de supprimer le déjeuner du matin pour constater que chez l'individu à jeun, les phénomènes chimiques de la respiration décroissent lentement pendant toute la matinée, loin de présenter le maximum de 10 heures du matin.

Voici quelques chiffres d'expériences faites le matin à jeun :

Quantités d'oxygène en centimètres cubes consommées pendant quinze minutes à différentes heures de la matinée par l'homme à jeun.

DATES.	PRESSION barométrique réduite à 0°.	TEM- PÉRATURE de l'air.	OXYGÈNE consommé en 15 minutes en cent. cubes à 0° et 760 P.	HEURE de l'expérience.
mai et juin	751.3 765.2	18°	4.571 moyennes de 5 expériences.	vers 8 1/2 heures.
6 mai	753.1	18	4.350	10h à 10h 15m
6 mai	753.1	18	4.481	11h 15m à 11h 30m

Le tableau suivant représente graphiquement les résultats des expériences faites à jeun, comparés à ceux du tableau précédent :

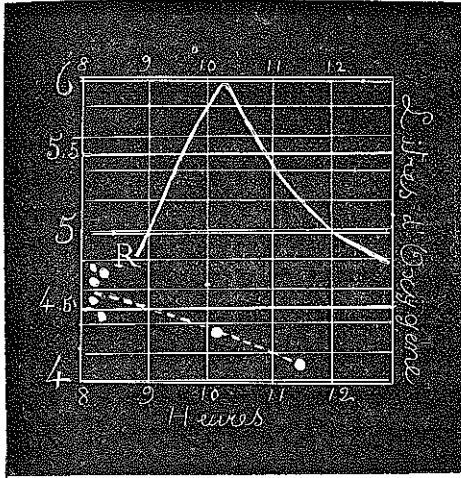


Fig. 7. — Tableau représentant graphiquement les quantités d'oxygène consommées le matin, un jour de jeûne (ligne ponctuée), et celles correspondant à la digestion du premier déjeuner (ligne pleine du tableau, fig. 6).

L'influence des repas est donc considérable sur les phénomènes de combustion organique. Après chaque repas, il y a un véritable gaspillage de combustible, un luxe dans la production de chaleur. Après le dîner, le chiffre de l'oxygène consommé en quinze minutes peut atteindre $6 \frac{1}{2}$ litres. C'est presque une fois et demie le chiffre de $4 \frac{1}{2}$ litres qui correspond aux heures du matin avant le déjeuner. C'est vraisemblablement le travail de sécrétion qui s'accomplit dans toutes les glandes digestives, foie, pancréas, glandes stomacales et intestinales, etc., qui constitue la principale cause de l'excédant de la chaleur produite pendant la digestion. Pour la glande salivaire sous-maxillaire, la relation qui existe entre l'activité sécrétoire et la production de chaleur est prouvée depuis longtemps. Les expériences de Ludwig ont montré que la température de la salive peut dépasser de plus d'un degré celle du sang artériel qui se rend à la glande.

J'ai déjà cité les expériences de Cl. Bernard sur la température du sang des veines sushépatiques pendant la digestion. C'est donc probablement plutôt au travail de la digestion qu'à une action excitante des produits résorbés de celle-ci, qu'il faut attribuer l'augmentation des combustions interstitielles. Quelques expériences de v. Mering et Zuntz (1) peuvent être invoquées à l'appui de cette manière de voir.

Quoi qu'il en soit, nous constatons l'importance des variations diurnes digestives de la thermogénèse. La lutte que l'organisme soutient contre les variations extérieures de la température se complique donc par la nécessité de combattre vigoureusement les causes internes de variations de la température. Celles-ci, loin de constituer un mécanisme favorable à la régulation de la chaleur animale, mettent constamment en danger la constance de celle-ci. L'influence perturbatrice qui tend à échauffer outre mesure le corps pendant la phase de digestion, est compensée heureusement par une accélération de la circulation cutanée, par une dilatation générale des vaisseaux du tégument externe, ce qui permet à l'excédant de chaleur de s'échapper au dehors.

Il est intéressant de comparer la courbe de thermogénèse telle qu'elle ressort de mes expériences, avec la courbe des variations diurnes de la température du corps, que je n'ai pas reproduite ici, attendu qu'on la trouve dans plusieurs traités élémentaires de physiologie. Les deux courbes présentent un trajet assez peu différent; il est probable que la marche de la température est en grande partie influencée par l'action calorifique des repas.

§ X. — Nous possédons à présent une base certaine pour aborder l'étude de l'influence du froid sur les phénomènes chimiques de la respiration de l'homme.

Les expériences faites dans ce but spécial alternaient avec

(1) V. MERING et N. ZUNTZ, *In wiefern beeinflusst Nahrungszufuhr die thierischen Oxydationsprocesse?* (Pflügers Archiv. f. d. ges. Physiologie, XV, p. 654, 1877, Vorl. Mitheilung.)

celles dont j'ai rendu compte. Elles se faisaient également au printemps par des températures moyennes. Je provoquais une sensation générale de froid, plus ou moins marquée, en me dépouillant de mes vêtements quelques minutes avant l'expérience et en restant entièrement nu pendant toute leur durée. La peau soumise sans aucune protection au contact de l'air froid était le siège d'un refroidissement intense, tandis que la température de l'air respiré et toutes les autres circonstances restaient les mêmes que dans la série d'expériences précédemment décrite.

Le tableau suivant donne les chiffres d'oxygène consommé en quinze minutes dans ces conditions, aux différentes heures de la journée. J'ai inscrit chaque fois en regard les chiffres fournis par les expériences faites aux mêmes heures dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire vêtu. Ces derniers chiffres ont naturellement été empruntés aux tableaux graphiques (fig. 6 et 7 fig.). Il résulte de toutes ces expériences que le froid agissant sur la surface cutanée de l'homme augmente manifestement le chiffre de la consommation d'oxygène et par conséquent la production de chaleur. L'effet est jusqu'à un certain point en rapport avec le degré absolu de la température. C'est dans l'expérience où la température de l'air était la plus basse que le chiffre d'oxygène absorbé par l'individu entièrement nu, a dépassé le plus fortement (6 litres 494 au lieu de 5.1 litres) le chiffre normal pour la même heure du jour.

Mais l'impulsion imprimée à la thermogenèse dépend avant tout de l'impression subjective de froid perçue à la suite de l'irritation des nerfs de la peau. Dans les trois expériences faites sur le sujet nu, au plus fort de la digestion, de 10 heures à 10 h. 15 m. du matin (le déjeuner ayant lieu de 8 h. 30 m. à 8 h. 45 m.), la sensation de froid était à peine marquée quoique la température de l'air fût peu élevée (respectivement 15°, 13°,5 et 15°,8). En effet, à ce moment l'organisme était au maximum de la fièvre de digestion : comme il arrive en pareil cas, l'excès de chaleur intérieure produite avait provoqué une dilatation vasculaire générale de la peau. Cette hyperémie cutanée rendait moins sensible l'action

de la basse température extérieure. La sensation de froid, si marquée dans toutes les autres expériences, faisait presque complètement défaut ici. Aussi les chiffres d'oxygène 6244, 6344 et 6142 c. c. dont la moyenne est 6242, ne dépassent-ils que de fort peu le chiffre normal de 5990 c. c. obtenu dans les mêmes circonstances chez l'homme protégé contre le froid par ses habits.

Action du froid sur la thermogénèse. Quantités d'oxygène en c. c. (à 0° et 760^{mm} P) consommé pendant quinze minutes par un sujet dépouillé de ses vêtements.

DATES.	PRESSION.	Température.	HEURE de l'expérience.	Observations.	OXYGÈNE CONSOMMÉ.	
					sujet nu.	sujet habillé.
Expériences à jeun.						
16 juin. .	758.8	14°	9 ^h 15' - 9 ^h 30'	nu depuis 15'	5.574	au lieu de 4.45
10 mai. .	765.2	15.5°	9 25 - 9 40	" 30'	5.238	— 4.4
7 mai. .	763.2	15.5°	12 00 - 12 15	" 45'	5.371	— 4.2
Expériences après la digestion du 1^{er} déjeuner.						
12 mai. .	761.0	15.8°	10 ^h - 10 ^h 15'	nu depuis 30'	6.244	} en moyenne 6.242 au lieu de 5.99
19 mai. .	760.5	13°	10 - 10 15	" 40'	6.341	
18 mai. .	764.4	13.5°	10 - 10 25	" 25'	6.142	
12 mai. .	761.0	15.8°	10 55 - 11 10	" 1 ^h 24'	6.007	— 5.5
24 mars. .	755.3	11°	11 - 11 15	" 5'	6.447	— 5.5
24 mars. .	755.3	11°	11 - 11 40	" 30'	6.494	— 5.1
17 mai. .	766.1	13°	12 30 - 12 45	" 15'	5.774	— 4.9
11 mai. .	764.0	15°	1 - 1 15		5.476	— 4.9

A jeun, au contraire, il y a un certain degré d'anémie de la peau; la surface sensible se refroidit facilement et la sensation de froid atteint rapidement un degré prononcé. Dans ces circonstances, l'action du froid extérieur (expérience à nu) provoque une notable élévation du chiffre d'oxygène, 5 1/2 litres au lieu

de $4 \frac{1}{2}$, par exemple. Il en est de même pendant la période de déclin de la digestion.

Les variations dans l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration contribuent donc chez l'homme à rétablir l'équilibre entre les recettes et les dépenses de chaleur de manière à maintenir la constance de la température.

Les chiffres précédemment cités nous permettent de déterminer l'importance relative de ce facteur. Dans toutes les expériences où le corps était entièrement nu, la sensation de froid était des plus marquées; elle dépassait certainement le froid auquel on peut être exposé dans la vie ordinaire, même en hiver, à l'église où l'on reste parfois immobile pendant longtemps, les pieds sur des dalles froides. Malgré cette action énergique du froid, l'augmentation constante dans la proportion d'oxygène absorbé était cependant peu marquée: elle était bien inférieure à celle qui résulte de la digestion du premier déjeuner. Enfin, pendant la digestion, l'action excitante du froid sur les phénomènes chimiques de la respiration était presque nulle.

A jeun, l'augmentation dans la production de chaleur qui suit l'action d'une basse température est d'ailleurs chez l'homme tout à fait insuffisante à elle seule pour combattre efficacement et compenser les effets funestes du froid. Aussi voit-on baisser progressivement la température interne chez l'individu exposé au refroidissement et restant immobile. C'est donc à d'autres procédés encore que l'organisme de l'homme doit avoir recours s'il veut maintenir sa température constante malgré le froid extérieur. Il faut placer ici en première ligne une alimentation abondante et l'exercice musculaire plus ou moins énergique. Le chauffage des appartements, des vêtements appropriés, etc., peuvent, d'autre part, servir à empêcher le froid extérieur de faire sentir ses effets sur la peau de l'homme.

§ XI. — J'ai complété l'étude de l'influence du froid sur la thermogénèse par quelques expériences faites sur des Lapins à l'aide d'un appareil respiratoire analogue à celui qui m'a servi dans mes recherches sur la respiration de l'homme. Cet appareil,

représenté figure 10, rappelle ceux construits par Pflüger et celui que j'ai décrit et figuré en 1880 (1). C'est en même temps un appareil enregistrant automatiquement la consommation de l'oxygène.

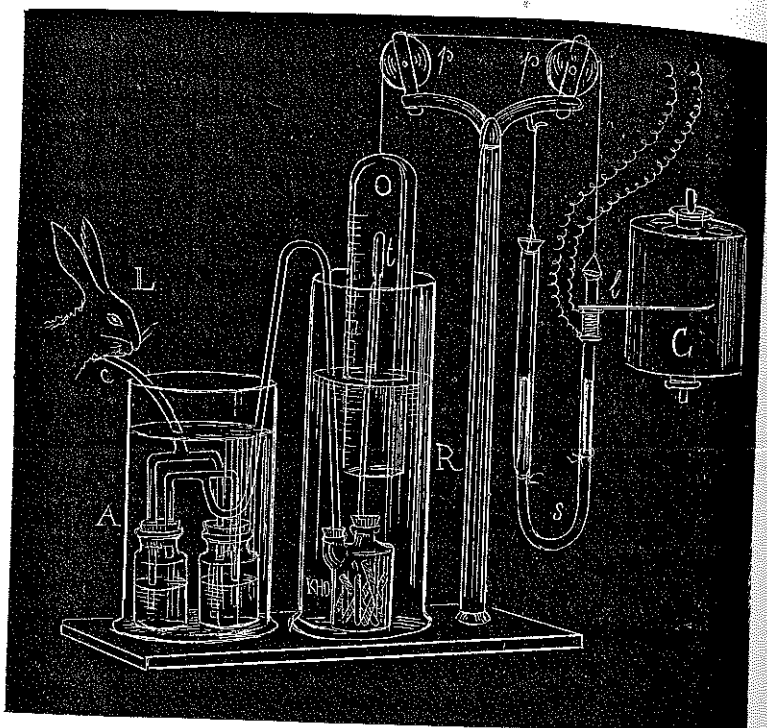


Fig. 8. — Appareil respiratoire pour le Lapin. L'animal respire à travers les flacons laveurs contenus en A et le flacon à potasse solide, KHO, l'oxygène contenu dans la cloche graduée O; *t* thermomètre. La cloche O est équilibrée automatiquement par le contre-poids à siphon S qui porte le signal chronographique *l*. Le cylindre C reçoit la consommation de l'oxygène.

Il se compose : 1° d'un réservoir d'oxygène flottant sur un bain

(1) LÉON FREDERICQ, *La régulation de la température chez les animaux à sang chaud*. (Revue scientifique, 15 mai 1880, p. 4089.)

de chlorure de calcium; 2° d'un contre-poids mobile à écoulement de mercure portant en même temps le style chargé d'inscrire le temps et la consommation de l'oxygène; 3° de l'appareil destiné à absorber l'anhydride carbonique produit; il est intercalé entre les voies respiratoires de l'animal et la cloche d'oxygène.

Le réservoir d'oxygène est une cloche cylindrique en verre O, d'un litre de capacité, portant une graduation gravée de 5 en 5 centimètres cubes. La cloche flotte sur un bain de chlorure de calcium contenu dans un grand cylindre à pied également en verre transparent R. La cloche est soutenue par une corde ou mieux par une chaînette métallique qui, passant sur les poulies mobiles *pp*, va s'accrocher au contre-poids à siphon S.

Le contre-poids à siphon est construit sur le même principe que celui de l'appareil respiratoire pour l'homme. Il se compose d'un tube de verre rempli de mercure, communiquant par une anse de tube en caoutchouc, avec un réservoir, dans lequel le métal se déverse quand le contre-poids monte, d'où il s'écoule quand le contre-poids descend. De cette façon la cloche se trouve exactement équilibrée dans toutes ses positions.

Le contre-poids porte le style *l* chargé d'inscrire sur le cylindre enregistreur C la courbe de la consommation de l'oxygène, indiquée par les variations de niveau de la cloche. A mesure que celle-ci s'enfonce dans le bain de chlorure de calcium, par suite de l'absorption de l'oxygène par l'animal, le contre-poids et le style remontent. Celui-ci trace une spirale sur le cylindre tournant : l'écartement plus ou moins grand des tours de spire correspond à l'intensité plus ou moins grande des combustions respiratoires. Les oscillations dues au mouvement d'inspiration et d'expiration de l'animal rendent cette ligne sinueuse. En outre le style est chargé d'inscrire également le temps : ce style fait partie d'un signal électro-magnétique intercalé dans un circuit de pile relié à l'horloge à secondes du kymographe de Ludwig. Le cadran rotatif de l'horloge ferme le courant et interrompt toutes les 1, 2, 3, 4, 5..... secondes à volonté. Chaque fois que le courant passe, l'électro-aimant du signal électrique attire momentanément le style; celui-ci trace ainsi un crochet toutes les

1....5 secondes. Ces crochets se superposent au graphique de consommation de l'oxygène. Une seule pointe trace ainsi à la fois la courbe du temps et celle de la consommation de l'oxygène sur le papier enfumé du kymographe de Ludwig. Le cylindre est animé d'une vitesse de rotation moyenne. Un fil de verre tendu verticalement assure la permanence du contact du style et de la surface noircie.

Il s'agit après chaque expérience, pour pouvoir utiliser le tracé obtenu, de le diviser en parties correspondant aux traits de la graduation de capacité de la cloche. A cet effet, l'animal ayant été détaché de l'appareil, on place successivement le réservoir d'oxygène aux différents niveaux 0, 100, 200, 300 c. c., etc., en faisant chaque fois faire un tour entier au cylindre enregistreur vis-à-vis de la pointe écrivante. Pour chacune de ces positions 0, 100, 200. . . . c. c., le style trace une ligne horizontale circulaire : on peut de cette façon reporter la graduation de la cloche tout entière sur le graphique.

L'appareil destiné à absorber l'anhydride carbonique produit par la respiration de l'animal se compose de deux petits flacons remplis en partie d'une solution de potasse caustique à travers laquelle barbote l'air respiré par l'animal. Ces flacons sont disposés de façon à servir de soupapes d'inspiration et d'expiration et à ne permettre que le passage de l'air dans une direction déterminée. Dans chacun d'eux le bouchon de caoutchouc qui obture le col est traversé par deux tubes de verre, l'un long, plongeant à une petite profondeur au sein du liquide, l'autre court débouchant au-dessus de ce niveau. Des quatre tubes, deux, un court et un long, venant chacun de l'un des flacons se réunissent en T pour se rendre à la canule trachéale de l'animal. Les deux autres se réunissent également en T pour pénétrer à travers le bain de chlorure de calcium à l'intérieur du réservoir d'oxygène. Sur le trajet de ce dernier, se trouve intercalé un cylindre chargé de bâtons humides de potasse, destinée à absorber les dernières traces d'anhydride carbonique. Le système des flacons à potasse est immergé dans un bain d'eau, le cylindre à potasse solide est, lui aussi, plongé dans le bain de chlorure de calcium, de

manière à noyer tous les joints, autres que le verre, et à éviter les fuites de gaz.

