

10^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC
LES QUALITÉS THERMIQUES
DE LA PIERRE NATURELLE
—VILLA YFS—
UN RETOUR D'EXPÉRIENCE
11 AVRIL 2017 / LNE PARIS 15^E



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC

LES QUALITÉS THERMIQUES
DE LA PIERRE NATURELLE
—VILLA YFS—
UN RETOUR D'EXPÉRIENCE

MARDI 11 AVRIL 2017

LNE
1, RUE GASTON BOISSIER
75015 PARIS

PARTICIPATION AUX FRAIS : 35,00 € TTC

COMPREND :
ACCÈS AUX CONFÉRENCES, REPAS, PAUSE, DOSSIER

DANS LA LIMITE DES PLACES DISPONIBLES (80 MAXI)

CONTACT
NADÈGE VERRIER
CTMNC-ROC@CTMNC.FR
TÉL : 01 44 37 50 00

INSCRIPTION À L'AIDE DU BULLETIN JOINT,
AVANT LE 3 AVRIL 2017

PROGRAMME

ANIMATEUR : **Claude Gargi**, revue Pierre Actual

9h15 **ACCUEIL**

9h30 **INTRODUCTION**

Jean-Louis Vaxelaire, vice-président du CTMNC

10h00 **LA THERMIQUE, L'ESSENTIEL À SAVOIR**

Emmanuel Antczak, Université d'Artois

10h30 **PRÉSENTATION DE LA VILLA YFS**

Faustine Cadière, architecte

11h00 **Pause**

11h15 **L'INSTRUMENTATION DE LA VILLA YFS**

Franck Brachelet, Université d'Artois

11h45 **LES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE**

Emmanuel Antczak, Université d'Artois

12h30 **Déjeuner**

14h00 **LE TÉMOIGNAGE DE L'OCCUPANT**

Faustine Cadière, architecte

14h45 **TABLE RONDE**

**« LES QUALITÉS THERMIQUES DE LA PIERRE MASSIVE :
BILAN ET PERSPECTIVES »**

PARTICIPANTS : **Emmanuel Antczak**, Université d'Artois

Faustine Cadière, architecte

Paul Mariotta, président de « Pierre du Sud »

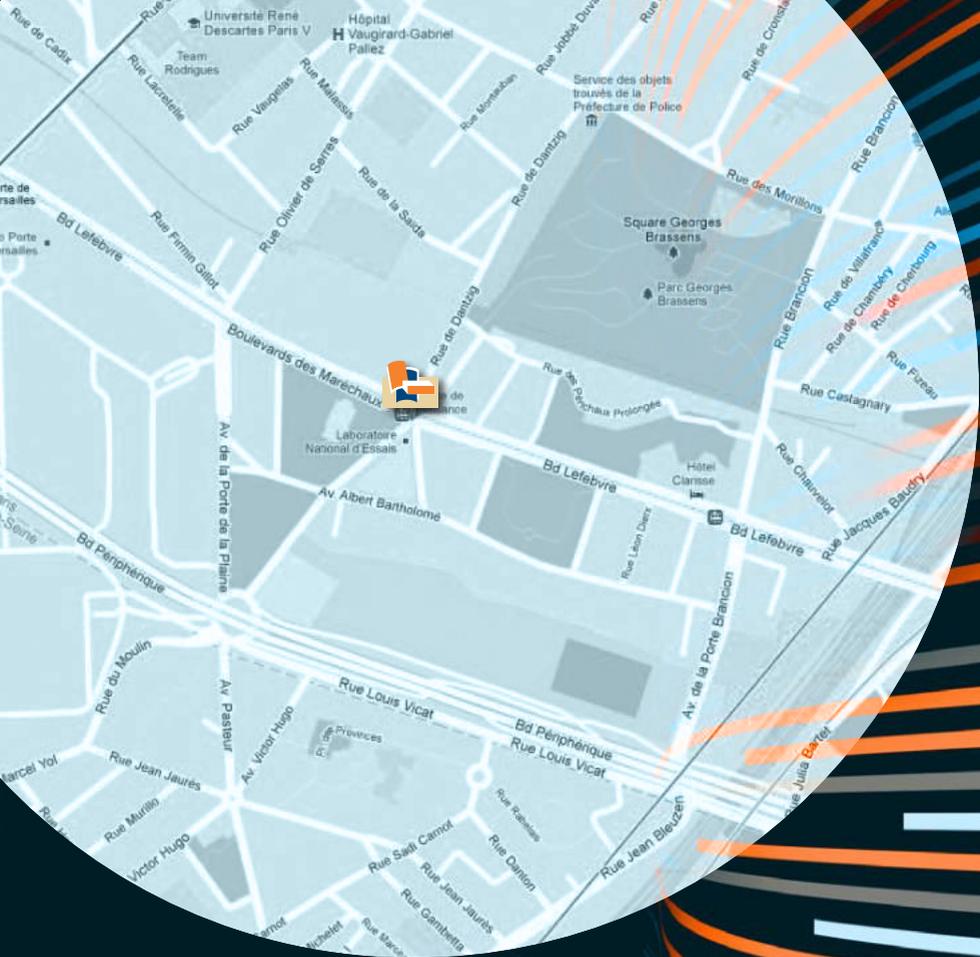
Gilles Perraudin, architecte

16h00 **QUESTIONS-RÉPONSES**

16h15 **SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS**

Jean-Louis Vaxelaire, vice-président du CTMNC

16h30 **Fin de la journée**



LNE
1, RUE GASTON BOISSIER
75015 PARIS

MÉTRO :
M12 (STATION PORTE DE VERSAILLES)
M13 (STATION PORTE DE VANVES)

