



Recherches sur la conductibilité de la peau de l'organisme vivant et sur ses variations en fonction de la température extérieure. étude sur l'homme

J. Lefèvre

► To cite this version:

J. Lefèvre. Recherches sur la conductibilité de la peau de l'organisme vivant et sur ses variations en fonction de la température extérieure. étude sur l'homme. J. Phys. Theor. Appl., 1901, 10 (1), pp.380-388. 10.1051/jphystap:0190100100038001 . jpa-00240522

HAL Id: jpa-00240522

<https://hal.science/jpa-00240522>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RECHERCHES SUR LA CONDUCTIBILITÉ DE LA PEAU DE L'ORGANISME VIVANT
ET SUR SES VARIATIONS EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE.
ÉTUDE SUR L'HOMME ;

Par M. J. LEFÈVRE.

1. Exactement placée au contact du milieu extérieur, la peau est la dernière enveloppe que traverse la chaleur dans son mouvement centrifuge à travers le corps. Elle représente le dernier obstacle opposé à la sortie de cette chaleur et mérite à ce titre une mention spéciale dans l'histoire physiologique des *homéothermes*.

Nous nous sommes proposé, ici, d'évaluer en *valeur absolue* la *conductibilité calorifique* de la peau, et d'étudier la variation de cette conductibilité avec la température du milieu extérieur, — la température du milieu intérieur, qui est la température du corps, pouvant être regardée comme constante et égale à 37° C.

Les divers auteurs qui se sont occupés de la conductibilité des tissus n'ont eu en vue, en général, que de donner une *échelle de conductibilités*. M. Bordier, dans des expériences très soignées, a étudié les conductibilités des divers tissus osseux, adipeux, etc. : mais il n'a pas étudié la peau, et, d'autre part, il n'a opéré que sur le cadavre.

Nous avons voulu mesurer sur le vivant, et en valeur absolue, les divers coefficients de conductibilité qu'introduit l'étude calorifique de la peau, en partant de la définition physique de ces coefficients.

2. La peau, d'épaisseur sensiblement uniforme et égale à 2 milli-

mètres, pouvant être, suivant la comparaison classique, assimilée à un *mur* qui sépare l'intérieur du corps du milieu extérieur, nous aurons *un mur* à faces sensiblement parallèles d'une moyenne épaisseur de 1,5 à 2 millimètres. Nous aurons donc trois coefficients à déterminer :

h , coefficient de conductibilité extérieure ou d'émission de la peau vers le milieu environnant ;

k , coefficient de conductibilité proprement dite, *intérieure*, ou coefficient de transmission ;

l , coefficient de conductibilité profonde, de *contact* ou de *réchauffement*, à la face interne de la peau.

Soit Q le nombre de petites calories débitées pendant le temps t , S la surface du corps en centimètres carrés, A la température cutanée à la profondeur e , B la température de la face extérieure. 37° représentant la température du milieu intérieur chez l'homme dans la région sous-cutanée, on aura, pour la période de régime :

$$h = \frac{Q}{(B - C) St}, \quad k = \frac{Qe}{(A - B) St}, \quad l = \frac{Q}{(37 - A) St}.$$

h représentera la chaleur émise par l'unité de surface pendant le temps 1, pour 1° de différence entre la surface extérieure et le milieu.

k sera la chaleur qui passe par unité de surface d'un plan quelconque parallèle aux faces, l'épaisseur totale de la peau étant 1, et la différence de température aux 2 faces, 1°.

l mesurera la chaleur qui *entre* à la face profonde de la peau, par unité de surface, par unité de temps, et pour 1° de différence entre l'intérieur du corps et la face interne de la peau.

Les quantités à connaître sont : Q , $A - B$, $B - C$, $37 - A$, S .

Voici donc les séries d'expériences à faire :

- 1° Détermination de Q par une méthode calorimétrique précise ;
- 2° Recherche de la température aux deux faces de la peau (à 2 millimètres de distance) ;
- 3° Détermination de la surface du corps.

