Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 43 (1917)

Heft: 15

Artikel: Etude sur la conductibilité thermique de quelques matériaux de construction

Autor: Biéler-Butticaz, C.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-33176

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

43me année 28 Juillet 1917 N° 15

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. Demierre, ing.
2, Valentin, Lausanne

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Etude sur la Conductibilité thermique de quelques constructions*, par Mme C. Biéler-Butticaz, ingénieur. — Maison locative, à Lausanne (Planches 12 et 13). — Combustibles pour les chaudières de chauffage central. — Concours pour le plan d'extension de Leysin. — *Nécrologie :* Georges Schülé. — Société vaudoise des Ingénieurs et des Architectes. — Société suisse des Ingénieurs et des Architectes. — Assemblée générale.

Etude sur la Conductibilité thermique de quelques matériaux de construction.

Par Mme C. Biéler-Butticaz, ingénieur.

Cette étude comprend deux parties :

I. *Introduction théorique.*

II. *Description et résultats de nouvelles expériences* faites sous la direction de M. le Dr professeur Constant Dutoit.

I. Introduction théorique [1].

Généralités.

La transmission de la chaleur s'opère de trois manières différentes : par *conduction*, par *rayonnement* et par *convection*, souvent simultanées.

La *conduction*, appelée autrefois *conductibilité*, est un échauffement produit de proche en proche, de particule à particule, par la vibration directe.

Le *rayonnement* est le mode de propagation de toutes les sources calorifiques. Le corps chaud émet, dans tous les sens, des rayons calorifiques et la chaleur se transmet par les vibrations de l'air ou de l'éther. La chaleur que nous sentons près d'une lampe électrique à incandescence est de la chaleur rayonnante traversant l'ampoule vide d'air.

La *convection* est un courant de particules matérielles échauffées dû à l'action de la pesanteur (exemple : courant d'air chaud autour d'un fourneau).

Cette étude se rapporte principalement aux phénomènes de conduction, les plus intéressants pour l'art de l'ingénieur, et qui divisent les corps en *bons* ou *mauvais conducteurs* de la chaleur

Historique.

L'étude de la transmission de la chaleur est très ancienne et occupa un grand nombre de savants. Newton (1642-1727) déjà, a déterminé la loi suivante que nous avons utilisée dans nos expériences :

« La quantité de chaleur transmise par un corps chaud, à l'enceinte dans laquelle il se trouve, est proportionnelle à l'*excès* de la température de la surface du corps sur celle de l'enceinte ». Cette loi se vérifie quand les excès de température ne dépassent pas 25° ; Dulong et Petit (1837) ont donné une formule pour de plus grandes différences de température [1]. Plusieurs physiciens ont étudié la conductibilité thermique de différents métaux en comparant les effets de la chaleur sur différentes *barres* des corps à étudier. C'est Fourier qui établit la théorie mathématique des phénomènes de conduction qu'Ohm appliqua en 1830 à la conduction électrique.

Fourier résolut son célèbre « problème de la barre [2] » donnant les différentes températures que prend une barre métallique, à l'état stationnaire, dont une extrémité est maintenue à température constante : « Les excès de températures des diverses tranches de la barre décroissent en progression géométrique quand les distances de ces tranches à la source chaude croissent en progression arithmétique ».

Fourier a établi une formule permettant de déterminer la pénétration de la chaleur dans l'intérieur des corps. Nous la donnons ci-dessous, car elle nous paraît utile dans ses applications.

Pénétration de la chaleur dans l'intérieur des corps d'épaisseur indéfinie.

Lorsqu'on commence à chauffer un corps par *sa surface extérieure AB de température constante, T*, la température intérieure s'élève peu à peu, de proche en proche, suivant une loi qui dépend du temps. *AB* est chauffé, par exemple, par un courant rapide de vapeur.

La température à l'intérieur de la masse est croissante avec le temps, mais décroissante avec la distance à la face *AB*. A un moment donné ce décroissement de température dans l'épaisseur du corps peut être représenté par la courbe de la Fig. 1. Pour un point à la distance *OM* la température est *MN*. Les abcisses sont les distances à *AB* ; les ordonnées sont les températures correspondantes. A mesure que la durée du chauffage se prolonge la courbe s'élève au-dessus de l'axe des *x*.

