Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses

Band: 112 (1986)

Heft: 22

Artikel: Mesures in situ concernant l'énergie dans le bâtiment: mesures sur les enveloppes notamment mesure du coefficient k

Autor: Roulet, Claude-Alain

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76022

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: 09.12.2025

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

Mesures *in situ* concernant l'énergie dans le bâtiment

Mesures sur les enveloppes, notamment mesure du coefficient k

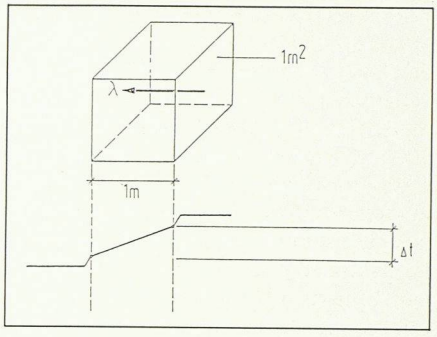

Fig. 1. – Illustration de la définition du coefficient de transmission thermique k.

par Claude-Alain Roulet

1. Introduction

Sur un bâtiment récemment réalisé ou pour un bâtiment existant à réhabiliter, des mesures sont nécessaires tant pour savoir si le bâtiment fonctionne comme prévu que pour contrôler sa bonne marche au cours du temps. L'ensemble des mesures possibles pour atteindre ces différents buts est important et à l'heure actuelle la plupart des mesures nécessaires, en particulier lors de la mise en service, ne sont pas effectuées.

Les mesures à faire dépendent du but recherché. Il est en effet inutilement onéreux de procéder à des mesures si celles-ci ne résolvent pas le problème posé ou si on peut résoudre le problème par un autre moyen plus simple.

Dans le cadre du 2e programme dit d'impulsions du délégué aux questions conjoncturelles, un budget important a été prévu pour mettre à disposition des intéressés des méthodes de mesure utilisables. Ce budget a permis de développer certaines méthodes et de rédiger un manuel qui sortira de presse au début 1987.

Dans ce manuel, une cinquantaine de méthodes et de procédures de mesure concernant la gestion de l'énergie dans le bâtiment seront décrites. Ce manuel sera utile à toute personne désirant effectuer, interpréter ou comprendre des mesures concernant l'énergie dans le bâtiment.

Cet article a pour but de présenter brièvement les mesures possibles sur l'enveloppe et plus particulièrement la mesure de la transmission thermique des éléments de construction.

2. Mesures possibles sur l'enveloppe du bâtiment

Les mesures *in situ* sur l'enveloppe peuvent être appliquées à deux buts:

1. expertiser l'enveloppe du bâtiment ou une partie de celle-ci pour examiner sa conformité avec des normes ou des exigences préalablement exprimées dans un cahier des charges;
2. mesurer les caractéristiques réelles de l'enveloppe pour les utiliser dans des calculs destinés par exemple à déterminer le bilan énergétique du bâtiment en vue d'une réhabilitation thermique.

Les mesures possibles sont nombreuses. Nous n'envisageons ici que des mesures en relation avec le comportement énergétique du bâtiment. Ce sont notamment:

La *mesure de l'étanchéité à l'air*, qui a pour but de déterminer l'étanchéité de l'enveloppe ou d'un élément d'enveloppe en mesurant le débit d'air nécessaire pour maintenir une différence de pression donnée entre l'intérieur et l'extérieur.

La *thermographie*.

La visualisation des températures de surface intérieures et extérieures au moyen d'une thermocaméra permet de détecter qualitativement les imperfections de l'enveloppe (ponts thermiques, plaques d'isolation manquantes, conduites mal isolées, fuites d'air, etc.). La thermographie n'est pas indiquée si on désire obtenir des résultats quantitatifs sur la qualité de l'enveloppe. Elle peut par contre être extrêmement utile pour déterminer des endroits particuliers où une mesure ou un sondage devraient être faits (par exemple emplacement des sondes de mesure pour le coefficient k, recherche de défauts, etc.).

La mesure de la *transparence des vitrages* à la lumière (pour la lumière visible seulement) et de la *transmission énergétique* totale des vitrages au rayonnement solaire. Ces paramètres sont généralement connus par les données d'usine ou des mesures en laboratoire sur échantillons. La mesure *in situ* de ces paramètres ne sera donc nécessaire que pour des cas très particuliers. Ces mesures peuvent se faire en mesurant l'éclairement (respectivement l'intensité du rayonnement solaire) au moyen d'instruments adéquats juste devant et juste derrière le vitrage examiné. Dans le calcul de la transmission énergétique, on tient compte en plus de la chaleur réémise vers l'intérieur par le vitrage.

La *mesure de l'humidité des matériaux* de l'enveloppe et la mesure de *l'isolation phonique* sont moins directement liées à la gestion de l'énergie. Ces mesures peuvent toutefois être utiles pour déterminer des causes de dommages et proposer des remèdes.