Cette étude a été faite sur l'homme, et l'on a choisi l'eau comme milieu extérieur. C'est sur moi que les expériences ont été réalisées, c'est-à-dire sur un sujet de trente-quatre à trente-six ans, pesant 65 à 66 kilogrammes, habitué aux réfrigérations et très entraîné musculairement (tissu adipeux réduit au minimum).

3. *Calorimétrie dans le bain sans convection.* — Mes méthodes calorimétriques dans les bains, *avec convection*, ont été détaillées ailleurs ⁽¹⁾. Je ne présenterai ici qu'un résumé de la technique, en insistant seulement sur les points qui intéressent spécialement le problème actuel.

Les thermomètres, gradués au dixième, étalonnés, mis à poste fixe, sont visés à la lunette. On évalue la température avec un oculaire micrométrique donnant $\frac{1}{450}$ de degré. C'est avec cette approximation que toutes les lectures et corrections de réchauffement avant et après le bain ont été faites.

Le sujet se déshabille suivant une règle invariable, et se plonge, au signal donné, en deux secondes, dans le calorimètre. Celui-ci protégé suivant les règles habituelles, contient 68 litres d'eau. Cette réduction de la masse liquide rend la sensibilité aussi grande que possible. Le sujet s'y place vivement, le dos au fond du récipient, les genoux pliés, les mains fixées au bord. La tête, les mains et les avant-bras, et une petite partie des membres inférieurs sortent seuls de l'eau ; mais, *dans toutes les expériences, la surface réfrigérée reste exactement la même.* Cette remarque est importante, car elle nous permet d'affirmer que les diverses expériences resteront toujours comparables.

L'immobilité absolue du sujet dans le calorimètre est indispensable ; en d'autres termes, ce sont les débits sans *convection* qu'il faut mesurer ici. En effet, la quantité Q représente la chaleur perdue dans les conditions mêmes de réfrigération où se trouvera l'organisme lorsqu'on déterminera les températures A et B aux deux faces de la peau ; or la difficulté de cette détermination exigera la complète immobilité du corps.

La fin de l'expérience ne présente rien de particulier. Au signal donné, sur indication chronométrique, le sujet sort du calorimètre en deux secondes. La correction de réchauffement est étudiée après comme avant le bain, et le calcul des calories est fait avec une erreur bien inférieure à $\frac{1}{100}$.

Ces mesures sont faites à 5, 12, 18, 24, 30°. A chaque tempéra-

(1) *Arch. de Physiologie*, années 1895, 96, 97. Nous avons, dans ces mémoires, insisté sur la vérification de l'uniformité de température du bain au cours de l'expérience, avant et après.

ture, j'ai cherché les débits en 1, 2, 3, 5, 8, 12, 20 minutes. Je détermine ainsi les débits de la *période variable* et celui de *régime* à la minute pour la *période stationnaire*.

La courbe Q ci-jointe, construite sur ces données expérimentales, indique la valeur du débit de *régime sans convection*, en fonction de la température du réfrigérant (*fig. 1*).

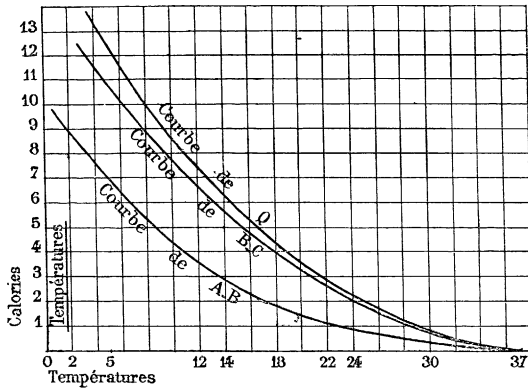


FIG. 1.

4. *Expériences de topographie thermique cutanée.* — Rien de plus difficile *a priori* que la prise sous l'eau de la température des deux faces de la peau. Je me suis expliqué ailleurs ⁽¹⁾ sur cette difficulté et sur les moyens qui m'ont permis de la surmonter à peu près entièrement. Voici un résumé de la méthode employée.

On ne peut évidemment utiliser que les soudures thermo-électriques.