TRAMWAY :
T3a (STATION GEORGES BRASSENS)

CONTACT
NADÈGE VERRIER
CTMNC-ROC@CTMNC.FR
TÉL : 01 44 37 50 00



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

Les qualités thermiques de la pierre naturelle - Villa YFS, un retour d'expérience

L'instrumentation de la Villa YFS



Franck Brachelet – LGCgE – Université d'Artois

Introduction

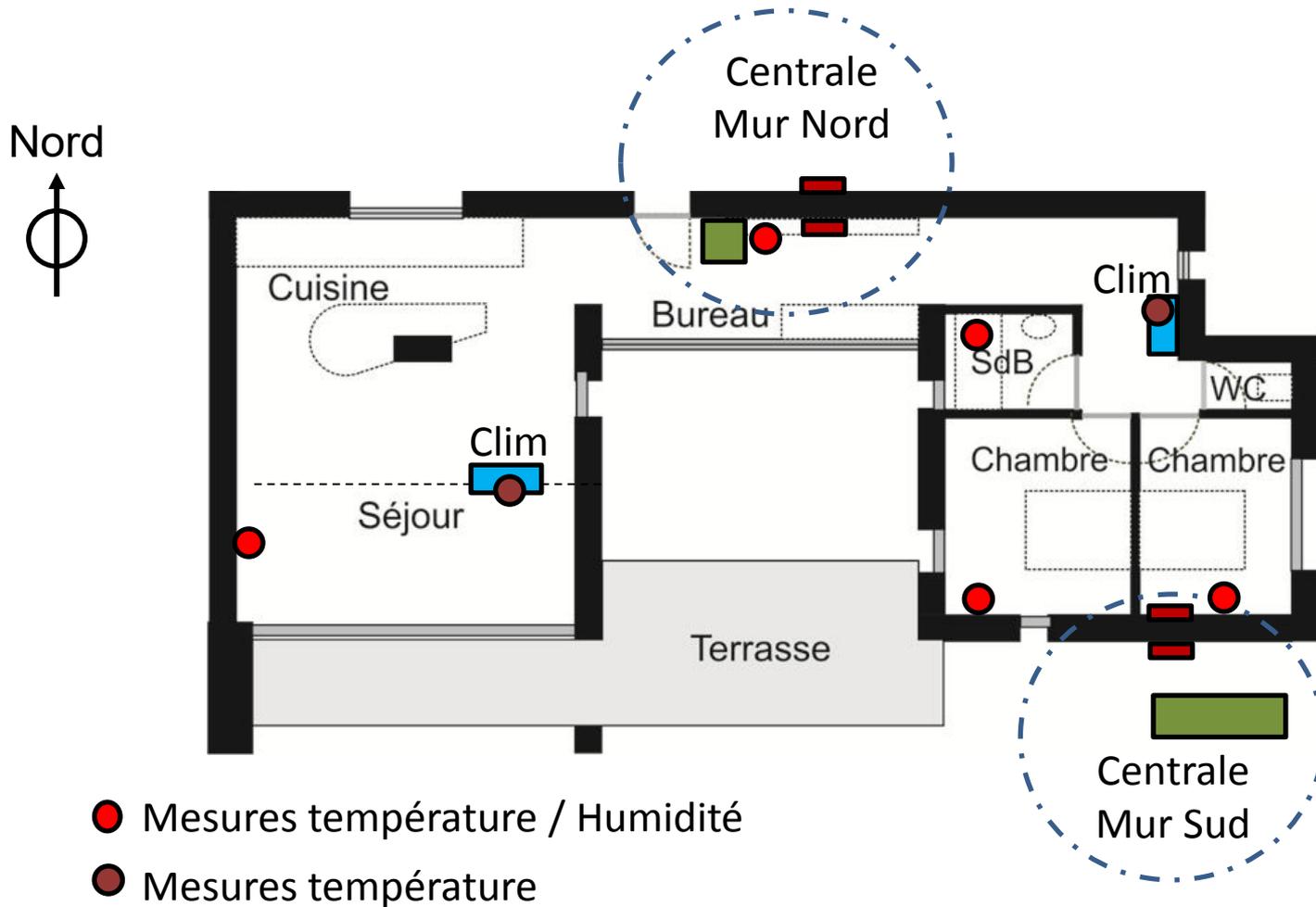
Objectifs :

- Mesurer l'évolution de la conductivité thermique sur les façades Nord & Sud de la villa.
 - ➡ protocoles usuels du laboratoire en implantant des capteurs de flux et de températures de chaque côté des paroi à caractériser.
- Evaluation des conditions de confort thermique dans la villa.
 - ➡ Mesure des températures et de l'hygrométrie dans les différentes pièces de la villa.