[1] Livres consultés : *Leçons élémentaires de physique*, par Albert Turpain. — *Traité de physique*, de Chwolson. — *Traité de physique industrielle*, par L. Ser. — « *Hütte* » *des Ingenieurs Taschenbuch*. — *Leçons de physique expérimentale*, par Henri Dufour. — *Recueil de Constantes physiques*, Société française de physique, 1913. — *Le froid industriel*, L. Marchis, 1913.

[1] Voir *Traité de physique*, de Chwolson.

[2] Voir *Traité de physique*, de Chwolson.

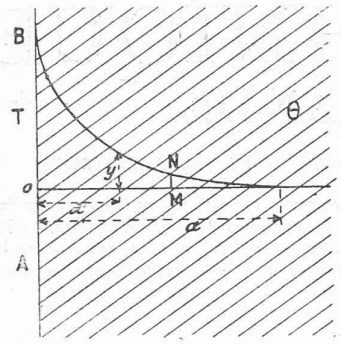


Fig. 1.

Voici la formule générale permettant de calculer les *courbes de pénétration de la chaleur dans les corps homogènes d'épaisseur indéfinie.*

Soient :

T = température constante de la face AB.
y = température, après le temps t, d'une tranche du corps parallèle à AB, située à une distance x.
θ = température initiale uniforme du corps.
K = coefficient de conductibilité du corps.
c = chaleur spécifique du corps.
δ = poids du m³ du corps en kilogrammes.
t = temps écoulé en heures.
x = distance à la face AB en mètres.

On pose pour simplifier :

$$\varphi = \frac{x}{2\sqrt{\frac{K}{c\delta}\,t}}. \tag{1}$$

La formule de Fourier est de la forme

$$y - \theta = (T - \theta)\left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\varphi} e^{-\varphi^2}\,d\varphi\right). \tag{2}$$

Si l'on appelle

$$A = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\varphi} e^{-\varphi^2}\,d\varphi, \tag{3}$$

la formule devient

$$y - \theta = (T - \theta)(1 - A). \tag{4}$$

L'intégrale A, connue dans le calcul des probabilités, a les valeurs suivantes, pour divers φ (voir tableau ci-dessous).

Pour tracer la courbe des températures après un temps déterminé, t, telle que celle de la Fig. 1, on procède comme suit :

On tire x de la formule (1)

$$x = 2\varphi\sqrt{\frac{K}{c\delta}\,t}$$

En prenant pour φ une série de valeurs on en déduit celles de x ; les A sont donnés par le tableau ; la formule (4) donne les $(y\text{-}\theta)$.

La profondeur, a, de la pénétration de la chaleur au bout d'un temps déterminé, soit l'endroit où la température va commencer à changer (voir Fig. 1), est donnée par le point où la courbe rencontre l'axe des x et peut être aussi déterminée directement par la relation suivante :

$$x = a = 4{,}7\sqrt{\frac{K}{c\delta}\,t}$$

suffisamment exacte pour des différences de températures allant jusqu'à 100°.

On démontre que la *quantité de chaleur absorbée* est représentée par l'aire de la courbe (Fig. 1) à l'instant considéré.

Soit S = surface de la tranche,

$$Q = S(T - \theta)\sqrt{Kc\delta t}$$

soit proportionnelle à la racine carrée du temps.

TABLEAU DES VALEURS DE L'INTÉGRALE $A = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\varphi} e^{-\varphi^2}\,d\varphi$.