Le gaz respiré par l'animal est toujours à la pression de l'atmosphère : un thermomètre, fixé à l'intérieur de la cloche d'oxygène, en indique la température.

Pour procéder à une expérience, il est nécessaire de trachéotomiser le Lapin et de lui fixer à l'avance une canule dans la trachée. On le relie par un tube de caoutchouc avec l'appareil que je viens de décrire, le cylindre enregistreur étant animé de sa vitesse moyenne. Au bout de 15, 20, 30 minutes on détache l'animal. On s'assure que tout l'anhydride carbonique produit a réellement été absorbé par les potasses pendant l'expérience : à cet effet l'animal est remplacé par un aspirateur à deux flacons que l'on élève et abaisse alternativement. Il ne faut pas que le volume gazeux resté dans la cloche subisse une diminution notable par cette manœuvre de l'aspirateur. Généralement la quantité d'anhydride carbonique restée dans la cloche est tout à fait insignifiante.

L'emploi de la méthode graphique permet d'éliminer une cause d'erreur qui, sans cela, entacherait d'une incertitude de 10 à 20 c. c. en plus ou en moins le début et la fin de chaque expérience. Avec l'appareil décrit précédemment, il devient tout à fait indifférent que l'animal soit à l'état d'inspiration ou d'expiration au moment où on le relie au système des flacons à potasse, et au moment où on le détache. On est libre en effet de prendre comme début de l'expérience, telle ou telle portion du graphique postérieur au moment où l'animal commence à respirer dans la cloche à oxygène. On peut ainsi prendre les mesures sur le graphique, en adoptant arbitrairement pour le début et la fin de l'expérience, telle ou telle phase des mouvements respiratoires, ou mieux encore la position moyenne de la courbe intermédiaire entre l'inspiration et l'expiration.

Pour provoquer chez le Lapin un refroidissement intense de la peau, j'use d'un procédé fort simple qui consiste à l'asperger abondamment d'eau froide (à $+ 13^{\circ}$) après avoir tondu une partie

des poils de la région dorsale. Voici d'ailleurs les chiffres des expériences :

Expérience I. — Lapin de 2116 grammes, consommant 297 c. c. d'oxygène en 10 minutes, soit 1782 c. c. en une heure, ou 842 c. c. par heure et kilogramme d'animal. Après une aspersion d'eau froide, le même Lapin consomme 455 c. c. d'oxygène en 10 minutes, soit 2730 c. c. en une heure, ou 1290 c. c. par heure et kilogramme d'animal.

Expérience II. — Lapin de 2000 grammes environ, consommant 210 c. c. en 10 minutes, soit 1260 c. c. en une heure, ou 630 c. c. par heure et kilogramme d'animal. Après aspersion d'eau froide, la consommation est de 580 c. c. en 10 minutes, soit 2280 en une heure, ou 1140 c. c. par heure et kilogramme d'animal.

Expérience III. — Lapin de 1600 grammes, consommant 400 c. c. en 20 minutes, soit 1200 c. c. en une heure et 750 c. c. par heure et kilogramme d'animal. Après aspersion d'eau froide, la consommation est de 622 c. c. en 20 minutes, soit 1866 c. c. en une heure et 1166 c. c. par heure et kilogramme d'animal.

Expérience IV. — Lapin de 1800 grammes consommant 357 c. c. en 15 minutes, soit 1550 c. c. en une heure, ou 750 c. c. par heure et kilogramme d'animal. Après aspersion d'eau froide, la consommation est de 515 c. c. en 15 minutes, soit 2060 en une heure, ou 1144 par heure et kilogramme d'animal.

Expérience V. — Lapin de 1915 grammes consommant 403 c. c. en 20 minutes, soit 1209 c. c. en une heure, ou 631 c. c. par heure et kilogramme d'animal. Après aspersion d'eau froide, la consommation est de 588 c. c. en 20 minutes, soit 1764 c. c. en une heure, ou 921 c. c. par heure et kilogramme d'animal.

Expérience VI. — Lapin de 2186 grammes consommant 450 c. c. en 20 minutes, soit 1550 c. c. en une heure et 613 c. c. par heure et kilogramme d'animal. Après aspersion d'eau froide, la consommation est de 686 c. c. en 20 minutes, soit 2058 c. c. en une heure et 941 c. c. par heure et kilogramme d'animal.

Le tableau suivant résume ces résultats :

Quantité d'oxygène (en c. c.) consommés par heure et kilo-

gramme d'animal (lapin) avant et après l'aspersion d'eau froide (à 13°), la température de l'air étant d'environ 15°.

Nos d'ordre.	Avant l'aspersion.	Après l'aspersion.
I	842	1290
II	630	1140
III	750	1166
IV	750	1144
V	631	920
VI	613	941
Moyenne	702 c. c.	1100 c. c.

§ XII. — Les nombreuses expériences énumérées précédemment ont mis hors de doute ce fait capital, que la consommation de l'oxygène et la production de l'anhydride carbonique augmentent chez les animaux à sang chaud, lorsque la température extérieure subit un abaissement. Loin de ralentir les combustions interstitielles, le froid excite puissamment cette source de chaleur animale.

Sous ce rapport, les Oiseaux et les Mammifères diffèrent totalement des animaux à sang froid. Parmi ceux-ci, la Grenouille a fréquemment été utilisée pour l'étude de l'action de la température extérieure sur l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration.

Les recherches de Marchand, de Moleschott, de Regnault et Reiset, d'Hugo Schutz et de Pflüger (1) ont surabondamment prouvé que chez la Grenouille l'intensité des combustions interstitielles croît avec l'augmentation de la température, mais plus rapidement que cette dernière. A la température de + 1°, la

(1) HUGO SCHULZ, *Pflüger's Archiv*. XIV, p. 78, 1877.

Grenouille exhale si peu de CO_2 qu'il peut rester un doute sur la question de savoir si elle en produit encore. A 15° on trouve 40 c. c. par heure et par kilogramme d'animal, à 25° , 80 c. c. Vers 33° , l'énergie des combustions interstitielles devient comparable à ce qu'elle est chez l'homme (au delà de 300 c. c. de CO_2 par heure et kilogramme); il est donc probable qu'à $+ 38^\circ$, elle le dépasserait notablement, si l'organisation des animaux à sang froid permettait une réparation aussi rapide que l'exige une telle consommation d'oxygène. En somme, les Grenouilles se comportent, au point de vue des combustions respiratoires, d'une façon tout autre que les animaux à température constante.

Quel est le secret de cette contradiction apparente? Ou bien les tissus présentent, au point de vue de la respiration, des propriétés diamétralement opposées dans ces deux catégories d'animaux, ou bien il existe chez les animaux à sang chaud un mécanisme (nerveux) dont l'action contre-balance, masque les propriétés des tissus.

Examinons d'abord la première hypothèse. Les tissus des animaux à sang chaud isolés, soustraits à l'influence du système nerveux central, se comportent-ils différemment de ceux des animaux à sang froid? Les anciennes expériences de Spallanzani (1), celles plus récentes de Valentin, de Paul Bert, de Regnard permettent de résoudre négativement cette question.

Si l'on place des fragments de muscle, de cerveau, de foie, etc., encore chauds, sous une cloche contenant de l'air ou de l'oxygène, dans un appareil disposé de façon à déterminer le volume d'oxygène disparu et la quantité d'anhydride carbonique produite, il est facile de constater qu'à 0° la respiration des tissus isolés est à peu près nulle, qu'elle augmente d'énergie à mesure que la température ambiante s'élève. La quantité d'oxygène absorbé, celle d'anhydride carbonique exhalé, croît donc avec la température, comme c'est le cas pour les tissus des animaux à sang froid et pour ces animaux pris en entier.

(1) SPALLANZANI, t. I, p. 455 dans Senebier, *Rapports de l'air avec les êtres organisés*, Genève, 1807, 3 vol.

PAUL BERT, *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration*, p. 51.

Il n'est d'ailleurs pas nécessaire d'extraire les tissus du corps pour montrer qu'abandonnés à eux-mêmes, ils sont influencés par la température d'une façon tout autre que l'organisme entier. Si l'on coupe le nerf sciatique et le nerf crural d'un côté chez le Chien ou le Lapin, on soustraira la patte à l'influence du système nerveux central sans altérer sensiblement les autres conditions de la vie des tissus. Or l'action du froid sur un membre ainsi isolé, aura pour effet d'y faire baisser l'intensité des échanges gazeux, comme le montrera la teinte du sang veineux qui en revient. On mettra à nu l'artère et la veine crurale de façon à pouvoir comparer approximativement les proportions d'oxyhémoglobine que renferme le sang dans le vaisseau afférent et dans le vaisseau efférent.

Si l'on a soin de placer la patte dans l'eau chaude, on constatera la teinte foncée, normale du sang de la veine crurale, indiquant une forte proportion d'hémoglobine réduite et par conséquent une notable consommation d'oxygène dans le membre paralysé. A mesure que la température de l'eau baisse, le sang veineux qui revient du membre refroidi, perd sa teinte asphyxique. Si l'on ajoute de la glace, de façon à refroidir fortement les tissus de la patte, le sang de la veine prend la coloration rutilante du sang artériel, nous montrant ainsi que celui-ci, lors de son passage à travers les capillaires, n'a cédé que fort peu d'oxygène aux tissus.

L'influence qu'une élévation ou un abaissement de la température extérieure exerce sur la respiration des tissus vivants, est donc la même, que les tissus soient empruntés à un Chien, un Lapin ou une Grenouille.

Si l'organisme entier des animaux à sang chaud se comporte vis-à-vis du froid tout autrement que celui des animaux à sang froid, c'est qu'il existe chez les premiers un mécanisme spécial, surajouté, dont l'activité parvient à masquer, à contre-balancer l'action directe que le froid exerce sur les tissus isolés. Ce mécanisme réside dans les parties supérieures du système nerveux central, comme l'ont établi les expériences de Pflüger.

§ XIII. — Pflüger supprime l'influence du système nerveux

central sur les tissus (au moins sur le tissu musculaire) en curarisant les Lapins en expérience. Il faut naturellement entretenir la respiration artificielle. Conformément aux prévisions, les Lapins paralysés se transforment en animaux à sang froid, et ce qui concerne l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration. Dans ces nouvelles conditions, la consommation de l'oxygène monte avec la température et décroît quand elle baisse, comme chez la Grenouille. Les Lapins consomment en moyenne 675 c. c. d'oxygène (par kilogramme d'animal et par heure) à la température ordinaire des appartements. Chez l'animal curarisé, ce chiffre tombe à 436 c. c. La consommation de l'oxygène remonte à 523 c. c. dans un bain chaud qui élève la température interne de l'animal curarisé à 39°-41°. Dans une des expériences elle atteint 675 c. c. Chez les animaux refroidis à 33°, le chiffre moyen fut 298,8 c. c. d'oxygène. Ainsi chez le Lapin curarisé, la respiration des tissus est beaucoup moins active que chez l'animal intact; en outre, l'intensité des phénomènes chimiques croît et décroît avec la température.

Il en est de même pour le Lapin chez lequel on a sectionné la moelle épinière entre la région cervicale et la région dorsale de façon à soustraire la majeure partie du corps à l'influence des parties supérieures du système nerveux central. Ici aussi la consommation de l'oxygène est peu élevée, 422,7 c. c. par heure et kilogramme d'animal; ici aussi le chiffre de l'oxygène monte et descend avec la température.

J'ai vérifié chez le Lapin les effets de la section de la moelle épinière sur la quantité d'oxygène consommée :

Expérience. — Lapin de 2640 grammes consommant 494 c. c. d'oxygène en quinze minutes, soit 701 c. c. par heure et kilogramme d'animal. Section de la moelle à la région dorsale supérieure. Immédiatement après, le Lapin consomme 344 c. c. d'oxygène en quinze minutes, soit 521 c. c. par heure et kilogramme d'animal. (Température extérieure + 16°.)

Expérience. — Lapin de 2650 grammes consommant 578 c. c. d'oxygène en quinze minutes, soit 872 c. c. par heure et kilogramme d'animal. Section de la moelle au niveau de la première

vertèbre dorsale. Immédiatement après, le Lapin consomme seulement 150 c. c. d'oxygène en quinze minutes, soit 226 c. c. par heure et kilogramme d'animal.

Expérience. — Lapin de 1722 grammes consommant 591 c. c. d'oxygène en quinze minutes, soit 908 c. c. par heure et kilogramme d'animal. Section de la moelle à la région lombaire. Immédiatement après, le Lapin consomme seulement 249 c. c. d'oxygène en quinze minutes, soit 578 c. c. par heure et kilogramme d'animal.

Je suis donc arrivé à la même conclusion que Pflüger, à savoir que les phénomènes chimiques de la respiration des tissus et la production de chaleur qui en résulte, diminuent considérablement lorsque les tissus et spécialement les muscles sont soustraits à l'influence des parties supérieures du système nerveux central. Il y a donc là des centres nerveux dont l'action tonique entretient (dans les muscles?) par l'intermédiaire des nerfs centrifuges, l'énergie des combustions interstitielles. Il s'agit probablement de centres nerveux situés entre la moelle épinière et le cerveau, c'est-à-dire dans la moelle allongée ou dans la protubérance annulaire. En effet, l'ablation des hémisphères cérébraux (par la section intra-crânienne des pédoncules cérébraux) chez le Lapin, ne diminue pas l'énergie des combustions interstitielles respiratoires d'après Pflüger. Comme les Lapins supportent assez mal cette opération, qu'ils présentent ensuite des variations brusques dans les chiffres de la consommation de l'oxygène, Pflüger n'a pas résolu par l'expérience directe, la question de savoir si l'ablation des hémisphères cérébraux porte atteinte à la régulation de la température par variation dans la production de chaleur.

Les expériences que j'ai faites sur des Pigeons m'ont prouvé qu'on peut impunément enlever chez ces animaux les hémisphères cérébraux sans entraver les centres régulateurs de la température. Les Pigeons supportent fort bien cette opération, comme on sait, et vivent parfois pendant des mois si l'on a soin de les nourrir artificiellement. Leur température rectale présente la même constance que chez les animaux non opérés. J'ai

cru superflu d'instituer de longues recherches sur leur respiration en présence de ce fait suffisamment significatif.

En partant des expériences de Tscheschichin (1), de Bruch et Günther, nous pourrions probablement préciser encore davantage la position des centres de la thermogenèse, et les localiser à la limite entre la protubérance et la moelle allongée, dans la partie supérieure de cette dernière.

Tscheschichin pratiquait chez le Lapin une section transversale, séparant complètement la moelle allongée de la protubérance. L'opération était régulièrement suivie d'une élévation notable de la température. Tscheschichin rapportait les suites de l'opération à la suppression d'un centre hypothétique modérateur de la thermogenèse et situé dans les parties supérieures du système nerveux. Les centres producteurs de la chaleur qu'il localisait dans la moelle épinière se trouvaient, par suite de la section, soustraits à l'influence modératrice que l'encéphale exercerait sur eux dans les circonstances ordinaires.

Lewitzki (2) répéta les expériences de Tscheschichin, mais ne parvint pas à constater l'élévation de la température, après la section précitée. Bientôt Bruck et Günther démontrèrent sous

(1) J. TSCHESCHICHIN, *Zur Lehre von der thierischen Wärme*. (Reichert u. du Bois's Archiv. 1866, p. 451.)

Je crois pouvoir passer sous silence les recherches d'Eulenburg et Landois sur les changements de température qui suivent l'excitation de certaines parties de l'écorce des hémisphères. Il s'agit là probablement d'actions vasomotrices. — Voir EULENBURG u. LANDOIS, *Virchow's Archiv.*, LXVIII, II, p. 245.

P. HIRSCH ROSENTHAL, *Exp. Unters. ü. d. Einfluss des Grosshirns auf die Körperwärme* : Diss., Berlin, 1877.

(2) LEWITZKI, *Virchow's Archiv.*, XLVII, p. 357.

BRUCK et GÜNTHER, *Pflüger's Archiv.*, III, p. 578.

J. SCHREIBER, *Pflüger's Archiv.*, VIII, p. 576. — *Ueber den Einfluss des Gehirns auf die Körpertemperatur*.

NAUNY et QUINCKE, *Reichert u. du Bois's Archiv.*, 1869, p. 174.

FISCHER, *Centralblatt f. d. med. Wiss.*, 1869, n° 17.

BINZ, *Virchow's Archiv.*, XL, p. 182.

la direction de Heidenhain, que l'élévation de la température qui se montre à la suite de l'opération pratiquée par Tschischin est un phénomène non de paralysie, mais d'excitation des centres nerveux lésés par la section. A la suite de simples piqûres de la région située à la limite entre la protubérance et le pont, Bruck et Günther observèrent la même élévation de la température. Cette augmentation de chaleur n'est pas durable, elle disparaît plus au moins complètement au bout d'un certain temps. Si l'animal survit à l'opération, une nouvelle piqûre peut être suivie du même effet. Il ne peut donc être question de centres modérateurs lésés par la section.

Le débat qui s'engagea à la suite de ces expériences entre J. Schreiber, Fischer, Binz, Naunyn et Quincke, von Schroff, sur la question de savoir si la section de la moelle épinière était, oui ou non, suivie d'une élévation de température du corps et si cette élévation de température devait être rapportée à la suppression de centres modérateurs de la thermogénèse, ce débat ne peut que nous intéresser médiocrement. Ces expérimentateurs eurent recours exclusivement à la méthode thermométrique pour apprécier, après la section de la moelle, l'intensité des phénomènes de thermogénèse. C'est là un procédé absolument fautif. Une élévation locale de la température peut ne pas tenir à une augmentation dans la production de la chaleur, et dépendre, au contraire, d'une restriction dans les pertes de chaleur, ou même d'une répartition inégale de la chaleur due à une dilatation ou à une constriction vasculaire. Ne voit-on pas à la suite de la section du sciatique, la température monter immédiatement dans la patte paralysée et pourtant nous savons que le processus de la thermogénèse y est réduit à son minimum.