Enfin, la mesure du coefficient k, qui fait l'objet de cet article.

3. La mesure *in situ* du coefficient k

Le *coefficient de transmission thermique k* donne la quantité de chaleur passant par unité de temps au travers d'un mètre carré d'élément de construction si celui-ci sépare deux zones ayant une différence de température d'air de 1 degré (fig. 1). Il s'exprime en W/m^2K.

La *conductance thermique* d'un élément de construction est définie de façon semblable, mais la différence de température de 1 degré est appliquée aux surfaces intérieures et extérieures.

4. But de la mesure

La mesure du coefficient de transmission thermique k d'un élément de construction inconnu est utile tant pour contrôler l'exécution des travaux que pour connaître certaines données nécessaires au calcul du bilan thermique du bâtiment. Les recommandations SIA 180/1 et V380/1 proposent des valeurs limites pour des coefficients de transmission thermique des parois extérieures. La recommandation SIA 180/1 est adoptée par plusieurs lois cantonales sur les économies d'énergie. Ces valeurs limites sont dès lors imposées dans les constructions nouvelles et les rénovations importantes. En cas de litige, il est donc important de pouvoir disposer d'une méthode de mesure suffisamment précise permettant d'expertiser un élément de construction.

A l'heure actuelle, la mesure non destructive du coefficient k reste une mesure longue et onéreuse, sauf si l'élément de construction est léger, si la température intérieure est constante avant et pendant la mesure et si les fluctuations de température extérieure sont petites par rapport à la différence moyenne de température. Cette mesure s'applique donc difficilement à des vérifications de routine et sera plutôt indiquée en cas de litiges portant sur des sommes élevées.

5. Méthode de mesure

Une méthode fiable et pratique pour déterminer ce coefficient consiste à le calculer en connaissant l'épaisseur et les matérieux des couches de l'élément. Ces données ne sont accessibles qu'en endommageant l'élément à examiner (par exemple en pratiquant un trou et en examinant les matériaux). Ce n'est toutefois pas une mesure à proprement parler, car les valeurs de la conductibilité thermique des matériaux utilisés pour le calcul et prélevées dans des tables (par exemple SIA 381/1) peuvent être différentes des valeurs réelles.

On peut toutefois effectuer une vraie mesure et éviter d'endommager l'élément à examiner en posant des flux-mètres (sonde de mesure du flux thermique) et des sondes de température et en interprétant correctement les enregistrements des mesures effectuées avec ces sondes.

Les flux-mètres les plus utilisés actuellement sont formés d'une plaque relativement mince et de capteurs permettant de mesurer la faible différence de température apparaissant entre les deux côtés de la plaque lorsque celle-ci est traversée par un flux de chaleur (fig. 2).

On peut aussi utiliser une *boîte chaude*, comportant cinq faces isolées thermiquement et un dispositif de chauffage. Une telle boîte peut remplacer le flux-mètre si on désire effectuer des mesures sur des éléments inhomogènes des grandes dimensions (éléments de façade par exemple). Cette boîte est plaquée contre le côté chaud de l'élément à mesurer, cet élément constituant la sixième face (fig. 3).

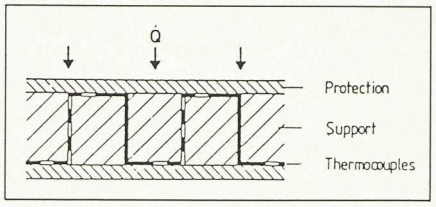

Fig. 2. — Schéma de principe de flux-mètres.

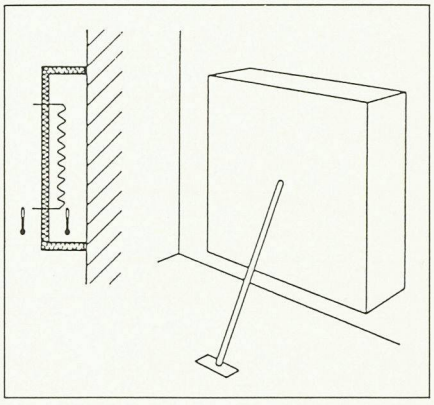

Fig. 3. — Principe de l'utilisation d'une boîte chaude.

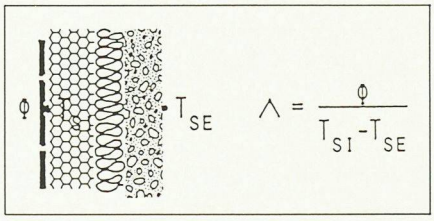

Fig. 4. — Principe de la mesure au flux-mètre.