Pour la surface cutanée externe, j'emploie une soudure circulaire, en plaque mince fer-maillechort, occupant le centre de la base inférieure d'un cylindre creux d'ébonite à épaisse paroi. La bordure d'ébonite dépassant d'environ 1 millimètre le plan de la plaque, celle-ci n'entre en contact avec la peau que par une légère pression de l'instrument. La caisse est surmontée elle-même d'un manche d'ébonite très épais, au centre duquel passent les fils fer et maillechort, parfaitement isolés électriquement et thermiquement contre le froid de l'eau et la chaleur de la main de l'opérateur. Nous appellerons cet instrument : *pile de contact* (*fig. 2*).

(1) J. LEFÈVRE, *Arch. de physiologie* : 4 mémoires, année 1898.

Pour prendre la température sous-cutanée à 2 millimètres de profondeur, j'ai fait construire une aiguille (*fig. 3*) composée d'un tube creux d'acier et d'un fil de maillechort isolé en son centre. La soudure des deux métaux se fait à 0^{mm},5 de la pointe pénétrante, et sur

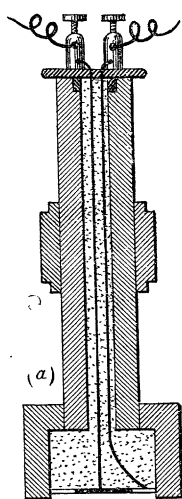


FIG. 2.

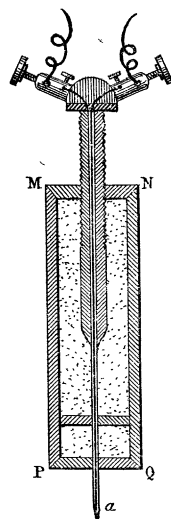
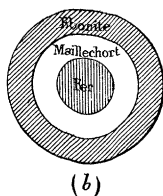


FIG. 3.

une simple étendue de 0^{mm},5. Cette aiguille, vernie sur toute sa surface, peut se déplacer au moyen d'un pas de vis suivant l'axe d'une caisse d'ébonite *protectrice*, où on peut la faire entièrement rentrer. Par le jeu de la vis dont le pas est connu, on amène exactement 2^{mm},5 d'aiguille hors de la boîte, et l'on enfonce entièrement cette portion libre *perpendiculairement dans la peau*, en forçant un peu pour que la base de la caisse d'ébonite soit exactement au contact de la surface cutanée. Grâce à cette précaution, l'aiguille ne touche pas l'eau.

L'opération se fait en quelques secondes, à fleur d'eau, puis la région observée est aussitôt *et de nouveau* immergée⁽¹⁾.

(1) Les fils fer et maillechort protégés de tubes fins de caoutchouc sont fixés aux quatre bornes des deux soudures et aux deux bornes du galvanomètre. Toutes ces bornes sont enveloppées d'ouate afin d'éviter toute trace de courant parasite par différences de température. Le galvanomètre Thomson est, comme d'usage, observé à la lunette.

Voici la marche d'une expérience :

Le bain est préparé. Les deux soudures plongent à côté d'un bon thermomètre observé à la lunette ; l'eau est agitée. Le galvanomètre est au *zéro* ; ce zéro est *invariable*. Le sujet se place alors dans l'eau, et l'expérience commence.

Elle comprend quatre phases :

1° La pile est appliquée avec légère pression sur la surface du corps mise à fleur d'eau pour la recevoir et replongée ensuite. On déplace lentement l'instrument tout en continuant la pression, afin d'éviter le passage de l'eau entre peau et soudure. Grâce au mouvement continu, on empêche la protection réchauffante de la peau par la pile. Le galvanomètre, dès le début, subit une très forte déviation qui s'atténue peu à peu pendant la période variable et se *fixe* au moment du régime. On relève cette déviation en même temps que la température de l'eau près de l'autre soudure. Transformée en degrés ⁽¹⁾, cette déviation fera connaître la différence $B - C$;

2° Pile et aiguille placées côte à côte sur la peau, à fleur d'eau ; le galvanomètre revient immédiatement et exactement au zéro. Cette vérification se fait en quelques secondes ;