Les expériences directes de Pflüger, d'Eler (1) sur la respiration des animaux dont on a coupé la moelle, permettent de trancher la question restée indécise à la suite des simples mensurations thermométriques.

(1) ELER, *Ueber das Verhältniss der Kohlensäure-Abgabe zum Wechsel der Körpertemperatur*. Inaug. Dissert., Königsberg, 1875.

Comme je l'ai constaté également, la section de la moelle épinière fait baisser notablement l'intensité des combustions respiratoires qui sont la source de la chaleur animale. On ne peut donc se baser sur l'élévation locale de la température dans certains cas pour admettre que la section de la moelle a provoqué une suractivité de la thermogenèse, qu'elle a émancipé, comme le veulent Naunyn et Quincke, les centres producteurs de chaleur situés dans la moelle, de l'influence modérative que l'encéphale exercerait sur eux.

Les résultats de Tscheschichin doivent être interprétés dans le sens que leur ont donné Bruck et Günther. La piqûre a agi directement sur les centres qui président à la thermogenèse, comme me l'ont prouvé les expériences sur la respiration des Lapins auxquels j'avais pratiqué l'opération en question. Voici comment j'opère : Je note la température rectale chez un certain nombre de Lapins. Sur chacun d'eux je pratique à l'aide de l'instrument de Claude Bernard pour la piqûre diabétique, une ou plusieurs ponctions à travers la paroi crânienne dans le voisinage du tubercule interpariétal et dans la direction voulue, en prenant chaque fois pour guide des préparations de têtes de Lapin sciées en deux (préparations par congélation). Comme dans toutes les expériences où l'on opère à l'aveuglette, les résultats seront des plus variables, à moins de posséder une grande sûreté de main et d'avoir souvent pratiqué l'opération. J'ai sacrifié un certain nombre de Lapins de cette façon, quelques-uns sans résultat. Chez d'autres la piqûre fut faite à la bonne place comme le prouvèrent ultérieurement les résultats de l'autopsie (à la limite du pònt et de la moelle allongée). Je ne poursuivis l'expérience que chez les animaux qui présentaient peu de temps après la lésion, une élévation notable de la température. Je déterminai chez eux le chiffre de la consommation de l'oxygène en les reliant par une canule trachéale avec l'appareil respiratoire enregistreur. Les résultats que j'obtins confirmèrent les prévisions. L'augmentation de la température est bien due, comme l'admettaient Bruck et Günther, à une excitation de la thermogenèse. Il y a augmentation de la consommation de l'oxygène après la piqûre de la partie supérieure de la moelle allongée.

Les centres nerveux accessibles à la piqûre le sont également à l'excitation électrique. Il suffit de pratiquer au moyen d'un très petit trépan deux trous, un de chaque côté du tubercule interpariétal, et d'introduire avec précaution et dans la direction voulue, deux aiguilles d'acier que l'on enfonce jusque dans les os de la base du crâne. On les relie par des fils conducteurs à la bobine secondaire de l'appareil à chariot de du Bois-Reymond. Ne pouvant soumettre les centres de la thermogenèse à l'irritation électrique chez l'homme, je songeai à essayer sur eux l'action d'un excitant auquel d'autres centres nerveux de la moelle allongée, notamment les centres respiratoires, se montrent fort sensibles, je veux parler de l'anhydride carbonique. L'expérience est des plus simples : il suffit de respirer un mélange riche en anhydride carbonique pour provoquer, comme on sait, une accumulation de ce gaz dans le sang. Le cas se présente de lui-même dans quelques-unes de mes expériences où des caisses d'absorption fonctionnaient mal à cause de la mauvaise qualité d'un échantillon de soude employée. L'anhydride carbonique incomplètement absorbé s'accumulait dans l'appareil et provoquait bientôt une dyspnée violente accompagnée de céphalalgie. Pour ne pas être exposé à devoir interrompre l'expérience avant la fin des quinze minutes, pour pouvoir graduer la dose de l'anhydride carbonique et la pousser au besoin jusqu'à la dernière limite supportable, j'ai constamment, dans mon appareil respiratoire, associé une caisse fraîchement remplie de soude et de chaux neuve avec une autre dont la soude s'était usée dans des expériences antérieures. La disposition de ces deux caisses était la même que celle représentée schématiquement figure 1. J'arrivais à produire la dyspnée, à l'aggraver ou à la diminuer en respirant exclusivement à travers la mauvaise caisse d'absorption ou en faisant alterner de temps en temps l'air de la bonne avec celui de la mauvaise caisse. Dans ces conditions j'ai constamment obtenu une augmentation marquée dans le chiffre de l'oxygène consommé. Il me semble assez rationnel d'admettre qu'il s'agit ici d'une action excitante directe

d'un sang riche en CO_2 sur les centres de la thermogénèse (1).
Voici les chiffres de mes expériences :

Quantités d'oxygène (en c. c. à 0° et 760^{mm.}) consommées en 15 minutes, le matin à jeun sous l'influence d'une dyspnée assez intense (action de CO_2).

DATES.	TEM- PÉRATURE.	OXYGÈNE CONSOMMÉ.	
		Dyspnée.	Eupnée.
2 mai.	13°5	5.228	au lieu de 4.500
3 mai.	5.085	au lieu de 4.350
4 mai.	4.940	au lieu de 4.200

La dyspnée par manque d'oxygène (respirer un mélange pauvre en oxygène, en employant deux caisses d'absorption fonctionnant bien) provoque, au contraire, une diminution dans la consommation de l'oxygène.

§ XIV. — Nous avons ainsi fait un premier pas dans l'étude de l'action du froid sur la thermogénèse chez les animaux à sang chaud. Nous sommes arrivé à cette conclusion que le froid excite par l'intermédiaire du système nerveux central les phénomènes de combustion interstitielle, quoique l'action directe du froid sur les tissus tende à produire le résultat opposé. Nous

(1) FRIEDLÄNDER et HERTER, *Zeitschrift f. physiologische Chemie*, II, p. 99 et RAOULT, *Ann. de chim. et phys.*, §, IX, p. 198, 1876, ont étudié l'action qu'une atmosphère riche en CO_2 exerce sur les phénomènes chimiques de la respiration chez le Lapin. Ils ont constamment observé une diminution considérable dans l'énergie des oxydations sous l'influence de CO_2 . Je ne sais comment expliquer la contradiction entre les résultats de ces expériences et les miens. Peut-être est-ce une question de dose. Friedländer et Herter soumettaient leurs Lapins à des mélanges gazeux contenant jusqu'à 77 % de CO_2 .

ous déterminé approximativement l'endroit du système nerveux central où doivent être localisés les centres de la thermogénèse. Il nous reste à examiner par quel mécanisme le froid aggrave l'activité de ces centres.

L'abaissement de la température agit-elle directement sur le cœur ou seulement par l'intermédiaire des nerfs périphériques, les nerfs sensibles de la peau? En d'autres termes, s'agit-il d'une activité automatique ou réflexe de ces centres nerveux? La première alternative est contraire à tout ce que nous savons de la physiologie générale des centres nerveux cérébro-spinaux. Dans tous les cas où l'on a pu étudier l'action d'une élévation de la température sur les fibres et les cellules nerveuses qui les constituent, on a constaté une augmentation de leur excitabilité. Toute diminution de leur température propre entraîne, au contraire, un affaiblissement de leurs propriétés physiologiques. Cependant, le raisonnement basé uniquement sur des analogies peut suffire à résoudre une question accessible à l'expérimentation directe.

J'ai fait sur moi-même un certain nombre d'expériences où je cherchais à influencer la température des parties internes du corps, sans intéresser les nerfs sensibles de la peau. J'atteignais ce résultat par la voie pulmonaire, en échauffant ou en refroidissant énergiquement l'air pendant que je respirais dans l'appareil décrit précédemment et que je mesurais la quantité d'oxygène consommée. A cet effet, j'intercalais un long tube en cuivre (longueur de 1^m,00, diamètre intérieur 0^m,02) entre la boîte d'absorption et l'embouchure à laquelle je tenais les lèvres. Dans une première série d'expériences, le tube fut chauffé au moyen d'une lampe à gaz dont la flamme venait lécher sa partie moyenne. En rapprochant ou en éloignant la lampe de l'embouchure, on gradue la température du courant de l'air respiré, de façon à lui donner le maximum de chaleur compatible avec la respiration de l'expérimentateur.

Dans une autre série d'expériences, le tube de cuivre fut entièrement plongé dans de la glace et du sel; il traversait une plaque gouttière en zinc contenant le mélange réfrigérant;

j'usai également de la voie stomacale en ingérant de petites quantités de glace, pour refroidir les organes internes (1).

Toutes ces expériences prouvèrent que le froid agissant par une autre voie que celle de la peau, diminue l'intensité des combustions respiratoires au lieu de les exagérer. Le chaud augmente, au contraire, le chiffre d'oxygène dans ces conditions.

J'ai également étudié, sur le Lapin cette fois, l'influence d'un refroidissement local, limité au voisinage de la région de la moelle allongée. Voici comment j'opère : L'animal trachéotomisé est relié à l'appareil respiratoire. J'institue une première expérience destinée à fournir un chiffre d'oxygène consommé, devant servir de terme de comparaison. Puis, l'animal est soumis à une réfrigération locale. On lui plonge la nuque ou la tête dans un mélange réfrigérant (glace et sel). Les mouvements respiratoires se ralentissent ou s'arrêtent même. Dans ces conditions l'énergie des combustions interstitielles diminue au lieu d'augmenter.

Expérience. — Lapin de 3 kilogrammes environ, consommant 410 c. c. en dix minutes (2460 en une heure). Après une réfrigération localisée à la tête, la consommation de l'oxygène descend à 255 c. c. en dix minutes (1530 en une heure). Dans une autre expérience sur le même Lapin, la consommation de l'oxygène, après réfrigération locale, était descendue à 290 c. c. en dix minutes, soit 1740 en une heure.

Les changements de température produisent donc des effets tout différents suivant qu'ils agissent sur la peau ou sur les organes internes. L'action stimulante du froid sur la thermogénèse ne s'exerce pas directement sur les centres nerveux de la moelle allongée. C'est bien par l'intermédiaire des nerfs sensibles de la peau que le froid accélère les phénomènes de combustion interstitielle. Il s'agit d'une véritable action réflexe, comme l'admet Pflüger. A ce sujet, j'invoquerai encore une fois les chiffres des expériences faites avec mon appareil sur l'homme

(1) On pourrait facilement instituer des expériences analogues chez un Chien à fistule gastrique. En faisant circuler dans l'estomac un courant d'eau froide ou d'eau chaude, on arriverait à refroidir ou à échauffer l'animal sans agir sur les nerfs sensibles de la peau.

dépouillé de ses vêtements. L'augmentation dans la quantité d'oxygène consommé fut constamment trouvée proportionnelle non au degré du refroidissement, mais à l'intensité de la sensation subjective de froid. Il est intéressant de comparer sous ce rapport les expériences faites à jeun avec celles qui correspondent à la période de digestion. Pendant la digestion, la différence de température entre la peau et le milieu extérieur atteint son maximum. Les vaisseaux cutanés fortement dilatés sont le siège d'une circulation plus active; ils laissent passer une plus grande quantité de sang qui vient incessamment se refroidir au contact de l'air et qui retourne ensuite se mélanger au sang des parties profondes. Les pertes de chaleur subies par la peau doivent être énormes dans ces conditions : cependant cette soustraction énergique de calorique n'a qu'une influence à peine marquée sur la consommation de l'oxygène. En opérant au plus fort de la digestion du déjeuner du matin, de dix heures à dix heures quinze minutes, l'action directe du froid sur la peau dépourvue de tout vêtement et par une température extérieure comprise entre $+ 15^{\circ}$ et $+ 15^{\circ}$, eut pour conséquence de faire monter le chiffre normal de la consommation de l'oxygène de 5,990 c. c. à 6,242 c. c. L'augmentation est d'un peu plus de 4% seulement. C'est que la sensation subjective de froid est à peine marquée, la peau étant rouge et chaude.

A jeun, la perte de chaleur est plus faible par suite de l'anémie plus ou moins prononcée du tégument externe. Les vaisseaux resserrés font obstacle au cours du sang, la peau refroidie cède peu de calorique au milieu ambiant. Par contre, la sensation de froid est des plus vives : elle provoque par voie réflexe la contraction des muscles lisses de la peau et l'érection des poils (chair de poule). Elle provoque également une exagération bien plus marquée des phénomènes chimiques de la respiration. Dans les expériences citées précédemment, l'augmentation atteignait 20% — de $4 \frac{1}{2}$ litres, le chiffre de la consommation de l'oxygène montait à $5 \frac{1}{2}$ litres.

C'est donc en agissant sur les terminaisons cutanées des nerfs sensibles que le froid stimule par voie réflexe la production de

chaleur dans l'organisme des animaux à température constante. Si nous cherchons à déterminer quels sont les organes qui deviennent spécialement dans ce cas le siège d'une exagération des combustions interstitielles, nous sommes conduit à admettre que les muscles jouent ici le premier rôle comme appareils de chauffage de l'organisme. A la fonction de motilité qu'ils possèdent dans toute la série animale, viendrait s'en ajouter une nouvelle chez les animaux à sang chaud : ce seraient les foyers chargés d'entretenir la chaleur animale.

Un certain nombre de faits bien constatés peuvent être invoqués à l'appui de cette manière de voir. D'une part les muscles constituent la plus grande masse de nos organes, de l'autre, le tissu musculaire est celui où les combustions interstitielles sont les plus actives. Je citerai à l'appui de cette assertion le tableau suivant emprunté à Paul Bert, et les réflexions dont Claude Bernard les accompagne (1).

Des tissus enlevés à un cadavre de Chien, aussitôt après que l'animal a été sacrifié, sont placés dans des éprouvettes pleines d'air et disposées de la manière la plus favorable aux échanges gazeux. Au bout d'un même temps, l'analyse des gaz contenus dans ces éprouvettes montre que :

100 gr. de muscle	ont absorbé 50.8 d'oxygène	et exhalé 56.8 d'acide carbonique.		
100 gr. de cerveau	— 45.8	—	42.8	—
100 gr. de rein	— 57.0	—	15.6	—
100 gr. de rate	— 27.5	—	15.4	—
100 gr. de testicule	— 18.5	—	27.5	—
100 gr. d'os et moelle	— 17.2	—	8.1	—

« Dans une série d'expériences de ce genre, cette hiérarchie descendante, quant à l'intensité de l'absorption d'oxygène par les divers tissus, ne s'est jamais démentie, quelle que fût la durée de l'expérience. »

Ce qui prouve, d'ailleurs, qu'en dehors de la digestion, c'est

(1) PAUL BERT, *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration*, 1870, p. 46.

CLAUDE BERNARD, *Leçons sur la chaleur animale*. Paris, 1876, p. 145.

Les muscles que se passe la majeure partie des phénomènes de contraction dont l'organisme est le siège, c'est que la paralysie des muscles du squelette par le curare est suivie d'une diminution de près de moitié de la quantité d'oxygène consommé et de l'anhydride carbonique exhalé. La section de la moelle, nous l'avons vu, produit le même effet. Des expériences directes ont également prouvé que dans les muscles, même au repos, les moteurs exercent une action tonique continue qui se traduit par une consommation d'oxygène et une production d'anhydride carbonique, infiniment supérieure à celle fournie par un muscle paralysé, dont le nerf est coupé. C'est ce que les analyses du sang de Claude Bernard ont nettement établi pour la première fois. Il recueillait isolément le sang de l'artère et de la veine du muscle droit antérieur de la cuisse sur un Chien vivant. L'analyse des gaz était réalisée par le procédé consistant à déplacer l'oxygène du sang par l'oxyde de carbone. Quoique le procédé n'est pas exact, les chiffres fournis sont sans doute comparables aux autres. Voici les chiffres :

Première expérience.

	Oxygène pour 100 c. c. de sang.	Acide carbonique. pour 100 c. c. de sang.
Artériel du muscle	7.81	0.84
Veineux { État de paralysie, nerf coupé.	7.20	0.50
{ État de repos	5.00	2.50
{ État de contraction	4.28	2.40

Deuxième expérience.

Artériel du muscle	9.31	0.00
Veineux { État de repos	8.21	2.01
{ État de contraction	3.21	3.21

Vous voyez, d'après le tableau qui précède, que le sang, au moment où il pénètre dans le muscle, contient en oxygène 7.81 % dans la première expérience et 9.31 % dans la seconde. Lorsque le muscle est au repos normal, et que, son nerf n'étant pas coupé, il est encore sous l'influence statique du système nerveux, nous voyons que l'oxygène a notablement diminué

dans le sang qui a traversé ce muscle : il est tombé à 5 % dans la première expérience, à 8.21 % dans la seconde.

» Après la section du nerf, le muscle étant paralysé, il y a eu très peu d'oxygène consommé, et nous avons comme résultat pour l'analyse du sang veineux :

Oxygène	7.20
Acide carbonique	0.50

» Nous voyons ainsi qu'il y a une différence notable entre le repos et la paralysie du muscle. La respiration élémentaire est presque nulle dans le muscle paralysé. La consommation d'oxygène est de 11 centièmes; la teneur en acide carbonique a également diminué.

