



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2016/02/05
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2016/08/11
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2017/07/13
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2016/050253
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2016/124870
(30) Priorité/Priority: 2015/02/06 (FR1550970)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G01N 25/18* (2006.01)

(71) Demandeur/Applicant:
SAINT-GOBAIN ISOVER, FR

(72) Inventeurs/Inventors:
ALZETTO, FLORENT, FR;
MEULEMANS, JOHANN, FR;
PANDRAUD, GUILLAUME, FR...

(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : DETERMINATION DE LA RESISTANCE THERMIQUE D'UNE PAROI

(54) Title: DETERMINATION OF THE THERMAL RESISTANCE OF A WALL

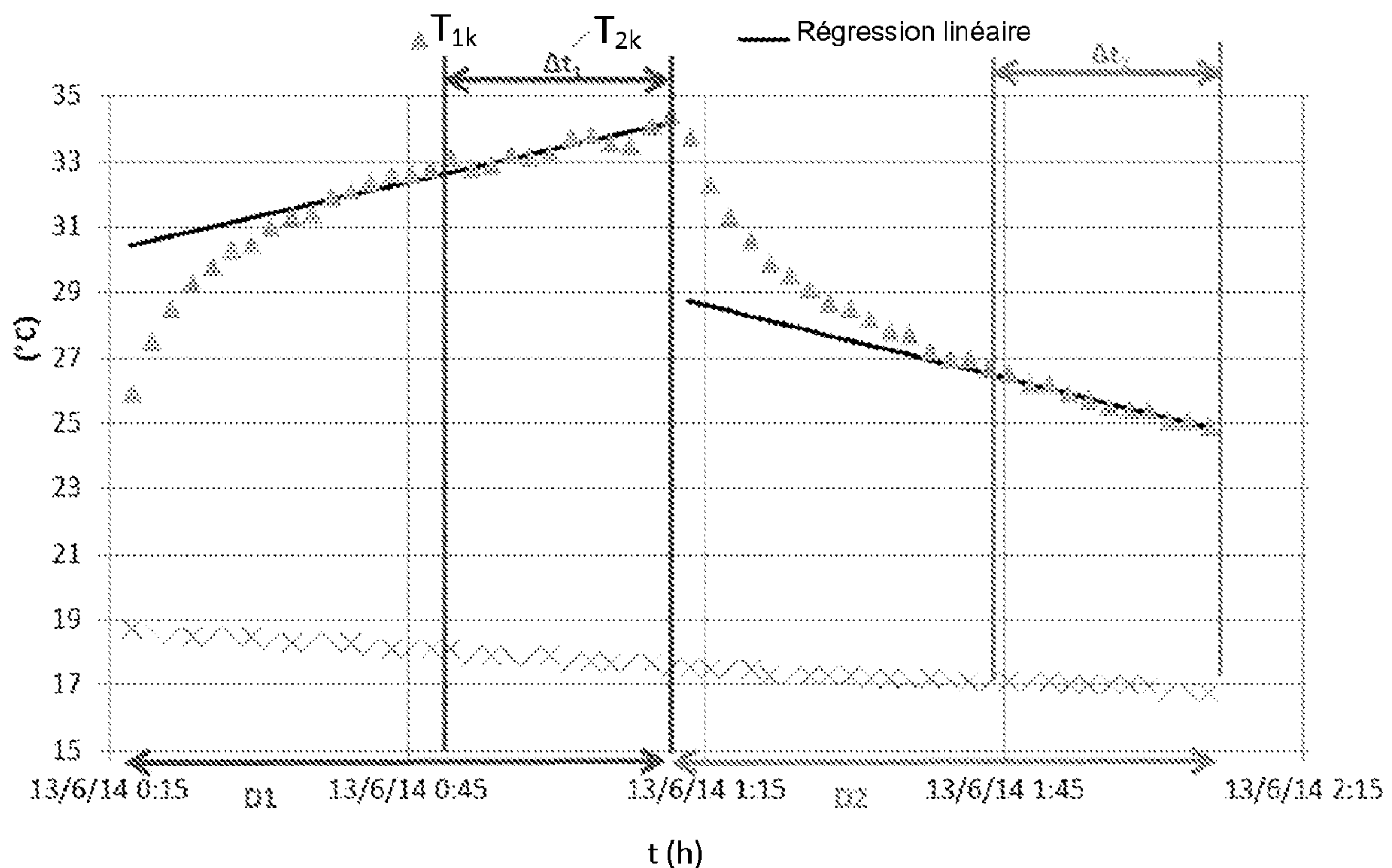


Fig. 2

(57) Abrégé/Abstract:

Ce procédé, qui vise à déterminer une grandeur représentative de la résistance thermique d'une paroi de séparation entre un premier milieu et un deuxième milieu, comprend des étapes dans lesquelles : -sur au moins deux périodes de temps D_k

(57) Abrégé(suite)/Abstract(continued):

successives correspondant à des puissances P_k distinctes de chauffe du premier milieu, on procède à une campagne de mesures du flux thermique à travers la paroi q_k et de la température dans le premier milieu T_{1k} à intervalles de temps rapprochés, ainsi qu'à la détermination de la température dans le deuxième milieu T_{2k} à 1 intervalles de temps rapprochés; -on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi en faisant converger: d'une part, un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la température dans un milieu séparé d'un autre milieu par une paroi, en fonction du flux thermique à travers la paroi, de la température dans l'autre milieu et de paramètres physiques de la paroi à partir desquels la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est calculable; et, d'autre part, l'évolution mesurée T_{1k} de la température dans le premier milieu en fonction du temps.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
11 août 2016 (11.08.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/124870 A1(51) Classification internationale des brevets :
G01N 25/18 (2006.01) G01K 17/20 (2006.01)(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2016/050253(22) Date de dépôt international :
5 février 2016 (05.02.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1550970 6 février 2015 (06.02.2015) FR

(71) Déposant : SAINT-GOBAIN ISOVER [FR/FR]; 18 Avenue d'Alsace, 92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeurs : ALZETTO, Florent; 53 Rue Anatole France, 92300 Levallois Perret (FR). MEULEMANS, Johann; 146 Boulevard Diderot, 75012 Paris (FR). PANDRAUD, Guillaume; 12 Passage de la Fonderie, 75011 Paris (FR).

(74) Mandataire : SAINT-GOBAIN RECHERCHE - DÉPARTEMENT PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE; 39 Quai Lucien Lefranc, 93300 Aubervilliers (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : DETERMINATION OF THE THERMAL RESISTANCE OF A WALL

(54) Titre : DETERMINATION DE LA RESISTANCE THERMIQUE D'UNE PAROI

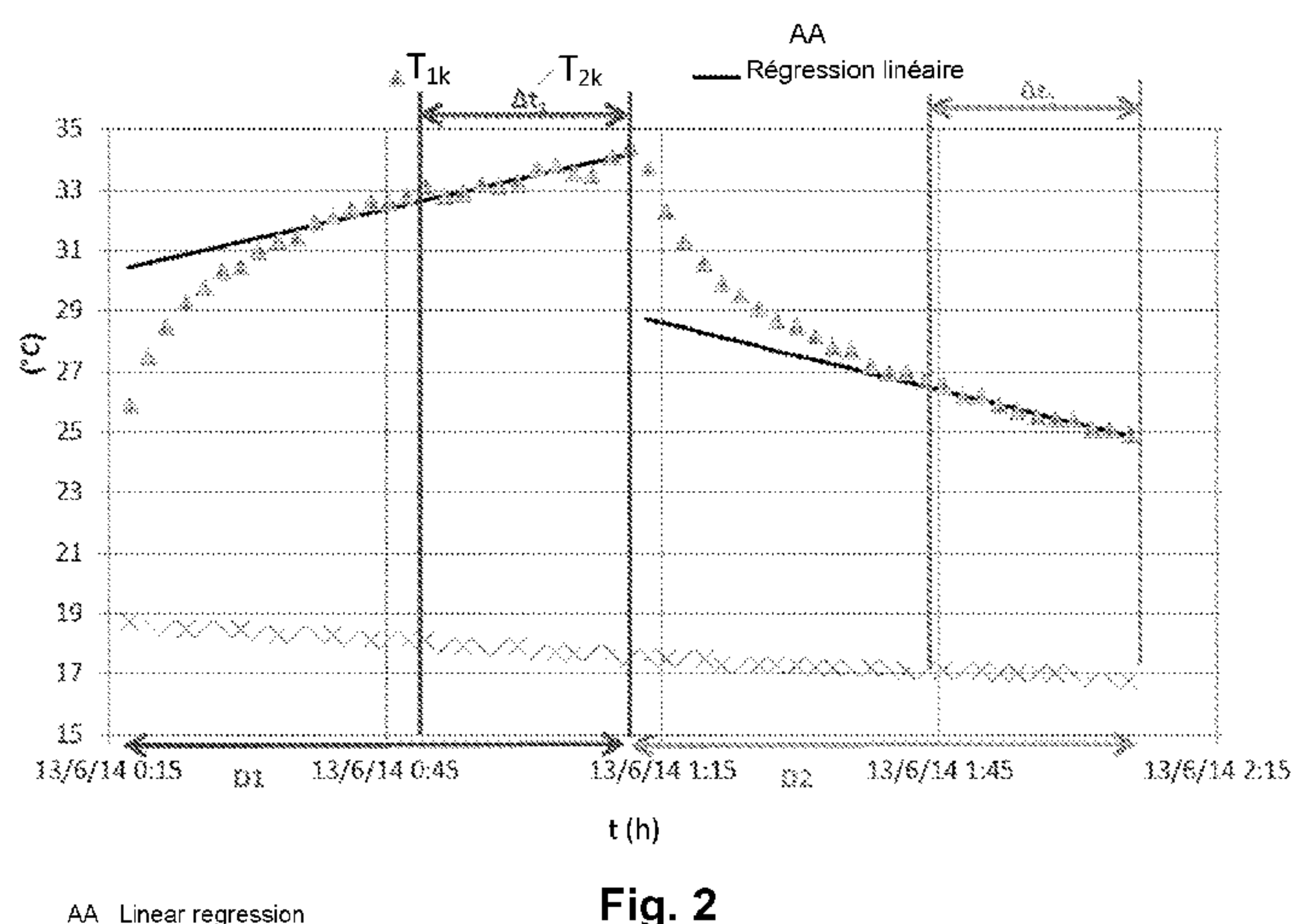


Fig. 2

(57) **Abstract** : Said method, which aims to determine a quantity representative of the thermal resistance of a separation wall between a first medium and a second medium, comprises the following steps: -over at least two successive time periods D_k corresponding to different heating powers P_k for heating the first medium, carrying out a measurement campaign measuring the heat flow through the wall q_k and the temperature in the first medium T_{1k} at short time intervals, in addition to the determination of the temperature in the second medium T_{2k} at short time intervals; -determining the value of the quantity representative of the thermal resistance of the wall, by converging: a thermal model expressing the time variation of the temperature in one medium separated from another medium by a wall, depending on the heat flow through the wall, the temperature in the other medium and physical parameters of the wall from which the quantity representative of the thermal resistance of the wall can be calculated; and the measured change T_{1k} in temperature in the first medium as a function of time.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2016/124870 A1

Ce procédé, qui vise à déterminer une grandeur représentative de la résistance thermique d'une paroi de séparation entre un premier milieu et un deuxième milieu, comprend des étapes dans lesquelles : -sur au moins deux périodes de temps D_k successives correspondant à des puissances P_k distinctes de chauffe du premier milieu, on procède à une campagne de mesures du flux thermique à travers la paroi q_k et de la température dans le premier milieu T_{1k} à intervalles de temps rapprochés, ainsi qu'à la détermination de la température dans le deuxième milieu T_{2k} à 1 intervalles de temps rapprochés; -on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi en faisant converger: d'une part, un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la température dans un milieu séparé d'un autre milieu par une paroi, en fonction du flux thermique à travers la paroi, de la température dans l'autre milieu et de paramètres physiques de la paroi à partir desquels la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est calculable; et, d'autre part, l'évolution mesurée T_{1k} de la température dans le premier milieu en fonction du temps.

DETERMINATION DE LA RESISTANCE THERMIQUE D'UNE PAROI

La présente invention a trait à un procédé et un dispositif pour déterminer une grandeur représentative de la résistance thermique d'une paroi de séparation entre un premier milieu et un deuxième milieu.

L'invention peut être appliquée pour déterminer une grandeur représentative de la résistance thermique de tout type de paroi de séparation entre deux milieux, notamment une paroi d'un bâtiment, une paroi d'un véhicule, une paroi d'un four, une paroi d'une cuve.

En particulier, l'invention peut être appliquée pour déterminer une grandeur représentative de la résistance thermique d'un élément de construction appartenant à l'enveloppe d'un local, tel qu'un mur, un sol, un toit, une fenêtre, une porte, etc., l'élément de construction étant alors une paroi de séparation entre l'intérieur et l'extérieur du local.