La température à l'intérieur de la boîte est réglée de façon qu'elle soit strictement égale à la température ambiante. Ainsi, la puissance de chauffage nécessaire est égale au flux de chaleur passant au travers de l'élément. Pour obtenir de bons résultats, il est nécessaire que la température ambiante varie peu et surtout lentement.

Ces mesures ne posent aucun problème si les températures sont constantes pendant un temps suffisamment long pour que l'élément de construction soit en régime thermique stationnaire. Malheureusement, cette situation ne se présente en pratique que pour les éléments très légers. On peut toutefois obtenir une valeur fiable en enregistrant des mesures pendant un temps suffisamment long et en interprétant ces mesures au moyen d'une méthode adaptée.

Les précautions essentielles à prendre pour de telles mesures concernent l'emplacement et la pose des sondes de mesure (flux-mètre et sondes de température) et la détermination de la durée minimale nécessaire pour obtenir une mesure fiable.

Pose des sondes de mesure

Il est important de poser les flux-mètres à un endroit représentatif de l'élément à examiner et du côté de l'élément dont la température est la plus stable. Un examen thermographique peut faciliter ce choix en visualisant une zone où la température de surface est homogène et identique à celle de la plus grande part de l'élément. Des sondes de température seront placées au même endroit, sur les deux surfaces de l'élément (fig. 4).

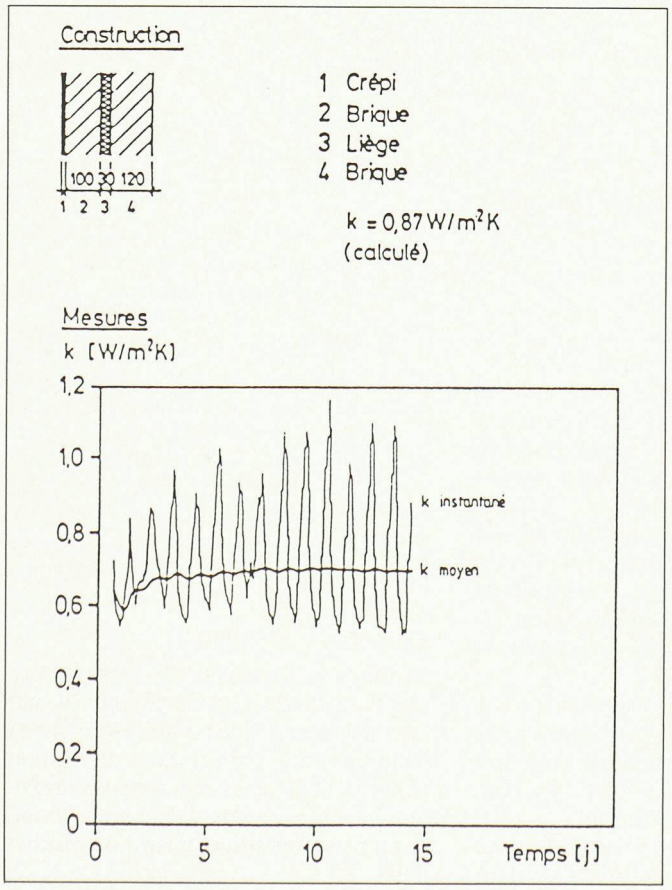

Fig. 5. — Exemple de convergence du coefficient k calculé par la méthode des moyennes lorsque la moyenne est effectuée sur une durée de plus en plus longue. Mesure sur un élément lourd.

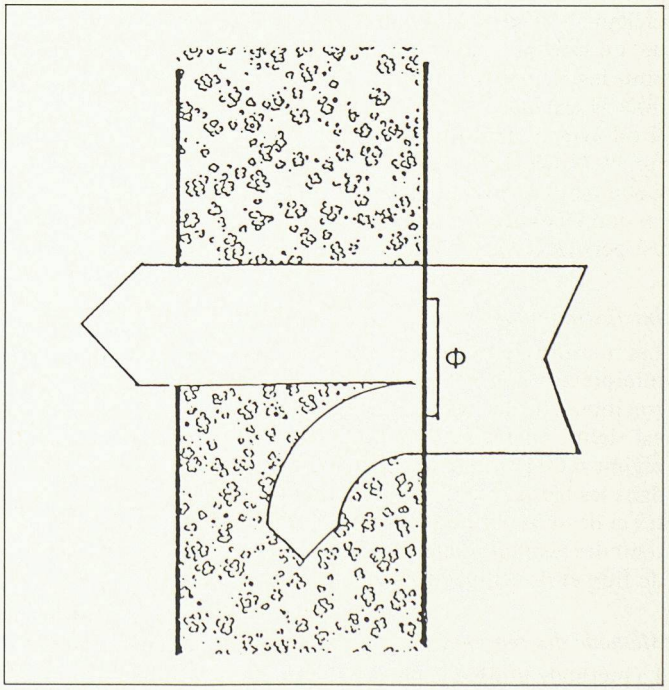

Fig. 6. — Bilan thermique d'un élément de construction après une période d'échauffement. Une partie du flux mesuré a servi à échauffer le mur et ne doit pas être prise en compte dans le calcul du coefficient k.