φ	A	φ	A	φ	A	φ	A	φ	A
0,00	0,00000	0,15	0,16800	0,90	0,79691	1,65	0,98038	2,40	0,99931
0,01	0,01128	0,20	0,22270	0,95	0,82089	1,70	0,98379	2,45	0,99947
0,02	0,02257	0,25	0,27632	1,00	0,84270	1,75	0,98667	2,50	0,99959
0,03	0,03384	0,30	0,32863	1,05	0,86244	1,80	0,98909	2,55	0,99969
0,04	0,04511	0,35	0,37938	1,10	0,88020	1,85	0,99111	2,60	0,99976
0,05	0,05637	0,40	0,42839	1,15	0,89612	1,90	0,99279	2,65	0,99982
0,06	0,06762	0,45	0,47548	1,20	0,91031	1,95	0,99418	2,70	0,99987
0,07	0,07886	0,50	0,52050	1,25	0,92290	2,00	0,99532	2,75	0,99990
0,08	0,09008	0,55	0,56332	1,30	0,93401	2,05	0,99626	2,80	0,99992
0,09	0,10128	0,60	0,60386	1,35	0,94376	2,10	0,99702	2,85	0,99994
0,10	0,11246	0,65	0,64203	1,40	0,95228	2,15	0,99764	2,90	0,99996
0,11	0,12362	0,70	0,67780	1,45	0,95969	2,20	0,99814	2,95	0,99997
0,12	0,13476	0,75	0,71116	1,50	0,96611	2,25	0,99854	3,00	0,99998
0,13	0,14587	0,80	0,74210	1,55	0,97162	2,30	0,99886	4,00	0,99999
0,14	0,15695	0,85	0,77067	1,60	0,97635	2,35	0,99911	5,00	0,99999

Pour permettre un calcul rapide nous donnons les valeurs suivantes employées par Ser :

SUBSTANCES	K Coefficient de conductibilité	c Chaleur spécifique	δ Densité
Sable	0,27	0,20	1470
Pierre calcaire . .	1,27	0,21	2220
Briques	0,60	0,19	1800
Bois (suiv. fibres) .	0,10	0,57	900
Coton	0,04	0,27	10
Fer	58,82	0,113	7730
Air	0,000288	0,2377	1,293
Eau stagnante . .	0,425	1,00	1000

Les auteurs n'indiquent pas la terre végétale, car elle est trop variable de constitution et d'humidité. Généralement la température journalière de l'air atmosphérique est périodique, il faudra en prendre la *valeur moyenne* pour l'introduire dans les calculs.

Exemple : Combien faudra-t-il de temps pour qu'une couche de sable, située à 0^m20 de profondeur, dans du sable homogène primitivement à 15^0, atteigne la température de 20^0 lorsque la température extérieure est de 30^0 ?

$$A = 1 - \frac{\gamma - \theta}{T - \theta} \quad \text{et} \quad t = \frac{c\delta}{4K} \cdot \frac{x^2}{\varphi^2} ;$$

$$A = 1 - \frac{20 - 15}{30 - 15} = 0{,}667 ;$$

par interpolation dans le tableau on trouve $\varphi = 0{,}685$; $x = 0^m20$; $\theta = 15^0$; $T = 30^0$; $\gamma = 20$.

Le temps sera égal à

$$\frac{0{,}2 \times 1470 \times (0{,}2)^2}{4 \times 0{,}27 \times (0{,}685)^2} = 23\ {}^1/_4 \text{ heures.}$$

D'après ce qui précède nous avons établi la courbe suivante, montrant au bout de combien de temps le sable atteint 0^0 à diverses profondeurs, la température constante extérieure étant -5^0 et la température initiale du sable étant $+5^0$ (fig. 2).

Pénétration de la chaleur dans les corps d'épaisseur définie.

Pour les corps dont *les faces extérieures sont maintenues à température constante* la loi de la conduction est très simple, mais ce cas est rare en pratique.

« La quantité de chaleur qui passe *en régime établi* d'une face à l'autre d'une paroi est proportionnelle à la surface de transmission, à la différence de température des 2 faces, au temps et en raison inverse de l'épaisseur ».

$$Q = SK \left(\frac{T_1 - T_2}{e} \right) t.$$

Q = en calories

T_1 et T_2 les températures constantes des 2 faces de la paroi.

t = temps ; e = épaisseur.

Si l'on prend toutes les valeurs égales à l'unité sauf K on trouve, en calories, le *coefficient K de conductibilité thermique.*

Péclet a fait de nombreuses expériences sur la conductibilité des corps, en général dans des cylindres creux placés dans une enceinte close. Les valeurs qu'il a déterminées se trouvent dans le livre de Ser.

Des expériences sur les *enveloppes isolantes* ont été faites par Burnat et Royet au moyen de divers tuyaux dans lesquels passait de la vapeur et entourés des corps à étudier. On mesurait l'eau condensée.

Pénétration du froid dans le sable sec.

Température extérieure constante = —5° C.

