

## Journée thématique

« Température radiante en milieu urbain : Mesures et modélisation »

"Mesures fluxmétriques. Séparation des échanges thermiques superficiels convectifs et radiatifs à la surface d'une paroi de bâtiment"

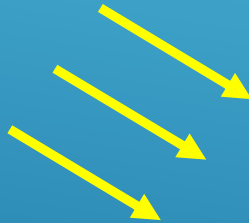
Stéphane LASSUE, Laurent LIBESSART

## Environnement climatique d'une paroi de l'enveloppe d'un bâtiment

Rayonnement Solaire CLO



G



Différents modes de transferts thermiques

Convection



Convection



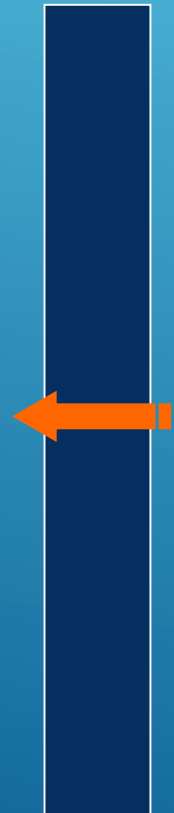
Ambiance  
intérieure



Rayonnement GLO



Rayonnement GLO



## Bilan énergétique instantané d'un vitrage en présence de rayonnement solaire

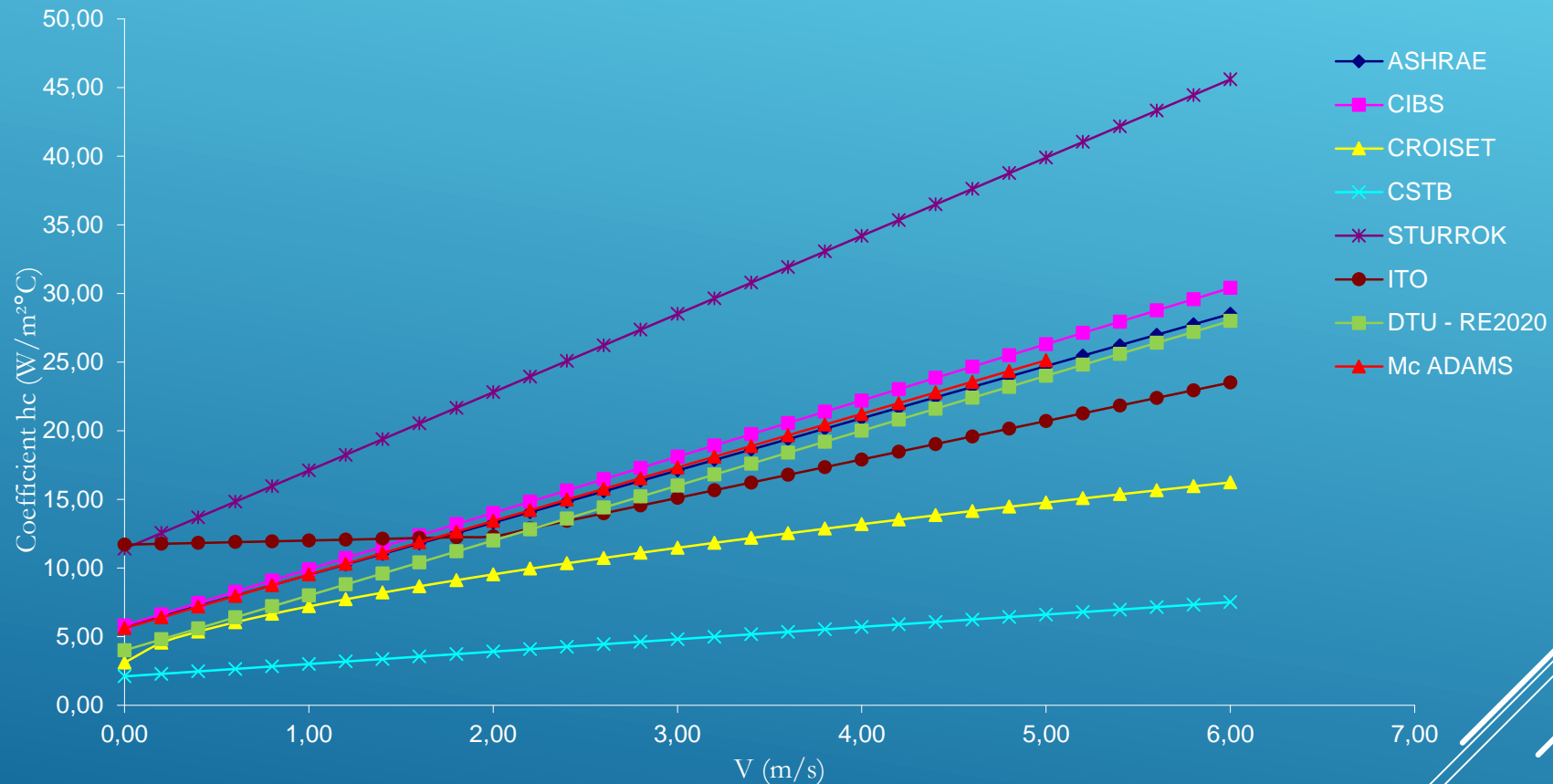
$$\phi = U_g \left[ (\theta_i - \theta_e) - \frac{\alpha_v \cdot G}{h_e} \right] - \tau_v \cdot G \quad (\text{W/m}^2)$$