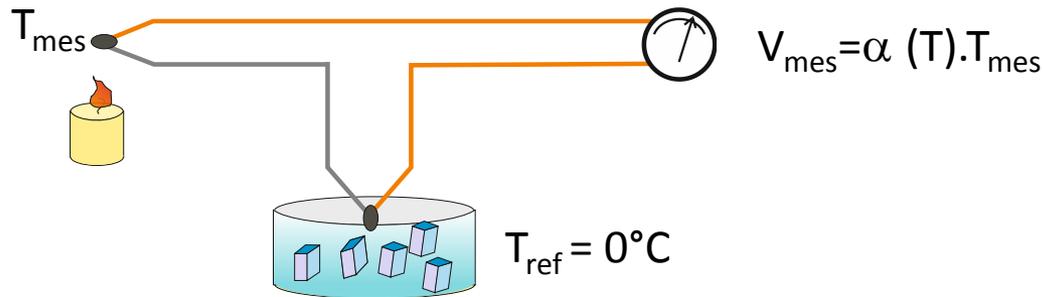
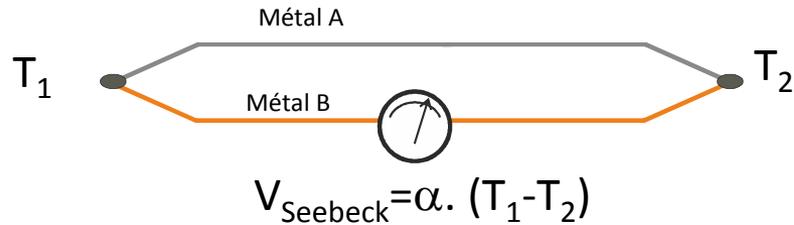
Contraintes :

- Acquisition de différentes grandeurs physiques en différents points de la Villa.
- Eloignement du site de mesure.
- Autonomie et robustesse des acquisitions et des alimentations.
- Installation « propre » ayant un faible impact sur le bâti.

Implantation des capteurs dans la villa YFS

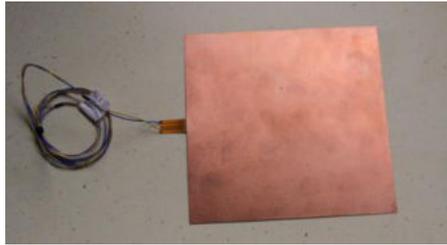


Mesure de la température par thermocouples

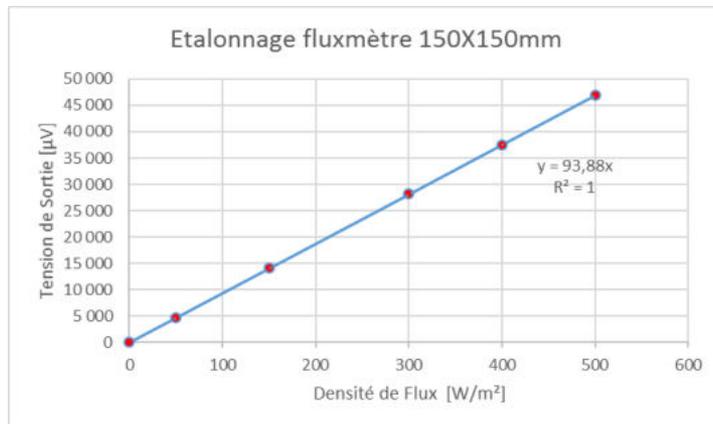


$$T_{\text{mes}} = \frac{V_{\text{mes}}}{\alpha(T)} + T_{\text{Comp}}$$

Fluxmètres thermiques

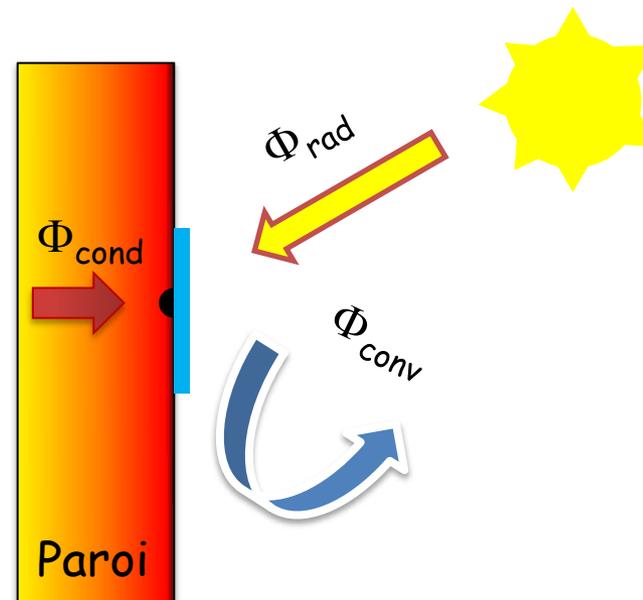


Dimension : 150mm x 150mm
épaisseur : 0,5 mm
Sensibilité = $100 \mu\text{V}/[\text{W}/\text{m}^2]$
Intégration d'un thermocouple
de type T au centre du capteur.



Les fluxmètres thermiques sont des capteur planaires destinés à mesurer la densité de flux qui traverse leur surface.

- La tension de sortie est générée par ce flux et ne nécessite pas d'alimentation extérieure.
- Ils produisent une tension positive ou négative dépendant de l'orientation du flux thermique.



Centrales d'acquisition des mesures

Façade Nord



Centrale de mesure
Ahlborn MA2890-9

Façade Sud



Centrale de mesure
Ahlborn MA5690-2M09

Alimentation secteur
Enregistrement carte USB
Connecteur configurable selon le type de capteur.
Sensibilité en tension : $1\mu\text{V}$
Précision sur thermocouples : $0,5^\circ\text{C}$



Connecteurs configurables

Centrales d'acquisition des mesures



La centrale de mesure est alimentée par un panneau solaire qui recharge une batterie.

Implantation des capteurs

Façade Nord



Fluxmètre à l'extérieur



Fluxmètre à l'intérieur



Centrale d'acquisition intérieure

Les fluxmètres sont collés en vis-à-vis de chaque côté de la paroi. Ils sont connectés sur la centrale disposée dans un rangement.