3° La pile reste à la surface cutanée et l'on enfonce les 2^{mm},5 d'aiguille entièrement et perpendiculairement dans la peau. Avec les précautions décrites, la pile est déplacée lentement. Cette fois, la déviation observée est de sens inverse à la précédente, puisque l'aiguille est plus chaude que la pile. Cette déviation, instantanément produite se maintient aussi longtemps qu'on le veut ; transformée en degrés, elle donnera la différence $A - B$;

4° Si ces valeurs $A - B$ et $B - C$ sont exactes, leur somme $A - C$ doit donner un nombre égal à celui de l'expérience directe. Pour cette *vérification*, l'aiguille restant sous-cutanée, la pile est mise près du thermomètre dans l'eau. La déviation nouvelle donne bien $A - C$, et *chaque fois on constate que ce chiffre d'expérience est égal au nombre calculé* ⁽²⁾.

(1) La transformation se fait en reproduisant la déviation, les soudures étant placées dans deux bains à température convenable.

(2) Exemple de l'exactitude du contrôle. à 14°. $B - C = 5^{\circ},9$; $A - B = 2^{\circ},7$. La somme, $A - C = 8^{\circ},6$. La mesure directe de $A - C$ donne $8^{\circ},4$. La faible différence $0^{\circ},2$ s'explique par l'échauffement du bain en cours d'expérience.

Le tableau suivant donne les nombres trouvés à 6, 14 et 22°.

Température du réfrigérant.	B — C	Température du réfrigérant.	A — B
6°	10° 2	7°	5° 9
14°	5° 9	14° 5	2° 7
22°	2° 6	22°	1° 2

En portant en ordonnées ces valeurs et en admettant que vers 37°, les différences de température se réduisent à 0, j'ai construit, sur la figure jointe à ce mémoire, les courbes de A — B et B — C. Nous y relèverons les valeurs qui correspondent à 5, 12, 18, 24 et 30° (*fig. 1*).

5. *Détermination de la surface du corps.* — Il faut connaître la surface S qui fournit le débit Q précédemment déterminé. Un procédé bien simple permet d'y arriver.

Après un bain de quelques minutes dans l'eau très froide (5 ou 6°), la surface réfrigérée — celle qu'il faut précisément déterminer — admirablement colorée en rouge, se détache par des lignes nettes sur le reste du corps. Cette surface rougie dessine, en quelque sorte, sur le sujet, à cause de la position qu'il prend dans le calorimètre, des *chaussettes* montant jusqu'à mi-hauteur de mollets, et un *maillot* partant de la base du cou, allant aux coudes et descendant à moitié des cuisses. Il sera donc facile de tailler sur le sujet lui-même de vraies chaussettes et un véritable maillot de coton, en se guidant sur le contour des surfaces hyperhémées. On aura soin seulement, pendant cette opération, de ne faire que le minimum des duplicatures nécessaires aux coutures et de ne jamais forcer l'élasticité du tissu.

Les pièces de cet habillement sont pesées d'abord, puis on pèse un rectangle de même étoffe dont la surface a été déterminée d'avance. Les pesées sont faites au décigramme. Densités et épaisseurs étant les mêmes, les surfaces sont entre elles comme les poids, et l'on a :

$$\frac{S}{s} = \frac{P}{p}.$$

Ici l'échantillon rectangulaire, dont les côtés sont mesurés au demi-millimètre, donne une valeur de s de 1.690 centimètres carrés, avec une erreur relative $< \frac{1}{1.500}$. Son poids $p = 48$ grammes, et le

poids P de la surface d'habillement vaut 340 grammes. Donc :

$$S = 1.690 \times \frac{340}{48} = 12.000 \text{ centimètres carrés.}$$

Pour la surface totale du corps, moins la tête, on trouverait 14.000 à 15.000 centimètres carrés.

6. *Calcul des coefficients de conductibilité. — Discussion. —* Résumons les données du calcul :

Dans toutes les formules $S = 12.000$ centimètres carrés; $t = 1$ minute, $e = 2$ millimètres ⁽¹⁾.