- La composante solaire peut être très importante
- Le coefficient  $h_e$  est dépendant de la vitesse du vent et de la température d'environnement (GLO)

### Problème:

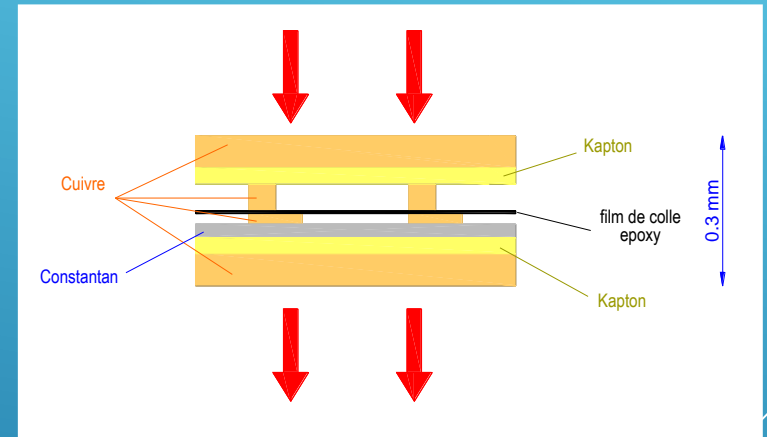
Séparation de phénomènes thermiques très différents et qui peuvent être extrêmement variables