» Dans l'état de repos normal ou fonctionnel, la consommation de l'oxygène est presque du tiers de la quantité totale : la proportion d'acide carbonique est devenue considérable : elle est cinq fois plus grande que dans le sang artériel qui n'a point encore traversé le muscle. C'est que le repos du muscle n'est pas un état d'inertie, d'inactivité totale. La fibre élémentaire n'est pas dans le relâchement complet, comme cela a lieu après la section du nerf. L'action nerveuse la maintient, au contraire, dans un état de demi-activité, de demi-contraction qu'on a appelé état tonique ou tonus.

» Il faut donc se garder de confondre le repos et la paralysie. Dans le repos, il y a une certaine tension active; dans la paralysie, l'anéantissement est complet (1). »

L'augmentation réflexe dans l'activité calorifique dont le muscle est le siège, se traduit par une sensation subjective de tension spéciale. Lorsque le corps est exposé au froid, on ressent un certain degré de raideur dans tous les muscles du corps, spécialement dans ceux des membres. J'ai parfaitement constaté cette raideur dans les expériences où je séjournais sans vêtement dans un local froid; j'ai pu constater qu'elle se liait inti-

(1) CLAUDE BERNARD, *Leçons sur la chaleur animale*, pp. 147-148. Paris, 1876.

ement au tremblement involontaire qui survient par voie réflexe lorsque l'action du froid est poussée plus loin. La tension augmente et finit par se transformer en un tremblement intermittent.

En résumé, l'organisme de l'homme et des animaux à sang chaud lutte contre le froid en augmentant l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration qui sont la source de la chaleur animale. Ce mode de régulation de la température présente une importance très inégale chez les différentes espèces animales. Chez l'homme, l'action du froid sur la thermogénèse est moins importante que chez les Mammifères de petite taille. L'influence des repas, de l'exercice musculaire l'emportent de beaucoup chez lui sur celle d'une basse température.

L'action excitante du froid s'exerce par l'intermédiaire des nerfs sensibles de la peau, sur des centres nerveux situés vraisemblablement dans la partie supérieure de la moelle allongée. Ces centres réagissent en provoquant par les nerfs centrifuges une exagération des phénomènes de combustion interstitielle, surtout dans les muscles.

C'est donc par l'intermédiaire de la peau et d'un mécanisme nerveux réflexe que le froid provoque une exagération compensatrice de la thermogénèse.

Si, nous plaçant au point de vue de la théorie de l'évolution, nous cherchons à déterminer de quelle façon un tel mécanisme réflexe a pu se développer dans la série des Vertébrés, nous en sommes réduit à des conjectures plus ou moins vraisemblables. Je citerai à ce sujet le passage suivant emprunté à Pflüger, qui est intéressant à plus d'un titre (1) :

« So wagt mit der Wärme das Leben auf und ab — auf zur Lust und abwärts zu Stumpfsinn und Erstarrung. Zum Vortheil der Thierwelt hat sich aber allmählig das Gefühl der Lust und Unlust in den Dienst der natürlichen Züchtung gestellt. Denn alle Varietäten, deren Lustgefühl durch Schädlichkeiten erregt wurde, mussten eliminiert werden, weil das Thier auch die Schäd-

(1) PFLÜGER, *Ueber Wärme und Oxydation der lebendigen Materie*, p. 374.

liche Lust aufsucht. Darum ist das dem Thiere Angenehme auch zugleich das Nützliche geworden. Bethätigung allzeit schlagfertiger energischer Leistung der Organe ist dem Individuum unzweifelhaft im Kampf um das Dasein von Belang und darum angenehm. Diese nie fehlende Schlagfertigkeit und höhere Kraftentwicklung ist nur möglich bei dauernd höherer Temperatur der Organe, die deshalb merkwürdiger Weise bei Vögeln und Säugethiere schon im normalen Zustande einen oberen Werth erreicht, der ohne erhebliche Gefährdung der Gesundheit nicht weiter gesteigert werden kann, da ja eine Zunahme der inneren Temperatur um nur wenige Grade den sicheren Tod zur Folge hat. — Das Thier muss sich nun viel weniger vertheidigen gegen die zu hohe Temperatur der Umgebung, die fast immer beträchtlich niedriger als die des Blutes ist, als vielmehr gegen die Abkühlung — die Kälte.

Sobald nun die ersten Ahnen der Säugethiere und Vögel, also die der höchststehenden und intelligentesten Geschöpfe entstanden waren, die im Sommer in warmen Klimaten oder in Höhlen (Ratten) wegen der dann hohen Temperatur ihres Körpers eines energischen Lebens sich erfreuten, mussten sie allmählich bemerken, dass in Folge stärkerer Muskelbewegung das Unbehagen verschwinde, welches beginnender Frost erzeugt. So machte die Kälte sie instinktiv beweglicher, zwang sie schon beim Stehen oder Sitzen zur strafferen Haltung des Körpers d. h. zur Innervation der gesammten Musculatur. Indem sie so unaufhörlich dem Bedürfniss entsprechend die bald straffere, bald weniger straffe Haltung annahmen, vollzog sich durch Gewöhnung die Association motorischer Innervation von selbst mit dem Gefühl der Kälte. So sitzt der schlafende Vogel oder steht auf einem Beine; so stehen schlafende Pferde und behaupten das Gleichgewicht. Bewegungen und Muskelinnervationen, die eigentlich willkürliche sind, werden durch lange Gewöhnung schliesslich sogar im Schlafe und im Wachen scheinbar ohne jedes Bewusstsein, vielleicht mit nur einer Spur von Bewusstsein ausgeübt. »

CHAPITRE III.

LUTTE CONTRE LE FROID PAR DIMINUTION DANS LES PERTES
DE CHALEUR.

du corps. La température de la peau s'abaisse et les pertes de chaleur par rayonnement et par contact sont considérablement réduites.

des nerfs vaso-moteurs. — Tonus vasculaire entretenu par les nerfs vaso-constrictifs. Centres nerveux médullaires (et centres périphériques) dominés par le centre de moelle allongée. Nerfs vaso-dilatateurs antagonistes des précédents, assimilés aux nerfs vaso-constrictifs.

hypothèses sur l'action du froid. — 4° On peut supposer une action automatique des centres vaso-constrictifs excités directement par un abaissement de leur température propre. Improbabilité d'une telle action. L'application brusque du froid extérieur provoque, au contraire, passagèrement la température interne.

action réflexe. — Expériences probantes démontrant qu'il s'agit d'une action réflexe ayant son point de départ dans l'irritation des nerfs sensibles de la peau sous l'influence du froid. Action symétrique bilatérale.

action directe du froid sur les fibres lisses des vaisseaux ou sur les centres périphériques. — Expériences de Lewaschew. Autres expériences prouvant que dans certains cas le froid peut agir directement sur les vaisseaux sans qu'il y ait intervention du système nerveux central.

action générale sur l'action du froid. — Le froid appliqué sur la peau agit comme stimulus sur les centres nerveux régulateurs de la chaleur animale, par l'intermédiaire des nerfs sensibles de la peau; il provoque par voie réflexe une exagération dans la production de chaleur et une diminution dans les pertes de chaleur. Il agit aussi directement sur la peau pour resserrer les vaisseaux et diminuer ainsi les pertes de chaleur. L'action du froid sur les organes internes est nuisible à la régulation de la température.

XV. — Tous les physiologistes actuels considèrent, à juste titre, les conditions de la circulation dans la peau et le tissu conjonctif sous-cutané comme l'un des principaux régulateurs de la chaleur animale.

Dans nos climats, l'homme vit ordinairement dans un milieu où la température est notablement inférieure à la sienne propre. Il perd donc constamment par rayonnement et par conduction une quantité de chaleur considérable. La proportion de chaleur ainsi dépensée dépend, en grande partie, du degré d'activité de la circulation cutanée.

La peau est formée de tissus où les phénomènes de combustion cellulaire sont extrêmement peu marqués. Sa chaleur propre

n'est pas formée sur place : elle lui est surtout apportée par la circulation. Lorsque les vaisseaux cutanés sont dilatés, que la circulation y est active, la quantité de sang qui traverse la peau est considérable. La température du tégument externe s'élève alors ; mais en même temps s'accroissent les pertes de chaleur par rayonnement et par contact. Ces pertes de chaleur sont, en effet, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelles à la différence de température qui existe entre la surface de la peau qui rayonne, et le milieu dont elle est environnée. Lorsque les vaisseaux cutanés sont dilatés, que la peau est rouge et chaude, une grande masse de sang vient constamment se refroidir au contact du milieu extérieur, et retourne ensuite se mélanger au sang des organes internes et concourt à y faire baisser la température. L'organisme est alors comparable à un appartement chauffé dont on aurait ouvert les fenêtres : l'air chaud de l'intérieur y est remplacé par l'air froid venu du dehors. L'intérieur de l'appartement se refroidit au profit du dehors.

Or, cette dilatation des vaisseaux de toute l'étendue du tégument externe se produit précisément quand l'organisme est placé dans un milieu dont la température est relativement élevée. L'accélération de la circulation cutanée empêche le calorique formé dans le corps de s'y accumuler, et en débarrasse l'organisme par un rayonnement plus intense. Le chaud active donc la circulation cutanée, porte le sang et la chaleur à la périphérie et tend à refroidir, au contraire, l'intérieur du corps.

Quand la température extérieure s'abaisse, les phénomènes inverses se produisent. On voit pâlir toute l'étendue du tégument externe. Les vaisseaux de la peau se resserrent et opposent un obstacle énergique à la circulation cutanée. La quantité de sang qui circule dans la peau et qui vient s'y refroidir au contact de la surface, a donc notablement diminué. Les veines ne ramènent plus de la périphérie du corps qu'une faible proportion de sang refroidi. Ce sang, se mélangeant ensuite avec celui des organes internes, n'y détermine, en raison de sa faible quantité, qu'un abaissement de température insignifiant, comparé à celui produit

les conditions ordinaires par le sang qui revient des mêmes eaux cutanés.

Le sang se retire donc en grande partie de la surface du corps, trouve séparé, protégé par la peau, espèce d'écran mauvais conducteur qui vient s'interposer entre lui et le froid extérieur. D'autre part, la peau cessant de se réchauffer, tend à se mettre en équilibre de chaleur avec l'extérieur; sa température s'abaisse et les pertes de chaleur qu'elle subit par rayonnement doivent varier en proportion.

Le froid a donc pour effet de restreindre la circulation cutanée, de maintenir le sang à l'intérieur du corps, d'élever parfois la température centrale, tout en l'abaissant à la périphérie. Le mécanisme par lequel l'organisme lutte ainsi contre le froid et cherche à rétablir la balance entre les recettes et les dépenses de chaleur, en diminuant ces dernières, ce mécanisme réside dans le tonus musculaire des petits vaisseaux de la peau et dans les nerfs qui en règlent la contraction.

XVI. — Exposons brièvement les faits et les interprétations plus généralement admises en prenant pour guide les recherches des nombreux physiologistes qui depuis Claude Bernard et Brown Sequard ont étudié cette question comme suit :

Nerfs vaso-constricteurs. — Le resserrement des vaisseaux se produit sous l'influence de la contraction des fibres musculaires lisses disposées annulairement dans la tunique moyenne des petits vaisseaux. Ces fibres musculaires sont d'une façon constante dans un état de contraction plus ou moins prononcé (tonus vasculaire).

Le tonus vasculaire est entretenu ou tout au moins peut être augmenté par l'action des nerfs auxquels on a donné le nom de nerfs moteurs ou vaso-constricteurs. Ce sont les nerfs moteurs des muscles lisses des vaisseaux. L'excitation de leur bout périphérique est suivie d'une contraction énergique des vaisseaux auxquels ils se distribuent. Un des plus beaux exemples de nerf

de ce genre, et le plus anciennement connu, nous est fourni par les fibres nerveuses contenues dans le cordon cervical du grand sympathique, qui se distribuent aux petites artères de l'oreille, de la face et de plusieurs autres régions de la tête. L'excitation du bout céphalique du grand sympathique provoque une constriction vasculaire générale dans les régions correspondant à sa distribution. Les vaisseaux s'effacent, les tissus se décolorent et leur température baisse considérablement. Le pavillon de l'oreille pâlit et devient froid.

Le splanchnique tient pareillement sous sa dépendance la contractilité vasculaire de l'intestin et de la plus grande masse des viscères abdominaux. Les vaisseaux de chaque région du corps reçoivent ainsi des fibres nerveuses qui sont censées présider à leur contractilité tonique.

Ces fibres ne constituent jamais des nerfs séparés, elles se joignent à d'autres fibres à fonctions entièrement différentes et contribuent ainsi à former quelques nerfs crâniens, les filets nerveux appartenant au grand sympathique ou les nerfs mixtes cérébro-spinaux.

Elles semblent toutes émaner d'une région limitée de la moelle allongée, le centre vaso-moteur de Ludwig.

Ce centre tient sous sa dépendance la contractilité de tous les vaisseaux du corps et, par leur intermédiaire, règle la vitesse d'écoulement du sang à travers les extrémités du système vasculaire artériel. L'excitation du centre des vaso-moteurs par un stimulant physiologique, la vénosité exagérée du sang qui le baigne (dans la dyspnée, au début de l'asphyxie) ou par un stimulant artificiel (des chocs d'induction) provoque une constriction générale des petites artères, une accumulation du sang dans le système artériel et une hausse considérable de la pression artérielle. C'est à une action rythmée de ce centre que sont dues les oscillations de la pression sanguine connues sous le nom de courbes de Traube-Hering.

La paralysie de ce centre amène un relâchement vasculaire général accompagné d'une baisse énorme de la pression sanguine. La suppression des connexions nerveuses entre les muscles des

et ce centre amène les mêmes conséquences de paralysie nerveuse. C'est ainsi que la section du grand sympathique dans l'expérience de Claude Bernard, tant de fois répétée, est suivie d'une dilatation vasculaire générale et d'une élévation de la température partout où son excitation provoque un resserrement vasculaire.

D'après des recherches récentes parmi lesquelles il faut citer en premier lieu celles de Goltz et de ses élèves, il existerait dans le système épinière une série de centres vaso-moteurs, plus ou moins subordonnés à l'hégémonie de celui de la moelle allongée, capables d'entretenir le tonus vasculaire en l'absence du centre central.

Ces centres périphériques seraient situés dans la paroi des vaisseaux et tiendraient également en partie le tonus vasculaire sous leur dépendance. L'action des nerfs vaso-constricteurs ne s'exercerait pas directement sur les muscles lisses des vaisseaux, mais bien par l'intermédiaire de ces centres périphériques. Ceux-ci, même séparés complètement de leurs connexions avec le système nerveux cérébro-spinal, pourraient exercer une partie des fonctions vaso-motrices de celui-ci et en suppléer plus ou moins.

L'étude histologique de la paroi vasculaire n'y a pas démontré d'une façon suffisamment probante l'existence de cellules contractiles : les fibres nerveuses s'y distribuent en formant plexus.

Nerfs vaso-dilatateurs. — A côté de la dilatation vasculaire provoquée, due à la suppression de l'action des vaso-constricteurs, il faut en placer une autre, active celle-ci et beaucoup plus énergique, provoquée par des nerfs antagonistes des premiers. Les plus anciennement connus de nerfs dilatateurs sont le nerf de la corde du tympan pour les vaisseaux de la glande salivaire et les nerfs érecteurs pour ceux du pénis. L'excitation de ces nerfs provoque le relâchement de la tunique contractile des vaisseaux auxquels ils se distribuent. Les recherches de Goltz et de ses successeurs ont singulièrement élargi le

domaine des nerfs vaso-dilatateurs. Goltz a montré que ces nerfs étaient répandus dans toute l'économie. Les nerfs mixtes des membres contiennent à la fois des fibres vaso-motrices et des fibres vaso-dilatatrices. Ainsi s'explique la variété dans les effets vasculaires que provoque l'excitation du bout périphérique du nerf sciatique et des autres nerfs des membres. C'est tantôt la constriction vasculaire, plus souvent la dilatation qui prédomine suivant les circonstances.

Goltz a montré que la dilatation vasculaire qui suit la section de certains nerfs, du sciatique notamment, ne correspond pas toujours à une paralysie des vaso-constricteurs (comme c'est le cas pour le sympathique cervical). Il s'agit souvent d'une dilatation active due à l'excitation des fibres dilatatrices par l'action mécanique, irritante de la section du nerf, action qui persiste longtemps après la section.

Si l'on admet les centres nerveux périphériques situés dans la tunique vasculaire, les vaso-constricteurs seront les nerfs excitateurs de ces centres, les vaso-dilatateurs en seront les nerfs arrestateurs. L'action des vaso-dilatateurs sur les vaisseaux a fréquemment été rapprochée de l'action d'arrêt que le pneumogastrique exerce sur le cœur. Cette dernière s'exerce également par l'intermédiaire de ganglions nerveux intra-cardiaques.

C'est là, je pense, le schéma le plus généralement adopté concernant l'action du système nerveux sur les changements de calibre des petites artères : fibres vaso-motrices et vaso-dilatatrices agissant d'une façon antagoniste directement sur la tunique musculaire des artères, ou par l'intermédiaire de centres nerveux périphériques ; centres vaso-constricteurs médullaires soumis à l'hégémonie du centre principal de la moelle allongée ; centres vaso-dilatateurs médullaires ou autres à situation mal définie.

L'action de la température sur cet appareil musculo-nerveux n'a jamais fait l'objet de recherches suivies. C'est à peine si l'on trouve çà et là quelques indications, quelques expériences isolées que l'on puisse utiliser ici.

Un travail récent, fort bien fait, et qui ne comprend moins de 163 pages grand in-8° à texte compacte, J. Rosen-) a exposé *in extenso* l'état de nos connaissances sur la r animale et sa régulation. Les effets physiologiques qui t l'application du froid sur la peau, y sont exposés en Leur signification au point de vue de la régulation température, y est appréciée avec sagacité. C'est un complet et des plus consciencieux au point de vue de rique de la question et de la bibliographie. La question écanisme par lequel le froid met en jeu la contractilité aire, cette question importante entre toutes, non seu- t n'y est pas traitée, mais elle n'y est pas même indiquée. e Bernard, dans ses *Leçons sur la chaleur animale* (1876), n, dans ses *Leçons sur l'appareil vasomoteur* (1875), ne citer que les auteurs les plus récents, ne sont guère explicites.

