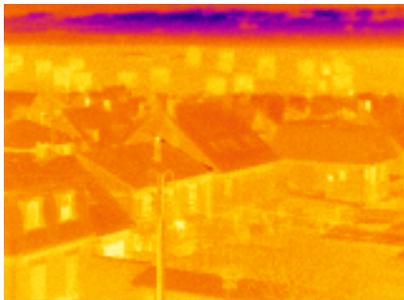
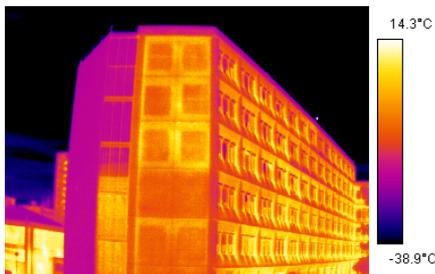


Comparaison des températures de surface d'une façade de bâtiment obtenues par simulation et par des mesures de terrain par thermographie infrarouge



Jean-Pierre MONCHAU
Laurent IBOS
Vincent FEUILLET



CERTES

CERTES / THEMACS

« Thermique des Matériaux et Contrôle de Structures »

Plan

I. Contrôle des bâtiments par thermographie

Contexte

Objectifs de l'étude

II. Plateforme PANISSE

Bâtiment étudié

Grandeurs mesurées - Instrumentation

III. Résultats

Correction de température

Comparaison mesures/simulation

Contrôle des bâtiments par thermographie

Contexte / Objectifs

Isolation thermique des bâtiments

- Nouvelles exigences de la réglementation thermique
- Nombreux bâtiments peu ou pas isolés
- Importante source d'économie d'énergie

Thermographie IR appliquée au bâtiment

- Utilisée couramment pour le contrôle thermique du bâti
- Simple d'utilisation, non intrusive
- Résolutions spatiale et thermique élevées

Diagnostic qualitatif par thermographie IR

- Détection d'irrégularités thermiques, de défauts d'isolation, d'infiltrations d'air, de zones humides



Contrôle des bâtiments par thermographie

Contexte / Objectifs

Diagnostic quantitatif par thermographie IR

- Peu d'études quantitatives dans la littérature
- Sensibilité aux conditions d'observation
- Nombreux paramètres d'influence
- Norme pour la mesure de résistance thermique de parois par thermographie en cours de préparation

Objectifs de l'étude

- Instrumentation d'une paroi sur site (plateforme PANISSE)
- Thermographie infrarouge passive couplée à la mesure en continu des données météo
- Correction des mesures de thermographie
- Comparaison mesures/simulation
- Estimation de la résistance thermique de la paroi

