

Atténuation des variations de température par des murs multicouches

Relevé et exploitation avec CASSY

Objectifs expérimentaux

- Relevé des variations de température sur des murs à deux couches lors de la mise en marche et de l'arrêt répétés en alternance d'une source de chaleur externe.
- Observation de l'amplitude et du déphasage thermique à différents endroits du mur.
- Étude de la montée en température à l'intérieur de la chambre calorimétrique en fonction de la construction du mur.

Notions de base

Indépendamment des écarts de température extérieure entre le jour et la nuit, il est souhaitable que la température intérieure d'un logement soit la plus constante possible. Le soleil qui rayonne pendant la journée réchauffe les murs extérieurs qui transfèrent la chaleur vers l'intérieur pour ensuite à nouveau refroidir pendant la nuit. Ces variations périodiques de la température sont ici caractérisées d'« onde thermique », celle-ci pouvant être décrite par les notions d'amplitude et de période.

Cette expérience consiste à étudier comment garantir une telle situation de confort thermique avec des murs à deux couches de matériaux différents. La paroi intérieure de l'habitat correspond ici à la paroi intérieure de la chambre calorimétrique. La lumière et la chaleur du soleil sont ici recréées par une lampe à halogène orientée vers la chambre calorimétrique. On allume et on éteint périodiquement la lampe pour simuler l'alternance entre le jour et la nuit.

La période est de quelques minutes. Pendant l'éclairage (le jour) et le refroidissement (la nuit), il est dit pour la température extérieure que sa variation temporelle est proportionnelle à la température plus une constante :

$$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = a \cdot \vartheta + b.$$

Cette équation qui décrit la température en fonction du temps $\vartheta(t)$ est résolue comme suit :

$$\vartheta(t) = \vartheta_{\text{finale}} - \vartheta_{\text{diff}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

avec

$\vartheta_{\text{finale}}$: la température maximale accessible du fait de l'éclairage ou la température qui s'établit après le refroidissement (température ambiante)

$\vartheta_{\text{diff}} = \vartheta_{\text{finale}} - \vartheta_{\text{initiale}}$: différence de température

τ : constante de temps.

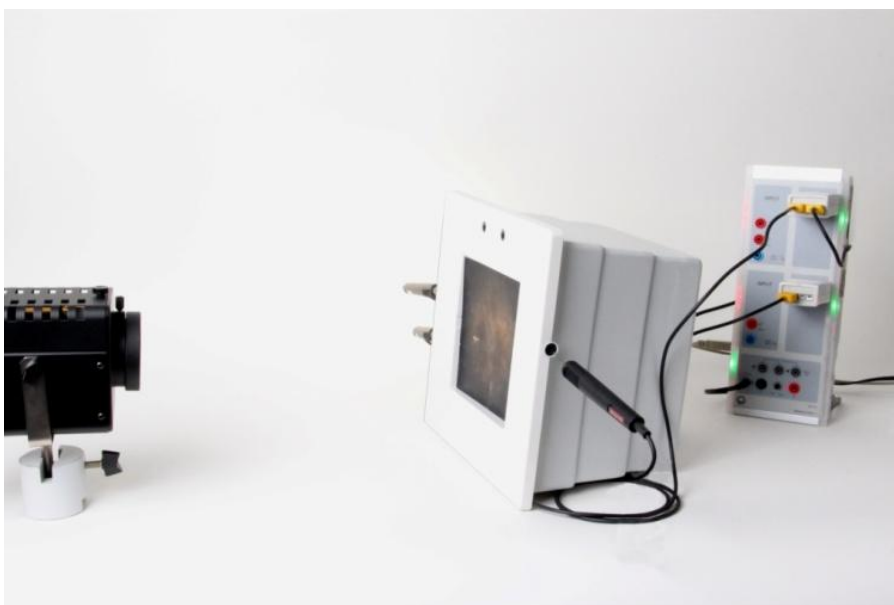


Fig. 1 Simulation par éclairage périodique de l'alternance entre le jour et la nuit

Matériel

1 chambre calorimétrique.....	389 29
1 jeu d'échantillons de matériaux de construction pour la chambre calorimétrique	389 30
1 source lumineuse à halogène, 12 V, 50/100 W	450 64
1 ampoule halogène 12 V/100 W, G 6,35.....	450 63
1 socle.....	300 11
1 transformateur, 2...12 V, 120 W.....	521 25
2 câbles d'expérimentation, 32 A, 100 cm, noirs	501 33
1 Sensor-CASSY 2.....	524 013
1 CASSY Lab 2	524 220
2 adaptateurs NiCr-Ni S, type K	524 0673
3 sondes de température NiCr-Ni, 1,5 mm, type K	529 676
1 PC avec Windows XP/Vista/7/8	

Pendant l'éclairage, on a $\vartheta_{\text{diff}} > 0$ et pendant le refroidissement, $\vartheta_{\text{diff}} < 0$. La température occasionnée sur la face extérieure en allumant et en éteignant la lampe est une fonction périodique du temps. Les températures entre les deux échantillons de matériau ainsi qu'à l'intérieur de la chambre calorimétrique varient elles aussi en fonction du temps. Par contre, ces ondes thermiques sont fortement atténuées en amplitude et déphasées par comparaison à la température extérieure. Ces phénomènes sont démontrés dans l'expérience.