On entend ici par "local" tout espace d'habitat ou de stockage. En particulier, il peut s'agir d'un espace d'habitat ou de stockage fixe, tel qu'une maison individuelle ou un bâtiment, notamment à usage d'habitation ou tertiaire, ou une partie d'un tel bâtiment, par exemple un appartement dans un immeuble à plusieurs étages, ou encore tel qu'une machine, notamment dans le domaine de l'électroménager, un four, un réfrigérateur, etc. Il peut également s'agir d'un espace d'habitat ou de stockage transportable, tel qu'un wagon de train, un habitacle de voiture, une cabine de camion ou un espace de stockage dans un camion, une cabine de navire ou un espace de stockage dans un navire.

Dans le cadre de l'invention, l'expression "grandeur représentative de la résistance thermique d'une paroi" désigne toute grandeur caractérisant l'aptitude de la paroi à laisser passer un flux de chaleur. Dans le cadre du procédé et du dispositif selon l'invention, on peut notamment déterminer, en tant que grandeurs représentatives de la résistance thermique de la paroi :

- le coefficient de transmission thermique de la paroi, noté U ;
- la résistance thermique totale de la paroi, notée R_T ;

- la résistance thermique de surface à surface de la paroi, notée R .

Le coefficient de transmission thermique U d'une paroi est défini comme le quotient du flux thermique par unité de surface, en régime stationnaire, par la différence de température entre les milieux situés de part et d'autre de la paroi. Le coefficient de transmission thermique U est donné
 5 par la relation :

$$U = \frac{q}{(T_1 - T_2)},$$

où q est la densité de flux thermique à travers la paroi, T_1 est la température dans le milieu situé d'un premier côté de la paroi, T_2 est la température dans
 10 le milieu situé du deuxième côté de la paroi.

La résistance thermique totale R_T de la paroi est telle que
 $R_T = \frac{1}{U} = R_{s1} + R + R_{s2}$, où $R = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{q}$ est la résistance thermique de surface
 à surface de la paroi, avec T_{s1} la température de surface du premier côté de
 la paroi et T_{s2} la température de surface du deuxième côté de la paroi, R_{s1}
 15 est la résistance thermique superficielle du premier côté de la paroi, R_{s2} est
 la résistance thermique superficielle du deuxième côté de la paroi.

La détermination du coefficient de transmission thermique U des éléments de construction constitutifs de l'enveloppe d'un local est utile, notamment, pour effectuer un diagnostic de l'isolation thermique du local,
 20 qu'il s'agisse d'un local neuf ou ancien. En particulier, lorsqu'on envisage une
 réhabilitation du local, elle permet de cibler les mesures qu'il convient de
 prendre pour améliorer la performance thermique.

Il est connu de déterminer le coefficient de transmission thermique U d'un élément de construction appartenant à l'enveloppe d'un local selon une
 25 méthode quasi-statique définie par la norme ISO 9869:1994, dite "méthode
 du fluxmètre". Cette méthode met en jeu des mesures in situ, d'une part, du
 flux thermique à travers l'élément de construction à l'aide d'au moins un
 fluxmètre monté sur une face de l'élément adjacente à la température la plus

stable et, d'autre part, de la température à l'intérieur du local et de la température à l'extérieur du local au voisinage du fluxmètre. Les mesures de flux thermique et de températures sont réalisées pendant une période de temps pouvant aller de trois jours minimum à plusieurs semaines, la durée
5 de mesure dépendant, notamment, de la nature de l'élément de construction, des fluctuations des températures intérieure et extérieure, de la méthode utilisée pour l'analyse des données. Un inconvénient majeur de cette méthode est sa durée de mise en œuvre.

C'est à ces inconvénients qu'entend plus particulièrement remédier l'invention en proposant un procédé et un dispositif permettant de déterminer
10 de manière rapide une grandeur représentative de la résistance thermique d'une paroi de séparation entre un premier milieu et un deuxième milieu, notamment sur une période d'une seule nuit ou même de quelques heures, quel que soit le type de paroi, avec un coût modéré et une précision
15 raisonnable, la paroi pouvant par exemple être un élément de construction appartenant à l'enveloppe d'un local.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de détermination d'une grandeur représentative de la résistance thermique d'une paroi de séparation entre un premier milieu et un deuxième milieu, caractérisé en ce qu'il
20 comprend des étapes dans lesquelles :

- sur au moins deux périodes de temps D_k successives correspondant à des puissances P_k distinctes de chauffe du premier milieu, on procède à une campagne de mesures du flux thermique à travers la paroi q_k et de la température dans le premier milieu T_{1k} à intervalles de temps rapprochés,
25 ainsi qu'à la détermination de la température dans le deuxième milieu T_{2k} à intervalles de temps rapprochés ;

- on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi en faisant converger : d'une part, un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la température dans un milieu séparé
30 d'un autre milieu par une paroi, en fonction du flux thermique à travers la paroi, de la température dans l'autre milieu et de paramètres physiques de la

paroi à partir desquels la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est calculable ; et, d'autre part, l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ de la température dans le premier milieu en fonction du temps.

5 Au sens de l'invention, le fait de faire converger le modèle thermique et l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ signifie que l'on ajuste la valeur de paramètres physiques de la paroi utilisés dans le modèle thermique de manière à minimiser l'écart, au moins sur un intervalle de temps compris dans chaque période de temps D_k , entre l'évolution temporelle de la température dans le premier milieu calculée à partir du modèle thermique et l'évolution temporelle
10 de la température dans le premier milieu effectivement mesurée $T_{1k}(t)$. L'ajustement peut ainsi se faire sur toute l'étendue de chaque période de temps D_k , ou sur un ou plusieurs intervalles de temps compris dans chaque période de temps D_k .

A titre d'exemple, dans le cas où le modèle thermique est un modèle
15 R-C simple avec une résistance et une capacité et où, pour chaque période de temps D_k , il existe un intervalle de temps Δt_k pour lequel l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ de la température dans le premier milieu en fonction du temps est sensiblement linéaire, on fait converger le modèle R-C simple et l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ sur les intervalles de temps Δt_k de la manière
20 suivante : pour chaque période de temps D_k on détermine sur l'intervalle de temps Δt_k la pente a_k de la tangente à la courbe $T_{1k}(t)$, et on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi à partir des valeurs de pente a_k et des valeurs de flux thermique moyen à travers la paroi q_{km} pris sur la période de temps D_k ou, de préférence, pris
25 sur l'intervalle de temps Δt_k .

Selon un autre exemple, dans le cas où le modèle thermique est un modèle R-C plus complexe, tel qu'un modèle dit « 2R2C » avec deux résistances et deux capacités, ou encore un modèle dit « 3R2C » avec trois résistances et deux capacités, on fait converger le modèle R-C plus

complexe et l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ en ajustant la valeur des paramètres physiques de la paroi utilisés dans le modèle de manière à minimiser l'écart, sur l'ensemble des périodes de temps D_k , entre l'évolution temporelle de la température dans le premier milieu calculée à partir du modèle R-C plus
5 complexe et l'évolution temporelle de la température dans le premier milieu effectivement mesurée $T_{1k}(t)$.

En pratique, des données d'entrée sont injectées dans le modèle thermique, telles que les dimensions de la paroi, le flux thermique à travers la paroi q_k mesuré sur chaque période de temps D_k , la température dans le
10 deuxième milieu T_{2k} déterminée sur chaque période de temps D_k .

Des exemples de paramètres physiques de la paroi susceptibles d'intervenir dans le modèle thermique et d'être ajustés de manière à faire converger le modèle thermique et l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ comprennent, notamment, la conductivité thermique de la paroi, la capacité thermique de la
15 paroi, l'épaisseur de la paroi, le coefficient d'échange convecto-radiatif h_i entre la paroi et le premier milieu.

L'invention permet une détermination in situ de la résistance thermique de la paroi. Le principe à la base de l'invention est d'utiliser les variations transitoires de la température dans le premier milieu lorsque le
20 premier milieu est soumis à des sollicitations internes contrôlées et dans un environnement externe mesuré. L'analyse quantitative de la variation de la température dans le premier milieu permet de déterminer quantitativement la qualité énergétique de la paroi sur une période courte, s'étendant sur quelques heures, en limitant le nombre de paramètres susceptibles
25 d'influencer le comportement thermique de la paroi et des premier et deuxième milieux. En particulier, dans le cas de la détermination de la résistance thermique d'un élément de construction appartenant à l'enveloppe d'un local, la brièveté des mesures permet de s'affranchir de l'influence des conditions d'utilisation du local et des variations des conditions climatiques
30 extérieures.

De préférence, on analyse la variation de la température dans le premier milieu au voisinage de la paroi dont on souhaite déterminer une grandeur représentative de la résistance thermique.

5 Dans le cadre de l'invention, on entend par "puissance de chauffe du premier milieu" toute condition opératoire générant une variation de la température dans le premier milieu, pour des conditions de température données dans le deuxième milieu. Il est entendu que la puissance de chauffe peut être positive, nulle ou négative. Une puissance de chauffe positive correspond à un apport de chaleur dans le premier milieu, alors qu'une
10 puissance de chauffe négative correspond à un apport de froid dans le premier milieu.

Les périodes de temps D_k peuvent être soit disjointes, soit immédiatement successives les unes aux autres. Dans ce dernier cas, on peut considérer que le procédé est réalisé dans sa globalité sur une période
15 de temps continue, formée par la succession des périodes de temps D_k .

De préférence, le procédé est mis en œuvre avec deux périodes de temps D_1 et D_2 successives correspondant à deux consignes de puissances P_1 et P_2 distinctes de chauffe du premier milieu.

De manière avantageuse, en vue de limiter le temps de mise en œuvre du procédé tout en réduisant la contribution du rayonnement solaire,
20 le procédé est réalisé dans sa globalité en continu sur une seule période nocturne.

Selon un aspect de l'invention, les mesures du flux thermique à travers la paroi q_k sont effectuées à l'aide d'au moins un capteur de flux
25 thermique positionné sur une face de la paroi. Le capteur de flux thermique peut être un fluxmètre ou un calorimètre.

De manière avantageuse, le capteur de flux thermique est un fluxmètre compatible avec la norme ISO 9869:1994, notamment un fluxmètre à gradient.

30 Selon un aspect de l'invention, la résistance au flux due au fluxmètre est prise en compte et une correction est appliquée au flux thermique

mesuré, de manière à obtenir le flux thermique concernant uniquement la paroi dont on souhaite déterminer la résistance thermique. Cela est particulièrement important pour des parois à faible résistance thermique, telles que des simples vitrages.

5 De manière avantageuse, les mesures de la température dans le premier milieu T_{1k} sont effectuées à l'aide d'au moins un capteur de température qui est positionné dans le premier milieu au voisinage du capteur de flux thermique. De préférence, le positionnement du ou des capteurs de température dans le premier milieu est réalisé conformément au
10 paragraphe 6.1.3 de la norme ISO 9869:1994.

Selon un aspect de l'invention, les mesures de la température dans le premier milieu T_{1k} sont effectuées à l'aide d'au moins un capteur de température ambiante apte à mesurer la température de l'air dans le premier milieu. Il est alors possible d'accéder directement au coefficient de
15 transmission thermique U de la paroi ou à la résistance thermique totale R_T de la paroi. Des exemples de capteurs de température ambiante utilisables dans le cadre de l'invention comprennent, notamment, des thermocouples, par exemple des thermocouples de type K ou de type T ; des thermomètres à résistance, par exemple des sondes Pt100. De tels capteurs de
20 température ambiante sont positionnés dans le volume d'air dans le premier milieu.

Selon un aspect de l'invention, les mesures de la température dans le premier milieu T_{1k} sont effectuées à l'aide d'au moins un capteur de température de surface apte à mesurer la température de surface de la paroi
25 dans le premier milieu. Il est alors possible d'accéder directement à la résistance thermique de surface à surface R de la paroi. Des exemples de capteurs de température de surface utilisables dans le cadre de l'invention comprennent, notamment, des thermocouples fins ou des thermomètres à résistance plats, qui sont positionnés sur la surface de la paroi dans le
30 premier milieu ; des caméras infrarouges, qui sont positionnées en regard de la surface de la paroi dans le premier milieu.

Le modèle thermique utilisé pour déterminer la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi peut être de tout type connu de l'homme du métier. Il peut s'agir, notamment, d'un modèle R-C avec un nombre adapté de résistances et de capacités.

5 De préférence, le modèle thermique utilisé pour déterminer la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est un modèle R-C simple avec une résistance et une capacité.

10 Selon une variante, le modèle thermique utilisé pour déterminer la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi peut être un modèle R-C dit « 2R2C » avec deux résistances et deux capacités, ou encore un modèle R-C dit « 3R2C » avec trois résistances et deux capacités.