Plan

I. Contrôle des bâtiments par thermographie

Contexte

Objectifs de l'étude

II. Plateforme PANISSE

Bâtiment étudié

Grandeurs mesurées - Instrumentation

III. Résultats

Correction de température

Comparaison mesures/simulation

Plateforme PANISSE

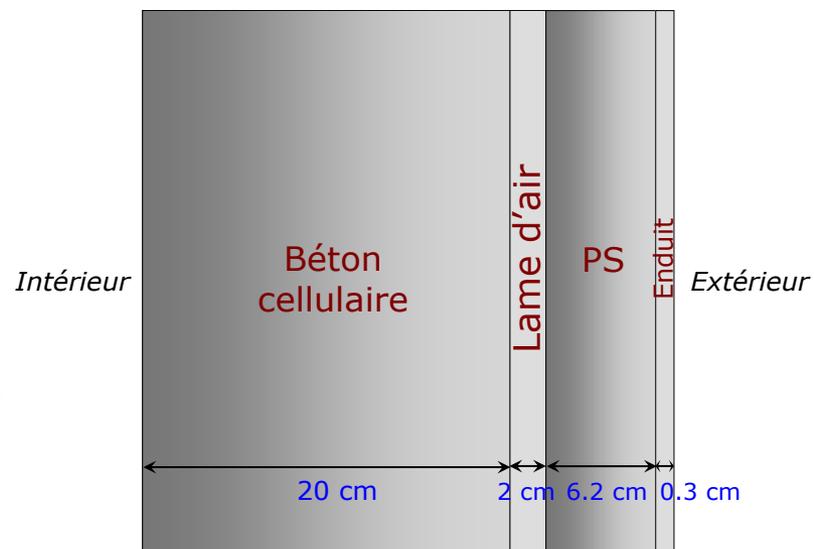
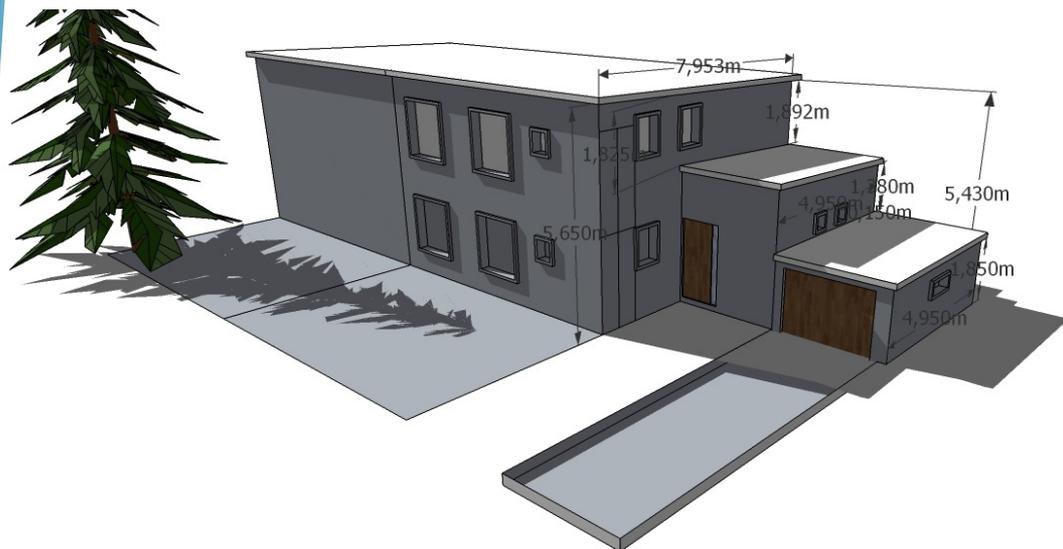
Bâtiment étudié

Plateforme PANISSE

- Plateforme d'Analyse du Niveau d'Isolation in-Situ par Suivi Energétique

Bâtiment et paroi étudiés

- Immeuble d'habitation de deux niveaux des années 60
- Rénovation en 2011 avec isolation par l'extérieur
- Paroi multicouche: béton cellulaire / lame d'air / polystyrène / enduit



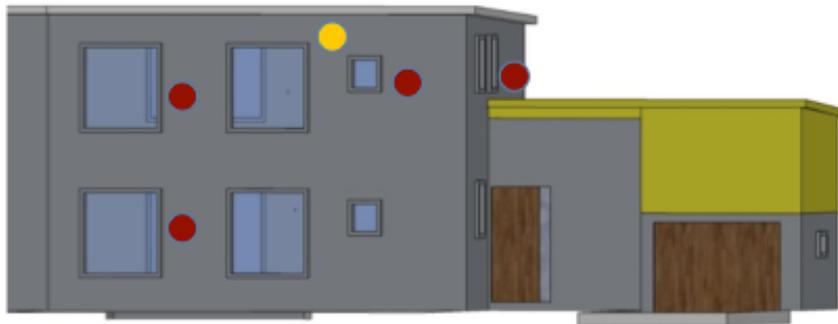
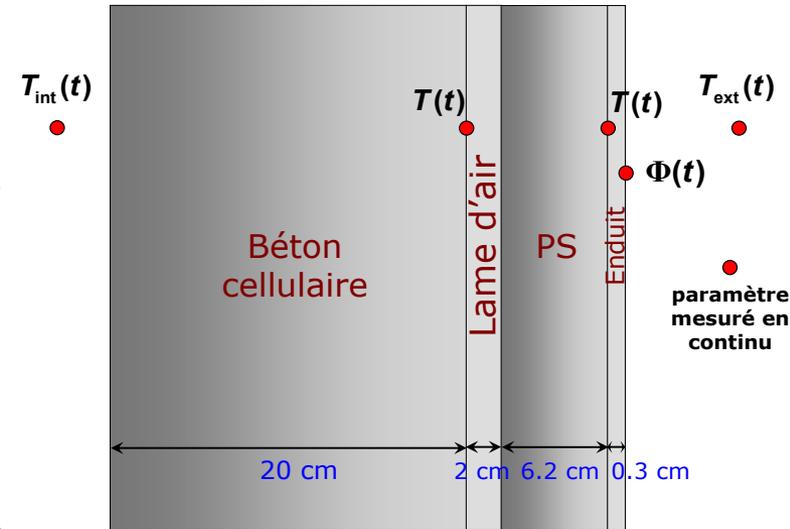
$$R_{\text{thermique}} \approx 3.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Plateforme PANISSE