Montage expérimental

Le montage expérimental est représenté sur la fig. 1.

- Préparer deux plaques de matériau (polystyrène et Rohacell) de façon à les assembler « en sandwich » puis à les installer dans la chambre calorimétrique :
- Mettre une pastille de contact en aluminium dans l'évidement circulaire prévu à cet effet sur la plaque de polystyrène, au bout de la rainure, et appliquer la pâte thermoconductrice. La pastille de contact doit être positionnée de façon à ce que le trou soit dans le prolongement de la rainure.
- Appliquer la pâte thermoconductrice seulement sur la pastille de contact !
- Poser avec précaution, c.-à-d. sans la déformer, une fine plaque en aluminium (épaisseur : 0,3 mm) laquée noire, avec la face noire tournée vers l'extérieur, sur la plaque en polystyrène.
- Recommencer la procédure pour l'autre face mais cette fois-ci, utiliser une plaque en aluminium non laquée.
N. B. : cette plaque en aluminium non laquée sépare les deux échantillons de matériau pendant les expériences.
- Poser maintenant avec précaution, c.-à-d. sans la déformer, une fine plaque en aluminium (épaisseur : 0,3 mm) laquée noire, avec la face noire tournée vers l'extérieur, sur la plaque en Rohacell.
- D'abord insérer la pointe des sondes de température dans le trou des bouchons (diamètre : 1,5 mm) en faisant attention de ne pas la déformer. Ne pas introduire les sondes tout de suite dans la chambre calorimétrique !
- À présent, placer dans la chambre calorimétrique la plaque en polystyrène doublée des deux côtés d'aluminium avec la face laquée noire vers le bas. Veiller ce faisant à orienter les endroits pour introduire les capteurs de température (les extrémités de la rainure) vers le côté de la chambre calorimétrique avec deux orifices.

- Poser ensuite la plaque en Rohacell doublée d'aluminium sur une seule face sur la plaque déjà dans la chambre calorimétrique avec la face noire tournée vers le haut.
 - Veiller à ce que la plaque en aluminium non laquée soit entre les plaques de matériau et que les endroits pour introduire les capteurs de température (les extrémités de la rainure) des deux plaques de matériau soit décalés de 180°.
 - Introduire les sondes de température sur le dessus et le dessous ainsi qu'entre les plaques de matériau. Au besoin, légèrement soulever l'échantillon de matériau avec le crochet de montage.
 - Brancher les sondes de température au Sensor-CASSY à l'aide de l'adaptateur NiCr-Ni, conformément à la fig. 1.
 - Installer avec précaution la chambre calorimétrique ainsi préparée sur la table, de manière à ce que les sondes de température saillantes ne touchent pas la table et qu'elles ne risquent pas d'être touchées durant la procédure expérimentale (voir fig. 1).
 - Introduire l'ampoule halogène dans la source lumineuse puis brancher celle-ci au secteur ainsi que représenté à la fig. 1. Ne pas mettre le transformateur tout de suite en marche !
 - Faire en sorte que l'ouverture de la chambre calorimétrique qui donne maintenant vue sur la plaque d'aluminium noire soit tournée de façon à ce que la source lumineuse placée devant la chambre calorimétrique puisse directement rayonner sur la surface noire.
 - [Charger les paramètres dans CASSY Lab 2.](#)
 - Mettre le transformateur en marche pour l'éclairage. Attendre pour lancer la mesure !
 - Placer la source lumineuse à halogène à env. 1 m et la régler de manière à ce que le faisceau lumineux éclaire de préférence toute la surface noire dans l'ouverture de la chambre calorimétrique mais pas le bord. Pendant l'expérience, surveiller la température extérieure ϑ_{A11} .
- N. B. : la température extérieure ϑ_{A11} ne doit pas excéder 60°. Il faut sinon immédiatement arrêter l'alimentation et augmenter la distance entre la source lumineuse et la chambre calorimétrique.*
- Au bout d'environ 10 minutes d'éclairage, la température extérieure ϑ_{A11} devrait être entre 50 °C et 55 °C et évoluer ensuite seulement très lentement (< 1°C/min).
 - Arrêter le transformateur et laisser refroidir la température extérieure jusqu'à la température ambiante.

Réalisation

- Lancer la mesure avec CASSY Lab 2, avec  tout en mettant le transformateur en marche.
 - Arrêter le transformateur 10 à 12 minutes plus tard.
 - Attendre 10 à 12 minutes et remettre le transformateur en marche.
 - Répéter plusieurs fois ce cycle de mise en marche et d'arrêt.
 - Arrêter la mesure avec .
 - Arrêter le transformateur.
- N. B. : pour le démontage, il faut commencer par enlever les sondes de température. Les plaques de matériau pourront ensuite être enlevées avec le crochet de montage.*
- Permuter maintenant les plaques de matériau et recommencer l'expérience.