## Diversité des corrélations qui donnent $hc_c$ en fonction du vent

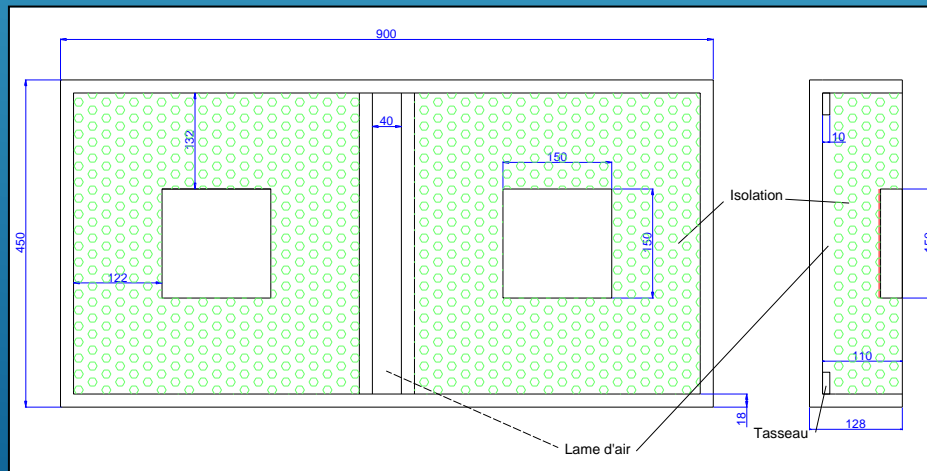


- De plus la configuration des lieux, l'orientation des façades sont des paramètres qui induisent des variations très importantes

## Instrumentation proposée basée sur des mesures fluxmétriques in-situ



Cellule fluxmétrique



Insertion dans un boîtier en bois + isolant rigide

## Montage du dispositif

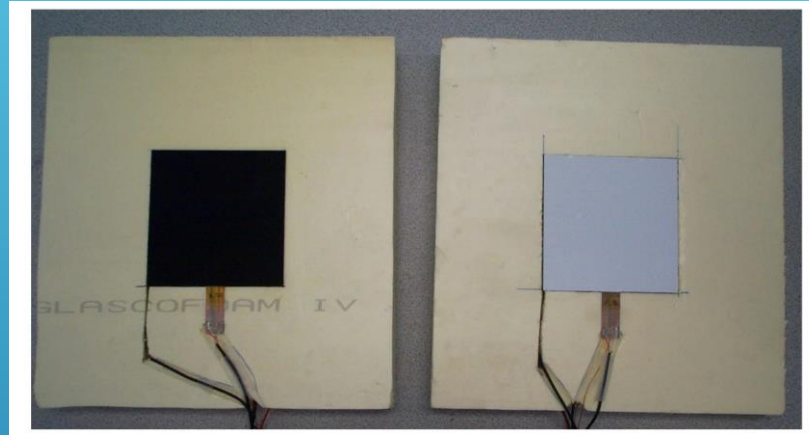
Ensemble flux noir

$$R1 = 20.1 \, \Omega$$

$$KN1 = 82.943 \, \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$$

$$KN2 = 82.717 \, \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$$

$$KCN = 8.202 \, \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$$



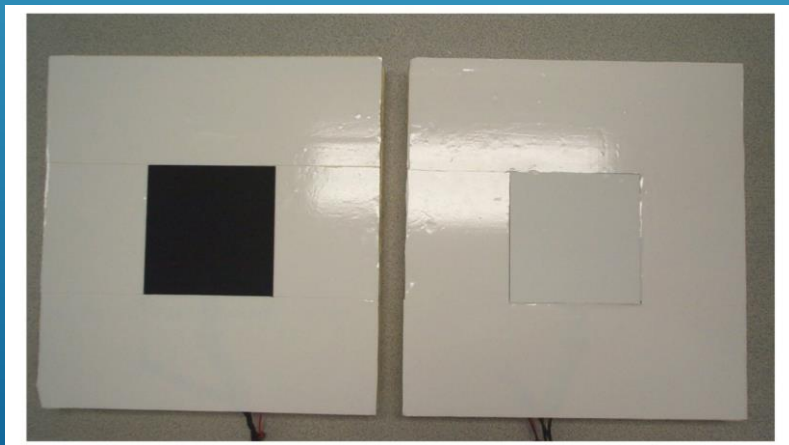
Ensemble flux blanc

$$R2 = 20.3 \, \Omega$$

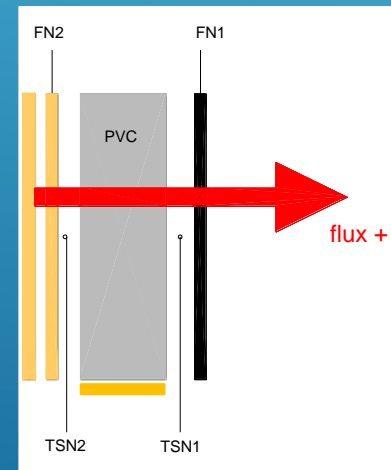
$$KB1 = 94.659 \, \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$$