VII. — *A priori*, on peut concevoir trois possibilités sur n dont le froid amène la contraction vasculaire et l'anémie guments. Étant donnés l'appareil musculaire et l'appareil ux qui président à la contractilité vasculaire, nous avons à ner les trois cas suivants :

Activité automatique des centres vaso-constricteurs, réglée température du sang et des organes internes.

peut supposer, en premier lieu, que le froid porte primiti- t son action sur le sang; il abaisse la température du e nourricier. Le contact avec un sang refroidi agirait e stimulus sur les centres nerveux vaso-moteurs, d'où l'impulsion qui provoque le rétrécissement des vaisseaux eau.

ROSENTHAL, *Die Physiologie der thierischen Wärme*, pp. 287-452; grand *Handbuch der Physiologie*, publié par L. Hermann, Bd IV, 1, 1882.

2° *Activité réflexe des centres vaso-constricteurs, réglée par la température des nerfs sensibles de la peau.*

Le froid agit à la périphérie sur les terminaisons cutanées des nerfs sensibles. L'excitation de ces derniers, transmise aux centres vaso-moteurs, y provoquerait le réflexe vaso-constricteur.

3° *Activité (automatique ?) soit des centres vasculaires périphériques, soit des muscles lisses des artères, réglée directement par la température de la peau qui les contient.*

Nous aurons à examiner si l'action du froid constitue un stimulant direct pour les centres nerveux hypothétiques que l'on a placés dans la paroi vasculaire, ou pour les fibres lisses de leur tunique musculaire.

Passons successivement en revue les trois hypothèses émises précédemment en commençant par la première, celle qui suppose une action automatique des centres vaso-constricteurs, réglée par la température du sang. D'une façon générale, nous savons qu'un abaissement de la température, loin d'agir comme un stimulus, déprime l'excitabilité de tous les centres nerveux. La chaleur, au contraire, exalte leurs propriétés physiologiques. Il est donc *a priori* fort improbable que les changements de température agissent d'une façon diamétralement opposée sur les centres des vaso-constricteurs et que le refroidissement exagère leur activité.

Mais nous n'en sommes pas réduits à discuter ici de simples conjectures. L'expérience directe démontre que l'application extérieure du froid provoque la constriction vasculaire sans qu'il y ait au préalable abaissement de la température interne. Le premier effet de l'immersion dans un bain froid ou de l'exposition de la peau à un rayonnement énergétique n'est en aucune façon une diminution de la température interne du corps. Le plus souvent, on constate une légère augmentation de la température interne (prise à l'aisselle, sous la langue ou dans le rectum) due sans aucun doute au refoulement du sang vers les organes internes. Si l'action du froid se prolonge, la température interne finira également par s'abaisser.

A l'appui de cette assertion, j'invoquerai les résultats de mes propres expériences de bains froids, puis ceux publiés par plusieurs autres médecins ou physiologistes. L'élévation passagère de la température interne qui survient au début de l'immersion dans l'eau froide avait été notée dès la fin du siècle passé par Currie (1), le promoteur du traitement par l'eau froide. Liebermeister, Riegel constatèrent plus récemment le même fait. Hoppe avait fait antérieurement quelques expériences sur le Chien : il avait observé que l'aspersion de l'animal au moyen de l'eau froide faisait monter la colonne mercurielle du thermomètre placé dans le rectum.

Nous avons d'autres preuves encore qu'il s'agit d'une action périphérique du froid sur la peau et non sur les centres nerveux.

Comme nous allons le voir, la constriction vasculaire peut ne pas être générale. Quand l'application du froid est limitée à une partie du corps, le rétrécissement des vaisseaux et l'anémie sont également limités à la surface refroidie et à son homologue de l'autre côté du corps. Dans ce cas il ne peut être question évidemment d'un refroidissement du sang comme cause de l'anémie localisée.

§ XVIII. — Ces faits parlent, au contraire, hautement en faveur de la seconde hypothèse, celle de l'action réflexe consécutive à l'impression du froid sur les nerfs sensibles de la peau.

Je coupe les poils aux pattes postérieures chez un Lapin blanc de façon à apprécier à la vue les changements dans la vascularisation de la peau. Je constate alors que je puis à volonté faire pâlir les pattes en les plongeant dans l'eau froide (eau à + 13°) ou les faire rougir par le contact de l'eau chaude

(1) J. CURRIE, *Ueber die Wirkungen des kalten und warmen Wassers als eines Heilmittels im Fieber*. Traduction Michaelis, 1801.

LIEBERMEISTER, *Deutsche Klinik*, 1859.

FÉLIX HOPPE, *Archiv. f. patholog. Anatom.*, XI, p. 453, 1857.

(38°-42°). Les pattes antérieures peuvent dans ce cas servir de terme de comparaison. Si l'on a à sa disposition un jeune Chien blanc à pulpes plantaires des pattes dépourvues de pigment, l'expérience se fera encore plus aisément, et les résultats seront tout aussi probants. Il suffit de couper le sciatique d'un côté pour supprimer l'influence de la température extérieure sur la patte opérée. Elle ne présente plus les changements de teinte qui persistent dans la patte saine. Les vaisseaux ont perdu leur mobilité dans la première; ils restent dilatés d'une façon permanente pendant les heures qui suivent l'opération.

Il s'agit ici sans aucun doute d'une action réflexe. Le froid excite les nerfs sensibles, ceux-ci transmettent l'excitation aux centres vaso-constricteurs qui réagissent en provoquant par voie réflexe la contraction de la tunique musculaire des petits vaisseaux. Mais la pâleur, l'anémie des téguments n'est pas limitée à la région refroidie : lorsque les sciatiques sont intacts, elle se montre également dans la région symétrique. Si l'on soumet une des pattes au froid, on les voit pâlir toutes deux.

C'est sans doute à cause de cette association d'innervation, de cette action vaso-motrice bilatérale, que l'on ne réussit pas à mettre en évidence l'influence de la température quand on plonge une patte dans l'eau froide et l'autre, la patte homologue, dans l'eau chaude. Il faut successivement plonger en même temps les deux pattes dans l'eau chaude, puis dans l'eau froide. On peut aussi soumettre à la fois les deux pattes antérieures à l'action de la chaleur, les deux pattes postérieures à celle du froid. La pâleur de ces dernières contrastera avec la rougeur des pattes antérieures.

Une expérience analogue que l'on peut faire sur l'homme est connue depuis longtemps. William Edwards, plongeant la main gauche dans de l'eau à 0° tandis que la droite était fermée sur le réservoir d'un thermomètre, constatait que la main non immergée accusait une diminution de température pouvant aller jusqu'à 5°R. Il croyait à un refroidissement de la masse du

Tholozan et Brown-Sequard (1) reprirent l'expérience d'Ed-
ils montrèrent qu'il ne s'agit pas d'un abaissement de la
température du sang. Dans la bouche, la température s'abaisse
à peine sensible, elle s'élève parfois. Ils trouvè-
rent pour l'extrémité inférieure, l'action réflexe sur les vais-
sanguins a lieu également sur les parties homologues.
L'application du froid sur les nerfs sensibles du pied droit, pro-
voque un resserrement vasculaire des deux pieds, d'où chute de
température dans le pied qui n'est pas plongé dans l'eau

Van der Becke Callenfels (2) constata également une associa-
tion latérale de l'innervation réflexe des vaisseaux de l'oreille
chez le Lapin. Jacobson et Landre (3) insistèrent spécialement
sur le rôle important que jouent les changements dans la
température du pavillon de l'oreille chez cet animal, au point
de vue de la régulation de la température. Si l'on coupe le
grand sympathique d'un côté, l'augmentation dans les pertes de cha-
leur par rayonnement, etc., qui en résulte suffit pour faire
augmenter la température générale de l'animal. Cet effet s'exagère
si les deux sympathiques sont coupés. La température locale
de l'oreille opérée est, au contraire, notablement plus élevée
avant la section du grand sympathique, comme on sait. La
dilatation vasculaire et l'accélération de la circulation du côté
opéré expliquent suffisamment l'augmentation locale de la tem-
pérature, sans qu'il soit nécessaire d'admettre avec Claude
Bernard que le grand sympathique en dehors de son action
motrice, joue un rôle direct dans les phénomènes de calori-

BROWN-SEQUARD et THOLOZAN, *Journal de Physiologie de Brown-Sequard*,
p. 497. — *Recherches expérimentales sur les effets du froid sur*
le sang.

VAN DER BECKE CALLENFELS, *Zeitschrift f. rat. Medicin.*, N. F. VII,
p. 177. 1855.

JACOBSON et LANDRE, *Nedert. Archief voor Genees- en Natuurkunde*,

consécutive à l'application du froid. Je n'avais pas à m'occuper des autres impressions sensibles qui peuvent, par voie réflexe, provoquer le resserrement des vaisseaux. La littérature des nerfs vasculaires aurait pu nous en fournir un assez grand nombre d'exemples.

De tout ce qui précède, je conclus à l'exactitude de la seconde hypothèse formulée sur la nature de la contraction vasculaire, qui suit l'application du froid. Il s'agit bien d'une activité réflexe des centres vaso-constricteurs, réglée par le degré de température des nerfs sensibles de la peau.

Je ne m'occupe pas ici de la topographie des centres nerveux vaso-constricteurs, les recherches citées précédemment ont établi qu'ils sont échelonnés suivant la longueur, dans la moelle épinière. Ils occupent probablement les cornes antérieures de la substance grise dans le voisinage de l'émergence des racines motrices. Ces centres spinaux seraient soumis à l'hégémonie d'un centre général, placé dans la moelle allongée, le centre vaso-moteur découvert par Ludwig et Thiry.

§ XIX. — Le mécanisme réflexe de la contraction vasculaire peut ne pas être exclusif : il nous reste donc à examiner la troisième possibilité, celle d'une action directe du froid sur les muscles lisses des artères ou sur les centres nerveux vasculaires situés à la périphérie.

Les anciennes expériences de Hastings (1) sur la membrane interdigitale de la Grenouille et surtout celles de Schwann (2) sur le mésentère du Crapaud sonneur, ont été invoquées en faveur d'une action directe du froid sur les vaisseaux, à une époque où l'on ne soupçonnait pas même l'existence des nerfs vaso-moteurs.

(1) HASTINGS, *Disp. physiolog. inaug. de vi contractili vasorum*. Edimburgii, 1818. — *A treatise on inflammation of the mucous membrane of the lungs to which is prefixed an experimental inquiry respect. the contractile power of the blood vessels, etc.* London, 1820.

(2) SCHWANN, Article : *Gefässe* dans l'*Encyclop. Wörterbuch der medicin. Wissenschafte*. Berlin, 1836. XIV.

A l'heure actuelle, beaucoup de physiologistes, et surtout de chirurgiens, admettent tacitement que le froid agit directement sur les vaisseaux pour en provoquer le resserrement. Cette doctrine explique les propriétés hémostatiques de la glace et de l'eau froide sur les plaies qui sont le siège d'un suintement sanguin. Mais rien n'indique que dans ce cas la constriction vasculaire et la cessation de l'hémorrhagie ne soient, au moins en partie, le résultat d'une action réflexe, prenant son point de départ dans une irritation des nerfs sensibles ou centripètes.

Les expériences entreprises par Lewaschew (1) pour résoudre cette question sur des membres amputés, ne me paraissent pas à l'abri de tout reproche. Lewaschew soumet une patte de Chien entièrement séparée du corps, à une circulation artificielle de sang défibriné. Du sang convenablement chauffé est injecté sous pression constante par l'artère crurale. Le sang qui s'écoule par la veine est recueilli dans un vase gradué. La vitesse d'écoulement, le débit de la veine sert de mesure à la perméabilité des vaisseaux. La pression dans une branche de l'artère est naturellement en raison inverse du degré de perméabilité.

Dans ces conditions, Lewaschew observe une diminution dans la vitesse d'écoulement (indiquant pour lui un rétrécissement vasculaire) chaque fois que la patte est refroidie par une immersion dans l'eau froide. Dans l'eau tiède, au contraire, le débit augmente : dilatation vasculaire pour Lewaschew.

Je ferai remarquer que l'effacement partiel des vaisseaux indiqué par la diminution de l'écoulement lorsque le membre est placé dans l'eau froide, peut tenir à d'autres causes que le rétrécissement actif des vaisseaux. Il ne faut pas oublier que le froid modifie complètement la consistance et les autres conditions physiques des tissus au sein desquels se trouvent les vaisseaux : la graisse, presque liquide à chaud, se solidifie ; les autres parties molles se resserrent par le froid. Il serait difficile d'ap-

(1) LEWASCHEW, *Ueber das Verhalten der peripherischen vasomotorischen Centren zur Temperatur.*

précier jusqu'à quel point ces changements de consistance interviennent dans le ralentissement de la circulation. Peut-être suffisent-ils à eux seuls pour l'expliquer complètement. Lewaschew insiste sur ce fait que le plus léger déplacement de la canule ou de la patte fait varier considérablement le débit de la veine.

J'ai cru nécessaire d'instituer quelques expériences pour étudier l'action directe du froid sur les vaisseaux séparés de leurs connexions nerveuses. En voici la relation :

Un Lapin blanc est tué par la section du bulbe. Les deux oreilles sont rapidement sectionnées à leur base au moyen de ciseaux tranchants. L'une est plongée à moitié dans de l'eau à $+ 42^{\circ}$ C., l'autre à moitié dans de l'eau à $+ 13^{\circ}$ C. Les parties exposées à l'air ne présentent, au point de vue de la vascularisation, aucune différence appréciable avec celles qui sont soumises à l'action de la chaleur ou du froid.

La même expérience fut répétée sur les oreilles d'un second Lapin en employant un refroidissement plus énergique, poussé ensuite jusqu'à la congélation. L'oreille fut plongée dans de l'eau glacée à $+ 2^{\circ}$ (mélange de glace et d'eau) et dans un mélange réfrigérant marquant $- 10^{\circ}$ (glace et sel). Le résultat fut également négatif.

Une carotide extraite sur un Lapin vivant est fermée inférieurement par une ligature, liée supérieurement sur un tube de verre effilé ouvert à ses deux bouts, maintenu verticalement. L'ensemble qui rappelle la disposition d'un thermomètre est rempli de sang défibriné jusqu'à un certain niveau du tube de verre. On note le point d'affleurement du liquide. La carotide est plongée dans l'eau froide : le liquide, au lieu de monter dans le tube, ce qui aurait indiqué un resserrement du vaisseau, descend légèrement.

L'autre carotide est de la même façon soumise à l'action de l'eau chaude ($+ 40^{\circ}$ environ); le liquide intérieur monte au lieu de descendre. L'expérience répétée sur la veine jugulaire conduit au même résultat négatif.

Sur un Lapin ou un Chien blanc auquel on vient de couper les

nerfs sciatiques, on peut également constater que l'immersion des pattes postérieures dans l'eau froide n'exerce aucune action appréciable à la simple vue sur le degré de rougeur de la patte.

Le froid semblerait donc ne pas agir directement sur les muscles des vaisseaux ou sur les ganglions périphériques. Cependant les expériences suivantes indiquent que cette conclusion est trop absolue et qu'à côté de l'action réflexe exercée inconsciemment sur les vaisseaux, le froid peut, dans certains cas, provoquer directement le resserrement des vaisseaux.

Des fragments d'intestin grêle enlevés à un Lapin qui vient d'être sacrifié, sont projetés, les uns dans un bain d'eau tiède, les autres dans de l'eau froide. Les premiers conservent leur apparence normale et leur vascularisation. Les seconds se contractent vivement au contact de l'eau froide et l'on constate à l'œil nu que leurs vaisseaux se resserrent sous l'influence du froid au point à n'apparaître plus que comme de simples lignes sinueuses.

Si nous examinons au bout de quelques jours le Chien blanc auquel nous avons coupé le sciatique, nous serons amené également à modifier les conclusions trop absolues que nous avons tirées de l'inefficacité de l'application du froid sur la patte immédiatement après l'opération. Les vaisseaux primitivement dilatés d'une façon permanente reviennent peu à peu à leur état de constriction moyenne et nous pourrions alors, à l'exemple de Goltz (1), y provoquer par l'application locale du froid une augmentation de ce *tonus* d'origine périphérique et voir pâlir la patte. L'immersion dans l'eau tiède diminuera le *tonus* et la patte rougira plus ou moins. L'effet est moins marqué naturellement que lorsque les sciatiques sont intacts, lorsque l'activité réflexe des centres de la moelle épinière et de la moelle allongée intervient également, mais il n'en existe pas moins.

Quant à la question de savoir si le froid agit directement sur les muscles lisses, ou seulement par l'intermédiaire des ganglions

(1) GOLTZ, *Archiv. f. d. ges. Physiologie*, XI, p. 90. 1875.

erveux hypothétiques, dont on admet l'existence dans la paroi vasculaire, nous en sommes réduit pour le moment à de simples conjectures.

Plus d'une fois on a signalé le froid comme un excitant des fibres musculaires lisses. L'iris (1), l'intestin (2) se contractent sous l'influence du froid. Seulement ces organes contiennent à la fois des muscles, des nerfs et des ganglions nerveux. Il faudrait choisir comme objet d'étude un organe tel que l'uretère du Lapin, dont les fibres lisses soient exemptes de fibres et de cellules nerveuses.

§ XX. — CONCLUSION GÉNÉRALE SUR LA RÉGULATION DE LA TEMPÉRATURE DANS LA LUTTE CONTRE LE FROID.

