

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 49 (1923)
Heft: 23

Artikel: Etude expérimentale de la transmission de la chaleur par quelques matériaux de construction
Autor: Dumas, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-38262>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.01.2025

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

BULLETIN TECHNIQUE

DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D^r H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE AGRÉÉ PAR LA COMMISSION CENTRALE POUR LA NAVIGATION DU RHIN
ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : *Etude expérimentale de la transmission de la chaleur par quelques matériaux de construction*, par A. DUMAS, ingénieur, professeur à l'Université de Lausanne, Chef du Laboratoire d'Essais de Matériaux. — *Concours pour l'étude d'un Musée des Beaux-Arts à ériger à La Chaux-de-Fonds*. — *Le canal alsacien entre Bâle et Strasbourg et la régularisation du Rhin sur ce secteur*, par M. KUPFFERSCHMID, ancien ingénieur en chef du « Vasserbauamt » à Carlsruhe. — *Le problème de la fixation de l'azote de l'air*. — *Le Concours d'Art de la VIII^e Olympiade, à Paris en 1924*. — BIBLIOGRAPHIE. — SOCIÉTÉS : Groupe genevois de la G. e. P. — SERVICE DE PLACEMENT.

Etude expérimentale de la transmission de la chaleur par quelques matériaux de construction

par A. DUMAS, ingénieur, professeur à l'Université de Lausanne,
Chef du Laboratoire d'Essais de Matériaux.

AVANT-PROPOS

Toutes les études et les expériences faites ces dernières années pour établir des systèmes de construction rationnels et économiques ont révélé l'importance des essais de matériaux pratiqués avec science et méthode.

Pendant longtemps ces essais ont porté presque uniquement sur la résistance à l'écrasement d'éléments constitutifs de murs : briques, plots, etc., sans tenir compte de la place et de la fonction réelle de ces éléments dans le mur exécuté et soumis aux efforts divers et souvent complexes qui agissent dans la construction. Le Laboratoire d'essais des matériaux de l'Université de Lausanne a déjà réalisé un grand progrès en créant un dispositif permettant d'écraser des murs montés de un mètre carré de surface. Les résultats obtenus ont été des plus instructifs. Ils ont mis en évidence les points faibles de certains systèmes de construction et indiqué ainsi les améliorations qu'il convenait d'y apporter.

Voilà pour la statique. Mais un autre facteur important à déterminer, lorsqu'il s'agit de réaliser des économies en réduisant l'épaisseur des murs, est celui de la transmission de la chaleur par les matériaux employés. Les résultats peu concordants d'essais ou de calculs publiés dans quelques revues techniques laissaient planer des doutes et, de ce fait, étaient très discutés. Il fallait que les expériences fussent reprises sur une série de murs construits avec des matériaux usuels chez nous, dans des conditions identiques, en un même laboratoire. C'était la seule manière d'obtenir des données ayant une valeur comparative presque absolue.

C'est à l'instigation de M. A. Freymond, syndic de Lausanne, président de la Section romande de l'Union suisse pour l'Amélioration du Logement, que nous nous sommes adressés à l'École d'Ingénieurs de Lausanne. Son directeur, M. Jean Landry, ingénieur, a bien voulu entrer dans nos vues avec la plus grande amabilité et nous mettre en relations avec le Laboratoire d'essai des matériaux que dirige M. le professeur A. Dumas. Celui-ci témoigna, dès le début, le vif intérêt qu'il portait aux essais proposés et il en réalisa la méthode. L'appareil nécessaire conçu et mis au point par M. Constant Dutoit, professeur, une longue série d'essais fut entreprise accompagnée de patients et minutieux mesurages de températures. Ce sont les conclusions de cette étude accomplie avec une rare conscience scientifique que M. Dumas a consignés en une forme à la fois claire et succincte en son rapport.