Pour des raisons pratiques, en particulier pour diminuer les variations rapides des températures mesurées et obtenir un coefficient k proche de la valeur de calcul, il est préférable de mesurer les températures de surface, ce qui permet de déterminer la conductance. Le coefficient k est ensuite obtenu en tenant compte des résistances de transfert superficielles conventionnelles.

Une attention particulière doit être apportée à l'emplacement des flux-mètres sur les murs en maçonnerie. Les joints de mortier sont des ponts thermiques et le flux de chaleur n'est pas homogène sur toute la surface. Il est conseillé d'examiner l'élément à la caméra thermographique afin de choisir un emplacement représentatif. L'usage de plusieurs flux-mètres, placés à différents endroits ou de flux-mètres de grande dimension (de l'ordre du mètre carré) est recommandé.

Acquisition des mesures

La précision de la mesure dépend de l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur. On choisira donc une période où cet écart est le plus grand possible; soit en hiver pour les locaux chauffés et plutôt en été pour les chambres frigorifiques.

Les valeurs du flux de chaleur et des températures intérieure et extérieure doivent être enregistrées périodiquement pour pouvoir être utilisées lors de l'interprétation. La cadence des enregistrements ainsi que la durée minimale de la mesure doivent être adaptées à l'objet mesuré. Des mesures fréquentes pendant une courte période conviennent à la mesure d'éléments légers, alors qu'une période de mesure plus longue est nécessaire pour les éléments lourds, quitte à diminuer la cadence.

Il est évidemment utile d'interpréter au fur et à mesure les données acquises. Cette option permet d'arrêter la mesure en connaissance de cause, lorsque l'on est persuadé d'avoir une mesure fiable.

Interprétation des mesures

Les mesures enregistrées doivent être interprétées pour obtenir le résultat et son intervalle de mesure. Le coefficient k est défini en régime stationnaire et ce régime n'est pratiquement jamais obtenu dans les bâtiments. Les méthodes décrites ci-dessous permettent toutefois d'obtenir des résultats malgré les fluctuations de flux et de température.

Méthode des moyennes

La méthode utilisée le plus couramment consiste à calculer la moyenne du flux et des températures mesurées pendant une durée de mesure suffisamment longue. On obtient une estimation de la conductance par le rapport du flux moyen à la différence de température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur.

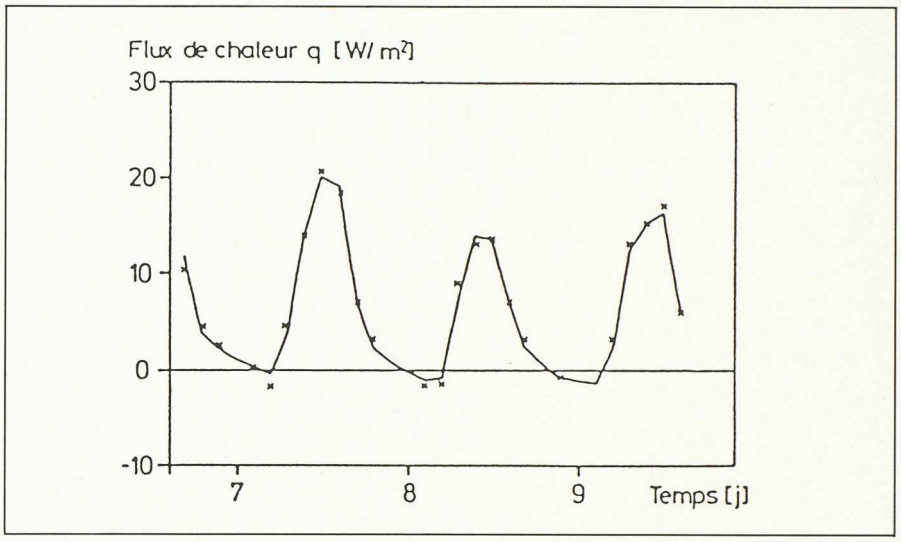

Fig. 7. – Exemple d'ajustement des flux calculés (*) sur les flux mesurés (trait continu).

Si ce calcul est opéré après chaque mesure, on observe une convergence du coefficient ainsi obtenu vers une valeur quasi constante au fur et à mesure que la durée de mesure augmente (fig. 5).

Cette convergence ne signifie pas forcément que la valeur obtenue soit égale au coefficient k réel de l'élément. Seul des critères spécifiques permettent de s'assurer de la fiabilité du résultat.