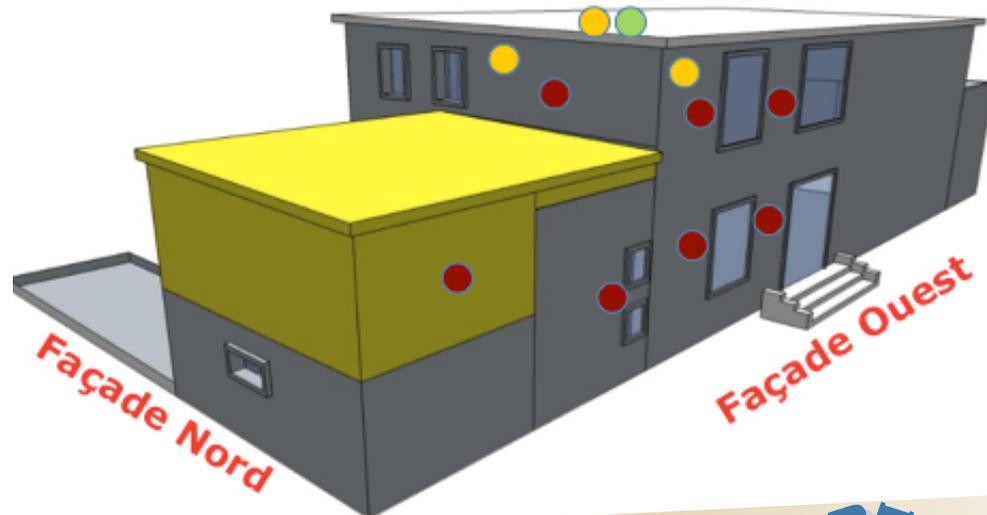
Grandeurs mesurées – Instrumentation

Grandeurs physiques mesurées

- Températures des surfaces extérieures
- Données météo locale (température, humidité, pression, vitesse et direction du vent, précipitations)
- Flux solaires sur les façades
- Température et humidité de l'air intérieur
- Températures à l'intérieur des parois



Façade Est



Façade Nord

Façade Ouest

- Températures
- Flux solaires
- Données météo

Plateforme PANISSE

Grandeurs mesurées – Instrumentation

Instrumentation du bâtiment

- Caméra IR: ondes longues (7.7-9.2 μm), détecteur refroidi, placée dans un caisson étanche avec PC portable (pas de temps de 15 s)
- Station météo, thermocouples, cellules solaires: dispositif d'acquisition de données *NI*TM piloté par une application *LabView*TM (pas de temps 15 s)
- Thermo et hygro-puces *Warito*TM (air intérieur, pas de temps 10 mn)
- Albédomètre, émissomètre: mesures du coefficient d'absorption solaire et de l'émissivité de l'enduit de façade