Mais pour établir avec sécurité ces quelques coefficients et les graphiques qui les accompagnent, il a fallu passer par des centaines de résultats intermédiaires, les comparer, les vérifier, éliminer les causes accidentelles qui pouvaient les fausser. Tout homme de science se rendra compte du travail que cela représente. La Section romande U. S. A. L. avait pris sur elle de faire construire les pans de murs qui ont servi aux expériences. Elle a choisi les matériaux et modes de construction les plus répandus dans notre région.

La grande capacité isolante de la brique en terre cuite comme matériau de construction a pu être établie ainsi d'une manière incontestable.

Le rapport si complet et précis de M. Dumas n'a pas besoin d'être commenté. Il reste à en tirer des conclusions et des applications pratiques. Il faut surtout considérer que ces essais ne font qu'ouvrir la voie à beaucoup d'autres qui enrichiront et étendront le champ de nos connaissances en technologie des matériaux. Tous les constructeurs comprendront l'intérêt qu'ils ont à soutenir l'institution scientifique et hautement utile qu'est le Laboratoire d'essai de matériaux de l'Université de Lausanne. Avec beaucoup d'ingéniosité, de sens pratique et de très faibles ressources matérielles, il a pu résoudre tous les problèmes, souvent compliqués ou délicats, qui lui ont été posés. Aidons-le à augmenter ses ressources, son outillage et, surtout, sachons utiliser les hautes compétences de ceux qui le dirigent, en tirant parti pour notre bien et celui du pays.

FRED. GILLIARD.

Introduction.

Nous exposons, dans ce rapport, les résultats de déterminations expérimentales de la quantité de chaleur traversant dans des conditions données des parois ou pans de murs exécutés avec divers matériaux de constructions et nous décrivons les appareils qui ont été construits pour cela.

Le problème nous a été posé avec précision au début de l'année 1921 par M. F. Gilliard, architecte, secrétaire de la Section romande de l'Union suisse pour l'amélioration du logement.

M. Gilliard, appelé à s'occuper activement de la construction d'habitations devant présenter le maximum de confort et de salubrité tout en restant à la portée de bourses modestes s'est vu obligé de considérer la valeur thermique des matériaux de construction à utiliser pour la construction des édifices projetés. Remarquant des divergences et même des contradictions dans les renseignements qu'il recevait de part et d'autre à ce sujet M. Gilliard s'est alors adressé au Laboratoire d'essais de maté-

riaux de l'Université de Lausanne, demandant que l'on étudie cette question et que l'on détermine expérimentalement le coefficient de transmission de chaleur des parois et des murs qui l'intéressaient.

Des installations pour de telles recherches n'existant pas, loin à la ronde, et en particulier en Suisse, nous avons donc été obligés d'élaborer dans tous ses détails une méthode de recherches adaptée aux conditions locales. Les appareils spéciaux pour ces recherches ont été construits de toutes pièces, avec une rare compétence par M. *Constant Dutoit*, professeur, lequel a mis, ensuite, au point la méthode d'essais.

Un wattmètre utilisé pour des mesures électriques a été mis gracieusement à notre disposition par la maison Landis et Gyr à Zoug, et nous tenons à l'en remercier sincèrement.

Exposé de la question.

Les maisons de tous genres dans lesquelles vivent des êtres humains doivent offrir pendant la saison froide une protection aussi efficace que possible contre le froid. Lorsque le froid règne à l'extérieur, on maintient l'intérieur des maisons à une température convenable en les chauffant avec des appareils appropriés (poêles). Toute la chaleur dégagée à l'intérieur d'un local, suivant la règle connue, passe peu à peu de l'intérieur à l'extérieur, d'une part, en traversant directement les murs et les fenêtres de l'édifice par conductibilité thermique, d'autre part, transportée par les différents courants d'air qui doivent contribuer pour une bonne part à échanger l'air des locaux.

Plus ces pertes de chaleur seront grandes, plus il faudra de combustible pour maintenir un local à une température donnée et par conséquent, plus le coût du chauffage sera élevé.