15 Dans un mode de réalisation avantageux, le modèle thermique utilisé pour déterminer la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est un modèle R-C simple avec une résistance et une capacité et, pour chaque période de temps D_k , il existe un intervalle de temps Δt_k pour lequel l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ de la température dans le premier milieu en fonction du temps est sensiblement linéaire. On fait alors converger le modèle R-C et l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ de la manière

20 suivante : pour chaque période de temps D_k on détermine sur l'intervalle de temps Δt_k la pente a_k de la tangente à la courbe $T_{1k}(t)$, puis on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi à partir des valeurs de pente a_k et des valeurs de flux thermique moyen à travers la paroi q_{km} pris sur la période de temps D_k ou, de préférence, pris

25 sur l'intervalle de temps Δt_k .

Bien entendu, le procédé selon l'invention ne requiert pas nécessairement la mise en place d'une représentation graphique de l'évolution $T_{1k}(t)$.

En particulier, sur chaque intervalle de temps Δt_k , la pente a_k de la tangente à la courbe $T_{1k}(t)$ est égale à la dérivée de l'évolution $T_{1k}(t)$ sur l'intervalle Δt_k . Dès lors, l'étape de détermination de la pente a_k de la tangente à la courbe $T_{1k}(t)$ sur l'intervalle de temps Δt_k peut être réalisée, dans le cadre de l'invention, en calculant la dérivée de l'évolution $T_{1k}(t)$ sur l'intervalle de temps Δt_k , sans recourir à une représentation graphique de l'évolution $T_{1k}(t)$.

Les étapes de calcul du procédé, en particulier pour la détermination des pentes a_k , peuvent être mises en œuvre à l'aide de tout moyen de calcul approprié. Il peut s'agir notamment d'une unité de calcul électronique qui est reliée à un système d'acquisition pour acquérir les mesures requises par le procédé et qui comporte des moyens de calcul pour exécuter tout ou partie des étapes de calcul du procédé à partir des mesures acquises.

Dans le cadre de l'invention, selon le principe expliqué dans la demande de brevet WO 2012/028829 A1, on utilise un modèle R-C simple pour décrire un local, avec deux nœuds de température homogène, l'un à l'intérieur du local et l'autre à l'extérieur du local, qui sont séparés par une résistance représentant le coefficient de déperdition thermique global K du local et décrivant la perte par transmission et infiltration à travers l'enveloppe du local. Le nœud de température à l'intérieur du local est relié à un condensateur qui représente la masse thermique ou capacité thermique effective C du local. La puissance injectée dans le local est compensée par la perte de chaleur à travers l'enveloppe et la chaleur emmagasinée dans la structure de l'enveloppe, ce qui est décrit par l'équation :

$$P = K(T_1 - T_2) + C \frac{dT_1}{dt},$$

où P est la puissance totale injectée dans le local, T_1 et T_2 sont respectivement la température à l'intérieur du local et la température

extérieure, K est le coefficient de déperdition thermique global du local et C est la capacité thermique effective du local.

On suppose que la réponse en température du local est une simple exponentielle décroissante et que sa constante de temps est le produit du coefficient de déperdition thermique global K et de la capacité thermique effective C du local. En réalité, la réponse thermique du local est plus complexe et est la superposition d'un grand nombre d'exponentielles décroissantes, mais en effectuant un test sur une durée assez longue, seule la constante de temps la plus grande joue un rôle et le modèle décrit précédemment est valide.

En appliquant deux puissances P_1 et P_2 de chauffe du local de valeurs différentes sur deux périodes de temps D_1 et D_2 , il est alors possible de déterminer le coefficient de déperdition thermique global K du local selon la formule :

$$K = \frac{a_1 P_2 - a_2 P_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}},$$

où $(a_k)_{k=1 \text{ ou } 2}$ est la pente sur l'intervalle de temps Δt_k de la tangente à la courbe d'évolution de la température à l'intérieur du local $T_{1k}(t)$, et $(\Delta T_{km})_{k=1 \text{ ou } 2}$ est la différence entre la température moyenne à l'intérieur du local et la température moyenne à l'extérieur du local sur l'intervalle de temps Δt_k .

Selon la présente invention, par analogie, il est possible de déterminer le coefficient de transmission thermique U d'une paroi de séparation entre un premier milieu et un deuxième milieu selon la formule :

$$U = \frac{a_1 q_2 - a_2 q_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}},$$

où $(a_k)_{k=1 \text{ ou } 2}$ est la pente sur l'intervalle de temps Δt_k de la tangente à la courbe d'évolution de la température dans le premier milieu $T_{1k}(t)$, $(\Delta T_{km})_{k=1 \text{ ou } 2}$ est la différence entre la température moyenne dans le premier milieu et la température moyenne dans le deuxième milieu sur l'intervalle de temps

Δt_k , et $(q_k)_{k=1 \text{ ou } 2}$ est le flux thermique moyen à travers la paroi pris sur la période de temps D_k ou, de préférence et pour plus de précision, pris sur l'intervalle de temps Δt_k .

5 Selon un mode de réalisation, le procédé comprend des étapes dans lesquelles :

- on procède, sur deux périodes de temps D_1 et D_2 successives :

i. sur la première période de temps D_1 , à l'application d'une première puissance de chauffe P_1 du premier milieu, et à une campagne de mesures du flux thermique à travers la paroi q_1 et de la température dans le premier milieu T_{11} à intervalles de temps rapprochés, ainsi qu'à la détermination de la température dans le deuxième milieu T_{21} à intervalles de temps rapprochés, la première puissance de chauffe P_1 étant telle que le paramètre $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ est inférieur ou égal à 0,8, avec $\Delta T_1(0) = T_{11}(t=0) - T_{2m}$, où $t=0$ est le point de départ de la première période de temps D_1 , T_{2m} est la température moyenne dans le deuxième milieu sur l'ensemble des périodes de temps D_1 et D_2 , et K_{ref} est une valeur de référence du coefficient de déperdition thermique K du premier milieu, puis

10 15

ii. sur la deuxième période de temps D_2 , à l'application d'une deuxième puissance de chauffe P_2 du premier milieu sensiblement nulle, et à une campagne de mesures du flux thermique à travers la paroi q_2 et de la température dans le premier milieu T_{12} à intervalles de temps rapprochés, ainsi qu'à la détermination de la température dans le deuxième milieu T_{22} à intervalles de temps rapprochés ;

20

- on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi en faisant converger : d'une part, un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la température dans un milieu séparé d'un autre milieu par une paroi, en fonction du flux thermique à travers la

25

paroi, de la température dans l'autre milieu et de paramètres physiques de la paroi à partir desquels la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est calculable ; et, d'autre part, l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ de la température dans le premier milieu en fonction du temps.

5 Dans ce mode de réalisation, on sélectionne une sollicitation thermique spécifique du premier milieu, qui permet d'accéder à la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi avec une bonne précision et sur un temps réduit, cette sollicitation thermique spécifique étant l'application d'une première puissance de chauffe P_1
 10 strictement positive ou strictement négative propre à générer une évolution forcée de la température dans le premier milieu, suivie de l'application d'une deuxième puissance de chauffe P_2 sensiblement nulle autorisant une évolution libre de la température dans le premier milieu.

De préférence, la première puissance de chauffe P_1 est telle que le
 15 paramètre $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ est supérieur ou égal à 0,25, encore de préférence supérieur ou égal à 0,3. En effet, pour des milieux bien isolés, lorsque le paramètre α est inférieur à 0,25 ou 0,3, la sensibilité des capteurs de mesure classiques ne permet pas d'obtenir des données satisfaisantes concernant l'évolution de la température dans le premier milieu T_{11} sur la
 20 première période de temps D_1 , d'où une augmentation de l'incertitude sur la valeur des coefficients U , R ou K déterminés selon l'invention.

La détermination de la valeur de la première puissance de chauffe P_1 à appliquer sur la première période de temps D_1 pour satisfaire aux critères sur le paramètre α impose de connaître une valeur de référence K_{ref} du
 25 coefficient de déperdition thermique K du premier milieu.

Une première méthode pour accéder à une valeur de référence K_{ref} du coefficient de déperdition thermique K du premier milieu est l'utilisation d'une grandeur issue d'une analyse thermique du premier milieu. En

particulier, lorsque le premier milieu est l'intérieur d'un local, la valeur de référence K_{ref} du local peut être obtenue à partir du coefficient de transmission ou de transfert thermique de l'enveloppe du local. De préférence, on détermine le coefficient de transfert thermique H de l'enveloppe du local en utilisant la norme ISO 13789:2007, « Performance thermique des bâtiments - Coefficients de transfert thermique par transmission et par renouvellement d'air - Méthode de calcul », puis on déduit la valeur de référence K_{ref} du coefficient de déperdition thermique par la relation :

$$K_{ref} = H_T + H_V,$$

où H_T est le coefficient de transfert thermique par transmission et H_V est le coefficient de transfert thermique par ventilation. De préférence, le coefficient de transfert thermique de l'enveloppe du local est déterminé selon la norme ISO 13789:2007 en l'absence de ventilation dans le local. En variante, la ventilation peut être active dans le local, le débit de ventilation devant alors être mesuré ou estimé.

L'utilisation de la norme ISO 13789:2007 est une méthode préférée pour accéder à une valeur de référence K_{ref} du coefficient de déperdition thermique K . Toutefois, d'autres méthodes sont également envisageables, notamment lorsqu'on ne dispose pas de toutes les informations nécessaires pour appliquer la norme ISO 13789:2007.

Une deuxième méthode pour accéder à une valeur de référence K_{ref} du coefficient de déperdition thermique K du premier milieu lorsqu'il s'agit de l'intérieur d'un local est de soumettre le local à un test quasi-statique, tel qu'un test de "coheating".

Le "coheating" est une méthode quasi-statique dont l'objectif est de mesurer la perte thermique totale d'un local non occupé. Un test de "coheating" met en jeu un chauffage du local pendant plusieurs jours, généralement pendant une à trois semaines, à une température constante et

homogène, grâce à des radiateurs électriques couplés à des ventilateurs et reliés à un système de régulation. La température de consigne doit être assez élevée, de l'ordre de 25°C, de manière à avoir une différence de température entre l'intérieur du local et l'extérieur d'au moins 10°C. Lorsque
5 la saturation est atteinte, c'est-à-dire lorsqu'un état quasi-statique est atteint, on mesure la puissance P nécessaire pour maintenir le local à une température de 25°C, la température intérieure T_{int} et la température extérieure T_{ext} . La température intérieure T_{int} peut notamment être mesurée à l'aide de thermocouples ou thermistances, tandis que la température
10 extérieure T_{ext} peut être mesurée grâce à une station météorologique. Le traitement des données permet alors d'obtenir une valeur K_{ref} du coefficient de déperdition thermique.

Plus précisément, la procédure est la suivante :

Tout d'abord, un premier test de pressurisation a lieu, qui permet de
15 mesurer les pertes dues à la ventilation et aux infiltrations.

Ensuite, les ouvertures telles que les cheminées ou les bouches d'aération sont fermées, de sorte que les pertes liées à la ventilation ne sont plus accessibles à la mesure.

Le local est alors chauffé électriquement et de façon homogène,
20 jusqu'à ce qu'une température de consigne élevée, de l'ordre de 25°C, soit atteinte.

On mesure alors la puissance P , la température intérieure T_{int} et la température extérieure T_{ext} . Le traitement de ces mesures donne accès aux pertes par transmission et par infiltration.

25 Enfin, on réalise un deuxième test de pressurisation, de façon à connaître les pertes thermiques dues aux infiltrations uniquement, les ouvertures du local étant maintenues fermées.

Pour le traitement des mesures, on réalise chaque jour, sur vingt-quatre heures, la moyenne de la puissance nécessaire pour maintenir le
30 local à la température de consigne et la moyenne de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Ces données moyennées sont

alors reportées sur un graphique donnant la puissance en fonction de la différence de température. Une correction, due au rayonnement solaire qui participe aussi au chauffage du local, est à apporter. La pente de la droite qui passe par l'origine est donnée par régression linéaire, elle correspond au

5 coefficient de déperdition thermique K_{ref} .

Cette méthode de "coheating" est relativement simple à mettre en œuvre et fournit directement une valeur de référence K_{ref} du coefficient de déperdition thermique K du local. Selon une variante avantageuse, pour des locaux à très faible inertie thermique, on peut réaliser des tests de

10 "coheating" la nuit, la correction due aux apports solaires n'étant alors pas à faire.

Une troisième méthode pour accéder à une valeur de référence K_{ref} du coefficient de déperdition thermique K du premier milieu lorsqu'il s'agit de l'intérieur d'un local est l'utilisation d'une grandeur issue d'une étude de la consommation énergétique du local. En particulier, la valeur de référence

15 K_{ref} peut être déterminée comme étant le rapport de l'énergie consommée par le local sur une période de temps donnée sur le produit de la durée de la période de temps donnée et de la différence de température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur du local sur la période de temps donnée.