**Intérieur du caisson étanche
avec caméra IR**



Albédomètre



Emissomètre

Plan

I. Contrôle des bâtiments par thermographie

Contexte

Objectifs de l'étude

II. Plateforme PANISSE

Bâtiment étudié

Grandeurs mesurées - Instrumentation

III. Résultats

Correction de température

Comparaison mesures/simulation

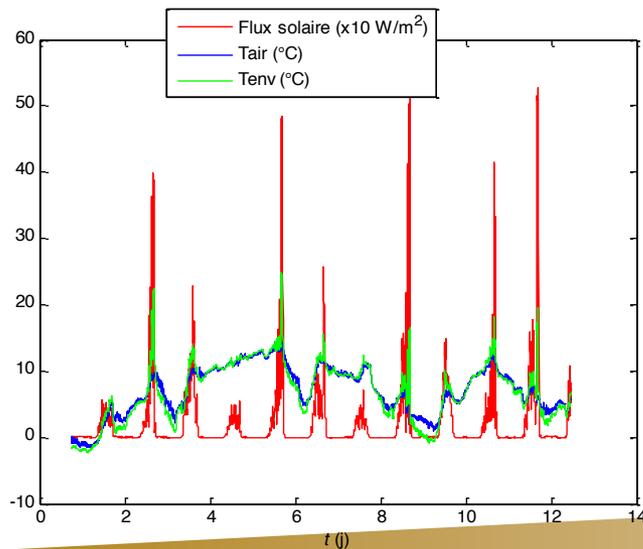
Résultats

Correction de température

Campagnes de mesures avec caméra IR

- Correction des T° mesurées par thermographie IR
- Prise en compte de l'émissivité, de la T° d'environnement (miroir réfléchissant en aluminium rugueux), de l'atténuation atmosphérique (surface noire émissive) et de la température d'air

$$L_{\text{mes}} = \tau \varepsilon L^0(T_s) + \tau(1 - \varepsilon)L^0(T_{\text{env}}) + (1 - \tau)L^0(T_a)$$