Pour des maisons de petites dimensions, les conditions de solidité auxquelles les murs doivent satisfaire ne sont pas strictes et des murs même très légers peuvent, dans bien des cas, être amplement suffisants. L'entrepreneur est donc tenté, avec raison, de prévoir des murs légers pour de tels édifices, car cela permettra de réaliser une construction économique. Par contre il y a tout lieu de craindre que de telles parois, si elles ne sont pas bien comprises, n'offrent pas un écran suffisant contre le froid. Pour compenser la perte de chaleur qui s'établira, il faudra prévoir une installation de chauffage proportionnée et l'on conçoit que l'on puisse arriver assez vite à des conditions telles que l'augmentation des frais de chauffage soit plus grande que l'économie réalisée sur la construction, ce qui serait une mauvaise politique financière.

L'architecte soucieux des intérêts bien compris de ses clients devra donc s'efforcer de réaliser des parois qui devront non seulement être aussi économiques que possible, mais qui en outre devront opposer au passage de la chaleur un écran suffisant afin de ne pas perdre en surplus de frais de chauffage ce que l'on aurait pu économiser sur la construction.

Définitions.

Pour pouvoir discuter le problème avec fruit, il faut commencer par donner quelques définitions et répéter les lois générales auxquelles satisfait le passage de chaleur à travers une paroi ou un mur.

Dans les formules ci-dessous, sauf indication contraire, on emploiera les symboles suivants :

Q = Quantité de chaleur en kg.-calories (1 kg. calorie est la quantité de chaleur qu'il faut pour élever de 1 degré centigrade la température d'un kg. d'eau).

t = température, en degrés centigrades.

h = temps, en heures.

d = épaisseur des parois, en mètres. (On indique volontiers d en cm., mais dans les formules suivantes, il faut l'introduire en m.)

s = surface des parois, en mètres carrés.

Considérons une paroi plane dont l'une des faces soit à la température t_1 et l'autre à la température t_2 . Dans ces conditions, il s'établit au travers de la paroi un flux de chaleur Q passant de la face chaude à la face froide (voir fig. 1).

L'expérience montre que la quantité de chaleur passant à travers une paroi composée d'une matière donnée est :

- 1° Proportionnelle à la différence de température des faces de la paroi ($t_1 - t_2$).
- 2° Proportionnelle à la surface de la paroi (s).
- 3° Proportionnelle au temps (h) pendant lequel le passage de la chaleur a lieu.
- 4° Inversément proportionnelle à l'épaisseur d de la paroi.

Ce que l'on exprime par l'équation :

$$Q = k \cdot (t_1 - t_2) \cdot s \cdot h \cdot \frac{1}{d} \quad (1)$$

Dans cette formule, k est un facteur de proportionnalité, dépendant uniquement de la substance dont la paroi est constituée. Ce facteur k est le coefficient de *conductibilité thermique de la substance de la paroi*.

La formule (1) permet de donner une représentation commode de la conductibilité thermique. On dira simplement :

La conductibilité thermique de la matière d'une paroi est égale à la quantité de chaleur en kg.-cal., traversant pendant une heure, pour une différence de température de 1° C entre faces, une paroi de 1 m² de surface et de 1 m. d'épaisseur.

Comme unité de la conductibilité thermique on a donc :

$$k = \frac{\text{kg} - \text{cal. m}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{h}}$$

Mais ce qui intéresse les architectes et les entreprises

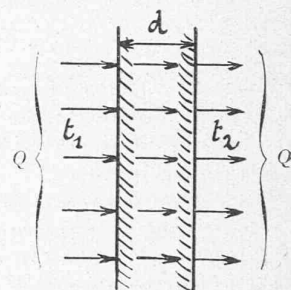


Fig. 1. — $t_1 > t_2$.

d'installation de chauffage, ce n'est pas la conductibilité thermique d'une paroi, telle qu'elle vient d'être définie, mais c'est la quantité de chaleur, laquelle, en fin de compte, traverse une paroi donnée. Or, comme les murs sont toujours composés de matières diverses, que beaucoup même sont faits avec des briques creuses, afin d'opposer une résistance aussi grande que possible au passage de la chaleur, on se rend compte que la formule (1) n'est plus applicable sans autre pour de tels murs. On conçoit notamment que l'épaisseur d'une paroi n'est plus une caractéristique de la résistance au passage de la chaleur au travers de cette paroi ainsi qu'on l'avait admis en établissant la formule (1). On devra donc établir d'autres formules pour calculer la quantité de chaleur qui nous intéresse réellement.