Implantation des capteurs Façade Sud



Centrale d'acquisition autonome



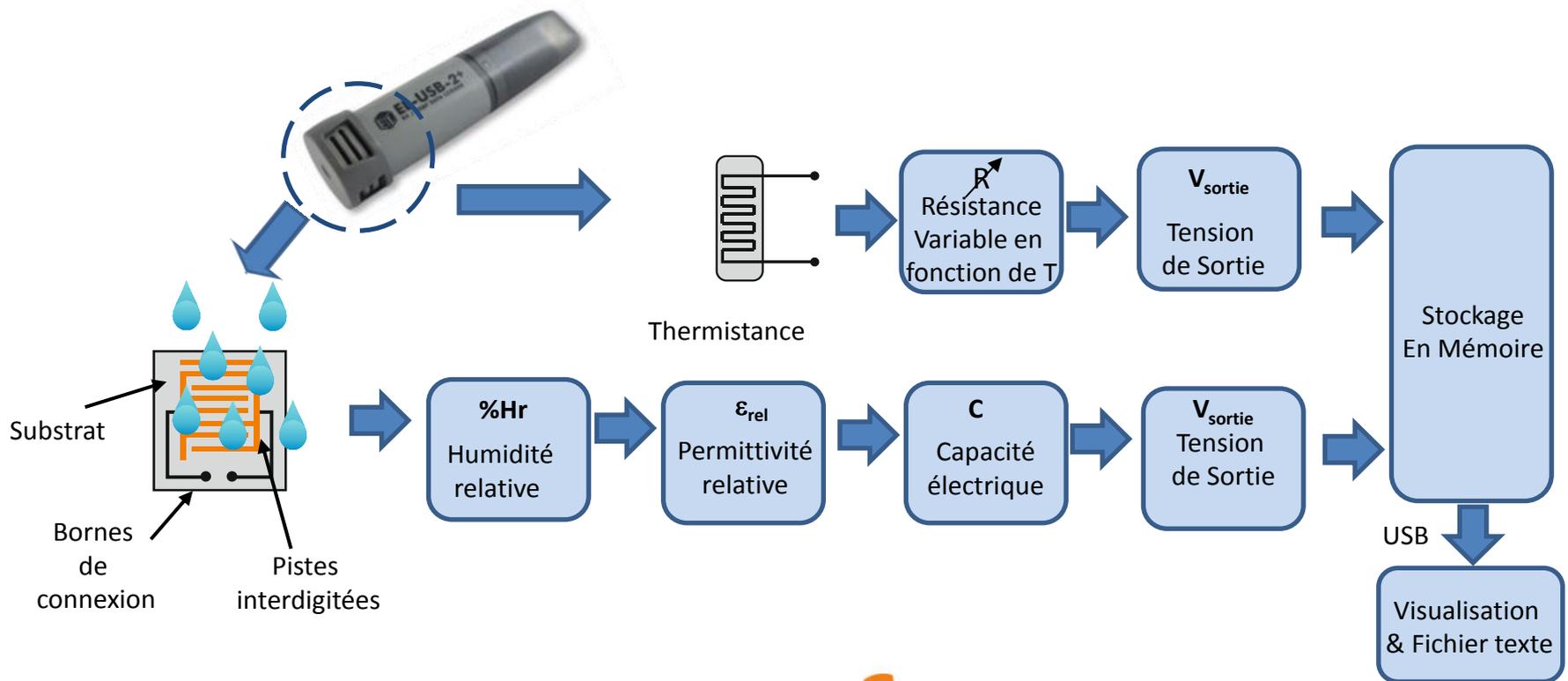
Fluxmètre sur mur intérieur



Les fluxmètres sont recouverts de granulats de pierre afin d'assurer des propriétés radiatives de leur surface proches de leur support.

Enregistreur portable de données Humidité / Température

Enregistreur de données autonome peut mesurer et stocker jusqu'à 16.382 lectures d'humidité relative et 16.382 lectures de température sur 0 à 100% d'humidité relative et -35 à +80°C. Les données sont récupérables et visualisables facilement sur l'ordinateur.



Mesure des températures en sortie des climatiseurs



Split Clim Couloir



Split Clim Salon



Enregistreur de données autonome des mesures effectués grâce à un thermocouple :