Observations

Pendant l'éclairage, la température ϑ_{A11} de la face extérieure augmente rapidement tandis que la température ϑ_{A12} entre les plaques de matériau et la température ϑ_{B11} à l'intérieur de la chambre calorimétrique évoluent seulement lentement.

Une fois la source lumineuse éteinte, la température de la face extérieure ϑ_{A11} baisse rapidement.

La température extérieure change (périodiquement) d'environ 25 °C en l'espace de 12 min. environ.

La température intérieure augmente quant à elle pendant toute la durée de la mesure (env. 50 min.) de seulement quelques degrés Celsius.

Exemples de mesure

Les figures 2 et 3 illustrent deux exemples de mesure réalisés avec une plaque en Rohacell (mousse isolante) et une plaque en polystyrène. La conductivité thermique de la plaque en polystyrène est nettement plus grande que celle de la plaque en Rohacell.

La température extérieure ϑ_{A11} restituée par la courbe bleue en dents de scie à grande amplitude a été mesurée juste en surface et est donc quasiment la même pour les deux plaques, quelle que soit celle placée à l'extérieur. Une onde thermique est générée en allumant et en éteignant périodiquement la source lumineuse.

La courbe noire ondulatoire de faible amplitude correspond à la température ϑ_{A12} mesurée entre les deux plaques de matériau. La forte atténuation de l'amplitude est très nette dans les deux cas.

L'atténuation de l'onde thermique au passage à travers les deux plaques est tellement grande que la courbe de la température intérieure ϑ_{B11} a complètement perdue sa forme ondulatoire (courbe rouge, quasiment linéaire).

La principale différence pour différentes successions de plaques de matériau est l'augmentation de la température intérieure ϑ_{B11} tout le long de la mesure :

Avec la plaque de Rohacell placée à l'extérieur, la température intérieure passe d'environ 29 °C à 30 °C, elle augmente donc de seulement 1 °C (fig. 2).

Avec la plaque de polystyrène placée à l'extérieur, la température intérieure passe d'environ 27 °C à 30 °C, elle augmente donc d'env. 3 °C (fig. 3).

Un autre avantage de l'isolation des maisons par l'extérieur avec un matériau isolant (en l'occurrence dans l'expérience, la mousse Rohacell) est la faible contrainte thermique de la maçonnerie porteuse (ici, le polystyrène).

Les deux figures montrent en outre qu'il se produit un déphasage entre les ondes (retard temporel dans la survenue des maxima des ondes thermiques sur la face extérieure et entre les plaques de construction).

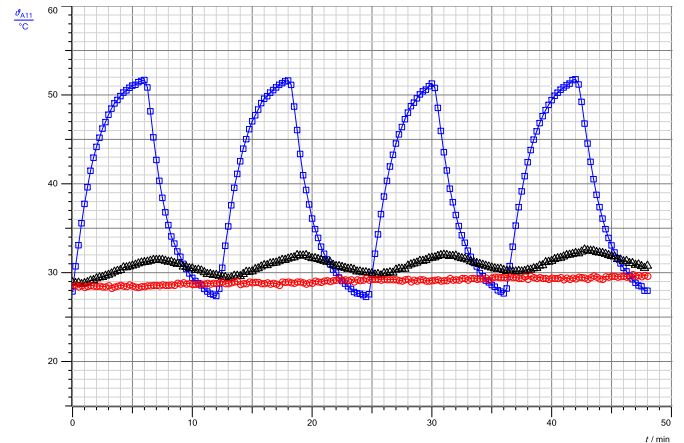


Fig. 2 Atténuation de l'onde thermique au passage à travers une plaque extérieure de Rohacell (mousse isolante) et une plaque de polystyrène

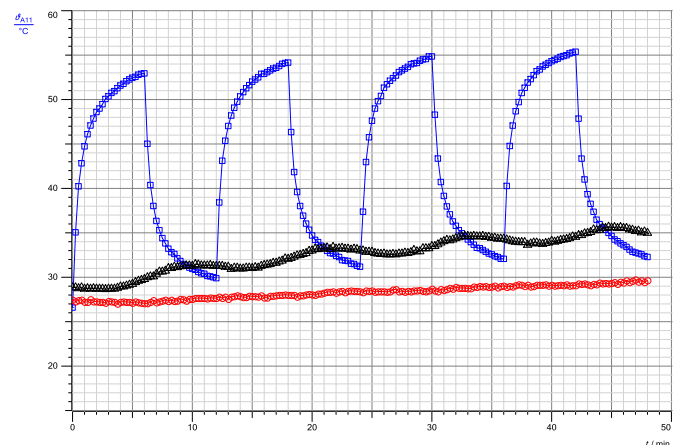


Fig. 3 Atténuation de l'onde thermique au passage à travers une plaque extérieure de polystyrène et une plaque de Rohacell (mousse isolante)