Correction dynamique simple

Lorsque la température d'un côté ou de l'autre de l'élément de construction n'est pas la même au début et à la fin de la mesure, une partie du flux mesuré a servi à échauffer l'élément ou dans le cas contraire, on a mesuré, en plus du flux traversant l'élément, le flux de refroidissement de l'élément (fig. 6).

B. Anderson a proposé une méthode simple pour la correction de cet effet dynamique, donc pour soustraire au flux mesuré la part perturbatrice.

Pour effectuer cette correction, on doit cependant avoir une estimation de l'épaisseur, de la conductibilité thermique et de la chaleur spécifique des différents matériaux composant l'élément.

Méthode dynamique

Une méthode plus complexe mais plus efficace tient compte de la dynamique thermique de l'élément de construction inconnu en résolvant l'équation de la chaleur sans qu'il soit nécessaire de connaître la structure de l'élément (Ahvenainen & al., Kupke). Cette méthode permet d'obtenir une valeur fiable du coefficient de transmission thermique même lorsque les mesures de flux de chaleur et de température des surfaces présentent de fortes fluctuations.

Elle consiste à utiliser l'équation de la chaleur, contenant plusieurs paramètres (dont le coefficient k cherché), pour prédire les valeurs des flux à partir des températures enregistrées (fig. 7).

Les paramètres sont ajustés par le calcul de façon que l'écart moyen, en valeur absolue, entre les flux prédits et les flux mesurés soit minimum. Ce travail nécessite la résolution d'un système de plusieurs dizaines d'équations et peut être effectué par une bonne calculatrice de table en une dizaine de minutes. C'est d'ailleurs les progrès remarquables dans les performances de ces calculatrices qui permettent d'envisager l'utilisation pratique de cette méthode.

Lorsque cet ajustement est réalisé, on obtient d'une part la valeur du coefficient k et d'autre part un critère de qualité de l'ajustement. Ce critère est une mesure de la validité du coefficient obtenu.

Si l'élément mesuré est lourd et soumis à des températures intérieure et extérieure variables, un gain de temps important sur la mesure du facteur k peut être obtenu en interprétant les mesures brutes au moyen de la méthode dynamique.

Corrections des perturbations dues aux flux-mètres

Le flux-mètre perturbe par sa présence l'écoulement de la chaleur au travers de l'élément, si bien que le flux mesuré diffère légèrement du flux traversant l'élément en l'absence de flux-mètre et dans les mêmes conditions. Une correction, de quelques pour-cents dans les conditions normales mais pouvant être importante dans des conditions particulières peut être calculée si l'on connaît la structure du flux-mètre et celle de l'élément de construction (Suter & Cerkez). Cette correction doit ensuite être apportée au résultat brut pour obtenir le coefficient k corrigé.

Exemples

La durée et l'intervalle de mesure ainsi que la méthode d'interprétation doivent être adaptées à l'élément mesuré et aux conditions de température de part et d'autre de l'élément. Les expériences faites à ce jour permettent de donner certaines indications afin d'obtenir un résultat fiable.

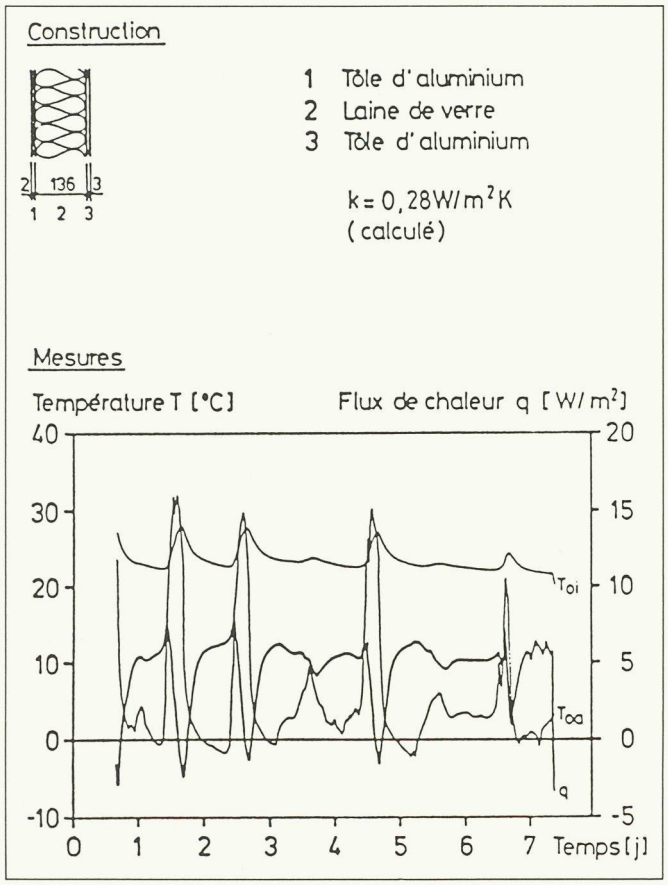

Fig. 8. — Enregistrement des températures et des flux de chaleur sur des éléments légers placés en façade sud. On remarque que les températures et les flux se stabilisent simultanément la nuit mais que de jour, des inversions de flux sont observées.