Lorsque le modèle thermique utilisé pour déterminer la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est un modèle R-C avec une résistance et une capacité, pour chacune des première et deuxième périodes de temps D_1 et D_2 , on sélectionne un intervalle de temps Δt_1 ou Δt_2 pour lequel l'évolution $T_{11}(t)$ ou $T_{12}(t)$ est sensiblement linéaire,

20 où les intervalles de temps Δt_1 et Δt_2 sont tels que l'intervalle de temps Δt_1 s'étend jusqu'à la fin de la première période D_1 d'application de la première puissance de chauffe P_1 et tels que, lorsqu'on superpose les points de départ de la première période D_1 et de la deuxième période D_2 , les intervalles de temps Δt_1 et Δt_2 ont le même point de fin ; on détermine, sur chaque

intervalle de temps Δt_1 ou Δt_2 , la pente a_1 ou a_2 de la tangente à la courbe $(T_{1k}(t))_{k=1 \text{ ou } 2}$; et on déduit la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi à partir des valeurs de pente a_1 , a_2 et des valeurs de flux thermique moyen à travers la paroi q_{1m} , q_{2m} . Chaque valeur
 5 de flux thermique moyen à travers la paroi q_{km} peut être prise sur la période de temps D_k correspondante ou, de préférence et pour plus de précision, prise sur l'intervalle de temps Δt_k correspondant.

De préférence, les intervalles de temps Δt_1 et Δt_2 ont la même durée.

De manière avantageuse, pour chaque période de temps D_k , la
 10 puissance P_k de chauffe du premier milieu comprend une puissance de chauffe P_{impk} imposée au moyen d'une source de puissance contrôlée.

La source de puissance contrôlée pour le chauffage du premier milieu peut être un équipement fixe du premier milieu, c'est-à-dire un moyen de chauffage installé dans le premier milieu indépendamment de la mise en
 15 œuvre du procédé, sous réserve que ce moyen de chauffage soit peu inerte et ajustable de manière à assurer un chauffage rapide du premier milieu. Il peut notamment s'agir d'une pompe à chaleur dont le coefficient de performance (COP) est connu.

En variante, la source de puissance contrôlée pour le chauffage du
 20 premier milieu peut être une source rapportée dans le premier milieu spécifiquement pour la mise en œuvre du procédé.

Selon une autre variante, le chauffage du premier milieu sur chaque période de temps D_k peut être mis en œuvre à l'aide d'une combinaison d'au moins un élément de chauffage qui équipe le premier milieu de manière
 25 fixe, indépendamment de la mise en œuvre du procédé, et d'au moins un élément de chauffage rapporté dans le premier milieu spécifiquement pour la mise en œuvre du procédé.

Les éléments de chauffage du premier milieu peuvent être de type convectif, conductif ou radiatif, ou combiner plusieurs de ces technologies.

De préférence, les éléments de chauffage sont des appareils électriques, ce qui permet de déterminer la puissance de chauffe de manière directe et précise. Des exemples d'appareils de chauffage électriques comprennent notamment des appareils de type convectif mettant en jeu le soufflage d'air
5 chauffé au moyen de résistances électriques ; des tapis ou des films chauffants ; des parasols radiants. En variante, les éléments de chauffage peuvent être des appareils fonctionnant au gaz ou au fioul, pour autant que les rendements des brûleurs et les débits de combustible puissent être estimés de manière suffisamment précise pour accéder à la puissance de
10 chauffe.

Dans un mode de réalisation avantageux, les éléments de chauffage du premier milieu sont des tapis chauffants électriques, que l'on répartit dans le premier milieu en les positionnant verticalement et enroulés sur eux-mêmes, de sorte que toute la puissance thermique est dissipée dans l'air
15 dans le premier milieu. Cet agencement permet un chauffage rapide et homogène du premier milieu, assurant que la température ambiante est suffisamment proche de la température de surface de la paroi du côté du premier milieu. Selon une variante, les éléments de chauffage du premier milieu sont des petits convecteurs électriques répartis dans le premier milieu.

20 Si le procédé de l'invention est mis en œuvre avec un premier milieu comportant des cloisons internes qui délimitent plusieurs pièces ou zones du premier milieu, on peut mesurer la température dans plusieurs pièces ou zones du premier milieu et considérer que la température dans le premier milieu à chaque temps t est la moyenne des mesures de température
25 obtenues au temps t dans les différentes pièces ou zones du premier milieu pondérées chacune par le volume de la pièce ou zone.

Selon un aspect de l'invention, la puissance de chauffe délivrée dans le premier milieu est mesurée à l'aide d'au moins un capteur de puissance. Le ou chaque capteur de puissance peut être un capteur de tension
30 (voltmètre) et/ou un capteur de courant (ampèremètre). De préférence, le ou chaque capteur de puissance est un wattmètre, muni à la fois d'un capteur de tension et d'un capteur de courant. Cela permet une mesure précise de la

puissance dans le premier milieu, en s'affranchissant d'éventuelles fluctuations de la tension de secteur ou de la détermination de la résistance du ou de chaque élément de chauffage.

5 Selon un aspect de l'invention, le procédé est mis en œuvre pour déterminer, sur la base d'une même sollicitation thermique du premier milieu, le coefficient de transmission thermique U de plusieurs éléments de construction appartenant à l'enveloppe d'un même local, où chaque élément de construction est une paroi de séparation entre un premier milieu qui est l'intérieur du local et un deuxième milieu qui est l'extérieur du local. De
10 manière avantageuse, les campagnes de mesures du flux thermique q_k à travers les différents éléments de construction et de la température intérieure T_{ik} sont alors faites sur les mêmes périodes de temps D_k pour tous les éléments de construction de l'enveloppe, correspondant aux mêmes puissances P_k distinctes de chauffe du local. On peut ainsi accéder aux
15 coefficients de transmission thermique U des différents éléments de construction constitutifs de l'enveloppe d'un local lors d'un même test. L'obtention des coefficients de transmission thermique U des différents éléments de construction constitutifs de l'enveloppe d'un local est utile, notamment, pour effectuer un diagnostic de l'isolation thermique du local.

20 Selon un aspect avantageux, on détermine également le coefficient de déperdition thermique K global du local. Cela permet d'accéder aux contributions relatives des différents éléments de construction constitutifs de l'enveloppe du local à la déperdition thermique totale du local, et ainsi de cibler les mesures qu'il convient de prendre pour améliorer la performance
25 thermique.

Dans un mode de réalisation, on détermine le coefficient de déperdition thermique K global du local de la manière suivante :

- on procède, sur chacune desdites périodes de temps D_k , à une campagne de mesures d'au moins une température à l'intérieur du local à
30 intervalles de temps rapprochés et à la détermination de la température de l'air extérieur à intervalles de temps rapprochés ;

- on détermine la valeur du coefficient de déperdition thermique K du local en faisant converger :

- un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la température à l'intérieur d'un local en fonction de la puissance de chauffe appliquée dans le local, de la température de l'air extérieur et de paramètres physiques du local à partir desquels le coefficient de déperdition thermique du local est calculable, d'une part,
- et
- l'évolution mesurée de la température à l'intérieur du local en fonction du temps, d'autre part.

De manière avantageuse, les campagnes de mesures du flux thermique q_k à travers les différents éléments de construction constitutifs de l'enveloppe du local et de la température intérieure du local T_{1k} sont faites sur les mêmes périodes de temps D_k , correspondant aux mêmes puissances P_k distinctes de chauffe du local. Il est ainsi possible d'accéder lors d'un même test, c'est-à-dire sur la base d'une même sollicitation thermique du premier milieu qui est l'intérieur du local, à la fois aux coefficients de transmission thermique U des différents éléments de construction constitutifs de l'enveloppe du local et au coefficient de déperdition thermique K global du local.

Telle que décrite précédemment, l'invention propose d'imposer des puissances P_k distinctes de chauffe du premier milieu sur au moins deux périodes de temps D_k successives et de mesurer pour chaque période de temps D_k l'évolution temporelle de la température dans le premier milieu $T_{1k}(t)$.

En variante, il est également possible d'imposer des températures T_{1k} distinctes dans le premier milieu sur au moins deux périodes de temps D_k successives et de mesurer pour chaque période de temps D_k l'évolution temporelle de la puissance dans le premier milieu $P_k(t)$.

Selon cette variante, l'invention a pour objet un procédé de détermination d'une grandeur représentative de la résistance thermique d'une paroi de séparation entre un premier milieu et un deuxième milieu, comprenant des étapes dans lesquelles :

- 5 - sur au moins deux périodes de temps D_k successives correspondant à des températures T_{1k} distinctes appliquées dans le premier milieu, on procède à une campagne de mesures du flux thermique à travers la paroi q_k et de la puissance dans le premier milieu P_k à intervalles de temps rapprochés, ainsi qu'à la détermination de la température dans le deuxième milieu T_{2k} à intervalles de temps rapprochés ;

- 10 - on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi en faisant converger : d'une part, un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la puissance dans un milieu séparé d'un autre milieu par une paroi, en fonction du flux thermique à travers la paroi, de la température dans l'autre milieu et de paramètres physiques de la paroi à partir desquels la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est calculable ; et, d'autre part, l'évolution mesurée $P_k(t)$ de la puissance dans le premier milieu en fonction du temps.

- 20 De préférence, le procédé est mis en œuvre avec deux périodes de temps D_1 et D_2 successives correspondant à deux consignes de températures T_{11} et T_{12} distinctes appliquées dans le premier milieu.

- 25 Un autre aspect de l'invention, qui peut être considéré indépendamment de la détermination d'une grandeur représentative de la résistance thermique d'une paroi de séparation entre un premier milieu et un deuxième milieu, est un procédé de détermination du coefficient de déperdition thermique K global d'un local, comprenant des étapes dans lesquelles :

- sur au moins deux périodes de temps D_k successives correspondant à des températures T_{1k} distinctes appliquées dans le local, on procède à une

campagne de mesures de la puissance dans le local P_k à intervalles de temps rapprochés, ainsi qu'à la détermination de la température de l'air extérieur à intervalles de temps rapprochés ;

- on détermine la valeur du coefficient de déperdition thermique K du local en faisant converger : d'une part, un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la puissance à l'intérieur d'un local en fonction de la température appliquée dans le local, de la température de l'air extérieur et de paramètres physiques du local à partir desquels le coefficient de déperdition thermique du local est calculable ; et, d'autre part, l'évolution mesurée $P_k(t)$ de la puissance dans le local en fonction du temps.

De préférence, le procédé est mis en œuvre avec deux périodes de temps D_1 et D_2 successives correspondant à deux consignes de températures T_{11} et T_{12} distinctes appliquées dans le local.

- L'invention a également pour objet un support d'enregistrement d'informations, comportant des instructions pour la mise en œuvre de tout ou partie des étapes de calcul d'un procédé tel que décrit précédemment, lorsque ces instructions sont exécutées par une unité de calcul électronique.

Un autre objet de l'invention est un dispositif pour la mise en œuvre d'un procédé tel que décrit précédemment, comprenant :

- au moins un élément de chauffage comportant une source de puissance contrôlée ;
- au moins un capteur de flux thermique destiné à être positionné sur une face de la paroi pour mesurer le flux thermique à travers la paroi ;
- au moins un capteur de température destiné à mesurer la température dans le premier milieu T_{1k} au voisinage du capteur de flux thermique ;
- une unité de calcul électronique ;
- un support d'enregistrement d'informations comportant des instructions, destinées à être exécutées par l'unité de calcul électronique, pour la mise en œuvre de tout ou partie des étapes de calcul du procédé.

Selon une caractéristique avantageuse, le ou chaque élément de chauffage chauffe l'air dans le premier milieu. Cela permet un chauffage rapide du premier milieu. Tel est le cas notamment avec une pluralité de convecteurs électriques répartis dans le premier milieu, ou avec des tapis chauffants électriques comme décrits précédemment, qui sont disposés verticalement dans le premier milieu et enroulés sur eux-mêmes, de sorte que toute la puissance thermique est dissipée dans l'air.

Selon un aspect de l'invention, le ou les capteurs de température comprennent au moins un capteur de température ambiante destiné à être positionné dans le volume d'air dans le premier milieu.

Selon un aspect de l'invention, le ou les capteurs de température comprennent au moins un capteur de température de surface destiné à être positionné sur, ou en regard de, la surface de la paroi dans le premier milieu.

De manière avantageuse, l'unité de calcul électronique comporte des moyens de commande de la source de puissance du ou de chaque élément de chauffage.

Dans un mode de réalisation, le dispositif comprend au moins un boîtier, comportant à la fois un capteur de flux thermique et un capteur de température, et des moyens de liaison, notamment sans fil, entre le boîtier et l'unité de calcul électronique.

Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront dans la description qui va suivre d'un mode de réalisation d'un procédé et d'un dispositif selon l'invention, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux figures annexées dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique d'un bungalow dont l'enveloppe comprend plusieurs éléments de construction, à savoir un sol, un plafond, un mur avec une porte (considérée comme faisant partie du mur), un ensemble de deux vitrages, où l'on souhaite déterminer le coefficient de transmission thermique U de chacun de ces éléments conformément à l'invention ;

- les figures 2 et 3 sont des graphes montrant, pour l'un des vitrages appartenant à l'enveloppe du bungalow de la figure 1, respectivement

l'évolution de la température intérieure T_{1k} en fonction du temps t , telle que mesurée par un capteur de température d'air situé au voisinage d'un fluxmètre fixé sur le vitrage, et l'évolution du flux thermique surfacique à travers le vitrage q_k en fonction du temps, telle que mesurée par le fluxmètre précité fixé sur le vitrage, au cours de la mise en œuvre du procédé conforme à l'invention comprenant une première période de temps D_1 au cours de laquelle une première puissance de chauffe P_1 est appliquée dans le bungalow, où P_1 est telle que le paramètre $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ du bungalow est compris entre 0,3 et 0,8, suivie d'une deuxième période de temps D_2 au cours de laquelle une deuxième puissance de chauffe P_2 sensiblement nulle est appliquée dans le bungalow, de manière à laisser le bungalow en refroidissement libre, l'évolution de la température extérieure T_{2k} étant également montrée sur ces figures ;

- la figure 4 est un graphe montrant la répartition des contributions relatives des différents éléments de construction constitutifs de l'enveloppe du bungalow de la figure 1 à la déperdition thermique totale du bungalow ;

- la figure 5 est un schéma d'un modèle dit « 2R2C » du bungalow de la figure 1, avec deux résistances et deux capacités ;

- la figure 6 est un graphe illustrant l'ajustement (fitting) du modèle 2R2C montré sur la figure 5 sur l'évolution de la température intérieure T_{1k} en fonction du temps t montrée sur la figure 2, obtenu en faisant converger le modèle 2R2C et l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ sur l'ensemble des deux périodes de temps D_1 et D_2 .

Le procédé selon l'invention est mis en œuvre pour la détermination du coefficient de transmission thermique U de plusieurs éléments de construction constitutifs de l'enveloppe du bungalow 1 représenté sur la figure 1, à savoir le sol, le plafond, le mur, et l'ensemble des vitrages du bungalow.

Le bungalow 1 présente une surface au sol de $13,5 \text{ m}^2$, une surface des vitrages de $3,9 \text{ m}^2$, une hauteur intérieure de $2,5 \text{ m}$, un volume de $34,2 \text{ m}^3$ et une surface totale d'enveloppe de $68,5 \text{ m}^2$. La paroi externe du bungalow 1 est constituée de panneaux sandwich isolants comprenant une
5 couche de polyuréthane d'épaisseur 35 mm insérée entre deux plaques de métal, d'une porte (considérée comme faisant partie du mur) et de deux vitrages qui sont des triples vitrages.

Le procédé est mis en œuvre alors que le bungalow 1 est inoccupé.

Le coefficient de transmission thermique U de l'enveloppe du
10 bungalow 1, déterminé en utilisant la norme ISO 13789:2007, conduit à une valeur de référence du coefficient de déperdition thermique du bungalow K_{ref} de $60 \text{ W/K} \pm 12 \text{ W/K}$. Le bungalow est un bâtiment très léger, c'est-à-dire à très faible inertie thermique. Sa constante de temps est de quelques heures.

Le chauffage du bungalow 1 est assuré par des tapis chauffants 2
15 électriques, où chaque tapis chauffant a une puissance nominale de $112,5 \text{ W}$. Les tapis chauffants 2 sont répartis dans le bungalow en étant placés verticalement et enroulés sur eux-mêmes, comme montré schématiquement sur la figure 1, ce qui permet un chauffage rapide et homogène du bungalow.

Le procédé selon l'invention est mis en œuvre en continu dans sa
20 globalité sur une seule période de temps nocturne, afin de s'affranchir de la contribution du rayonnement solaire au chauffage du bungalow 1.

On procède tout d'abord à un chauffage du bungalow sur une première période de temps D_1 de 00h15 à 01h10, ce qui correspond à l'application d'une première puissance de chauffe P_1 strictement positive,
25 puis à un refroidissement libre du bungalow sur une deuxième période de temps D_2 de 01h10 à 02h05, ce qui correspond à l'application d'une deuxième puissance de chauffe P_2 sensiblement nulle. La deuxième période de temps D_2 est immédiatement consécutive à la première période de temps D_1 .

Pour chaque période de temps D_k , la puissance P_k appliquée est sensiblement égale à la puissance de chauffe imposée par les tapis chauffants 2, aux puissances résiduelles près, provenant notamment du matériel de mesure et de calcul présent dans le bungalow pour la mise en œuvre du procédé. Des capteurs de puissance, sous la forme de boucles ampèremétriques, mesurent la puissance délivrée dans le bungalow lors de la mise en œuvre du procédé.

Dans une première étape du procédé, qui correspond à la première période de temps D_1 , on procède au chauffage du bungalow 1 à l'aide des tapis chauffants 2. La première puissance de chauffe P_1 appliquée sur la première période de temps D_1 est choisie de telle sorte que le paramètre $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ est compris entre 0,3 et 0,8. Dans cet exemple, la valeur de référence K_{ref} est égale à $60 \text{ W/K} \pm 12 \text{ W/K}$, la température intérieure initiale à l'intérieur du bungalow T_{11d} est $25,6^\circ\text{C}$, et la température initiale de l'air extérieur T_{21d} est $18,7^\circ\text{C}$, ce qui correspond, pour une valeur du paramètre α sensiblement égale à 0,4, à une valeur de la première puissance de chauffe P_1 environ égale à 1370 W.

La température ambiante à l'intérieur du bungalow T_{11} est alors mesurée toutes les dix secondes, d'une part au voisinage de chaque élément de construction parmi le sol, le plafond, le mur, les deux vitrages, et d'autre part au milieu du volume d'air. A cet effet, plusieurs capteurs de température, qui sont dans cet exemple des thermocouples de type K, sont installés dans l'air ambiant dans le bungalow, à savoir un thermocouple au voisinage de chaque élément de construction et un thermocouple au milieu du volume d'air à 110 cm de hauteur.

La courbe représentative de l'évolution de la température intérieure T_{11} au voisinage d'un vitrage du bungalow en fonction du temps pendant la première période de temps D_1 est montrée sur la figure 2. Comme visible sur cette figure, la courbe de montée en température au voisinage du vitrage

présente une partie sensiblement linéaire sur l'intervalle de temps Δt_1 . La mise en équation de cette partie linéaire de la courbe donne une pente a_1 de 4,79 K/h. Les valeurs de pente a_1 pour les différents éléments sont données dans le tableau 1 ci-dessous.

5 La figure 2 fait également apparaître l'évolution de la température de l'air extérieur T_{21} pendant la première période de temps D_1 . La température de l'air extérieur T_{21} sur l'intervalle de temps Δt_1 est suffisamment stable pour qu'on puisse la considérer sensiblement constante et égale à la température moyenne sur l'intervalle de temps Δt_1 , à savoir dans cet
10 exemple $T_{21m} = 18,1^\circ\text{C}$.

Le flux thermique à travers chaque élément de construction est également mesuré toutes les dix secondes, à l'aide d'un fluxmètre à gradient de type HFP01 commercialisé par la société Hukseflux positionné sur la face intérieure de l'élément de construction. A titre d'exemple, la courbe
15 représentative de l'évolution du flux thermique q_1 à travers un vitrage en fonction du temps pendant la première période de temps D_1 est montrée sur la figure 3. Les valeurs de flux moyens q_{1m} sur l'intervalle de temps Δt_1 pour les différents éléments sont données dans le tableau 1 ci-dessous.

Dans une deuxième étape du procédé, qui correspond à la deuxième
20 période de temps D_2 , on applique la deuxième puissance de chauffe P_2 sensiblement nulle dans le bungalow 1, à partir d'une température de départ $T_{12d} = 34,7^\circ\text{C}$, c'est-à-dire que les tapis chauffants 2 ne fonctionnent pas pendant cette deuxième période D_2 . Comme dans la première étape, la température ambiante à l'intérieur du bungalow T_{12} est alors mesurée toutes
25 les dix secondes, d'une part au voisinage de chaque élément de construction parmi le sol, le plafond, le mur, les deux vitrages, et d'autre part au milieu du volume d'air, à l'aide de thermocouples de type K installés dans l'air ambiant dans le bungalow, à savoir un thermocouple au voisinage de chaque élément

de construction et un thermocouple au milieu du volume d'air à 110 cm de hauteur.

La figure 2 montre la courbe représentative de l'évolution de la température intérieure T_{12} au voisinage d'un vitrage du bungalow en fonction du temps pendant la deuxième période de temps D_2 . Comme visible sur cette figure, la courbe de descente en température au voisinage du vitrage présente une partie sensiblement linéaire sur l'intervalle de temps Δt_2 . La mise en équation de cette partie linéaire de la courbe donne une pente de a_2 de -5,58 K/h. Les valeurs de pente a_2 pour les différents éléments sont données dans le tableau 1 ci-dessous.

L'évolution de la température de l'air extérieur T_{22} pendant la même période de temps D_2 est également montrée sur la figure 2. Comme dans la première étape, la température de l'air extérieur T_{22} sur l'intervalle de temps Δt_2 est suffisamment stable pour qu'on puisse la considérer sensiblement constante et égale à la température moyenne sur l'intervalle de temps Δt_2 , à savoir dans cet exemple $T_{22m} = 17,1^\circ\text{C}$.

Le flux thermique à travers chaque élément de construction est également mesuré toutes les dix secondes, à l'aide d'un fluxmètre à gradient de type HFP01 positionné sur la face intérieure de l'élément de construction. A titre d'exemple, la courbe représentative de l'évolution du flux thermique q_2 à travers un vitrage du bungalow en fonction du temps pendant la deuxième période de temps D_2 est montrée sur la figure 3. Les valeurs de flux moyens q_{2m} sur l'intervalle de temps Δt_2 pour les différents éléments sont données dans le tableau 1 ci-dessous.

Comme $U = \frac{a_1 q_2 - a_2 q_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}}$, en prenant $\Delta T_{1m} = 15,9^\circ\text{C}$, $\Delta T_{2m} = 7,8^\circ\text{C}$,

$q_{1m} = 18,70 \text{ W/m}^2$, $q_{2m} = -3,90 \text{ W/m}^2$, on obtient la valeur du coefficient de transmission thermique U des vitrages du bungalow 1 :

$$U = 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Les valeurs du coefficient de transmission thermique U pour les différents éléments de construction constitutifs de l'enveloppe du bungalow 1 sont données dans le tableau 1 ci-dessous.

Elément	a_1 (K/h)	a_2 (K/h)	q_{1m} (W/m ²)	q_{2m} (W/m ²)	ΔT_{1m} (°C)	ΔT_{2m} (°C)	U (W/m ² K)
Vitrages	4,79	-5,58	18,70	-3,90	15,9	7,8	0,68
Mur (y compris porte)	4,46	-5,42	21,97	-4,47	16,7	8,1	0,78
Sol	4,13	-4,21	7,82	0,25	13,3	8,0	0,38
Plafond	4,42	-5,75	6,66	5,28	16,8	8,1	0,46

5

Tableau 1

En comparaison, la valeur calculée selon la norme ISO 6946:2007 du coefficient de transmission thermique U du mur est 0,70 W/m²K ± 0,13 W/m²K, et celle du plafond est de 0,43 W/m²K ± 0,07 W/m²K. De plus, la valeur fournie par le fabricant, calculée selon la norme ISO 10077:2012, du coefficient de transmission thermique U des vitrages est de 0,70 W/m²K. Pour le sol, il y a trop d'incertitude pour accéder à une valeur calculée du coefficient de transmission thermique U selon la norme ISO 13370:2007.

Grâce aux mesures réalisées pendant les périodes de temps D_1 et D_2 , il est également possible de déterminer la valeur du coefficient de déperdition thermique K du bungalow 1. Comme $K = \frac{a_1 P_2 - a_2 P_1}{a_1 \Delta T_{2m} - a_2 \Delta T_{1m}}$, en prenant $a_1 = 4,62$ K/h, $a_2 = -5,37$ K/h, $\Delta T_{1m} = 16,6^\circ\text{C}$, $\Delta T_{2m} = 8,0^\circ\text{C}$, $P_1 = 1370$ W, $P_2 = 5$ W, on obtient la valeur du coefficient de déperdition thermique K du bungalow 1 :

$$K = 58,70 \text{ W/K.}$$

Il est alors possible de tracer le graphe montrant la répartition des contributions relatives des différents éléments de construction constitutifs de l'enveloppe du local à la déperdition thermique totale du local. Ce graphe,

20

obtenu en pondérant le coefficient de transmission thermique U de chaque élément de construction par sa surface déperditive A , est montré sur la figure 4. Le détail pour chaque élément de construction est donné dans le tableau 2 ci-dessous.