➡ Suivi des périodes de chauffage

Méthodes d'évaluation des caractéristiques thermophysiques des parois

❑ Méthode de calcul prédictive

Stratigraphie de la paroi

Relevé des épaisseurs
&
Nature des matériaux

Plans existants
Forage - endoscope
Carottage
Base de données matériaux



Exemple de carottage

❑ Mesures expérimentales en laboratoire

- Echantillons de matériaux
- Parois de tailles réduites

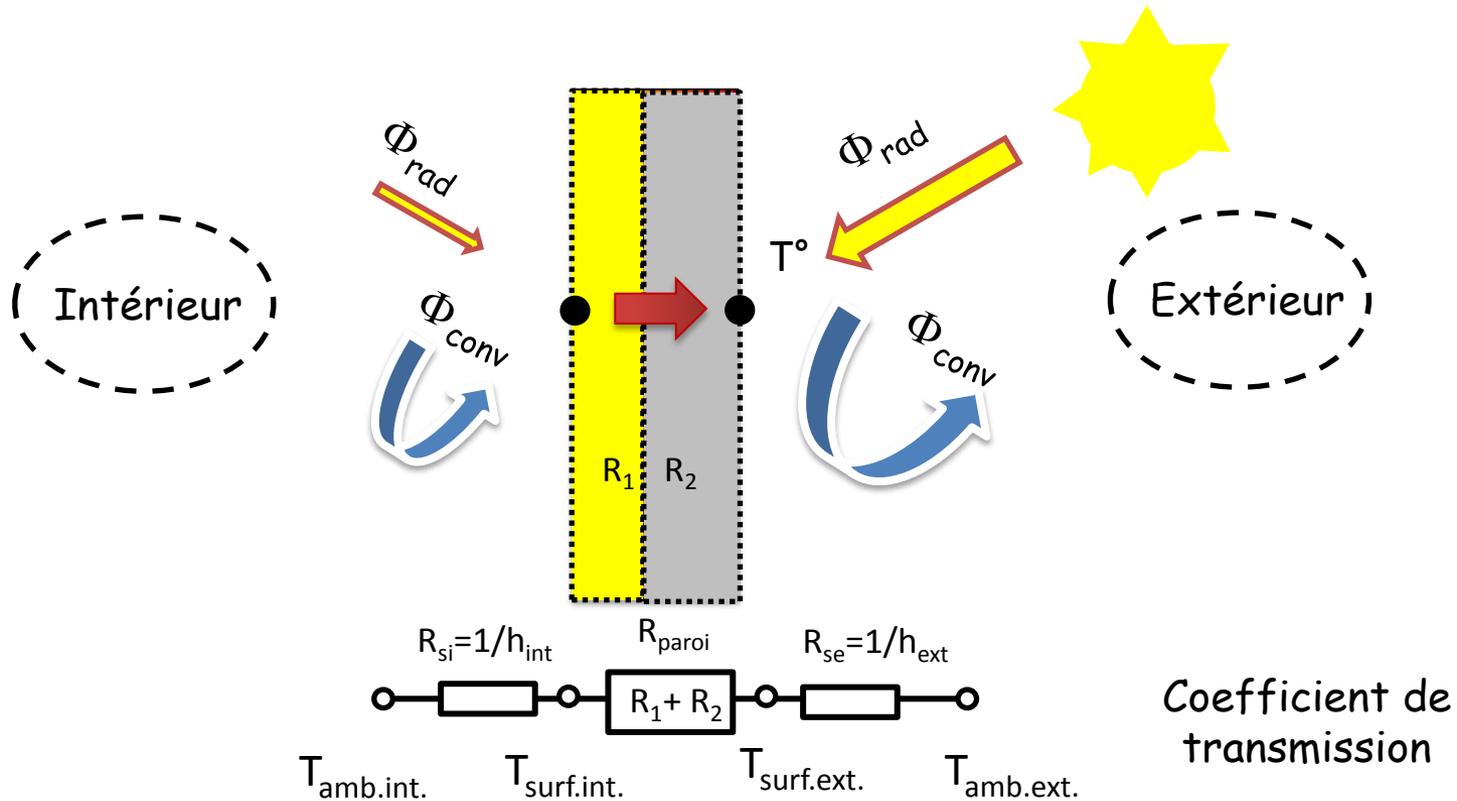
❑ Mesures expérimentales in situ

- Instrumentation de bâtiment



Exploitation des données :
Lecture des données brutes
Traitement statistique
Méthodes inverses

Calcul de la Résistance thermique



$$R_{totale} = R_{SI} + R_1 + R_2 + R_{SE}$$

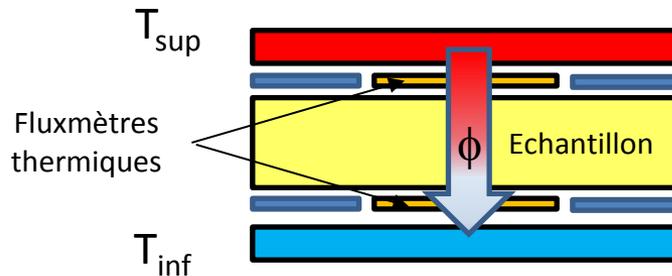
$$[R] = m^2 \cdot K/W$$



$$[U] = W/m^2 \cdot K$$

$$U_{paroi} = \frac{1}{R_{totale}} = \frac{1}{R_{SI} + \sum R_i + R_{SE}}$$

Détermination de la conductivité thermique par la méthode fluxmétrique



$$R_{th} = \frac{T_{sup} - T_{inf}}{\phi_{moy}} = \frac{\text{épaisseur}}{\lambda}$$

Un échantillon en forme de pavé droit est placé entre deux plaques dont la température est régulée. Des capteurs placés de part et d'autre de l'échantillon mesurent simultanément et dans le même plan, le flux et la température.

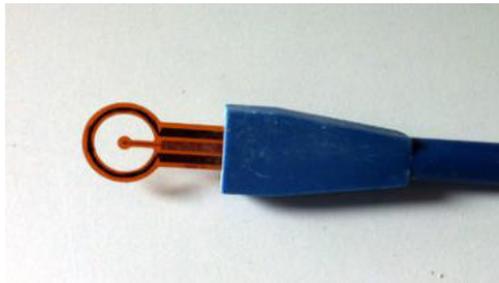
➔ Détermination de R_{th} , λ & C_p



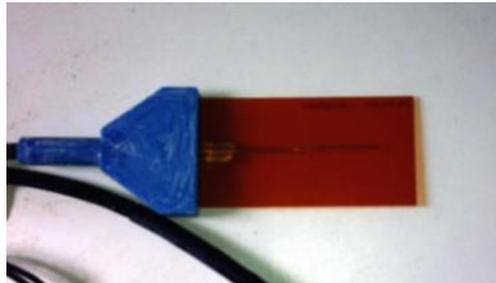
Banc de caractérisation thermophysique (Méthode normalisée ISO12667)