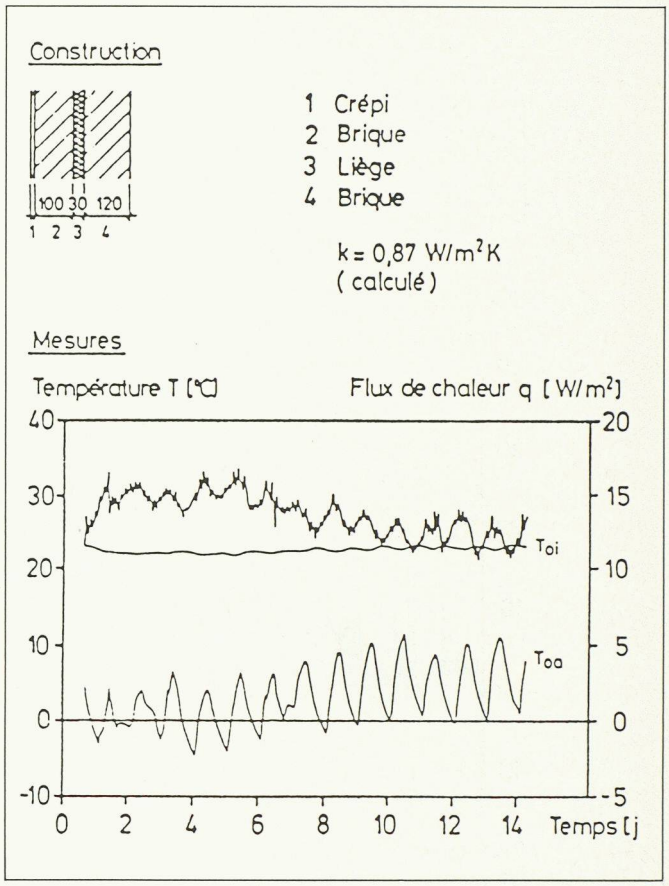

Fig. 9. — Enregistrement des flux et températures sur un élément lourd donnant sur un local thermostaté. Un tel enregistrement permet une mesure fiable dans un temps de l'ordre de deux jours.

Les conditions de mesure dépendent notamment de l'inertie thermique de l'élément mesuré et de l'amplitude des variations de température et de flux de chaleur.

Les éléments légers ont une inertie thermique faible leur permettant de suivre rapidement les variations de température. Ils peuvent ainsi se trouver en régime thermique stationnaire si les températures intérieure et extérieure restent stables pendant quelques heures. C'est le cas des vitrages, des panneaux sandwich et des toitures légères pendant la nuit. On obtient rapidement des résultats fiables sur les éléments légers par la méthode des moyennes. Des mesures prises chaque demi-heure pendant deux jours permettent d'obtenir une valeur mesurée se situant 4 à 10% de la valeur réelle avec une quasi certitude. Si l'élément léger est soumis au rayonnement solaire ou s'il s'agit d'un vitrage, il ne faut interpréter que les mesures de nuit (fig. 8).

Les éléments lourds ont une inertie thermique qui ne leur permet pratiquement pas d'atteindre le régime thermique stationnaire. Pour ces éléments, la méthode d'interprétation et la durée de mesure dépendent des fluctuations de température, particulièrement du côté où le flux-mètre est placé.

Lorsque la face où est posé le flux-mètre est soumise à une *température relativement stable*, on obtient rapidement des résultats fiables avec la méthode des moyennes (fig. 9).

Les expériences faites montrent qu'en quarante-huit heures la dispersion entre de nombreuses mesures tombe en dessous de 6%. Si l'élément de construction n'est pas soumis au flux solaire, les résultats sont encore plus rapides (moins de 4% de dispersion en vingt-quatre heures pour un mur nord).

Par contre, si la *température intérieure* est *instable*, il est impossible d'obtenir une