$$KB2 = 96.995 \, \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$$

$$KCB = 6.864 \, \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$$



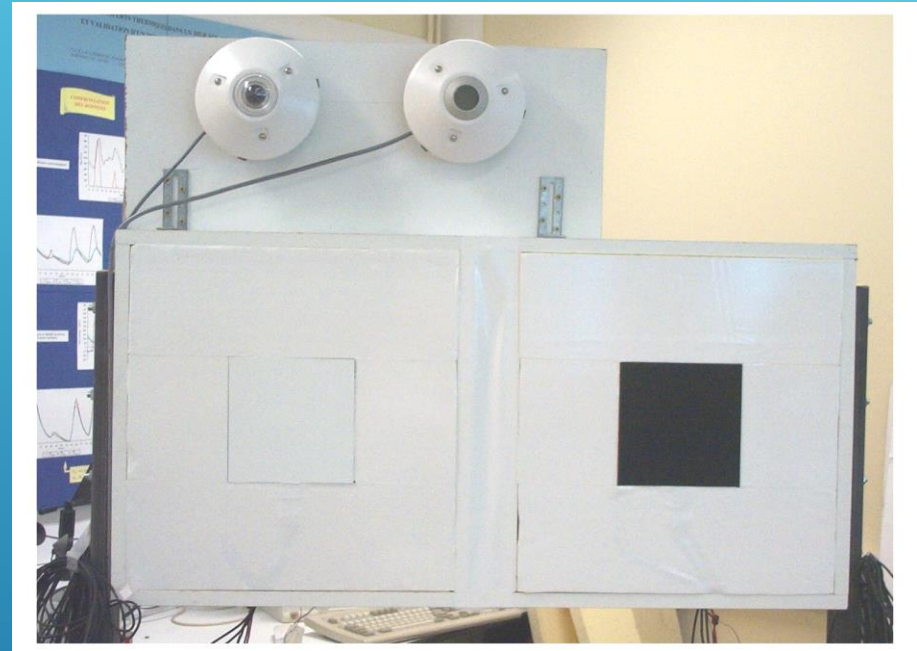
Ensembles finis, contours recouverts d'un film adhésif blanc



Vue en coupe du dispositif  
positionnement des résistances, capteurs  
de flux et de températures