Sondes spécifiques de caractérisation

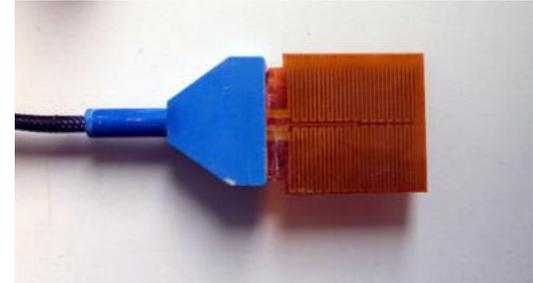
Une sonde planaire composée d'un élément chauffant et d'un capteur de température est placée à la surface d'un échantillon ou à l'interface de 2 échantillons identiques. Un modèle de diffusion de la chaleur spécifique au type de sonde utilisé, implémenté dans un appareil de mesure, permet d'identifier selon le modèle, la conductivité thermique (λ) ou la diffusivité thermique a ($a = \lambda / \rho C$)



Anneau Chaud



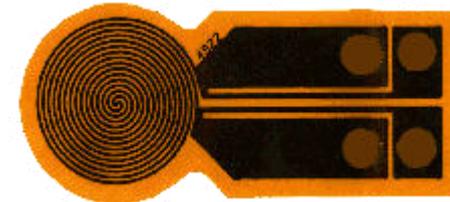
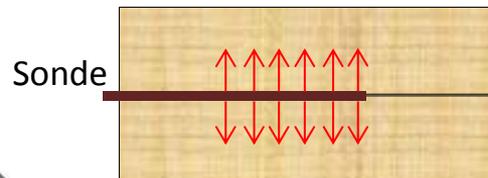
Fil chaud



Plan chaud



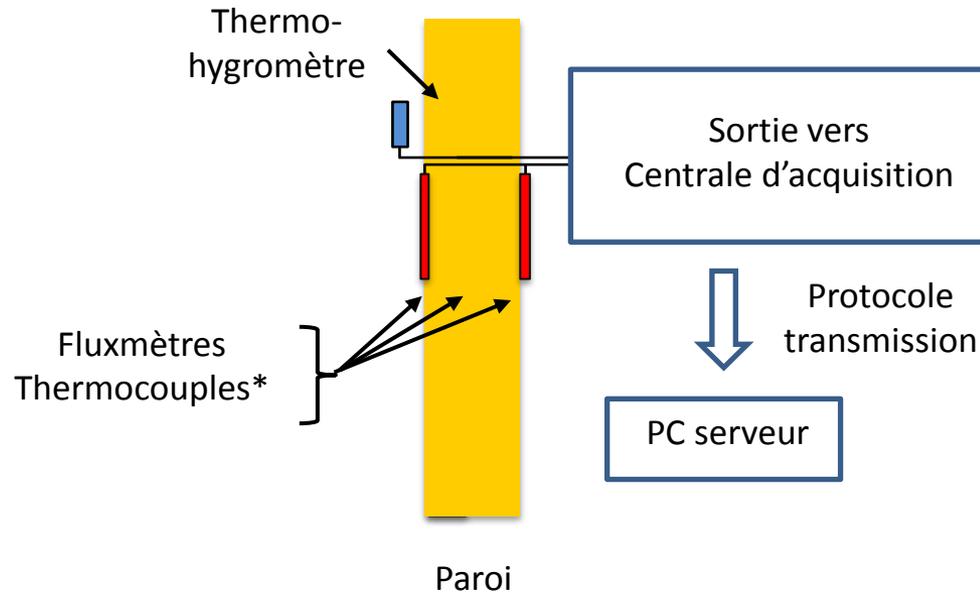
Aiguille chauffante



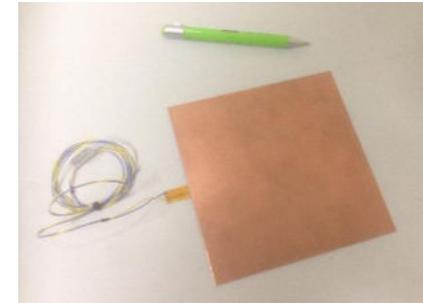
Hot Disk

Détermination in-situ des paramètres d'une paroi de bâtiment

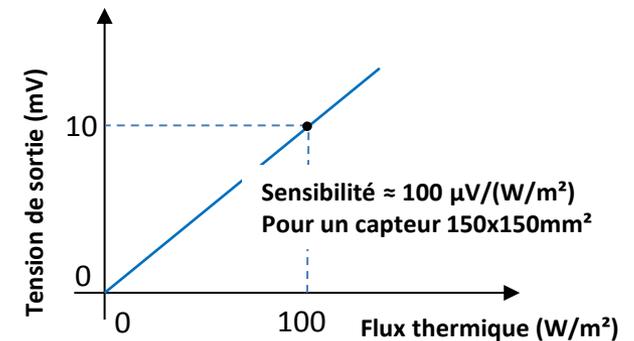
Instrumentation des parois à l'aide de capteurs de flux thermique et de température



* Thermocouples type T « cuivre/constantan » intégrés au fluxmètre.