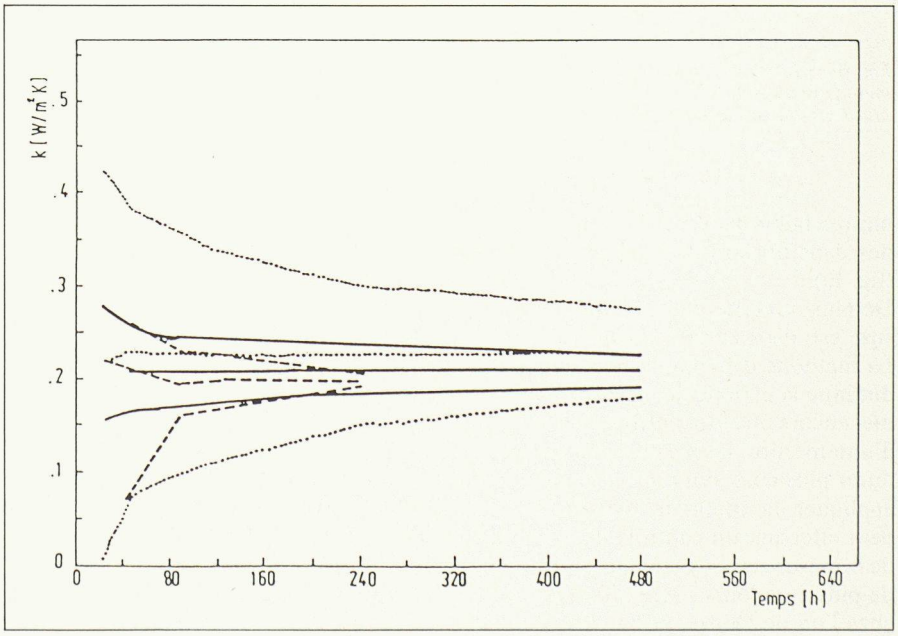

Fig. 11. — Dispersion entre de nombreuses mesures sur le mur lourd de la figure 10 en fonction de la durée de la mesure. Cette figure montre le gain de temps de mesure que l'on peut obtenir par la méthode dynamique (traitillé) par rapport à la méthode classique (pointillé) et à la correction dynamique simple (trait contenu).