Sans entrer dans le détail de cette question, nous dirons simplement que pour une première approximation on peut dire que la quantité de chaleur traversant une paroi donnée est :

1° Proportionnelle à la différence de température ($t_1 - t_2$) entre les faces de la paroi (ou, suivant les cas, de l'air ambiant des deux côtés de la paroi).

2° Proportionnelle à la surface s de la paroi.

3° Proportionnelle au temps h pendant lequel le phénomène se passe.

Ce qui, traduit en équation, donne :

$$Q = c \cdot (t_1 - t_2) \cdot s \cdot h \quad (2)$$

Dans cette formule, présentant une grande analogie avec la formule (1), c est ce que l'on appelle le *coefficient de transmission de chaleur de la paroi*. C'est un coefficient qui caractérise parfaitement le degré de protection thermique que présente une paroi.

La formule (2) permet de donner la définition suivante de ce coefficient :

Le coefficient de transmission de chaleur d'une paroi est égal à la quantité de chaleur traversant pendant une heure une surface de 1 m^2 d'une paroi donnée pour une différence de température de 1°C entre les milieux où se trouvent les faces.

Remarquons qu'à un faible coefficient correspond une bonne protection contre le passage de la chaleur, et inversement.

Ce coefficient de transmission de chaleur a comme unités :

$$c = \frac{\text{kg} - \text{cal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h}}$$

Dans beaucoup de cas, on peut établir des relations simples permettant de calculer le coefficient de transmission de chaleur en fonction de la conductibilité des différents éléments de la paroi. C'est une question de la plus haute importance mais que nous ne traiterons pas dans cette étude.

Problème à résoudre.

Le problème posé était le suivant : Déterminer expérimentalement le coefficient de transmission de chaleur de quelques types donnés de murs.

Etant donnée une paroi (ou un mur) dans tous ses éléments, on peut, analytiquement, en partant des caractéristiques thermiques de ses différents éléments, en calculer le coefficient de transmission de chaleur avec une approximation satisfaisante. Mais il y a précisément un intérêt capital à vérifier expérimentalement les résultats du calcul. C'est pourquoi nous nous sommes occupés essentiellement du côté expérimental du problème.

D'après les définitions qui précèdent, on voit que, pour déterminer le coefficient de transmission de chaleur d'une paroi, il suffit de mesurer la quantité de chaleur traversant une surface donnée de la paroi pendant un temps donné, et pour une différence de température entre faces déterminée.

Au point de vue théorique, le problème est simple, mais il présente des difficultés expérimentales assez grandes à résoudre.

Méthode d'essais et appareils.

Après avoir envisagé les différentes manières de résoudre le problème, après avoir soumis à une critique les méthodes d'essais appliquées dans d'autres laboratoires et après des tâtonnements préliminaires, nous avons construit l'appareillage suivant :

Un corps de chauffe électrique B (voir fig. 2) est placé entre deux parois identiques A et C dont on veut déterminer le coefficient de transmission de chaleur. Les faces extérieures des parois sont en contact avec l'air ambiant, tandis que les faces

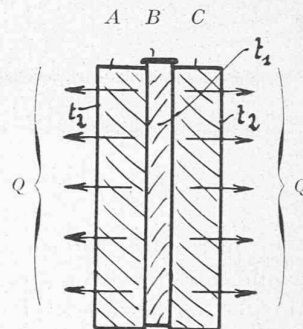


Fig. 2.
A et C : parois identiques en observation.
B : corps de chauffe.

intérieures sont en contact immédiat avec le corps de chauffe et sont à une température plus élevée que les faces extérieures. Un flux de chaleur passe donc à travers les parois suivant le sens indiqué par des flèches sur la figure.