5

Elément	U (W/m ² K)	A (m ²)	K (W/K)
Vitrages	0,68	3,9	2,65
Mur (y compris porte)	0,78	37,6	29,3
Sol	0,38	13,5	5,1
Plafond	0,46	13,5	6,2
Autres (infiltrations, ponts thermiques...)	-	-	15,4

Tableau 2

L’obtention de la répartition des pertes entre les différents éléments de construction est un outil utile pour la prescription, en particulier dans un contexte de rénovation.

La méthode de traitement des données décrite ci-dessus correspond au cas où le modèle thermique utilisé est un modèle R-C simple avec une résistance et une capacité.

En variante, les courbes d’évolution de la température intérieure en fonction du temps pour chaque élément de construction constitutif de l’enveloppe du bungalow 1, à savoir le sol, le plafond, le mur, l’ensemble des deux vitrages, ont été traitées avec un modèle 2R2C du bungalow avec deux résistances et deux capacités, dont un schéma est montré sur la figure 5.

Dans ce modèle 2R2C, l’ambiance extérieure est considérée comme étant à température constante imposée T_E , deux nœuds T_P et T_I représentent schématiquement les masses thermiques des parois et de l’air intérieur et ont chacune une valeur d’inertie C_1 , C_2 associée, et deux résistances R_1 , R_2 sont placées entre les nœuds. Une résistance R_2 , placée entre l’ambiance extérieure et le nœud des parois, représente la résistance

du mur, tandis que l'autre résistance R_1 , placée entre le nœud des parois et celui de l'ambiance intérieure, représente la résistance de convection intérieure. Dans ce cas, le coefficient de déperdition thermique K est l'inverse de la résistance totale, somme des deux résistances du réseau.

A titre d'exemple, la figure 6 montre l'ajustement (fitting) du modèle 2R2C décrit ci-dessus sur l'évolution de la température intérieure T_{1k} au voisinage d'un vitrage en fonction du temps t montrée sur la figure 2. Les valeurs du coefficient de transmission thermique U obtenues pour les différents éléments de construction constitutifs de l'enveloppe du bungalow 1 dans le cas où le modèle thermique utilisé est un modèle 2R2C sont données dans le tableau 3 ci-dessous.

Élément	U (W/m ² K)
Vitrages	0,68
Mur (y compris porte)	0,78
Sol	0,56
Plafond	0,45

Tableau 3

On constate que les valeurs de coefficient de transmission thermique U obtenues avec le modèle 2R2C sont globalement cohérentes avec celles obtenues avec le modèle R-C simple, certains écarts étant liés à une plus grande imprécision de l'approche par le modèle 2R2C.

En pratique, dans l'exemple précédent avec le modèle R-C simple, les étapes de sélection des intervalles de temps Δt_k pour le traitement des données, de linéarisation, et de calcul de U et K à partir des pentes a_k , sont avantageusement réalisées au moyen d'une unité de calcul électronique.

L'invention n'est pas limitée aux exemples décrits ci-dessus.

En particulier, le procédé selon l'invention peut être mis en œuvre avec des moyens de chauffage qui équipent le premier milieu de manière fixe et/ou avec des moyens de chauffage qui sont rapportés dans le premier milieu spécifiquement pour la mise en œuvre du procédé, pour autant que la
5 puissance fournie par ces moyens de chauffage pour les impulsions requises par le procédé puisse être déterminée de manière précise.

Par ailleurs, dans les exemples précédents, le procédé de détermination d'une grandeur représentative de la résistance thermique d'une paroi et le procédé de détermination du coefficient de déperdition
10 thermique d'un local sont mis en œuvre avec des périodes de temps D_k correspondant à des consignes de puissance de chauffe P_k distinctes. Bien entendu, en variante, la puissance de chauffe peut varier sur une (ou plusieurs) des périodes de temps D_k , pour autant qu'elle assure sur la période D_k une puissance de chauffe moyenne P_k distincte des puissances
15 de chauffe appliquées sur les périodes de temps qui l'entourent. Dans ce cas, la puissance de chauffe P_k considérée est la puissance de chauffe moyenne sur la période de temps D_k .

REVENDEICATIONS

1. Procédé de détermination d'une grandeur représentative de la résistance thermique (U , R_T , R) d'une paroi de séparation entre un premier milieu et un deuxième milieu, caractérisé en ce qu'il comprend des étapes dans lesquelles :

- sur au moins deux périodes de temps D_k successives correspondant à des puissances P_k distinctes de chauffe du premier milieu, respectivement à des températures distinctes appliquées dans le premier milieu, on procède à une campagne de mesures du flux thermique à travers la paroi q_k et de la température dans le premier milieu T_{1k} , respectivement de la puissance dans le premier milieu, à intervalles de temps rapprochés, ainsi qu'à la détermination de la température dans le deuxième milieu T_{2k} à intervalles de temps rapprochés ;

- on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique (U , R_T , R) de la paroi en faisant converger :

- d'une part, un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la température, respectivement la variation temporelle de la puissance, dans un milieu séparé d'un autre milieu par une paroi, en fonction du flux thermique à travers la paroi, de la température dans l'autre milieu et de paramètres physiques de la paroi à partir desquels la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est calculable,

et

- d'autre part, l'évolution mesurée de la température $T_{1k}(t)$, respectivement de la puissance, dans le premier milieu en fonction du temps.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre avec deux périodes de temps D_1 et D_2 successives correspondant à deux consignes de puissances P_1 et P_2 distinctes de chauffe du premier

milieu, respectivement à deux consignes de températures distinctes appliquées dans le premier milieu.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les mesures du flux thermique à travers la paroi q_k sont effectuées à l'aide d'au moins un capteur de flux thermique positionné sur une face de la paroi.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que les mesures de la température dans le premier milieu T_{1k} sont effectuées à l'aide d'au moins un capteur de température positionné dans le premier milieu au voisinage du capteur de flux thermique.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les mesures de la température dans le premier milieu T_{1k} sont effectuées à l'aide d'au moins un capteur de température ambiante positionné dans le volume d'air dans le premier milieu.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les mesures de la température dans le premier milieu T_{1k} sont effectuées à l'aide d'au moins un capteur de température de surface positionné sur ou en regard de la surface de la paroi dans le premier milieu.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le modèle thermique est un modèle R-C avec une résistance et une capacité.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend des étapes dans lesquelles :

- on procède, sur deux périodes de temps D_1 et D_2 successives :

i. sur la première période de temps D_1 , à l'application d'une première puissance de chauffe P_1 du premier milieu, et à une campagne de mesures du flux thermique à travers la paroi q_1 et de la température dans le premier milieu T_{11} à intervalles de temps rapprochés, ainsi qu'à la détermination de la température dans le deuxième milieu T_{21} à intervalles de temps rapprochés, la première puissance de chauffe P_1 étant telle que le paramètre

$\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ est inférieur ou égal à 0,8, avec $\Delta T_1(0) = T_{11}(t=0) - T_{2m}$, où

$t=0$ est le point de départ de la première période de temps D_1 , T_{2m} est la température moyenne dans le deuxième milieu sur l'ensemble des périodes de temps D_1 et D_2 , et K_{ref} est une valeur de référence du coefficient de
 5 déperdition thermique K du premier milieu, puis

ii. sur la deuxième période de temps D_2 , à l'application d'une deuxième puissance de chauffe P_2 du premier milieu sensiblement nulle, et à une campagne de mesures du flux thermique à travers la paroi q_2 et de la température dans le premier milieu T_{12} à intervalles de temps rapprochés,
 10 ainsi qu'à la détermination de la température dans le deuxième milieu T_{22} à intervalles de temps rapprochés ;

- on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique (U , R_T , R) de la paroi en faisant converger :

- un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la
 15 température dans un milieu séparé d'un autre milieu par une paroi, en fonction du flux thermique à travers la paroi, de la température dans l'autre milieu et de paramètres physiques de la paroi à partir desquels la grandeur représentative de la résistance thermique de la paroi est calculable, d'une part,

20 et

- l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ de la température dans le premier milieu en fonction du temps, d'autre part.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la première puissance de chauffe P_1 est telle que le paramètre $\alpha = 1 - \frac{\Delta T_1(0)K_{ref}}{P_1}$ est

25 supérieur ou égal à 0,25, de préférence supérieur ou égal à 0,3.

10. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que, pour chaque période de temps D_k , il existe un intervalle de temps Δt_k pour lequel

l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ de la température dans le premier milieu en fonction du temps est sensiblement linéaire, et en ce qu'on fait converger le modèle R-C et l'évolution mesurée $T_{1k}(t)$ de la manière suivante : pour chaque période de temps D_k on détermine sur l'intervalle de temps Δt_k la

5 pente a_k de la tangente à la courbe $T_{1k}(t)$, et on détermine la valeur de la grandeur représentative de la résistance thermique (R , R_T , U) de la paroi à partir des valeurs de pente a_k et des valeurs de flux thermique moyen à travers la paroi q_{km} pris sur la période de temps D_k ou, de préférence, pris sur l'intervalle de temps Δt_k .

10 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, pour chaque période de temps D_k , la puissance P_k de chauffe du premier milieu comprend une puissance de chauffe P_{impk} imposée au moyen d'une source de puissance contrôlée.

15 12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que la source de puissance contrôlée est un équipement fixe du premier milieu.

13. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que la source de puissance contrôlée est une source rapportée dans le premier milieu spécifiquement pour la mise en œuvre du procédé.

20 14. Procédé de détermination des propriétés thermiques d'un local, caractérisé en ce qu'on détermine le coefficient de transmission thermique U de chaque élément de construction appartenant à l'enveloppe du local par le procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 13, où chaque élément de construction est une paroi de séparation entre un premier milieu qui est l'intérieur du local et un deuxième milieu qui est l'extérieur du local,

25 les campagnes de mesures du flux thermique à travers l'élément de construction q_k et de la température intérieure T_{1k} étant faites pour tous les éléments de construction de l'enveloppe sur les mêmes périodes de temps D_k correspondant à des puissances P_k distinctes de chauffe du local.

15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'on détermine également le coefficient de déperdition thermique K du local.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'on détermine le coefficient de déperdition thermique K du local de la manière suivante :

- on procède, sur chacune desdites périodes de temps D_k , à une campagne de mesures d'au moins une température à l'intérieur du local à intervalles de temps rapprochés et à la détermination de la température de l'air extérieur à intervalles de temps rapprochés ;

- on détermine la valeur du coefficient de déperdition thermique K du local en faisant converger :

- un modèle thermique exprimant la variation temporelle de la température à l'intérieur d'un local en fonction de la puissance de chauffe appliquée dans le local, de la température de l'air extérieur et de paramètres physiques du local à partir desquels le coefficient de déperdition thermique du local est calculable, d'une part,

et

- l'évolution mesurée de la température à l'intérieur du local en fonction du temps, d'autre part.

17. Support d'enregistrement d'informations, caractérisé en ce qu'il comporte des instructions pour la mise en œuvre de tout ou partie des étapes de calcul d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes lorsque ces instructions sont exécutées par une unité de calcul électronique.

18. Dispositif pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins un élément de chauffage comportant une source de puissance contrôlée ;

- au moins un capteur de flux thermique destiné à être positionné sur une face de la paroi pour mesurer le flux thermique à travers la paroi ;

- au moins un capteur de température destiné à mesurer la température dans le premier milieu T_{1k} au voisinage du capteur de flux thermique ;

- une unité de calcul électronique ;

5 - un support d'enregistrement d'informations comportant des instructions, destinées à être exécutées par l'unité de calcul électronique, pour la mise en œuvre de tout ou partie des étapes de calcul du procédé.

19. Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce que le ou chaque élément de chauffage chauffe l'air dans le premier milieu.

10 20. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 18 ou 19, caractérisé en ce que le ou les capteurs de température comprennent au moins un capteur de température ambiante destiné à mesurer la température de l'air dans le premier milieu.

15 21. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 18 à 20, caractérisé en ce que le ou les capteurs de température comprennent au moins un capteur de température de surface destiné à mesurer la température de surface de la paroi dans le premier milieu.

20 22. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 18 à 21, caractérisé en ce que l'unité de calcul électronique comporte des moyens de commande de la source de puissance du ou de chaque élément de chauffage.

23. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 18 à 22, caractérisé en ce qu'il comprend :

25 - au moins un boîtier comportant à la fois un capteur de flux thermique et un capteur de température,

- des moyens de liaison, notamment sans fil, entre le boîtier et l'unité de calcul électronique.