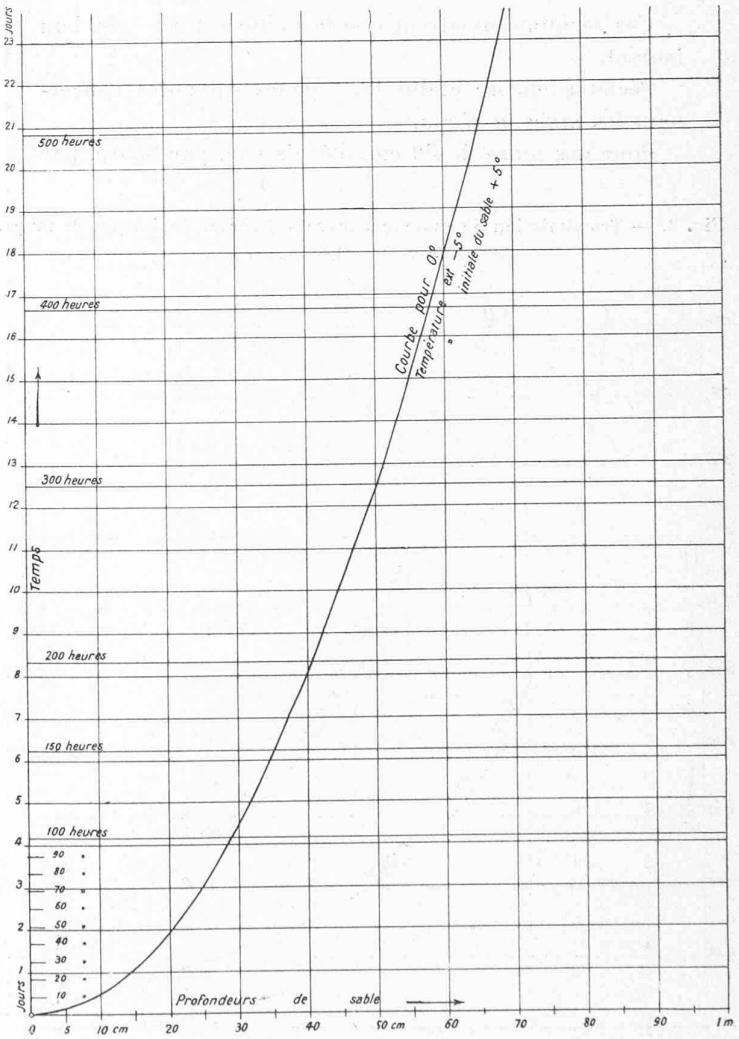


Fig. 2. — Exemple : Il faut 298 heures pour que le sable atteigne 0° à 0,50 de profondeur.

	Vapeur condensée par mq.	Rapports.
Fonte nue	Kg. 2,84	1,000
Paille	0,98	0,345
Tuile, terre et paille	1,12	0,394
Coton et toile	1,39	0,482
Feutre caoutchouté	1,53	0,538
Plastique Pimont	1,56	0,549

Brull employa un cylindre en fer blanc rempli d'huile animale chaude dont on observait le refroidissement.

	Epaisseurs. mm.	Rapports des chaleurs transmises.
Métal nu	—	1,00
Plastique	50	0,62
Chêne	27	0,59
Liège pur	12	0,42
» »	18	0,37
» aggloméré	15	0,36
» »	21	0,29
Feutre	20	0,32
Paille	25	0,31
Ouate minérale	40	0,26

Ces résultats montrent que la paille est un très bon isolant.

Péclet a encore établi les valeurs suivantes concernant les *murs et vitres*.

Pour des *murs* de 50 cm. d'épaisseur, par heure, par m² et par degré de différence de température entre les faces, il passe :

Vitesse du vent. m./s.	Murs en pierres calcaires. Calories.	Murs en briques. Calories.
Air calme.	1,504	0,842
0,50	1,68	0,897
1,00	2,12	1,008
2,00	2,14	1,013
4,00	2,15	1,014