Mesures du 25/01 au 06/02/2013 Façade Ouest

Nuit, ciel clair



Journée ensoleillée

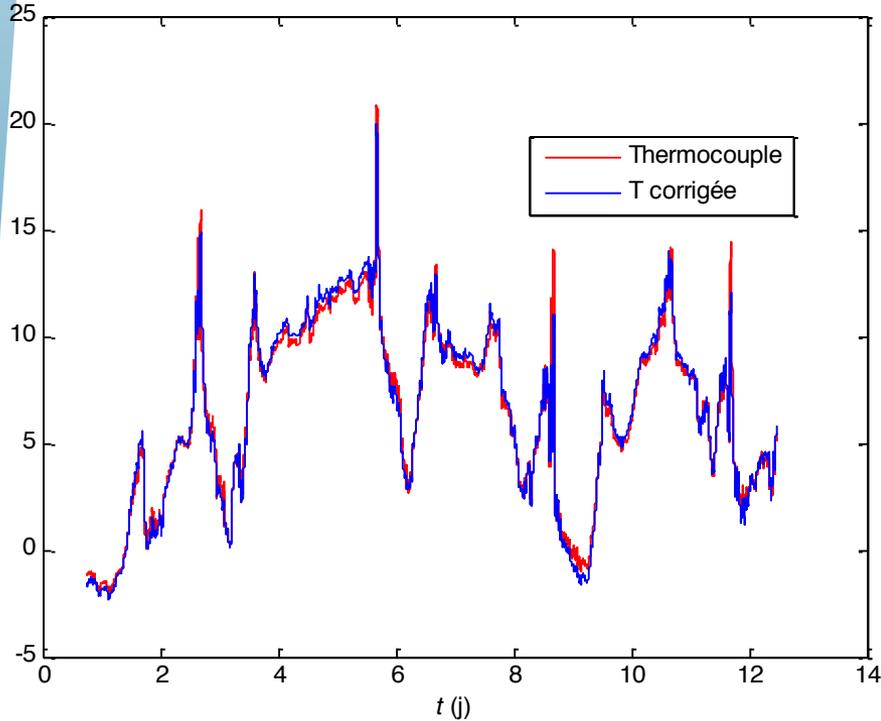


Résultats

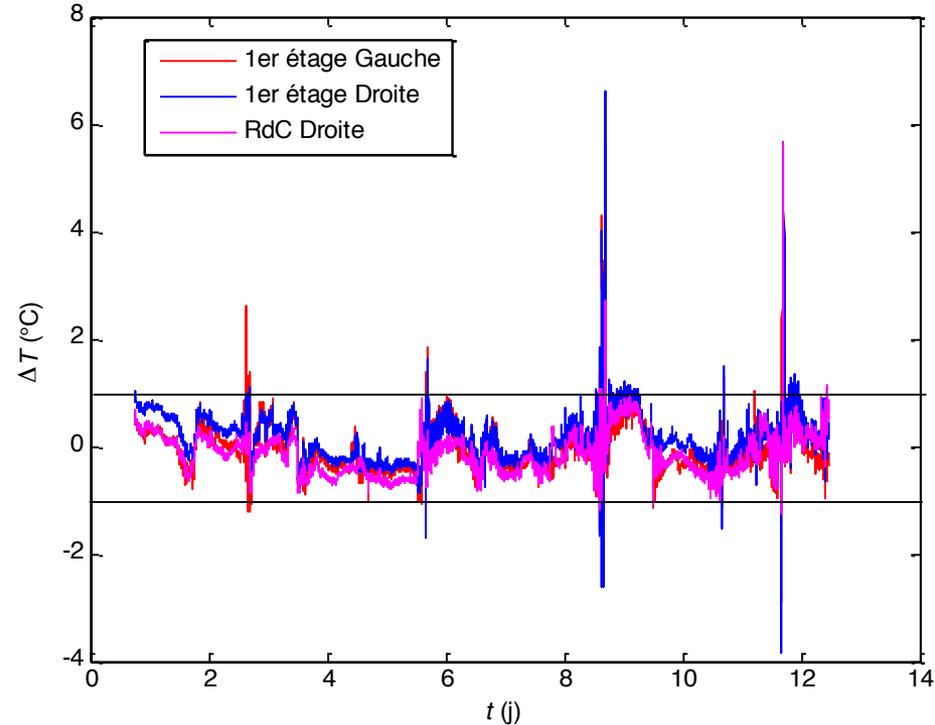
Correction de température

Exemple de correction de T° mesurée par thermographie IR

Point N°6 - W haut gauche



Ecart Thermocouple - Caméra



⇒ Accord satisfaisant entre les mesures par thermocouples et par caméra sur toute la période d'observation

Moyenne des écarts:	Écarts-type:
-0.07°C	0.43°C
+0.15°C	0.44°C
-0.14°C	0.39°C

Résultats

Comparaison mesures/simulation

Modélisation numérique des transferts au sein de la paroi

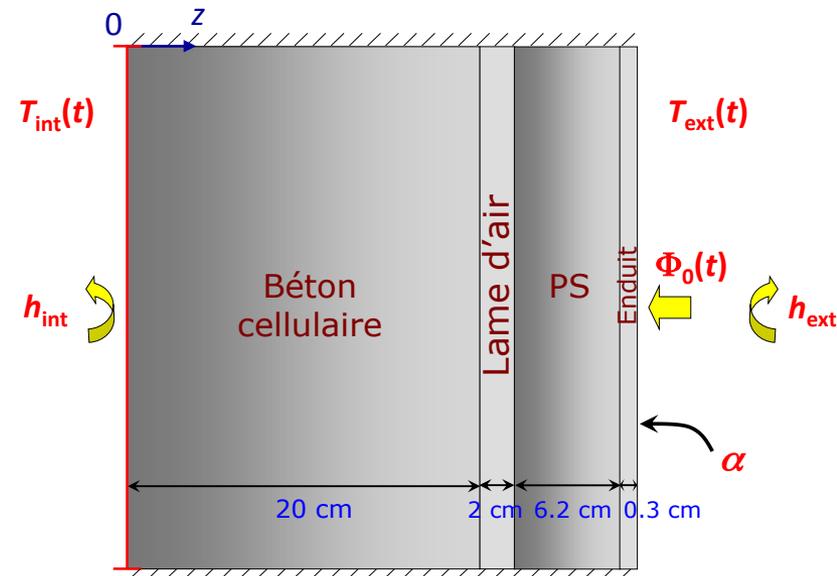
- Logiciel Comsol™ (méthode des éléments finis)
- Transfert transitoire monodimensionnel dans l'épaisseur de la paroi
- lame d'air modélisée par une résistance thermique
- Fichiers météo (flux, températures d'air): données d'entrée du modèle

Couche i	Épaisseur e_i (cm)	Conductivité thermique λ_i ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Masse volumique ρ_i ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Capacité thermique massique c_i ($\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Béton cellulaire ($i=1$)	20	0.14	400	1000
Polystyrène ($i=2$)	6.2	0.031	20	1450
Enduit ($i=3$)	0.3	0.3	833	1000

Caractéristiques de la paroi

h_{int} ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)	h_{ext} ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)	α	R_{pa} ($\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)
8	25	0.37	0.15