Les résultats calorimétriques et topographiques sont groupés dans le tableau suivant :

Température du réfrigérant.	B — C	A — B	B	A	37 — A	Q (microcalories)
5°	10° 8	7° 25	15° 8	23°	14°	12.500
12°	6° 8	3° 5	18° 8	22° 3	14° 7	7.400
18°	3° 95	1° 8	21° 95	23° 8	13° 2	4.300
24°	2° 5	0° 85	26° 05	26° 9	10°	2.320
30°	0° 8	0° 30	30° 8	31° 1	5°	900

Nous calculons les coefficients en unités C. G. S. Par exemple à 5°, nous aurons :

$$h = \frac{12.500}{10,8 \times 12.000 \times 60}; \quad k = \frac{12.500 \times 0,2}{7,25 \times 12.000 \times 60}; \quad l = \frac{12.500}{14 \times 12.000 \times 60}.$$

Tous les résultats semblables sont groupés dans le tableau suivant :

Valeurs de h , k , l en unités C. G. S.

Température du réfrigérant.	h	k	l
5°	0,0016	0,00047	0,00120
12°	0,0015	0,00058	0,00070
18°	0,0015	0,00066	0,00045
24°	0,0015	0,00075	0,00031
30°	0,0016	0,00083	0,00020

La peau est donc un solide mauvais conducteur; sa conductibilité est à peu près égale à celle du bois, du même ordre que celle de la

(1) Il importe peu, d'ailleurs, que l'épaisseur de la peau diffère un peu de 2 millimètres dans quelques régions. Il suffit que l'on sache que nos coefficients concernent le tissu qui enveloppe le corps sur 2 millimètres d'épaisseur.

gutta-percha, et 5 ou 6 fois supérieure à celle de la laine, 750 fois supérieure à celle de l'air ⁽¹⁾.

7. *Fonction de la conductibilité cutanée dans la résistance au froid.* — De la valeur 0,00083 qu'il possède à 30°, le coefficient k s'abaisse avec la température et tombe vers 5° à 0,00047.

La peau est deux fois moins conductrice, c'est-à-dire résiste deux fois mieux au froid à 5° qu'à 30°.

Le coefficient de conductibilité externe h , de la peau au contact de l'eau, ne semble pas modifié par la température.

Au contraire, le coefficient de conductibilité profonde, ou de réchauffement, croît rapidement quand la température du réfrigérant s'abaisse : il s'élève de 0,00020 à 0,00120. Le coefficient de réchauffement, coefficient de conductibilité superficielle de la peau au contact du milieu intérieur, devient six fois plus grand, quand la température du réfrigérant passe de 30° à 5°.

Rapprochons ces lois de la formule classique de résistance des homoeothermes, à savoir que cette résistance se fait principalement par diminution des pertes périphériques. L'expérience nous montre bien que la peau résiste mieux à 5° qu'à 30° ; mais elle nous montre aussi que si la peau exposée au froid est disposée pour perdre le minimum de chaleur du côté extérieur, elle est également disposée pour en recevoir le plus possible du côté intérieur ⁽²⁾.

Toutefois, de ces deux modifications contraires (*augmentation* du réchauffement profond ; *diminution* de la transmission vers la surface) c'est la première qui l'emporte, et l'on peut dire que :

En dépit de l'augmentation du coefficient de résistance de la peau, au contact du froid, la perte de chaleur à 5° est encore, à cause du réchauffement cutané profond, deux ou trois fois plus grande que ne l'indique la loi de Newton.

Nos mesures, purement calorimétriques, nous avaient conduit, depuis plusieurs années, à énoncer cette conclusion.

(1) M. Bordier trouve pour les divers tissus, osseux, adipeux, etc., des valeurs de la conductibilité qui sont du même ordre de grandeur que celles qu'il trouve pour l'air. Il est visible que cette divergence vient de ce que, dans ces expériences très soignées, l'auteur a déterminé pour l'air un coefficient de convection (V. BORDIER, *Archives de Physiologie*, janvier 1898.)

(2) Loin de s'exclure, ces deux phénomènes se complètent. La peau est d'autant mieux secourue à sa face profonde qu'il fait plus froid, mais, en même temps, elle résiste d'autant mieux, afin de gaspiller le moins possible la chaleur que l'organisme prodigue pour sa défense.