Utilisation de Fluxmètres thermiques



Détermination expérimentale de la Résistance thermique

En régime permanent

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta T = T_{int} - T_{ext} = R \cdot \varphi \\ U = \varphi / (T_{int} - T_{ext}) \end{array} \right.$$

Norme ISO 9869-2014

Thermal insulation of Building elements –
In-situ measurement of thermal resistance
and thermal transmittance –
Part 1: Heat flow meter method

$$R_{paroi} = \frac{\sum_{j=1}^n (T_{surf.int(i)} - T_{surf.ext(i)})}{\sum_{j=1}^n \varphi(j)}$$



Cette série tend vers une valeur limite de résistance et l'on peut évaluer la qualité de la réponse par un critère de convergence

$$CR_n = \frac{R(t) - R(t - n)}{R(t)} \times 100$$

Exemples de signaux de flux et de température

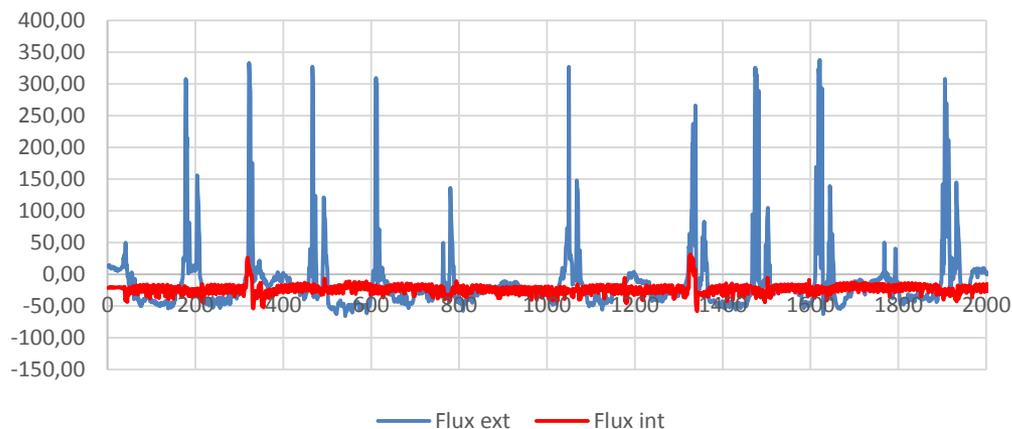
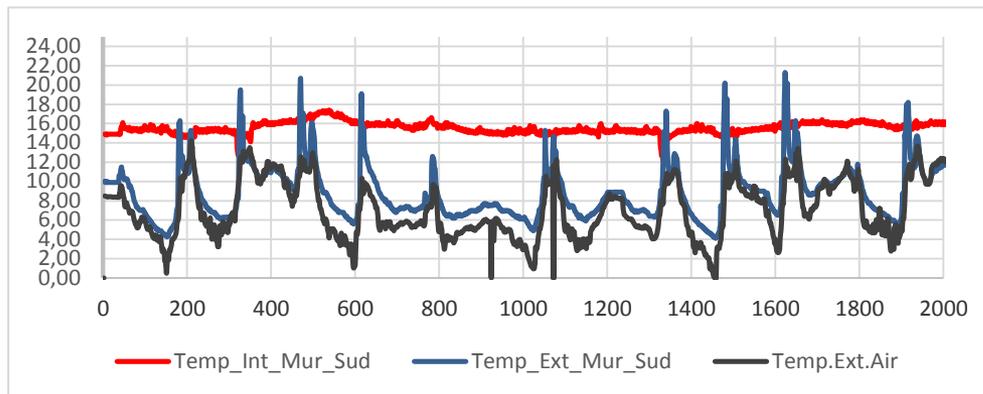
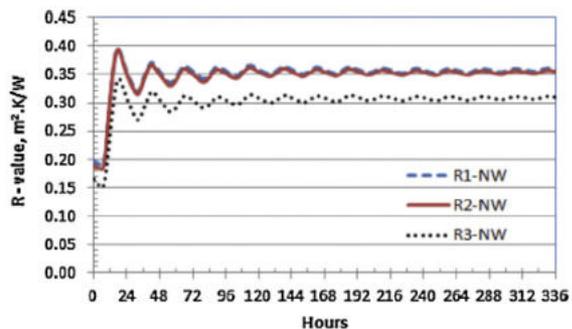
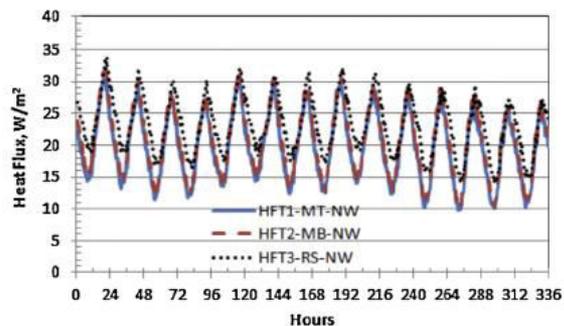
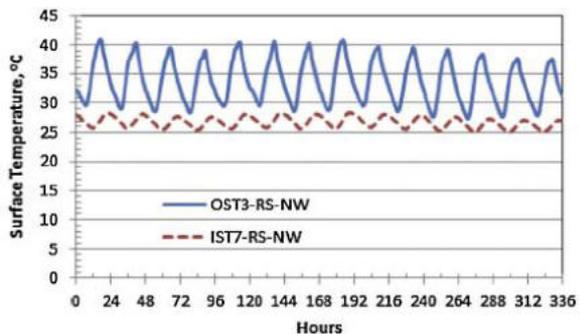
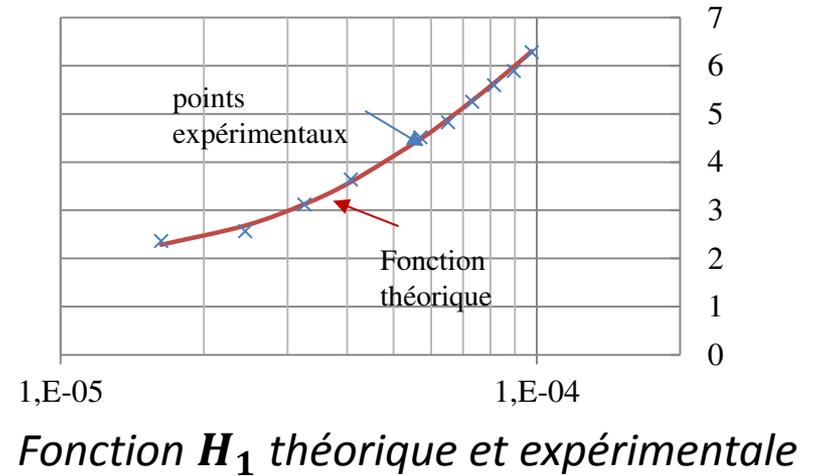
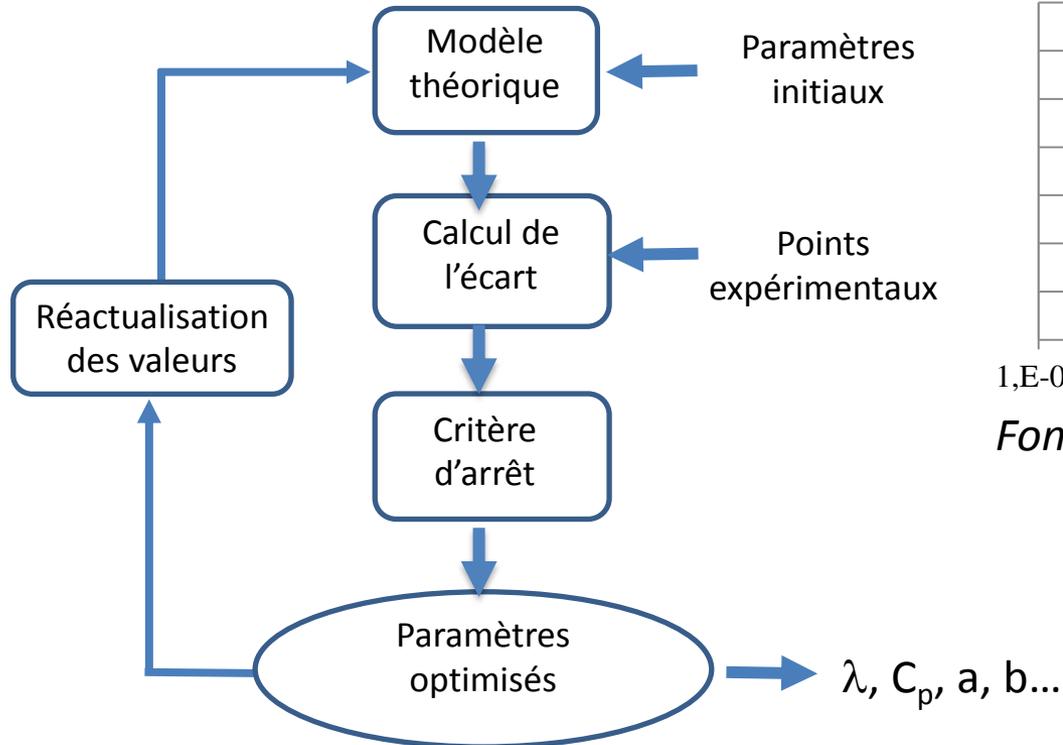