Paramètres de transfert

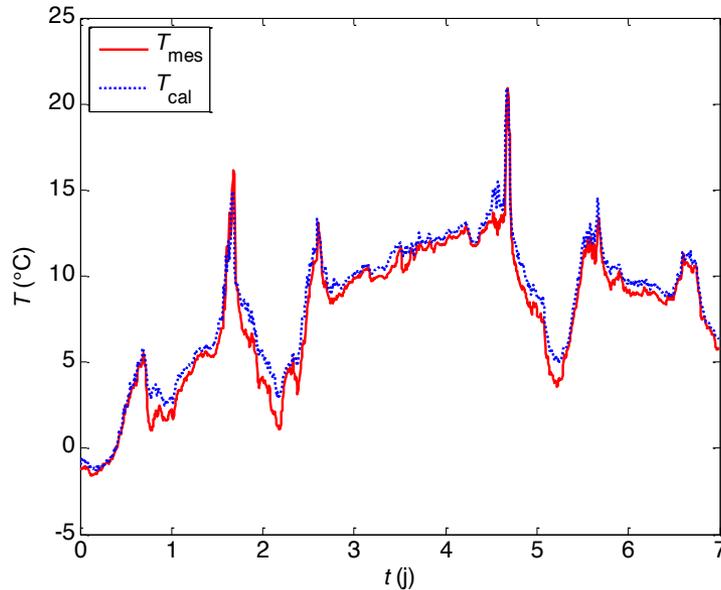


Représentation schématique du système thermique étudié

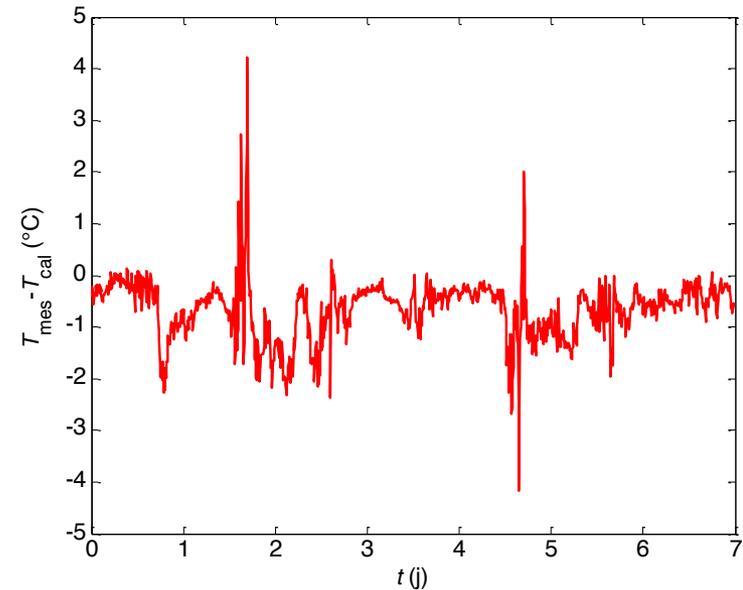
Résultats

Comparaison mesures/simulation

Températures de paroi extérieure – façade Ouest/1er étage – analyse sur une durée de 7 jours



Températures mesurée par thermographie IR T_{mes} et calculée T_{cal}



Écarts $T_{mes} - T_{cal}$

⇒ Concordance correcte entre mesures et modèle malgré un biais, décalages + importants lors de variations brusques d'ensoleillement

Moyenne des écarts:
-0.71°C

Écarts-type:
0.63°C

Conclusion

Plateforme PANISSE

- Instrumentation d'un bâtiment d'habitation (températures, données météo)
- Correction des températures de surface extérieure mesurées par thermographie infrarouge par la prise en compte des paramètres d'influence
- Concordance perfectible entre les mesures de température de paroi extérieure par thermographie infrarouge et les résultats issus d'un modèle numérique de la paroi

Perspectives

- Estimation des paramètres inconnus du modèle permettant de déterminer la résistance thermique de la paroi, comparaison avec la valeur obtenue par la méthode normalisée fluxmétrique (norme ISO-9869)
- Détermination de la durée minimale de mesure permettant d'obtenir une estimation de la résistance thermique de la paroi
- Installation permanente de mini-caméras thermiques à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment