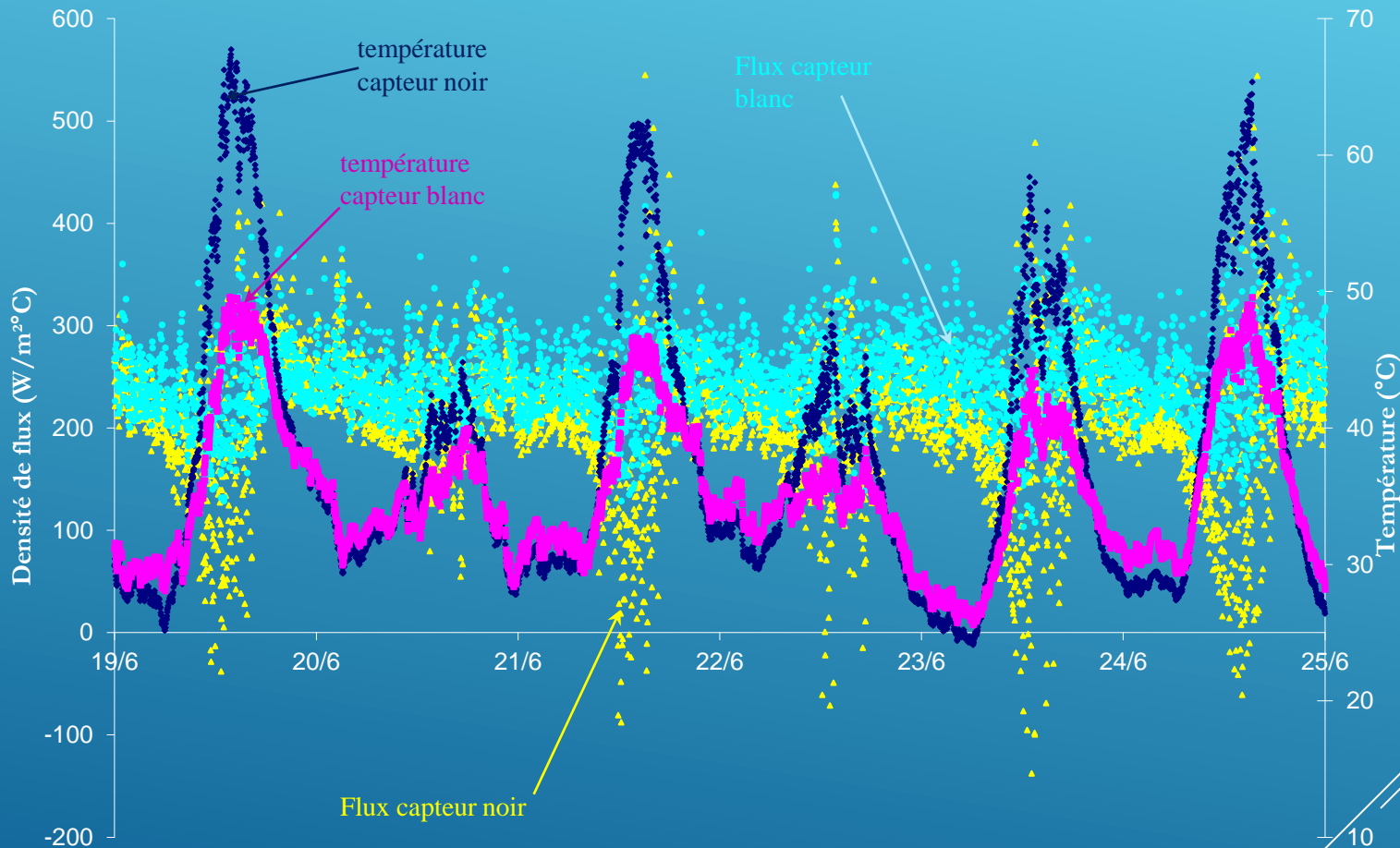


## Dispositif final avant pose en façade de la faculté à Béthune



Capteurs Blanc et Noir peints par une entreprise spécialisée en composants pour l'aéronautique avec coefficients d'absorption et émissivité certifiés

## Courbes de flux et températures – Signaux bruts « naturels »

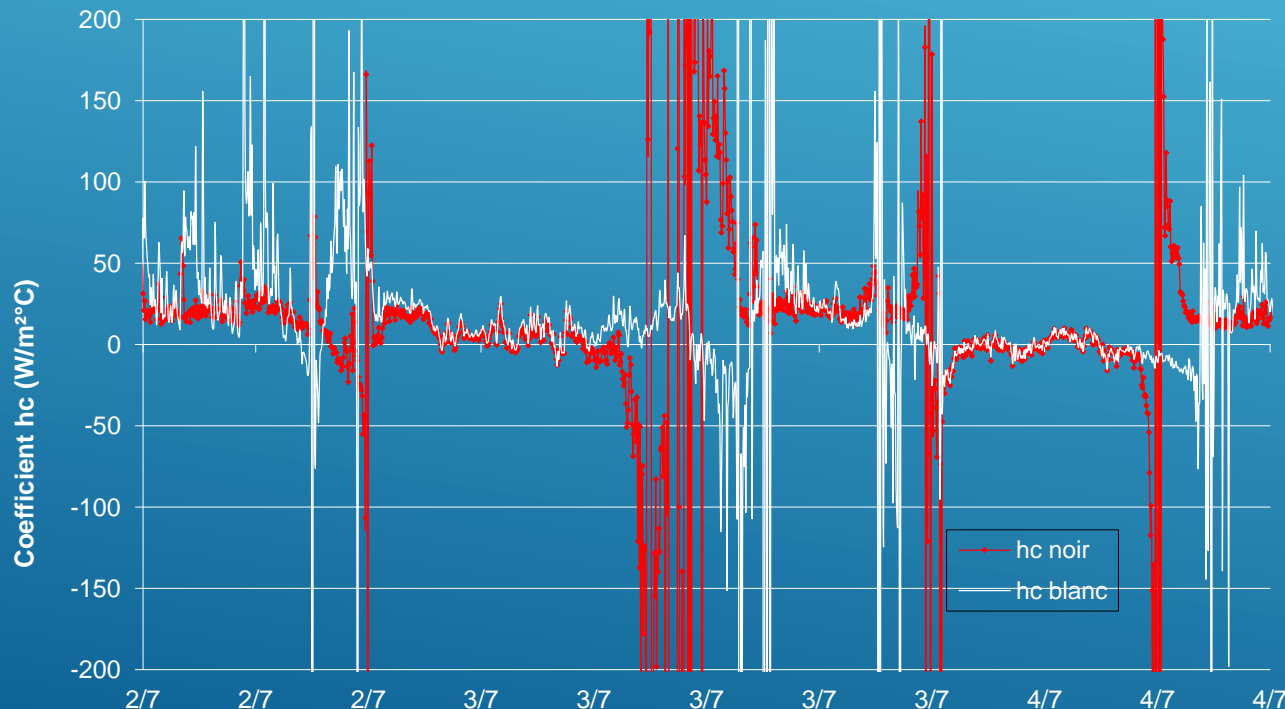




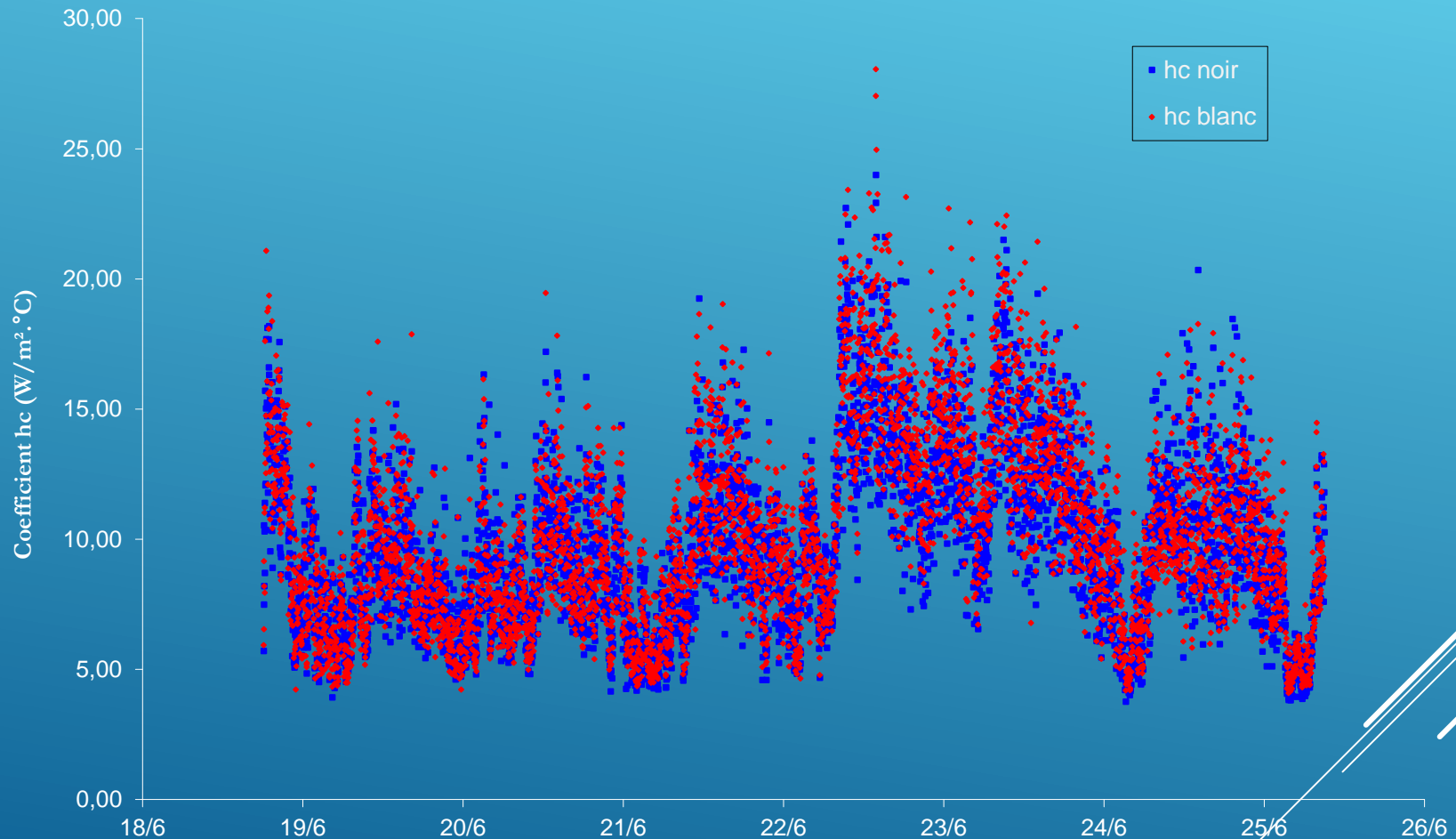
## Coefficient brut d'échange thermique par convection (sans chauffage)