La figure 3 montre le corps de chauffe sur lequel on a dessiné les enroulements. Il est organisé de manière à ce que l'on puisse relever à chaque instant, au moyen d'un wattmètre, la quantité d'énergie électrique nécessaire pour entretenir un régime thermique stationnaire. Il est pourvu de tubes verticaux, visibles sur la figure dans lesquels on introduit un couple thermo-électrique ; ce qui permet de relever la température à différents points de la paroi.

On opère simultanément sur deux parois identiques, placées des deux côtés du corps de chauffe, afin d'éviter toute dissymétrie dans le phénomène. Les parois à observer sont disposées verticalement, exactement dans la position où elles sont utilisées, car cela serait inadmissible de déterminer autrement le coefficient de transmission de chaleur de parois dans lesquelles peut s'établir une circulation d'air.

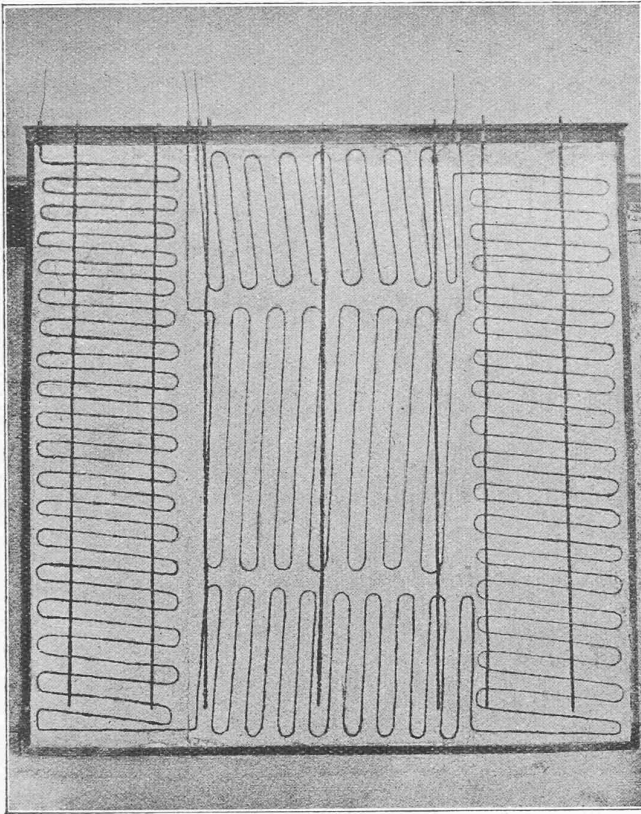


Fig. 3. — Corps de chauffe électrique.

On opère alors comme suit : On installe le corps de chauffe entre les parois à étudier, on y fait passer le courant puis on laisse le système se chauffer pendant longtemps, plusieurs jours, jusqu'à ce que l'on se trouve dans un régime stationnaire. Dans ces conditions, toute la chaleur introduite par le corps de chauffe entre les parois se perd en traversant celles-ci. Le wattmètre indique la quantité de chaleur introduite entre les parois. Avec un couple thermo-électrique on mesure la répartition des températures sur la face chaude de la paroi puis on mesure directement la température de la face froide. De cette manière on connaît tous les éléments nécessaires pour calculer le coefficient de transmission de chaleur d'après la formule (2).

Les dimensions du corps de chauffe sont d'environ 1,10 m. \times 1,10 m. de manière que l'on puisse opérer sur des pans de murs ayant une surface d'environ 1 m. \times 1 m. (de préférence 1,10 m. \times 1,10 m.).

Avec le wattmètre, on ne relève toutefois pas toute l'énergie électrique absorbée par le corps de chauffe ; on ne mesure que l'énergie électrique absorbée par un carré de 0,50 m. \times 0,50 m. placé au milieu du corps de chauffe, dans la région où la température est la plus uniforme et qui est visible également sur la figure 3.

Quant aux températures, elles ont été relevées dans toute l'étendue de la paroi.

Le terme le plus délicat à déterminer dans la formule (2) c'est la différence $t_1 - t_2$ entre les températures des faces des parois. Si l'on avait affaire à une température cons-

tante sur toute la surface des parois, cette détermination ne présenterait pas de difficultés. Mais comme cela n'est pas le cas, il faut relever les températures en différents points de la face des parois, en étudier la répartition, puis en calculer une valeur moyenne pour la région intéressante.

(A suivre.)

Concours pour l'étude d'un Musée des Beaux-Arts à ériger à la Chaux-de-Fonds.

Une commission formée par des représentants du Conseil général et du Conseil communal de la Chaux-de-Fonds, du Bureau du Contrôle, de la Société des Amis des Arts, a ouvert un concours d'architecture ayant pour objet l'étude d'un Musée des Beaux-Arts, qui sera construit sur le chésal sis à la Chaux-de-Fonds entre la propriété rue de la Loge N° 11 et l'immeuble rue de l'Envers, 35.

Le jury était constitué de MM. Braillard, arch., Genève ; Laverrière, arch., Lausanne ; Jost, arch., Lausanne ; Prince, arch., Neuchâtel ; Thévenaz, arch., Lausanne ; Bernoulli, arch., Bâle. Suppléants MM. Gilliard, arch., Lausanne et Rittmeyer, arch., Winterthur. — MM. Guyot et Péquegnat, membres des Amis des Arts. — M. Hoffmann, Conseiller communal.

Les concurrents devaient être domiciliés à la Chaux-de-Fonds, et y avoir le siège principal de leur activité.

Les projets qui devaient être livrés le 30 juin 1923, devaient comporter : Un plan de situation échelle 1 : 500, les plans de l'édifice, complets, au 1 : 100, une vue perspective d'un point fixé sur le plan de situation.

Quant au fond les projets devaient obéir aux prescriptions suivantes :

a) L'utilisation la plus rationnelle du terrain à disposition devra être prévue, de manière à ne pas compromettre sensiblement les dégagements en nature de parc existant aux alentours du bâtiment Loge 11. En d'autres termes, un empiètement sur ces dégagements n'est pas exclu en principe, il est même nécessaire pour obéir à la prescription spécifiée sous lettre e). Voir plan de situation, page 282.

Dans ces limites, la grandeur et l'importance du nouveau bâtiment n'est pas précisée. Il peut être bâti sur le chésal indiqué jusqu'à la limite extrême du fonds, sous réserve du retrait d'alignement prévu par la dernière phrase du présent alinéa. Tout projet devra former un tout, mais être conçu de telle sorte qu'il puisse être exécuté en deux étapes au minimum. Il pourra être tenu compte en vue de la seconde étape, de la démolition éventuelle du bâtiment Envers 35. La façade principale du bâtiment devra être prévue parallèle à l'alignement de la rue de l'Envers, mais en retrait de cet alignement.

b) La première étape d'exécution devra être prévue pour fournir les locaux suivants :

Une salle d'expositions temporaires comportant 100 m. au minimum, des salles de peinture offrant 200 m. au minimum de cimaise fixe, une salle de gravure avec 22 m. de cimaise environ, une salle de sculpture de 120 m² environ, une chambre pour le Comité, un local de déballage, un local servant de dépôt aux œuvres non exposées, un vestibule avec vestiaire et caisse, un local de chauffage situé de manière à supprimer tout risque d'incendie pour le bâtiment, des W.-C. suffisants. Ces locaux devront être répartis de manière à faciliter la surveillance. Une partie du disponible devra être disposée afin de pouvoir être transformée à peu de frais en petit logement de concierge, si cela est jugé utile à un moment donné.

c) Toutes les salles d'exposition et de musée devront dans la mesure du possible posséder un éclairage d'en haut. La salle des gravures peut être éclairée latéralement.

d) Le coût d'exécution de la première étape de la construction ne devra pas dépasser 400 000 francs, y compris les terrassements et aménagements extérieurs, sauf trottoir et rues.