Dans la lutte inconsciente de l'organisme des animaux homéothermes contre le froid, ce n'est pas l'abaissement de la température interne, mais bien l'impression du froid sur les nerfs sensibles de la peau qui sert de régulateur. Cette action du froid sur la peau provoque par voie réflexe l'activité de mécanismes nerveux qui augmentent la production de chaleur, principalement dans les muscles volontaires, ainsi que l'activité de mécanismes nerveux qui diminuent les pertes de chaleur en restreignant la circulation cutanée. (Centres des mouvements volontaires et des vaso-moteurs situés principalement dans la moelle allongée.)

(1) BROWN SEQUARD, *loc. cit.*

(2) HORVATH, *Ueber das Verhalten der Frösche gegen die Kälte* (Centralblatt f. d. med. Wissenschafte. 1873. p. 55).

CHAPITRE IV.

LUTTE CONTRE LE CHAUD PAR DIMINUTION DANS LA PRODUCTION DE CHALEUR.

Le mécanisme réflexe qui provoque l'exagération des phénomènes de calorification sous l'influence de l'impression extérieure du froid se repose, dès qu'il n'y a plus sensation subjective de froid, ce qui arrive chez l'homme habillé, lorsque la température extérieure est comprise entre $+ 14^{\circ}$ et $+ 20^{\circ}$ environ. Si l'on élève alors la température extérieure, l'expérience directe prouve, contrairement à l'opinion généralement admise, que la consommation de l'oxygène, loin de baisser, augmente notablement. Il n'y a donc pas de lutte de l'organisme contre le chaud, par diminution dans la production de chaleur. La régulation de la température est alors uniquement basée sur l'augmentation des pertes de chaleur, qui est étudiée au chapitre V.

§ XXI. — Une température extérieure de $+ 15^{\circ}$ à $+ 20^{\circ}$ ne provoque chez l'homme (couvert de vêtements et ne se livrant pas à un exercice musculaire violent) ni sensation exagérée de chaleur, ni sensation de froid. C'est une température que l'on peut qualifier d'agréable. Nous évitons dans le chauffage artificiel de nos appartements de dépasser ces limites. Les pertes de chaleur que l'individu subit alors par rayonnement, par contact et par évaporation, correspondent sensiblement à la quantité de chaleur produite dans le corps. La balance entre les recettes et les dépenses de calorique s'équilibre sans que l'organisme ait à faire le moindre effort pour maintenir sa température propre.

Nous avons vu précédemment que si les pertes de chaleur tendent à augmenter par suite d'un abaissement considérable de la température extérieure, l'organisme possède deux moyens de lutter contre les causes de refroidissement. L'un de ces moyens consiste à augmenter, dans ce cas, les recettes de chaleur, à exagérer les phénomènes chimiques de combustion interstitielle. Nous avons pu ajouter une série d'expériences sur l'homme aux preuves nombreuses invoquées déjà en faveur de ce mode de régulation de la température.

Qu'arrive-t-il lorsque la température extérieure subit, au contraire, une élévation considérable, lorsqu'elle dépasse notablement la valeur de $+ 20^{\circ}$ cité plus haut? L'organisme peut-il

lutter contre cette cause d'échauffement, en mettant en jeu les mêmes moyens qui lui permettent de surmonter victorieusement les causes de refroidissement? Peut-il éviter l'élévation de sa température propre, en variant le chiffre de la production de chaleur, en diminuant l'énergie des combustions interstitielles? Tous les physiologistes (ou presque tous) qui admettent ce mode de régulation pour la lutte contre le froid, l'admettent également pour celle contre le chaud. La doctrine d'après laquelle l'organisme résiste à l'élévation de la température en diminuant la production de chaleur, est même enseignée comme un fait classique dans plusieurs traités élémentaires de physiologie (1). Elle semble, à première vue, basée sur de nombreuses expériences. Ainsi, le premier qui se soit occupé de l'influence de la température sur la respiration, Crawford (2) trouva la respiration de l'oxygène plus active notablement à + 8° qu'à + 40°. La plupart de ceux qui l'ont suivi ont également comparé entre eux les chiffres d'expériences faites à une basse température avec ceux correspondant à une température relativement élevée, et ils ont constaté que, dans le second cas, l'énergie des combustions interstitielles est notablement plus faible que sous l'influence du froid.

C'est là, à mon avis, un procédé d'expérimentation qui n'est

(1) J. MUNK, *Physiologie des Menschen und der Säugethiere*, p. 265. Berlin, 1884.

PFLÜGER, *Pflüger's Archiv*. XVIII. 1878. p. 524. « Um bei wachsender Temperatur der Umgebung die Constanz der Bluttemperatur zu erhalten, müssen sie (alle Menschen und alle Thiere) also die Production der Wärme mehr herabsetzen. »

Pflüger a cru nécessaire dans ses expériences, pour supprimer l'influence du système nerveux central sur la thermogénèse, de plonger les animaux dans un bain chauffé à 58° ou 59°, c'est-à-dire ayant même température qu'eux-mêmes. Comme on va le voir chez l'homme à la température de + 20°, l'influence du système nerveux central mise en jeu par voie réflexe, est déjà réduite au minimum.

(2) CRAWFORD, *loc. cit.*

pas à l'abri de toute critique. Il s'agit de comparer les effets d'une température élevée, non pas avec ceux d'un refroidissement exagéré, mais avec les phénomènes qui se passent à la température extérieure normale, c'est-à-dire de $+ 15^{\circ}$ à $+ 20^{\circ}$.

Si l'on pose la question de cette façon, la réponse sera toute différente. Prenons l'organisme de l'homme ou de l'animal à sang chaud, vivant dans un milieu tempéré (15° à 20°), et transportons-le dans une atmosphère notablement plus chaude. Cherchons à déterminer s'il y a, dans ces conditions, augmentation ou diminution dans l'intensité des phénomènes chimiques de la thermogénèse.

Quelques-uns des chiffres cités au chapitre II peuvent contribuer à élucider cette question. Les expériences de Voit (1) sont spécialement intéressantes sous ce rapport. Elles montrent que si à 23° — 30° , la production de CO_2 est notablement plus faible chez l'homme qu'à $+ 8^{\circ}$ à 9° , elle dépasse constamment les chiffres obtenus à 14° — 16° . Voir le tableau de la page 710.

Nous y voyons qu'à une température moyenne (14° — 16°), l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration est à son minimum. Si la température baisse, il y a augmentation du chiffre de l'anhydride carbonique exhalé. Mais si la température monte, la proportion de carbone brûlé dans l'organisme ne baisse pas, elle s'élève, au contraire.

Les expériences de Page, sur la respiration du chien, l'ont conduit à un résultat analogue. C'est par une température extérieure de $+ 25^{\circ}$ que les échanges respiratoires descendent au minimum chez cet animal. Tout changement de la température extérieure, élévation ou abaissement, est invariablement suivi d'une augmentation dans le chiffre de l'oxygène exhalé.

Les expériences que j'ai entreprises pour déterminer l'influence de températures dépassant notablement $+ 20^{\circ}$ sur la consommation de l'oxygène chez l'homme habillé et au repos, ont également

(1) VOIT, *loc. citat.*

(2) PAGE, *loc. citat.*

démontré que cette consommation s'accroît au lieu de diminuer. La ressource de la variation inconsciente de la thermogénèse fait complètement défaut à l'homme dans sa lutte contre le chaud.

Voici les chiffres de ces expériences exécutées en tous points comme celles décrites au chapitre II, pages 724 et suivantes, sauf le chiffre de la température extérieure.

Quantités d'oxygène consommées pendant 15 minutes à des températures dépassant 20°, comparées aux quantités consommées aux mêmes heures, par des températures voisines de 15°.

DATES.	TEM- PÉRATURE de l'air.	HEURE de l'expérience.	QUANTITÉ D'OXYGÈNE en cent. cubes à 0° et 760 P.
17 juin	25°	9 ^h à 8 ^h 45 ^m	5.083 au lieu de 4.571
24 mars.	25	5 à 5 45	6.030 au lieu de 5.600
24 mars.	25.	5 45 ^m à 6	6.480 au lieu de 5.400

La consommation de l'oxygène, loin de baisser, augmente donc par le fait d'une élévation notable de la température extérieure au-dessus de + 15 à + 20°, et l'organisme de l'homme se comporte alors, au point de vue des combustions interstitielles, comme celui de l'animal à sang froid. Les combustions montent et descendent avec le chiffre de la température extérieure. Au-dessus de cette limite, les propriétés inhérentes aux tissus vivants (voir pages 742 et suivantes) ne sont plus masquées par l'influence du système nerveux central.

Contrairement à une opinion assez répandue, l'activité réflexe par laquelle le système nerveux central contre-balance l'action directe de la température sur la respiration des tissus, cette activité est déjà réduite à son minimum à la température ordinaire. Quand cette dernière monte, les centres de la thermo-

genèse ne peuvent augmenter le degré d'inaction auquel ils sont déjà réduits par suite de la suppression de l'excitation que le froid exerçait sur les terminaisons cutanées des nerfs sensibles. De ce chef, la consommation de l'oxygène ne peut plus diminuer, elle ne peut plus que croître sous l'influence de l'action directe qu'une haute température exerce et sur les tissus où s'opèrent les combustions, et sur les centres nerveux qui y président.

J'ai déjà dit qu'il suffit d'une élévation légère de la température propre du corps, opérée par la voie pulmonaire (en respirant par un tube chauffant l'air, intercalé entre l'appareil respiratoire et la bouche) pour augmenter assez notablement la consommation de l'oxygène, comme le montrent les chiffres du tableau suivant :

Quantités d'oxygène consommées en 15 minutes, la respiration se faisant par un tube chauffé (tube de la fig. 9).

DATES.	QUANTITÉ D'OXYGÈNE	HEURE
	en cent. cubes à 0° et 760 P	de l'expérience.
23 mars	5.150 au lieu de 4.900	12 ^h 30 ^m à 12 ^h 45 ^m
22 mars	5.750 au lieu de 4 800	12 40 à 12 55
22 mars	6.360 au lieu de 5 600	5 à 5 15
22 mars	5.640 au lieu de 5.300	6 30 à 6 45

Dans les expériences de Pfüger, les Lapins normaux à température rectale de 38.6° consommait en moyenne 676.9 c. c. d'oxygène (à 0° et 760^{mm} P.) et exhalaient 728.2 c. c. d'anhydride carbonique par heure et par kilogramme d'animal. Placés dans un bain d'eau chauffée (à 38° — 42°), de manière à élever de deux degrés leur température rectale (40.6° c.), la consommation d'oxygène monta à 754.8 c. c. accusant une augmentation de 77.9 c. c., soit 38.9 c. c. d'oxygène ou 5.7 % pour 1° d'aug-

mentation de la température rectale. L'exhalaison de CO_2 atteint le chiffre de 728.2, soit pour 2° d'augmentation de la température rectale une différence en plus de 86.9 c. c. et pour 1°, 4 c. c. ou 6.8 % (1).

De toutes ces expériences nous concluons que l'élévation de la température extérieure au-dessus du chiffre normal de + 15° + 20° a pour effet d'augmenter et non de diminuer la production de chaleur dont l'organisme de l'homme est le siège.

Il ne s'agit, bien entendu, que de l'action directe de la chaleur sur la thermogénèse. La production de chaleur peut se trouver directement ralentie par suite d'une diminution dans le travail de la digestion et dans les mouvements volontaires. Nous avons insisté assez longuement sur ces deux points quand nous avons étudié l'influence du froid sur la thermogénèse. Nous avons montré que l'action d'un climat chaud rend l'homme indolent : le dernier évite tout exercice violent et réduit également le travail de la digestion à un minimum.

CHAPITRE V.

RESISTANCE CONTRE LE CHAUD PAR AUGMENTATION DANS LES PERTES DE CHALEUR.

L'organisme peut supporter pendant quelques instants des températures excessives dépassant + 40°. L'action de la chaleur extérieure augmente les pertes de chaleur subies par l'organisme : 1° par une sécrétion exagérée de sueur; 2° par une dilatation des vaisseaux cutanés, accélérant la circulation périphérique; 3° par une ventilation pulmonaire plus énergique.

Sécrétion de la sueur. — Son importance, expériences de Delaroche. L'évaporation de 1 gramme d'eau suffit pour abaisser de 1° la température interne d'un Chien de 380 grammes. Observations de Löw. Les recherches de Lùchsinger prouvent que la sécrétion sudorale est entièrement sous la dépendance du système nerveux. Les centres sudorifiques de la moelle entrent en action dès que la température interne dépasse une certaine limite. Expériences sur l'homme avec un appareil permettant d'élever la température du corps par la voie pulmonaire sans échauffer la peau. Sécrétion sudorale dans ce cas et dans tous ceux où la température interne s'élève (ingestion de boissons chaudes, travail musculaire). Insuffisance de l'explication d'Adamkiewicz qui admet une innervation associée des glandes sudoripares et des muscles striés.

(1) PELÜGER, *loc. cit.*, p. 386.

Circulation cutanée. — Expériences de Lüchinger sur le Chat, de l'auteur sur l'homme, montrant que les centres vaso-dilatateurs sont très sensibles à une élévation de la température. Activité automatique de ces centres mise en jeu par la chaleur interne. Activité réflexe douteuse.

Mouvements respiratoires. — Expériences de Goldstein et de Fick montrant que l'élévation de la température du sang agit comme un stimulus sur les centres respiratoires. Il s'agit également d'une action automatique.

Conclusion générale sur l'action de la chaleur. — Quelle que soit la cause qui tend à réchauffer l'organisme, qu'elle soit interne ou externe, l'effet produit est le même. Dans tous les cas il y a élévation de la température interne. Cet échauffement interne met en jeu l'activité automatique des centres nerveux sudorifiques, vaso-dilatateurs et respiratoires, d'où évaporation plus grande aux surfaces cutanée et pulmonaire et rayonnement cutané exagéré.

§ XXII. — Nous avons vu que les dépenses et les recettes de chaleur s'équilibrent parfaitement chez l'homme couvert de vêtements, quand la température extérieure reste tempérée, comprise entre $+ 15^{\circ}$ à $+ 20^{\circ}$. Les mécanismes régulateurs de la température n'ont pas à intervenir dans ce cas. Pour peu que le thermomètre monte au-dessus de $+ 20^{\circ}$, la température interne tend à s'élever également. Les combustions interstitielles dont l'organisme est le siège, bien loin de diminuer, augmentent d'intensité. Le surcroît de chaleur produit ainsi vient s'ajouter aux autres causes qui tendent à élever la température du corps et augmenter les difficultés du maintien de la chaleur animale. Les recettes de chaleur s'étant accrues, il ne reste à l'organisme humain qu'une ressource, celle d'augmenter dans la même proportion les dépenses de chaleur. Quelle est la limite de ce pouvoir régulateur par variation des pertes de chaleur? Jusqu'où l'homme peut-il aller dans cette lutte contre le chaud? Cette question occupe les physiologistes depuis plus d'un siècle.

Boerhave (1) croyait qu'il se développe normalement dans le poumon, sous l'influence de fermentations une quantité de chaleur tellement considérable, qu'elle deviendrait fatale à la vie, si l'air extérieur pénétrant à chaque mouvement respiratoire ne venait rafraîchir le sang et l'organisme. Partant de là, il avait posé en principe qu'aucun animal à sang chaud ne pouvait continuer à vivre dans une atmosphère dont la température dépass-

(1) BOERHAVE, *Prælect. anatomic*, p. 241. *Elementa chemica*, I, p. 148.

sait celle de son propre corps. Les expériences faites à son instigation par Provoost et Fahrenheit sur des Chiens, des Chats et des Moineaux semblaient confirmer les vues de l'illustre médecin de Leyde. Ils constatèrent que tous ces animaux périssaient au bout d'un temps plus ou moins long quand ils étaient placés dans des étuves chauffées à des températures dépassant notablement celle de leur corps.

Haller (1) combattit les conclusions tirées de ces expériences en se fondant sur les observations de plusieurs voyageurs qui dans la zone torride avaient pu supporter une température notablement supérieure à celle de leur propre corps. Ellis (2), Franklin, John Lining et d'autres encore, avaient vu, par des journées très chaudes, la colonne mercurielle d'un thermomètre exposé à l'air descendre lorsqu'ils appliquaient l'instrument contre leur corps.

Les observations de Tillet (3), mais surtout les courageuses expériences de Fordyce, Blagden, etc., mirent hors de doute le pouvoir que possède l'organisme de supporter pendant un certain temps des températures excessives.

Tillet avait vu de ses propres yeux plusieurs jeunes filles séjourner pendant cinq à dix minutes dans un four banal dont la température dépassait $+ 150^{\circ}$.

Fordyce et Blagden (4) firent un grand nombre d'expériences tant sur eux-mêmes que sur d'autres personnes. Ils séjournèrent pendant cinq à vingt minutes dans des étuves dont la température atteignait ou dépassait même celle de l'eau bouillante. Blagden supporta pendant huit minutes une température de 127° . Le contact des boutons en métal de son habillement lui causait une sensation de brûlure.

(1) HALLER, *Elementa physiolog*, II, p. 37.

(2) ELLIS, *Philosophical Transactions*, I, p. 755.

B. FRANKLIN, *OEuvres. Trad. française Barbeau-Dubourg*, II, p. 19.

JOHN LINING, *Letter to C. Mortimer concerning the weather in South Carolina*. (*Philosophical Transactions*, 1748, p. 350.)

(3) TILLET, *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1764, p. 186.

(4) BLAGDEN, *Philosophical Transactions*, LXT, pp. 411 et 484.

Ils constatèrent que dans ces cas la température prise sous la langue avait à peine subi une augmentation. On sait d'ailleurs qu'une température interne dépassant légèrement $+ 40^{\circ}$ compromet déjà gravement la vie.