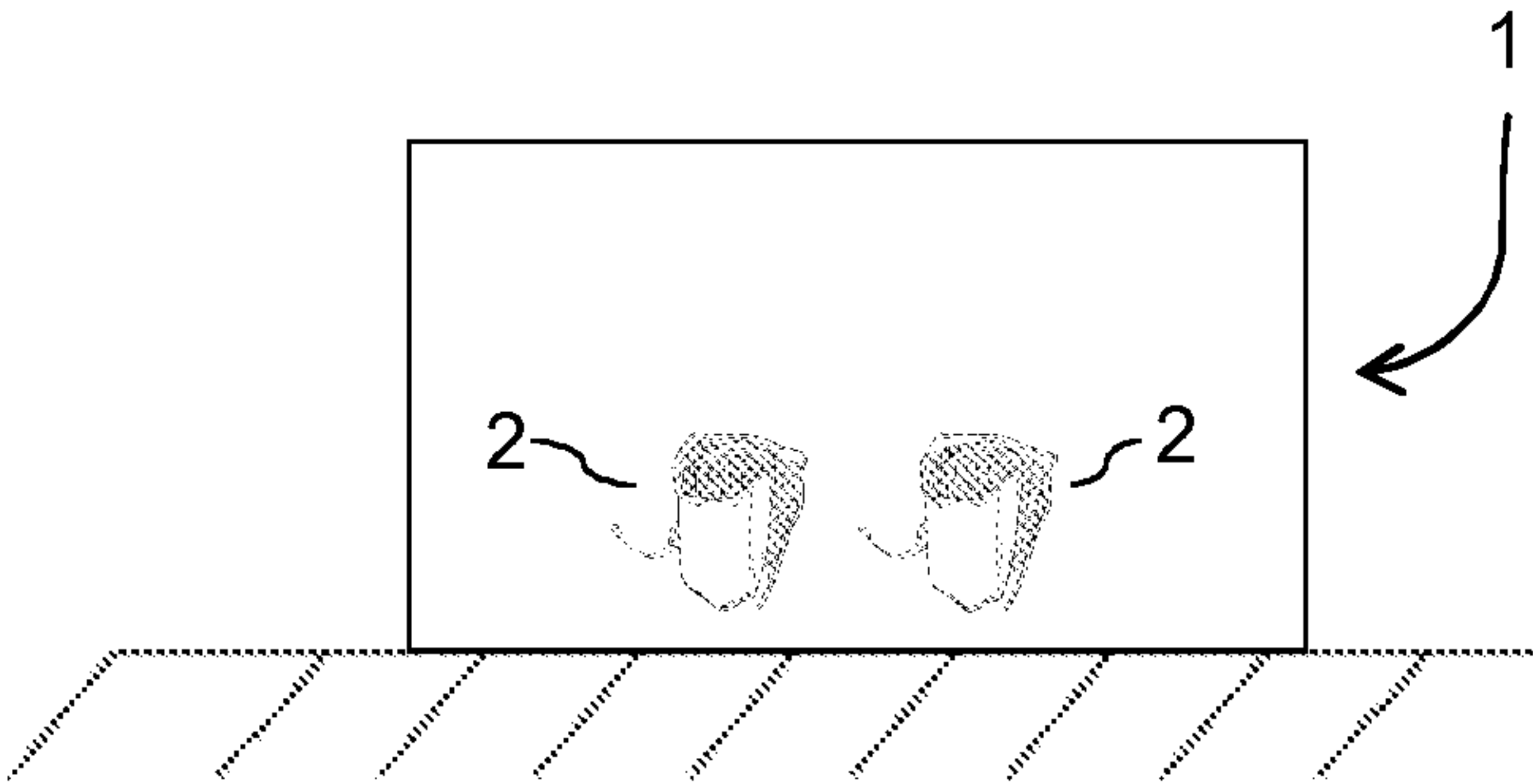


Fig. 1

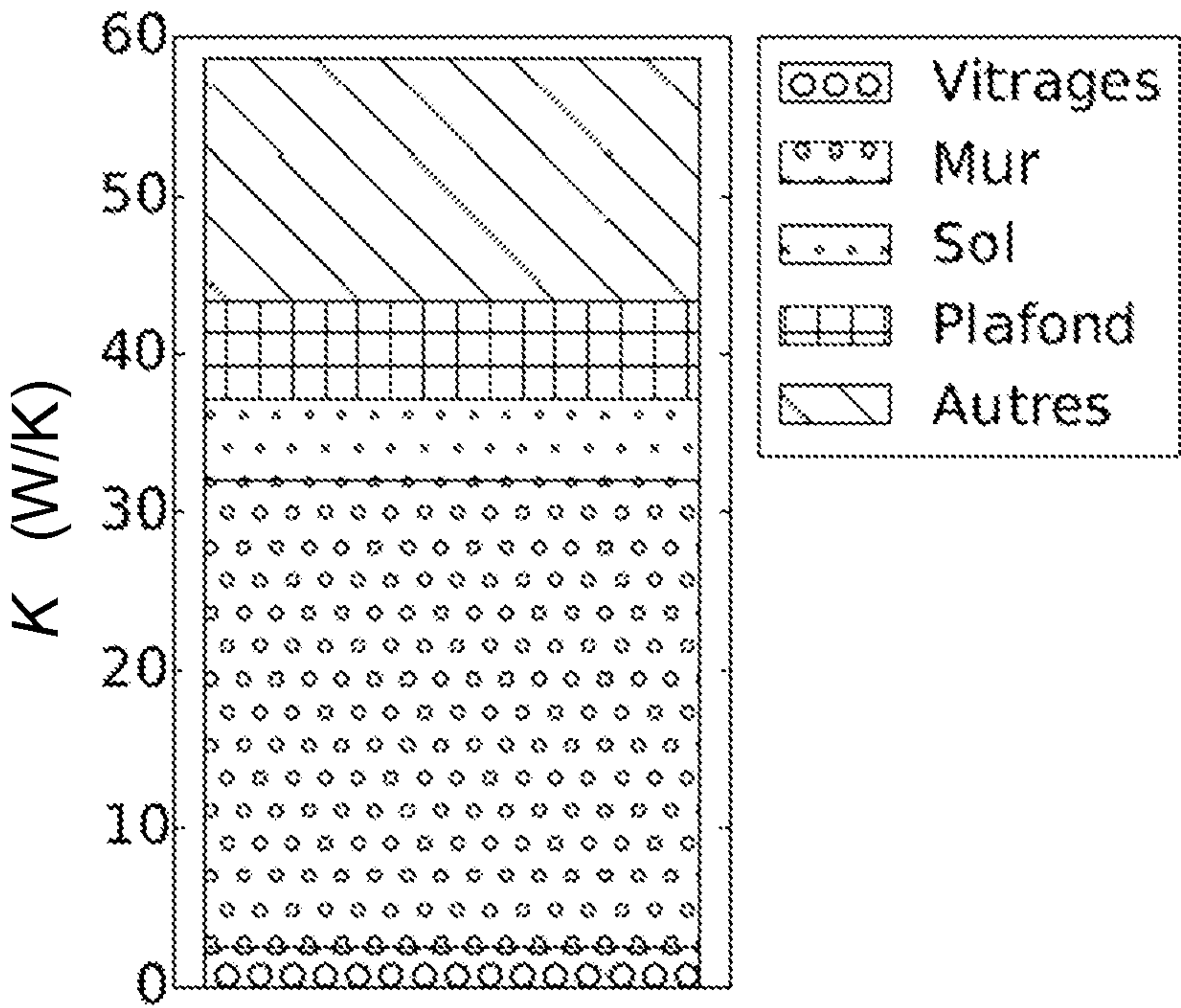


Fig. 4

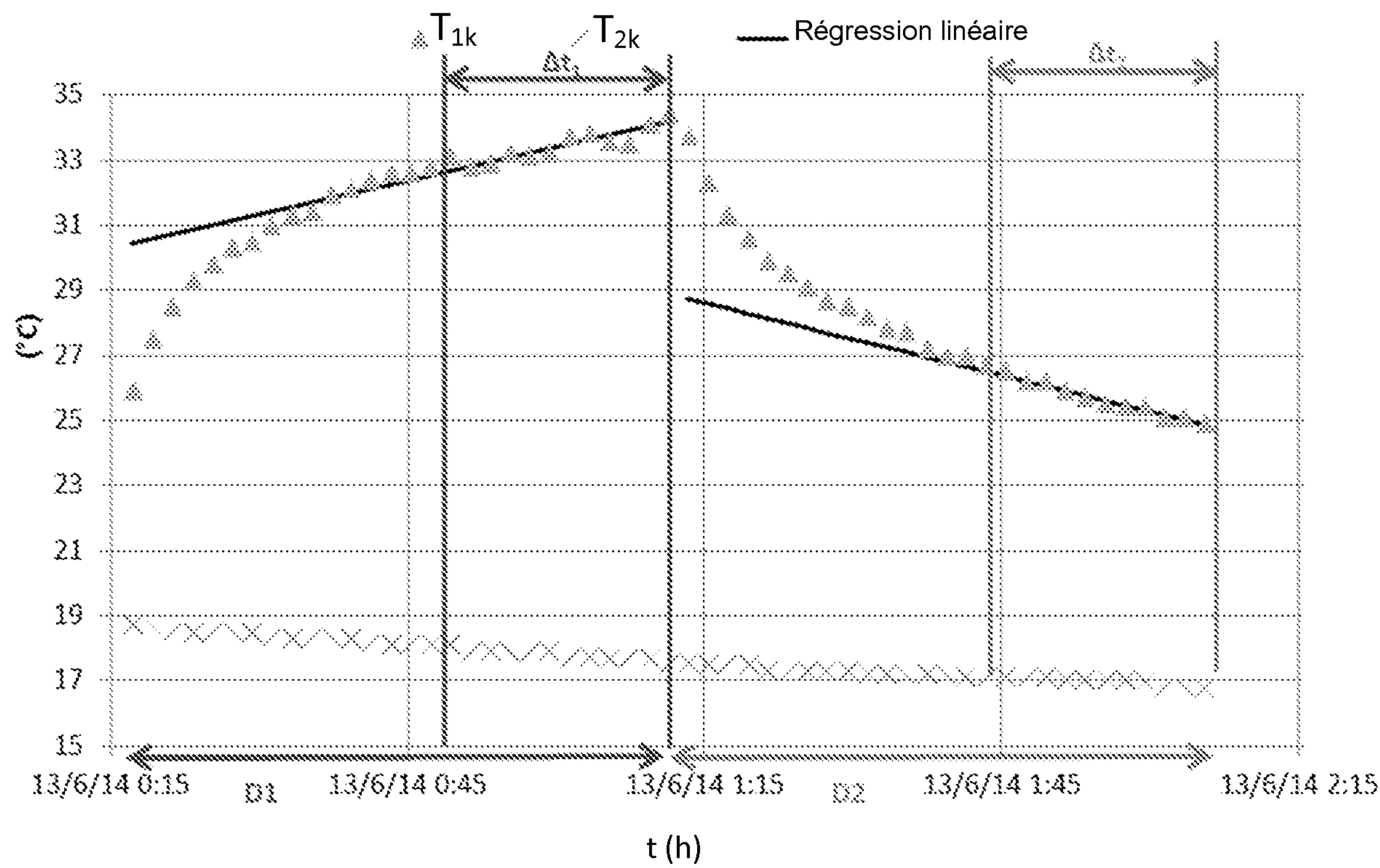


Fig. 2

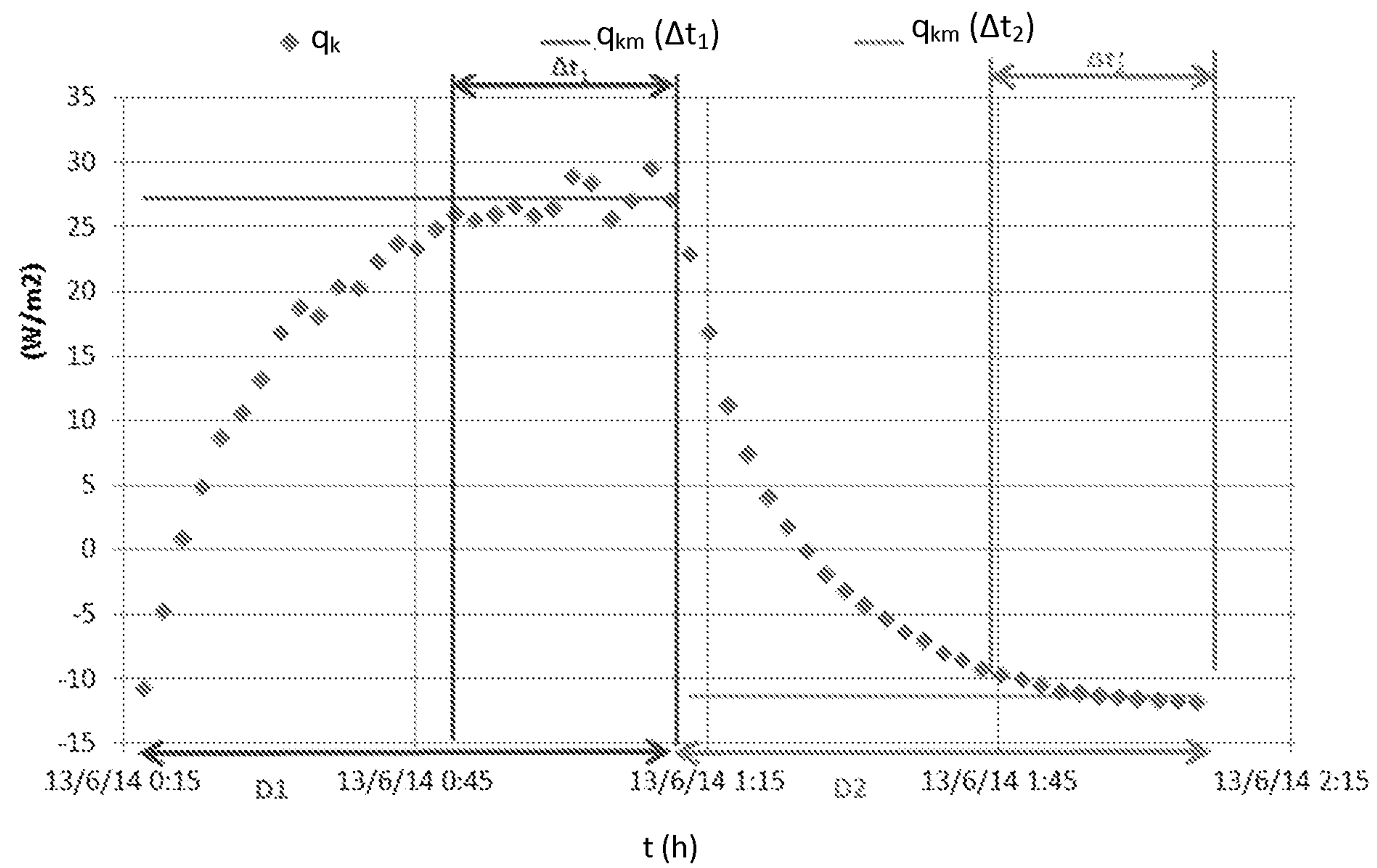