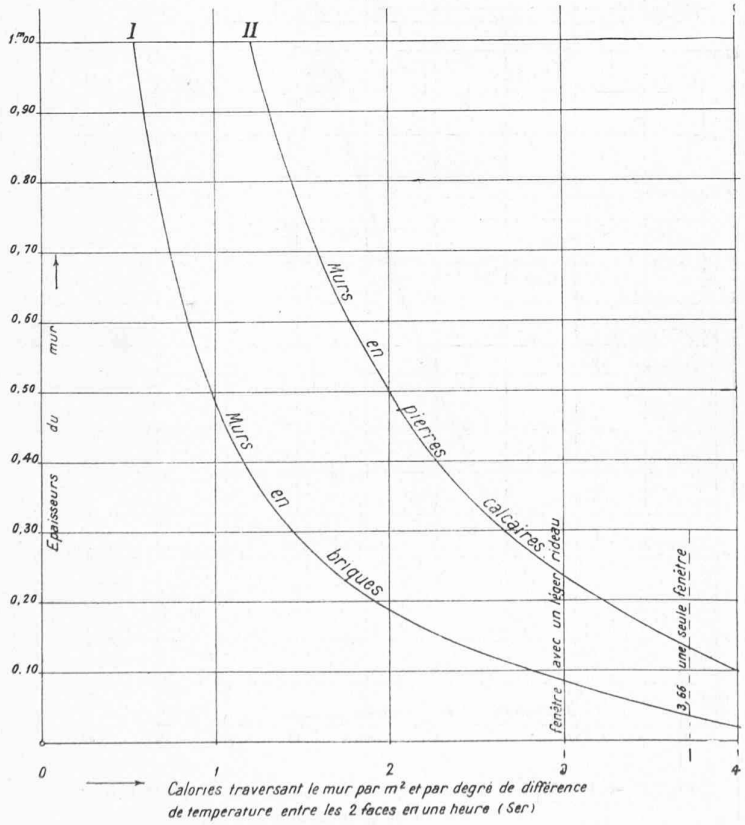
Vitres. — Pour une seule vitre 3,66 (pour vent 0m80) et couverte d'un rideau léger 3,00.

Les fenêtres doubles réduisent la transmission au tiers environ (fig. 3).

Exemple : Pour une vitesse de vent de 0m80 à travers un mur en pierres calcaires de 50 centimètres, il passe 2 calories par heure, par m² et par degré de différence de température ; pour un mur en briques dans les mêmes conditions 0,98.

(A suivre).

Fig. 3. — Transmission de chaleur à travers diverses épaisseurs de murs.
Vitesse du vent = 0,80 m. par sec.



Maison locative, à Lausanne.

(Planche 12 et 13.)

Cet immeuble, construit par M. *A. Guignet*, architecte, à Lausanne, occupe, avec ses annexes, le triangle de terrain situé au sud de la Synagogue.

Le bâtiment principal est distribué en grands appartements, dans lesquels rien n'a été négligé pour satisfaire les exigences du confort moderne.

La partie intéressante est l'annexe sud, de forme semi-circulaire ; cette annexe est occupée par une crèmerie, tea-room et ses nombreux locaux accessoires : laboratoires, etc. Un escalier décoratif en chêne relie la crèmerie avec la toiture-terrasse aménagée à l'usage de la clientèle. Le service de cette terrasse est assuré de l'office au moyen d'un monte-charge.

Le rôle de la science de l'administration dans la formation des ingénieurs.

La *Société des ingénieurs civils de France* a institué un grand débat sur l'enseignement technique supérieur. Ouverte par une magistrale conférence de M. E. Guillet, la discussion fut extrêmement nourrie et animée. Les personnalités les plus diverses y prirent part : de nombreux ingénieurs, des directeurs et administrateurs de grandes entreprises industrielles et d'établissements d'instruction, des officiers, un conseiller d'Etat, célèbre par ses travaux sur l'économie politique, M. Colson, des savants illustres, tels que M. Appell, Picard, Lecornu, Le Chatelier.

Les discours prononcés à cette occasion ont été consignés *in extenso* dans les procès-verbaux de la Société qui ne sont malheureusement pas accessibles à tous les intéressés : aussi est-il à souhaiter qu'ils soient réunis en un volume mis en vente dans les librairies. Nous eussions été heureux de pouvoir offrir à nos lecteurs un résumé de cette vaste enquête si riche d'enseignements utiles, mais la tâche est trop malaisée pour que nous nous y essayions. La plupart des orateurs ont exposé leurs conceptions dans une forme nuancée, abondante