Ces expériences ont souvent été répétées depuis (1). L'homme supporte pendant plusieurs heures et même pendant plusieurs jours de suite (séparés, il est vrai, par des nuits fraîches), dans les climats chauds, une température égale à la sienne propre ou la dépassant d'un petit nombre de degrés. Au delà de $+ 40^{\circ}$ à $+ 45^{\circ}$, la lutte contre le chaud ne peut se soutenir pendant longtemps et les animaux à sang chaud périssent au bout d'un temps plus ou moins long. Ils peuvent résister pendant quelques minutes à des températures excessives.

Comment les animaux à sang chaud parviennent-ils, malgré l'élévation de la température extérieure, à se débarrasser de la chaleur produite incessamment dans leur intérieur? En dehors des moyens artificiels, tels que l'ingestion de boissons glacées, etc., l'organisme lutte contre l'influence délétère de la chaleur extérieure en augmentant les pertes de chaleur par les trois moyens suivants :

1° Par évaporation à la surface cutanée d'une grande quantité d'eau provenant de la sueur. Une élévation de température provoque une sécrétion plus abondante de sueur.

(1) DELAROCHE, *Expériences sur les effets qu'une forte chaleur produit dans l'économie animale*. Thèse, Paris, 1806 et *Journal de physique*, LXXI, p. 289, 1810. *Mémoire sur la cause du refroidissement qu'on observe chez les animaux exposés à une forte chaleur*.

KRISHABER, *Gazette médicale de Paris*, 1877, n° 46.

HOPPE, *Archiv f. pathologische Anatomie*, XI, p. 453.

VALLIN, *Du mécanisme de la mort par la chaleur extérieure*. (*Arch. génér. de médecine*, 1871-72.)

CL. BERNARD, *Leçons sur la chaleur animale, sur les effets de la chaleur et sur la fièvre*, p. 555. Paris, 1876.

ROSENTHAL, *Zur Kenntniss der Wärmeregulirung b. d. warmblütigen Thieren*, p. 15. Erlangen, 1872. — *Die Physiologie der thierischen Wärme*, p. 400 dans le grand *Handbuch der Physiologie*, publié par L. Hermann, IV. Bd., II. Theil. 1882.

2° Par évaporation d'une grande quantité d'eau à la surface des voies respiratoires pulmonaires. Une élévation de température provoque une plus grande fréquence des mouvements respiratoires. Le volume d'air qui vient se saturer d'eau au contact des poumons se trouve ainsi considérablement augmenté.

5° Par une circulation cutanée plus active. Une élévation de température provoque une dilatation générale des vaisseaux de la peau, mettant une plus grande quantité de sang en contact avec l'air extérieur. Même dans les journées les plus chaudes, cet air présente dans nos climats une température notablement inférieure à celle de notre sang.

§ XXIII. — INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA SÉCRÉTION DE LA SUEUR.

Benjamin Franklin et Blagden (1) montrèrent la grande importance que présente l'évaporation de la sueur à la surface du corps comme moyen de refroidissement. Blagden introduisit dans une étuve chauffée à $+ 115^{\circ}$, deux vaisseaux remplis d'eau. Dans l'un d'eux une couche d'huile empêchait l'évaporation. L'eau de ce vase entra en ébullition tandis que celle de l'autre vase marquait seulement $+ 60^{\circ}$.

Nous devons à Delaroche et Berger (2) une expérience encore plus élégante. Un Lapin et un Alcarazza (vase poreux destiné à rafraîchir l'eau par évaporation rempli d'eau à la même température) furent introduits ensemble dans une étuve dont la température oscilla entre $+ 60^{\circ}$ et $+ 67^{\circ}$. Lorsque le Lapin mourut, l'Alcarazza et lui avaient environ perdu la même quantité d'eau par évaporation. La température du Lapin dépassait de 2,5 celle de l'Alcarazza.

L'eau enlevée à la peau par évaporation absorbe en effet pour passer à l'état gazeux une quantité considérable de chaleur. Un

(1) BLAGDEN, *loc. cit.*

(2) DELAROCHE et BERGER, *loc. cit.*

gramme d'eau liquide à $+ 38^{\circ}$, température moyenne du sang, absorbe pour se vaporiser environ 580 microcalories.

Un gramme d'eau enlève donc à l'organisme en se vaporisant la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré (ou plus exactement de 0 à $+ 1^{\circ}$, la température de 580 grammes d'eau.

L'évaporation de 10 grammes d'eau suffirait donc pour abaisser d'un degré la température d'un Chien de 5.800 grammes ou pour contre-balancer les effets d'une action calorifique tendant à produire un échauffement d'un degré.

Ce calcul suppose que la capacité calorifique moyenne des tissus vivants soit la même que celle de l'eau = 1; en réalité elle n'est que de 0.7 à 0.8.

A mesure que la température s'élève, la production de sueur augmente d'importance; les urines diminuent. L'organisme, pour faire face à cette déperdition de liquide, introduit par la bouche une plus grande quantité de boissons. Une sueur abondante épaisit le sang et produit un vif sentiment de soif. La température extérieure sert ainsi de régulateur à la quantité d'eau bue et destinée à remplacer celle qui a été éliminée par évaporation à la surface de la peau.

O. Löw (1) a habité la vallée du Colorado en Californie pendant les mois les plus chauds de l'année, par une température moyenne de $54^{\circ}.2$, atteignant parfois $+ 47^{\circ}$ et $+ 48^{\circ}$. Par les journées les plus chaudes, la température du corps dépassait de 0.5° à 0.6° la moyenne ordinaire. Après une course à cheval de huit heures par une température de $+ 48^{\circ}$, la chaleur du corps avait augmenté de $1^{\circ}.2$. Dans ces conditions, la presque totalité de l'eau introduite dans le corps est éliminée par la peau. Les urines n'en représentent que 7 à 8 %. Au repos, 2 à $4 \frac{1}{2}$ litres d'eau suffisent aux besoins de la transpiration. Pendant une journée de travail, où l'organisme doit lutter également contre les causes

(1) O. Löw, *Ueber das Verhalten des Körpers in einem sehr heissen Klima.*
(Aertzl. Intelligenzblatt, 25, 1878, p. 296.)

internes d'échauffement, la consommation d'eau monte à 3 et 4 litres.

Nous savons aujourd'hui que les belles recherches de Lüch-singer, confirmées par Adamkiewicz, Vulpian, Nawrocki (1),

- (1) GOLTZ, *Ueber gefässerweiternde Nerven*. (Pflüger's Archiv, XI, p. 74, 1875.)
- LÜCHSINGER und FR. L. KENDALL, Pflüger's Archiv, p. 212, XIII.
- LÜCHSINGER, *Neue Versuche zu einer Lehre von der Schweisssecretion*. (Pflüger's Archiv, XIV, pp. 369 et suiv., 1876.)
- Die Schweissfasern für die Vorderpfote der Katze*. (Pflüger's Archiv, XVI, p. 343, 1878.)
- Die Erregbarkeit der Schweissdrüsen als Function ihrer Temperatur*. (Pflüger's Archiv, XVIII, p. 478.)
- Zum Verlauf der Schweissnerven der Katze*. (Pflüger's Archiv, XVIII, p. 485.)
- Weitere Versuche und Betrachtungen zur Lehre von der Rückenmark-centren*. (Pflüger's Archiv, XXII, p. 13.)
- Neue Beiträge zur Physiologie der Schweisssecretion*. (Pflüger's Archiv, XXII, p. 126.)
- Med. Centralblatt*, 1878, p. 56.
- Zur Physiologie der Schweisssecretion*. (Virchow's Archiv., LXXVI, p. 529.)
- VULPIAN et RAYMOND, *Sur l'origine des fibres excitosudorales de la face*. (Comptes rendus, LXXXIX, p. 44.)
- VULPIAN, *Sur l'action du système nerveux sur les glandes sudoripares*. (Comptes rendus, LXXXVI, p. 4255, 1878.)
- Sur la provenance des fibres nerveuses excitosudorales contenues dans le nerf sciatique du Chat*. (Comptes rendus, LXXXVI, p. 4508.)
- Sur la provenance des fibres nerveuses excitosudorales des membres antérieurs du Chat*. (Comptes rendus, LXXXVI, p. 4454.)
- Recherches expérimentales sur les fibres nerveuses sudorales du Chat*. (Comptes rendus, LXXXVII, p. 511.)
- Comparaison entre les glandes salivaires et les glandes sudoripares relativement à l'action qu'exerce sur leur fonctionnement la section de leurs nerfs excitosécréteurs*. (Comptes rendus, LXXXVII, p. 350.)
- Faits expérimentaux montrant que les sécrétions sudorales abondantes ne sont pas en rapport nécessaire avec une suractivité de la circulation cutanée*. (Comptes rendus, p. 471.)

que les glandes sudoripares sont au point de vue de la sécrétion sudorale, entièrement sous la dépendance du système nerveux. Si l'on coupe le nerf sciatique chez un Chat, la sécrétion de la sueur cesse dans la patte correspondante. L'excitation artificielle du bout périphérique du nerf coupé provoque, au contraire, une abondante sécrétion. L'expérience réussit encore sur une patte amputée depuis une demi-heure, où par conséquent toute circulation a depuis longtemps cessé (1). Adamkiewicz a réussi à confirmer quelques-uns de ces résultats en ce qui concerne l'homme. Il excitait le nerf médian au bras à travers la peau et provoquait ainsi une abondante sécrétion de sueur dans la paume de la main. De même l'excitation du nerf tibial est suivie de transpiration à la plante du pied; celle du nerf facial fait couler la sueur, sur le front, le nez, la joue et les lèvres.

ADAMKIEWICZ, *Verhandl. der physiologischen Gesellschaft zu Berlin.* (Sitz. am 26 Januar 1877.)

Die Secretion des Schweisses. Berlin 1878.

Zur Physiologie der Schweisssecretion. (Virchow's Archiv. LXXV, p. 555 et LXXVII, p. 527 et 577.)

Arch. f. Anat. u. Physiol. 1880, p. 159.)

NAWROCKI, *Zur Innervation der Schweissdrüsen.* (Centralblatt f. die medicin. Wissensch. 1878, n° 1; 1879, n° 49.) *Zur Frage über die Schweissnerven des Kopfes.* (Centralblatt f. die medicin. Wissensch. 1880, n° 52.)

A. OGYES, *Onvos-természeltudományi Ertesítő.* V. 409, 1880.

(1) On attachait autrefois une grande importance à la circulation, dans le processus de la sécrétion sudorale. Cette doctrine semblait corroborée par les résultats de la section du grand sympathique cervical sur le Cheval. Chez cet animal la dilatation vasculaire qui suit la section du grand sympathique est accompagnée d'une abondante sécrétion de sueur. Des expériences récentes ont montré que les deux phénomènes étaient indépendants l'un de l'autre. La dilatation vasculaire persiste pendant longtemps; la sécrétion sudorale diminue rapidement et cesse complètement au bout de quelques heures. Elle est due sans doute à l'excitation des filets nerveux sudorifiques du grand sympathique, excitation due à la section mécanique.

Die Secretion des Schweisses, A. ADAMKIEWICZ, Berlin, 1878.

Lüchinger a montré que les centres nerveux qui président à la sécrétion de la sueur aux extrémités des pattes chez le Chat, sont situés dans la moelle épinière. L'intégrité de la moelle et de ses communications nerveuses avec les glandes sudoripares est nécessaire pour que les glandes sécrètent. Si l'on porte un Chat dans une étuve fortement chauffée et que l'on examine la plante des pattes postérieures, on constatera une abondante production de sueur, qui cesse dès que l'on coupe le sciatique ou que l'on détruit la moelle lombaire. La simple section en travers de la moelle à la région dorsale inférieure n'arrête pas la sécrétion.

La chaleur agit bien directement sur le centre par le sang qui le baigne, et non par l'intermédiaire des nerfs sensibles de la peau; il s'agit d'une action automatique et non réflexe. C'est au moins la seule interprétation à donner aux expériences suivantes:

Expérience de Lüchinger: Un Chat dont la moelle dorsale est coupée en travers et dont toutes les racines postérieures (racines sensibles) ont été pareillement sectionnées, est placé dans une étuve fortement chauffée. Quoique la section des racines postérieures ait supprimé toute connexion entre les nerfs sensibles de l'arrière-train et la moelle épinière, et n'ait laissé subsister que les fibres centrifuges (motrices, vaso-motrices et sudorifiques), les pattes sont le siège d'une abondante transpiration. La chaleur a donc porté son action sur les centres nerveux par l'intermédiaire du sang et non par celui des nerfs de la peau.

L'injection d'eau chaude dans le sang provoque également chez le Chat une sudation abondante, à condition que la moelle soit intacte.

De mon côté, j'ai cherché à répéter l'expérience de Lüchinger sur l'homme, mais en en modifiant les détails. Il s'agissait d'élever la température du sang et de l'intérieur du corps sans agir directement sur les nerfs sensibles de la peau; il fallait échauffer le sang par une autre voie que celle de la peau.

En chauffant énergiquement l'air de l'inspiration, on parvient par la voie pulmonaire à élever en peu de temps la température interne du corps de quelques dixièmes de degré. La figure 9

représente l'appareil employé dans ces expériences. L'embouchure E par laquelle on respire est reliée par un court tube de caoutchouc avec le tube en cuivre T, le même dont il a déjà été question, page 782. Le tube est chauffé par la lampe L. En rapprochant ou en éloignant la lampe de l'embouchure E, on gradue la température du courant d'air de façon à lui donner le maximum de chaleur compatible avec la respiration de l'expérimentateur. L'appareil A contenant de l'eau et de la pierre ponce humide sert à donner à l'air le degré d'humidité voulu.

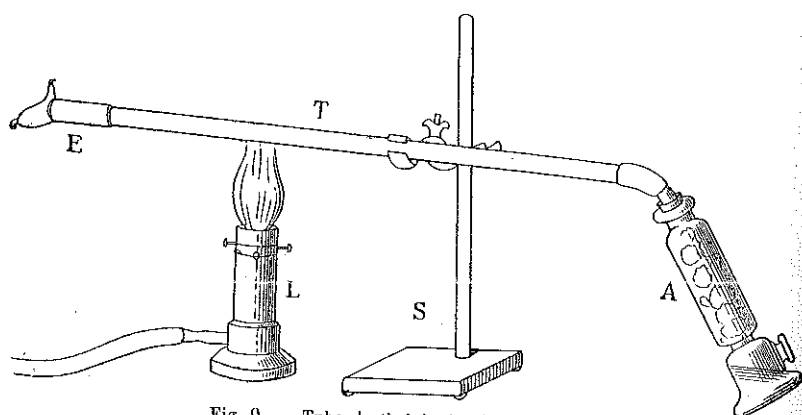


Fig. 9. — Tube destiné à chauffer l'air respiré.

Dans ces conditions, il suffit de prolonger la respiration de l'air chauffé, pendant dix, quinze, vingt minutes, pour provoquer une dilatation vasculaire générale de la peau, accompagnée d'un vif sentiment de chaleur et d'une sudation extrêmement abondante.

Une autre façon d'élever la température du corps, et par conséquent de la moelle épinière, sans faire une application de chaleur à l'extérieur, consiste à échauffer l'intérieur du tube digestif. Les aliments et les boissons très chaudes, pris en quantité suffisante, peuvent élever la température du sang et des organes internes, notamment des centres nerveux sudorifiques, de quelques dixièmes de degrés. Il en résulte une transpiration plus ou moins abondante suivant les individus.

Enfin, tout travail musculaire énergique se prolongeant pen-

dant un certain temps est accompagné d'une élévation de la température interne. D'après Bonnal (1), un mouvement violent même de courte durée élèverait toujours la température rectale. Celle-ci monterait rarement au delà de 38° 6, grâce précisément à la mise en jeu de l'activité des glandes sudoripares et des autres mécanismes destinés à conduire au dehors l'excédant de chaleur formé dans l'organisme. Chez un coureur qui avait franchi 18 kilomètres en une heure et demie, la température rectale atteignait 39.5°, le pouls battait cent quarante-cinq pulsations.

Adanckiewicz croit que la sueur se montre dans ce cas aux régions de la peau avoisinant les parties en mouvement et les muscles qui se contractent. La sueur refroidirait ainsi directement les endroits qui tendent à s'échauffer. Cette opinion me paraît contraire aux faits de l'expérience journalière. Il suffit de faire observer que la partie du tégument externe qui est le plus éloigné des muscles principalement actifs, la peau du front, est précisément l'endroit où chez la plupart des personnes la sécrétion sudorale se montre de préférence. Est-ce la peau du pied, du mollet ou de la cuisse, n'est-ce pas plutôt celle du front qui transpire en premier lieu chez celui qui gravit les flancs d'une colline escarpée. Celui qui scie du bois, tous ceux qui vivent du travail de leurs mains, « mangent leur pain à la sueur de leur front » bien plus qu'à la sueur de leur bras ou de leurs mains (2).

C'est principalement en élevant la température du sang que la chaleur extérieure agit pour provoquer une exagération de la sécrétion sudorale. La vénosité du sang agit de la même façon. Un commencement d'asphyxie provoque une transpiration de tout le corps. La sueur de l'agonie n'a probablement pas d'autre cause. Il s'agit donc là d'un mécanisme automatique.

(1) BONNAL, *Recherches expérimentales sur la chaleur de l'homme pendant le mouvement.* (Comptes rendus, XCI, p. 798.

(2) J'ai pu constater sur moi-même qu'une marche rapide, prolongée pendant quelques minutes, fait perler la sueur au front, alors que la plante des pieds est encore absolument sèche. Il est probable qu'il existe sous le rapport des endroits de prédilection de la sécrétion sudorale, des différences individuelles considérables.

Mais ce mécanisme nerveux peut être mis en jeu également par voie réflexe, à la suite d'une action de la chaleur sur les nerfs périphériques. Je citerai, à ce sujet, l'expérience suivante d'Adamkiewicz, faite sur l'homme. On place sur la cuisse d'un individu transpirant facilement, un vase en métal contenant de l'eau chaude marquant au moins $+ 40^{\circ}$. Au bout de peu d'instants, la plante du pied se couvre de gouttelettes de sueur qui bientôt la mouillent complètement. En même temps se produit une injection vasculaire de la peau du membre inférieur. Si l'on remplace l'eau chaude par de l'eau froide ou de la glace, la sécrétion cesse instantanément.