Fig. 3

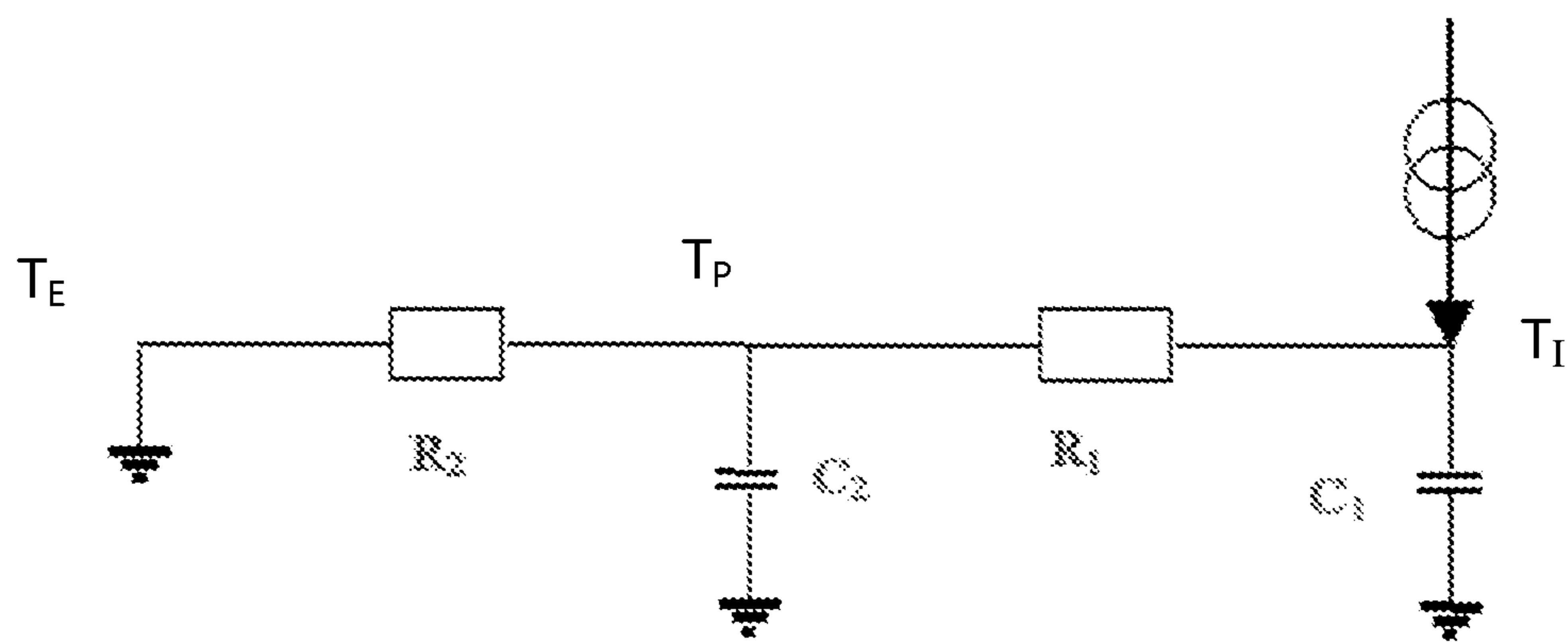


Fig. 5

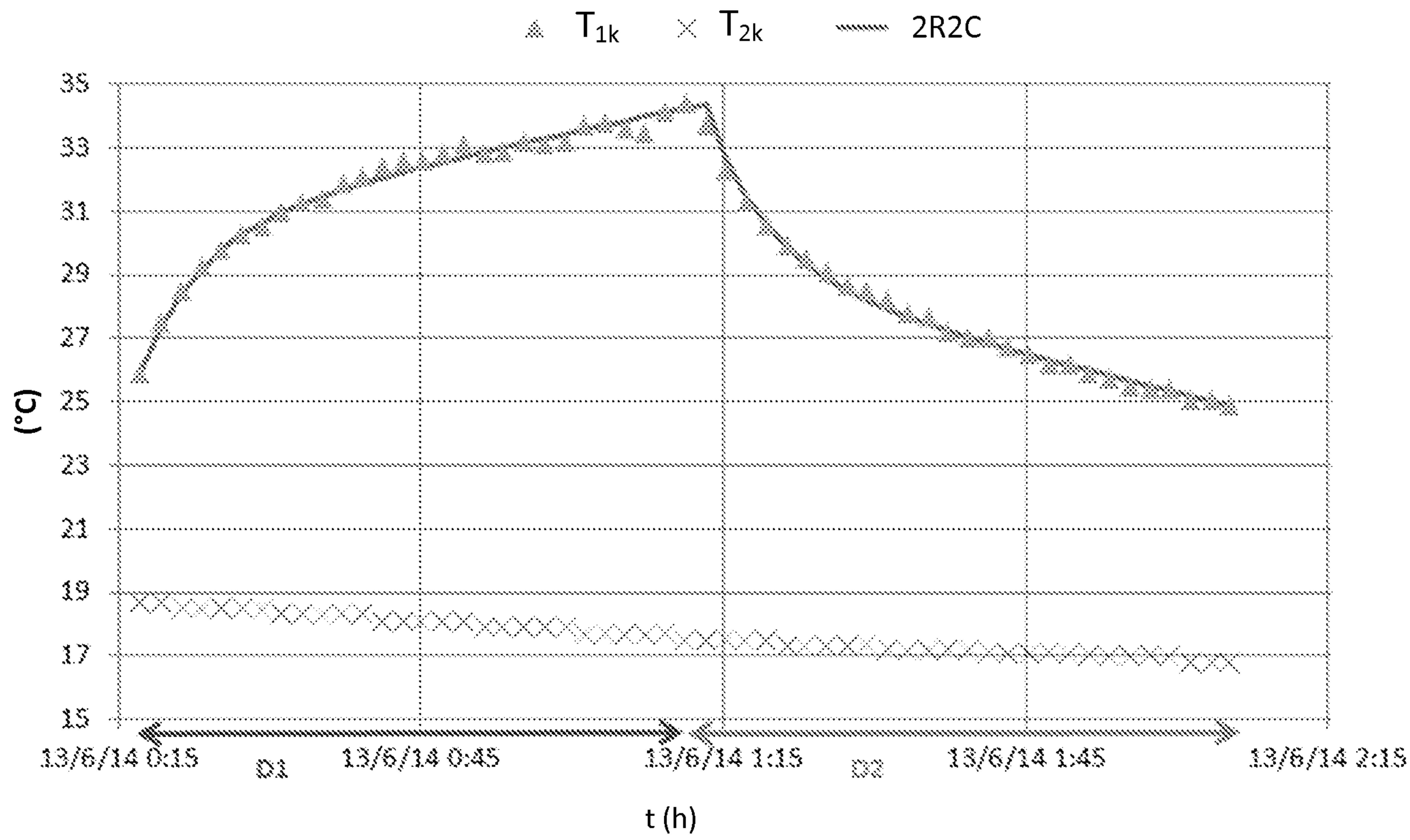


Fig. 6

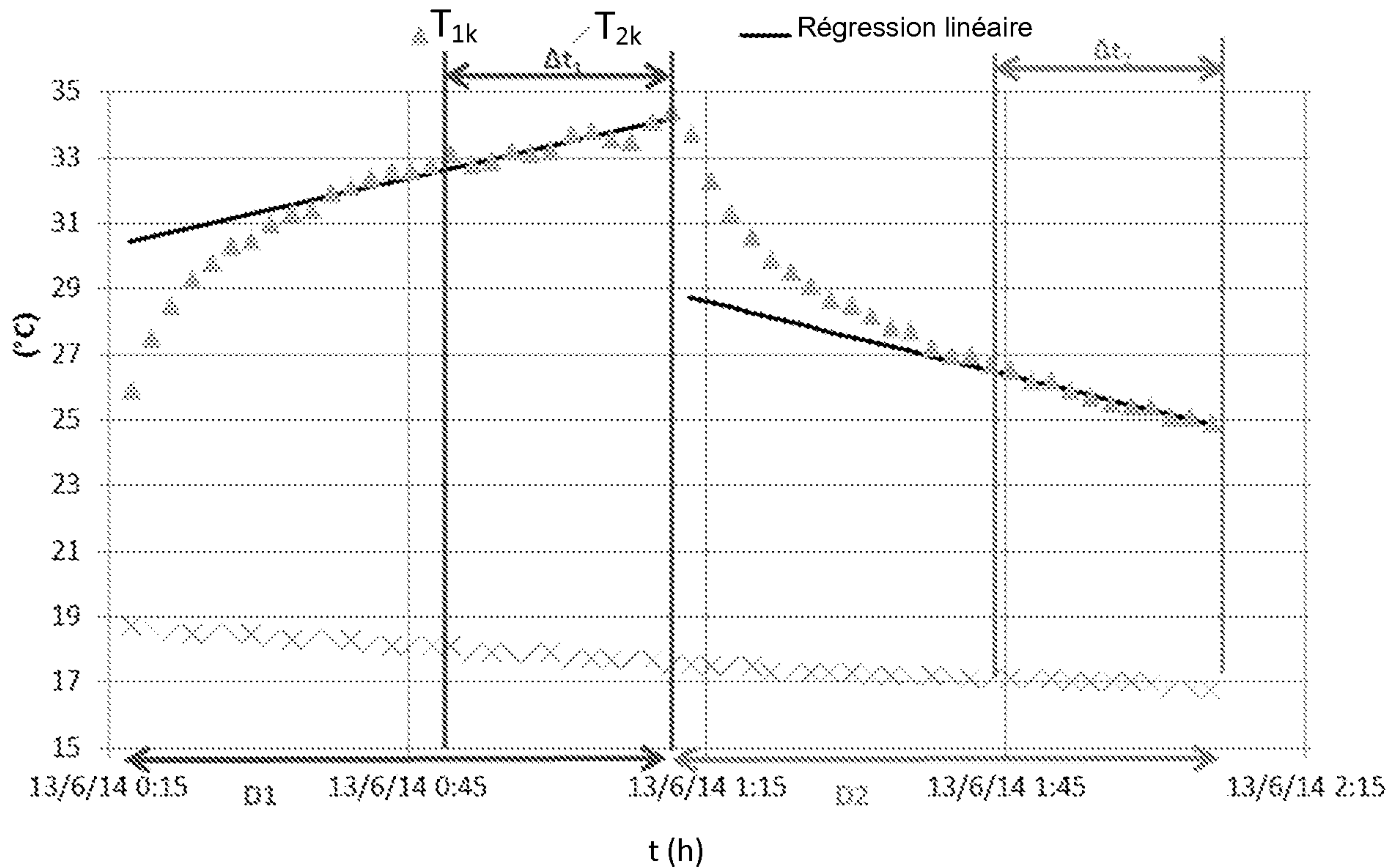


Fig. 2