Schéma de principe de la procédure d'inversion



Méthodes de caractérisation des parois de bâtiments : 2 approches

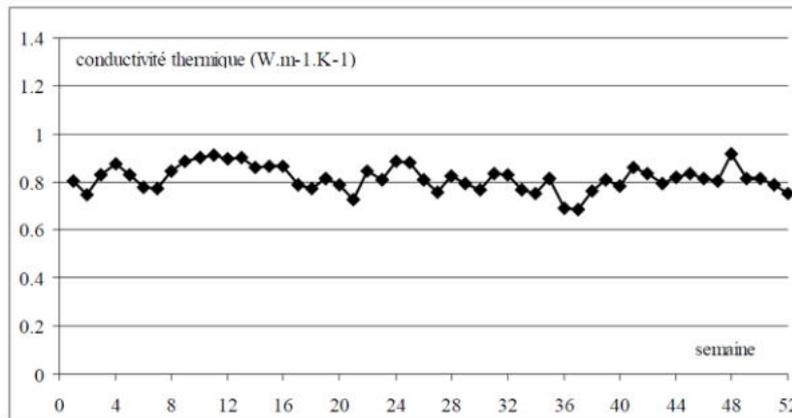
En laboratoire

- Signaux déterministe et maîtrise des conditions expérimentales
- Conditions limites et historique temporel connus



In-situ

- Sollicitation naturelle
- Conditions microclimatiques
- Instrumentation sur paroi réelle
- Signaux réels avec bruit à caractère aléatoire
- Mesures des évolutions sur une longue période



Intérêt de comparer les valeurs obtenues avec les différentes méthodes

Conclusion : quelles données peut-on attendre de l'instrumentation ?

Au niveau de la paroi :

- Mesures des flux et températures (transfert et stockage).
 - Evaluation des caractéristiques thermophysiques de ses constituants
 - Mise en évidence éventuelle des variations des propriétés thermiques en fonction du temps
 - Atténuation des composantes dynamiques à travers la paroi
 - Estimation du déphasage induit
-
- **Au niveau du confort ambiant :**
 - Mesure des températures d'air, de l'hygrométrie et du taux de CO₂