Fait curieux, ces effets réflexes qui suivent l'application de la chaleur, ne sont pas limités au côté dont les nerfs sensibles ont été irrités. On les observe également au membre homologue. Il s'agit d'une fonction bilatérale et symétrique. Nous avons précédemment constaté un fait analogue pour les nerfs vaso-constricteurs des membres. Là aussi il y a association d'action des fibres nerveuses des deux côtés du corps.

J'ai déjà dit un mot de la situation des centres sudorifiques. D'après Lüksinger, Adamkiewicz, la moelle épinière contient une série de centres échelonnés suivant sa longueur et présidant chacun à la transpiration dans une région déterminée et symétrique du corps. Il y a un centre pour les membres postérieurs, il y en a un pour les membres antérieurs, etc. Ces différents mécanismes nerveux seraient dominés par un centre unique situé dans la moelle allongée, tenant sous sa dépendance toutes les glandes sudoripares du corps.

L'excitation électrique de la moelle allongée provoque, d'après Adamkiewicz, chez le Chat, l'apparition de la sueur aux quatre extrémités, alors même que la circulation et la respiration ont cessé depuis trois quarts d'heure.

Enfin il n'est pas douteux que ce centre lui-même ne soit influencé par les parties du système nerveux situées plus haut, par les centres psychiques des hémisphères cérébraux. Tout le monde sait que certaines émotions déprimantes, la peur, l'an-

goisse provoquent l'apparition d'une sueur dite froide, parce qu'elle se produit sans que l'action de la chaleur intervienne.

INFLUENCE DE LA CHALEUR SUR LA CIRCULATION CUTANÉE.

§ XXIV. — Nous avons vu que le froid provoque par voie réflexe un resserrement des vaisseaux de la peau. Si la température extérieure s'élève, le réflexe vaso-constricteur sera supprimé. Ainsi peut s'expliquer en partie l'hyperémie cutanée, la rougeur qui survient à la suite de l'action de la chaleur.

Une ancienne expérience de Schiff (1) nous force à admettre que cette dilatation vasculaire est une dilatation en grande partie active, due à l'irritation des nerfs vaso-dilatateurs et non uniquement à la paralysie des vaso-constricteurs. Chez des Lapins qui avaient subi la section unilatérale du sympathique cervical, à gauche, par exemple, l'oreille correspondante présentait la dilatation vasculaire et l'augmentation classique de la température. L'animal ayant été placé dans une étuve chauffée, l'oreille droite restée saine ne tardait pas à présenter une température plus élevée et une vascularisation plus considérable que l'oreille paralysée.

J'ai pu constater également que chez un Chien ou un Lapin blanc qui a subi la section du sciatique d'un côté depuis quelque temps, l'action de la chaleur produit une dilatation vasculaire plus marquée du côté sain resté en relation nerveuse avec la moelle que du côté paralysé.

S'agit-il d'une action réflexe prenant son point de départ dans une irritation périphérique des nerfs sensibles de la peau? ou bien la chaleur agit-elle par l'intermédiaire du sang surchauffé sur les centres nerveux?

Il est probable que l'action de la chaleur est complexe et que l'activité des centres vaso-dilatateurs est en partie réflexe, en

(1) Schiff, *Ueber die Fieberhitze* (Allgem. Wien. Med. Zeitung), 1859, nos 41 et 42.

partie automatique. Un grand nombre de faits prouvent qu'une élévation de la température interne du corps suffit à provoquer une dilatation énergique des vaisseaux cutanés, quel que soit le degré de température de la peau.

Comme je l'ai dit plus haut, il existe plusieurs moyens de réchauffer l'intérieur du corps, d'élever la température du sang qui baigne les centres nerveux vaso-dilatateurs sans agir primitivement sur la peau.

Si je me dépouille entièrement de mes vêtements dans une pièce où la température est peu élevée (+ 15°), de façon à provoquer un refroidissement marqué de la peau et si je respire un air surchauffé et humide, en employant le tube en métal dont il a été question plus haut, je provoquerai au bout de peu de temps une dilatation générale des vaisseaux de la peau. Ici les nerfs cutanés n'ont pu être le point de départ d'un réflexe vaso-dilatateur puisque la peau était froide au début. Il faut bien admettre que les centres ont été primitivement affectés par la chaleur interne.

L'ingestion d'aliments ou de boissons chaudes en grande quantité provoque par le même mécanisme une congestion vers la peau.

L'exercice musculaire, source puissante de chaleur, amène également au bout de peu de temps une dilatation vasculaire périphérique, quelle que soit la température de la peau. Les patients ont la face toute rouge, malgré le froid extérieur.

Enfin j'ai montré, plus haut, que le travail de la digestion était accompagné d'une énorme consommation d'oxygène. C'est vraisemblablement l'activité des glandes digestives et le travail de sécrétion des sucs élaborés par ces glandes qui provoquent cette consommation d'oxygène et la production exagérée de chaleur qui en est la conséquence. Tous les physiologistes ont noté une élévation de la température pendant le travail de la digestion. A ce moment, les centres vaso-dilatateurs entrent en action, ils provoquent une dilatation vasculaire de la peau dont l'intensité varie avec l'abondance du repas et avec l'individualité du sujet considéré. Le sang ne monte pas à la tête pendant la digestion

patte immergée et à l'autre. La vascularisation des pattes antérieures ne paraissait pas modifiée.

Est-ce dans ce cas une dilatation paralytique? Y a-t-il simplement suspension de l'action tonique réflexe que nous avons vue caractériser l'application du froid à la surface de la peau? Ou bien s'agit-il d'une dilatation active provoquée par l'excitation réflexe des vaso-dilatateurs? Il serait difficile pour le moment de répondre à cette question et de déterminer jusqu'à quel point chacun de ces mécanismes intervient dans la dilatation des vaisseaux cutanés.

Quant aux centres réflexes vaso-dilatateurs, dont l'échauffement du sang constitue le stimulus physiologique, il faut probablement les localiser dans la moelle épinière au voisinage des centres qui président à la sécrétion de la sueur.

Ces centres spinaux sont en relations avec d'autres centres nerveux situés plus haut.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA FRÉQUENCE DES MOUVEMENTS RESPIRATOIRES.

§ XXV. — L'organisme des animaux à sang chaud trouve dans la ventilation pulmonaire qui est le fait de la respiration, un puissant moyen de lutte contre les causes extérieures d'échauffement. Ackerman a montré que les mouvements respiratoires s'accélèrent chez le Chien dès que la température ambiante dépasse une certaine limite, dès que cette température commence à élever la chaleur du corps (1).

Une masse d'air plus grande pénètre alors dans les poumons et vient rafraîchir le sang. En effet, l'air de l'inspiration est dans la plupart des cas à une température inférieure à celle du

(1) ACKERMANN, *Deutsches Arch. für klinische Medicin*, VI, p. 559, 1866. Déjà au siècle dernier, Changeux avait insisté sur l'importance de la respiration au point de vue de la régulation des pertes de chaleur. Voir : CHANGEUX, *Journal de physique*, VII, p. 57.

il s'y réchauffe pendant son passage à travers les voies
 nes et son séjour dans les poumons. Quand il en sort il a
 enlevé au corps par rayonnement et par contact une
 ité de chaleur facile à calculer.

s c'est surtout par l'évaporation d'une plus grande quantité
 à la surface toujours humide de l'appareil respiratoire,
 accélération de la ventilation pulmonaire contribue le plus
 à rafraîchir l'organisme. L'air de l'expiration est à peu près
 saturé de vapeur d'eau : cette eau, enlevée en grande partie à
 l'organisme, a absorbé pour passer à l'état gazeux une quantité
 appréciable de chaleur. Nous avons vu qu'un gramme d'eau à
 10° absorbait en se vaporisant une quantité de chaleur suffi-
 sante pour élever d'un degré la température de 580 grammes

de ventilation pulmonaire constitue la seule ressource qui
 est à l'animal pour lutter contre le chaud quand il est plongé
 dans un bain d'eau dont la température atteint ou dépasse sa
 température de chaleur.

Les expériences de Goldstein (1), de Fick, de Gad et de Mert-
 ky nous ont appris par quel mécanisme une élévation de
 température ambiante accélère les mouvements respiratoires
 et produit une réfrigération compensative. C'est par l'intermé-
 diaire du sang que la chaleur agit sur les centres nerveux qui
 influencent les mouvements respiratoires. Il suffit d'élever légè-

1. GOLDSTEIN, *Ueber Wärmedyspnoë*. (Dissert. inaug. Würzburg 1874.)

2. *Würzburger Verhaudlungen*, 1874, p. 156.

3. *Hat Veränderungen der Temperatur des im Hirn circulirenden Blutes
 Einfluss auf die Centra der Herz und Gefässnerven?* (Arch. f. d. ges.
 Physiologie, V, 1872.)

4. LÉGEN a attaqué les résultats obtenus par Goldstein et Fick. Voyez *Some
 further observations on heat dyspnoea*. (Journal of physiology, III, p. 4.)

5. *the so-called heat dyspnoea*. (Journal of physiology. p. 491, 1879.)

6. J., *Ueber Wärme-Dyspnoë*. (Sitzungsberichte d. Würzburger phy-
 sic.-med. Gesellsch., p. 82, 1884.)

7. MATSCHINSKY, *Beitrag zur Wärme-Dyspnoë*. *ibid.* et Dissertation, Würz-
 burg, 1884.

rement la température du sang qui se rend à la moelle allongée pour provoquer la *dypsnoë de chaleur* (Wärmedypsnoë).

Goldstein met à nu les deux carotides d'un Chien sur la plus grande longueur possible. Il glisse sous chacune d'elles un tube métallique à double paroi recourbée en forme de gouttière. Le vaisseau artériel reposant dans la gouttière est partout en contact avec le métal. La cavité de chacune de ces gouttières communique par deux tubes avec un bain-marie contenant de l'eau chauffé à + 70°. On peut de cette façon faire circuler un courant de liquide chaud à l'intérieur de ces gouttières et élever artificiellement la température des carotides et du sang qui se rend à la tête. On provoque à volonté un accès de dyspnée en chauffant les carotides, puis on ramène la respiration à son type normal en arrêtant la circulation de l'eau chaude et la remplaçant par de l'eau froide.

Ces expériences de Golstein ont été répétées et confirmées par Fick.

Les centres respiratoires sont donc particulièrement sensibles à une élévation de la température du sang. C'est cette température interne du sang et non le degré de chaleur de la peau qui sert de régulateur aux pertes de chaleur par la surface pulmonaire. Il s'agit donc ici d'une action automatique et non réflexe des centres respiratoires.

Le fonctionnement normal des centres respiratoires est d'ailleurs, pour la plupart des physiologistes, de nature automatique et non réflexe. C'est la composition chimique du sang, la proportion d'oxygène et d'anhydride carbonique qu'il contient, qui agit sur les centres respiratoires comme excitant et qui accorde leur activité aux besoins respiratoires de l'organisme, pour accélérer les mouvements respiratoires quand le sang s'appauvrit en oxygène, qu'il s'enrichit en anhydride carbonique, pour les ralentir ou les suspendre quand le sang est saturé d'oxygène.

§ XXVI. — En résumé l'organisme ne peut lutter contre les causes d'échauffement, en diminuant l'intensité des phénomènes chimiques dont il est le siège.

duction de la chaleur, la consommation de l'oxygène réduite à son minimum lorsque la température extérieure atteint un degré que nous qualifions d'agréable (+ 15°). Si cette température extérieure s'élève davantage, combustions interstitielles, loin de diminuer, iront plutôt augmentant, comme l'ont prouvé mes expériences sur la consommation de l'oxygène, celles de Voit, de Page sur l'exhalation de l'anhydride carbonique.

La seule ressource qui reste donc à l'organisme exposé à des degrés d'échauffement consiste à augmenter les pertes de chaleur en exagérant les phénomènes de rayonnement par la peau, et l'évaporation par la surface cutanée et pulmonaire.

Les causes d'échauffement peuvent être multiples, leur point d'application peut varier. Les unes agissent sur la peau, comme dans le cas où l'air ou l'eau qui baigne le corps approche de la température du corps ou la dépasse. Dans d'autres cas, le milieu extérieur tend à réchauffer l'organisme en lui communiquant directement de la chaleur, qui vient s'ajouter à celle créée par lui (température extérieure plus élevée que celle du corps), soit en lui enlevant par rayonnement et par convection une quantité de chaleur inférieure à celle produite dans l'organisme (température extérieure légèrement inférieure à celle du corps). Tantôt c'est l'intérieur du tube digestif qui est le point principal de l'élévation de la température, par exemple lorsqu'on fait avaler de grandes quantités de boissons ou d'aliments chauds; tantôt c'est la surface des voies respiratoires, lorsqu'on respire dans un air réchauffé, comme c'était le cas dans les expériences où l'inspiration passait à travers un tube métallique chauffé par une flamme.

Enfin, il est des causes d'échauffement internes, siégeant dans l'intérieur des organes, lorsque les combustions interstitielles, qui sont la source de la chaleur animale, acquièrent un degré d'intensité exagéré. Les organes où se produit cet excès de chaleur sont tantôt les muscles, dans le cas d'efforts musculaires violents et prolongés, tantôt les glandes annexes du tube digestif, lorsqu'il y a un travail de sécrétion qui suit un repas abondant.

Quelle que soit la cause qui tend à réchauffer l'organisme, quel que soit son point d'application, peau, poumon, tube digestif, muscles ou glandes digestives, l'effet produit est le même. Dans tous ces cas si divers, l'élévation de la température du sang constitue l'excitant qui met en branle l'activité automatique de certains mécanismes nerveux contenus dans la moelle allongée et dans la moelle épinière. C'est donc principalement sur le fonctionnement de mécanismes automatiques que repose le salut de l'animal lorsque celui-ci est exposé à des causes d'échauffement.

Les centres nerveux qui paraissent les plus sensibles à une élévation de la température, sont ceux qui président à la dilatation des vaisseaux de la peau. La rougeur, l'hyperémie cutanée sont les premières conséquences d'une augmentation de la température du corps. La petite élévation de la température interne du corps qui accompagne le travail de la digestion suffit à exciter les centres vaso-dilatateurs pour la peau. Cette hyperémie cutanée et les pertes de chaleur qui en sont la conséquence, nous expliquent comment l'organisme résiste à l'exagération de la thermogénèse qui accompagne la digestion.

Tant que les causes d'échauffement restent modérées, tant que la température du sang ne dépasse que d'une minime fraction de degré son chiffre normal, le centre des vaso-dilatateurs suffit à lui seul à régler les pertes de chaleur. Mais pour peu que la température interne augmente, et cela dans des limites extrêmement variables d'un individu à l'autre, les centres sudorifiques entrent en action.

Leur excitation par un sang surchauffé provoque d'abord, en certaines régions, la peau du front, par exemple, puis, sur toute la surface du corps, une abondante sudation. L'évaporation de l'eau sur une aussi large surface entraîne un refroidissement infiniment plus énergique que celui qui résulte d'une simple dilatation vasculaire. L'effet peut même dépasser la limite utile : un refroidissement plus ou moins nuisible de la peau, puis de l'intérieur du corps, en est parfois la conséquence.

Dans quelques cas exceptionnels, quand il s'agit du séjour

l'étuve présentant une température excessive, l'évaporation de la sueur ne suffit plus pour combattre efficacement l'élévation progressive du sang.

Alors qu'intervient la ressource ultime de l'organisme, la soupape de sûreté constituée par les centres des mouvements respiratoires. Il faut chez l'homme une augmentation de température interne de plusieurs degrés avant que la chaleur calorifique se montre. Les centres respiratoires du chien paraissent beaucoup plus sensibles que ceux de l'homme à l'augmentation de la température du sang. Chez le Chien, la glande sudorale n'a pas la même importance que chez l'homme; par contre, l'énergie de la ventilation pulmonaire joue chez l'animal un rôle infiniment plus considérable que chez l'homme dans la régulation de la température interne. Chez le Chien, la ventilation des mouvements respiratoires, loin d'être une sorte de mesure désespérée de l'organisme, constitue, au contraire, un mécanisme de régulation couramment mis en jeu.

CHAPITRE VI.

CONCLUSION GÉNÉRALE.

VII. — L'organisme des animaux homéothermes lutte contre le froid et le chaud par des mécanismes différents.

Contre le froid. Les causes de refroidissement ont leur départ dans la température peu élevée du milieu extérieur et agissent primitivement sur la peau. Aussi n'est-ce pas l'élévation de la température interne, mais bien l'impression exercée sur les nerfs sensibles de la peau qui sert de régulateur, qui joue le rôle principal dans la lutte inconsciente contre le froid. Cette lutte périphérique du froid met en jeu, par voie *réflexe*, l'ensemble des mécanismes nerveux, dont la fonction consiste à augmenter la production de la chaleur (centres nerveux des muscles striés), et à diminuer les pertes de chaleur (centres nerveux vasoconstricteurs).

Lutte contre le chaud. — Il est rare que la température du milieu extérieur dépasse celle de notre corps. Les causes d'échauffement siègent ordinairement en nous-mêmes (combustions interstitielles), et affectent d'abord les organes internes. Aussi est-ce principalement l'élévation de la température du système nerveux central (et accessoirement l'action de la chaleur sur la peau) qui sert de régulateur dans la lutte contre le chaud. Cette action directe de la chaleur provoque l'activité automatique des centres nerveux dont la fonction consiste à augmenter les pertes de chaleur (centres vaso-dilatateurs, sudorifiques et respiratoires). Dans ce cas, la production de chaleur augmente au lieu de diminuer.