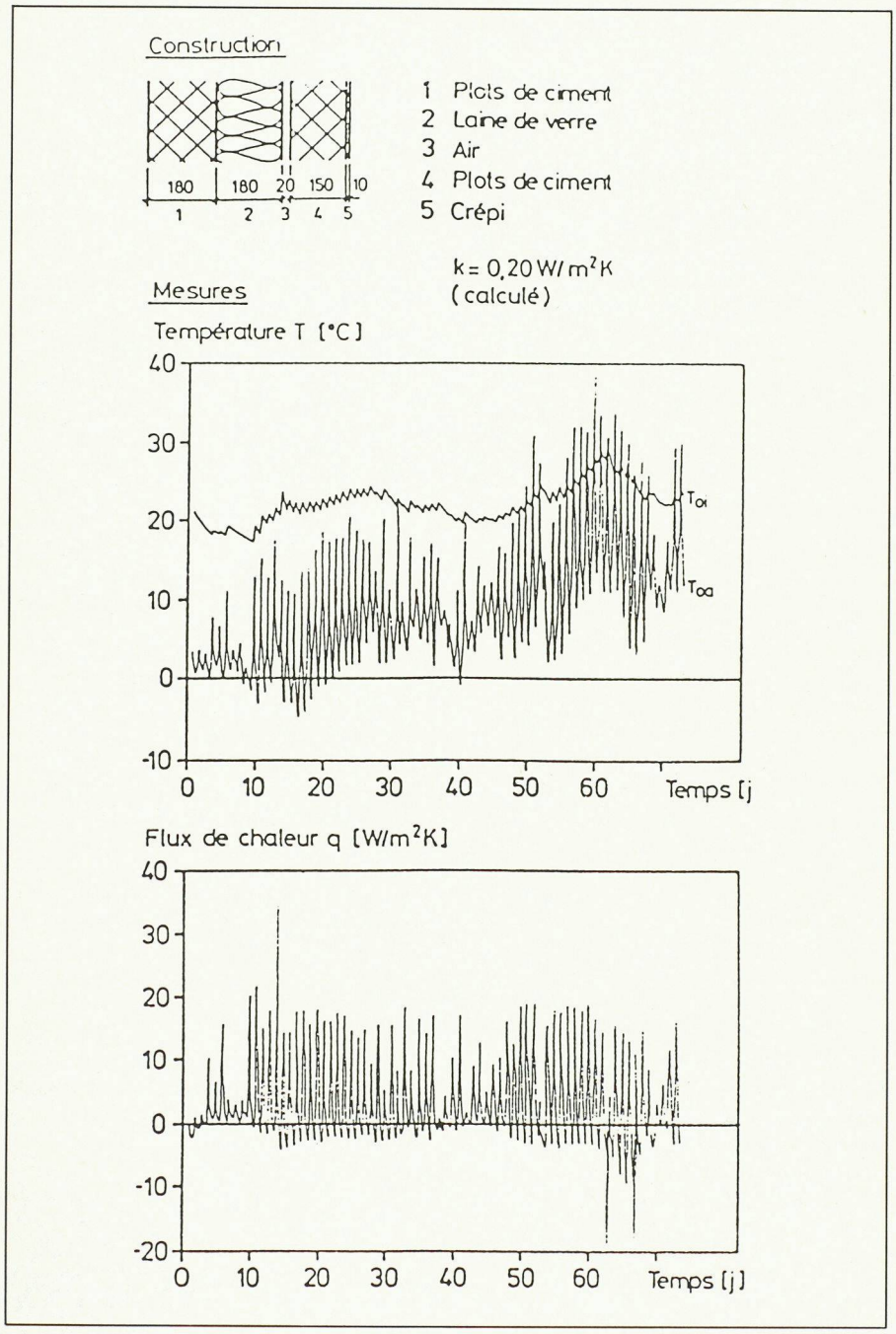

Fig. 10. – Enregistrement des flux et températures sur un élément lourd donnant sur un local largement vitré au sud. Des inversions de flux sont observables pratiquement chaque nuit, lorsque le mur lourd rend à la pièce l'énergie solaire accumulée pendant le jour.

Bibliographie

AHVENAINEN, S.; KOKKO, E.; AITTOMAKI, A.: *Thermal conductance of wall structures.* LVI-teknikaan laboratorio, Espoo (Finlande), Rapport 54 (1980).

ANDERSON, B. R.: *Methods in use for testing thermal performance* in situ. Building Research Establishment note N85/83, Glasgow.

ANDERSON, B. R.: *The measurement of U-values on site Thermal Performance of the Envelopes of Buildings III.* ASHRAE/DOE conference, Clearwater Beach, Fla. (USA), 1985/12/2-5.

KUPKE, Chr.: *Untersuchung über ein Wärmedämm-Schnellmessverfahren.* Institut für Bauphysik, Stuttgart, BW 148/76, 1976.

NT BUILD 215: *Thermal resistance. Norme Nordtest 1982.* Publications de l'Office fédéral des questions conjoncturelles, pouvant être obtenues à l'OFCIM, 3003 Berne:
- Mesure *in situ* des coefficients de transmission thermique d'éléments de construction (1986);
- Mesures *in situ* concernant l'énergie dans le bâtiment (1987).

ROULET, C.: *Considérations sur la mesure* in situ *des caractéristiques thermiques de parois.* Kolloquium «Erfahrungsaustausch über stationäre und instationäre Wärmevorgänge in Aussenwänden», Munich, 1979.

ROULET, C.; GASS, J.; MARKUS, I.: *On site measurement of the thermal transmittance of the building elements.* Rapport GRES 85-01-09, EPFL, Lausanne, 1985.

ROULET, C.: In situ *U-value Measurement: Reliable results in shorter time by dynamic interpretation of the measured data.* ASHRAE/DOE conference, Clearwater Beach, Fla. (USA), 1985.

Recommandations SIA, SIA, Postfach, 8039 Zurich
- 180 : Protection thermique
- 180/1: Protection thermique de bâtiments en hiver
- V 380/1: L'énergie dans le bâtiment
- 381/1: Caractéristiques thermiques des matériaux

SUTER P. & CERKEZ M.: *Wärmeflussmesser unter Putz.* Rapport interne EPFL – ITA, 1983.

SZABO P.: *k-wert Messungen am Bau.* Publication SIA N° 47, Zurich, 1981.

mesure faible par la méthode des moyennes dans un laps de temps raisonnable (fig. 10).

De plus, un critère de validité de la mesure est, dans ce cas, indispensable.

La méthode dynamique non seulement diminue la période de mesure, mais permet encore un autocontrôle de la validité d'une mesure. La mesure doit toutefois durer plusieurs jours. Si on ne peut pas appliquer la méthode dynamique, on peut effectuer un contrôle de la fiabilité de la mesure en exigeant que les résultats de plusieurs jours successifs soient proches l'un de l'autre, et que les résultats obtenus en interprétant les mesures de la première moitié de la période de mesure soient proches de ceux de la deuxième moitié.

6. Conclusions

Ces méthodes permettent la mesure du coefficient de transmission thermique des éléments de construction malgré le fait que les conditions idéales n'existent pratiquement jamais dans le bâtiment. Elles nécessitent toutefois un soin et des connaissances particulières. La probabilité d'obtenir une mesure erronée est d'autant plus grande que:

- l'élément est plus massif,
- les températures intérieure et extérieure varient fortement,
- l'espace intérieur ou l'élément mesuré est soumis au rayonnement solaire ou à toute autre source de chaleur variable,
- l'élément de construction est moins homogène dans son plan (existence de ponts thermiques),
- la surface de l'élément de construction sur laquelle on pose le flux-mètre est plus conductrice.

Il est toutefois possible de tenir compte de ces perturbations et d'obtenir, moyennant une interprétation correcte, un résultat fiable.

Adresse de l'auteur:
Claude-Alain Roulet
Groupe de recherche en énergie solaire
Ecole polytechnique fédérale
1015 Lausanne