$$h_c = \frac{\phi - h_r (T_s - T_{env}) + \alpha_s G}{(T_s - T_{air})}$$

Sur la base d'un bilan d'échanges superficiels linéarisés



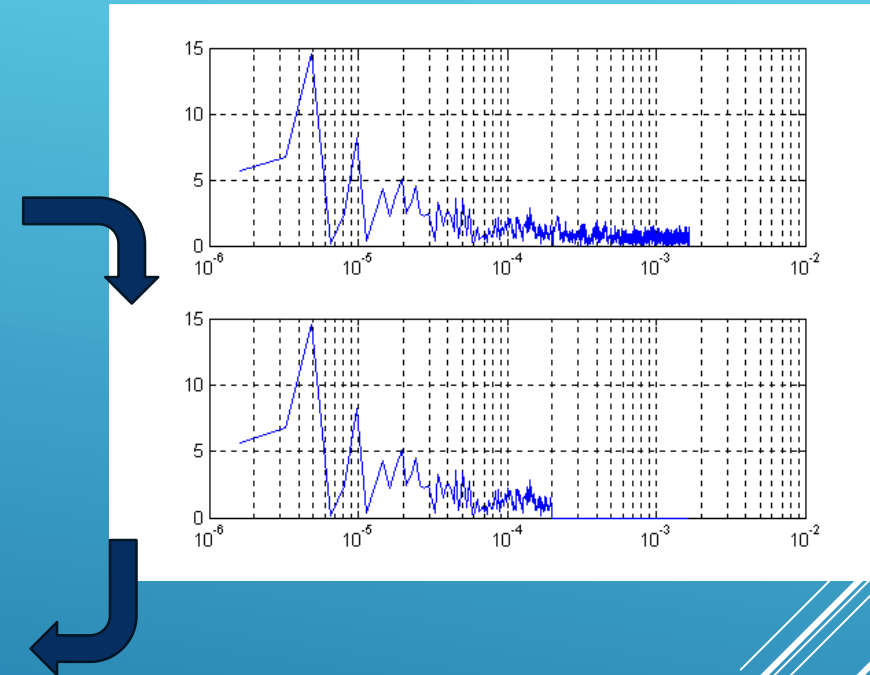
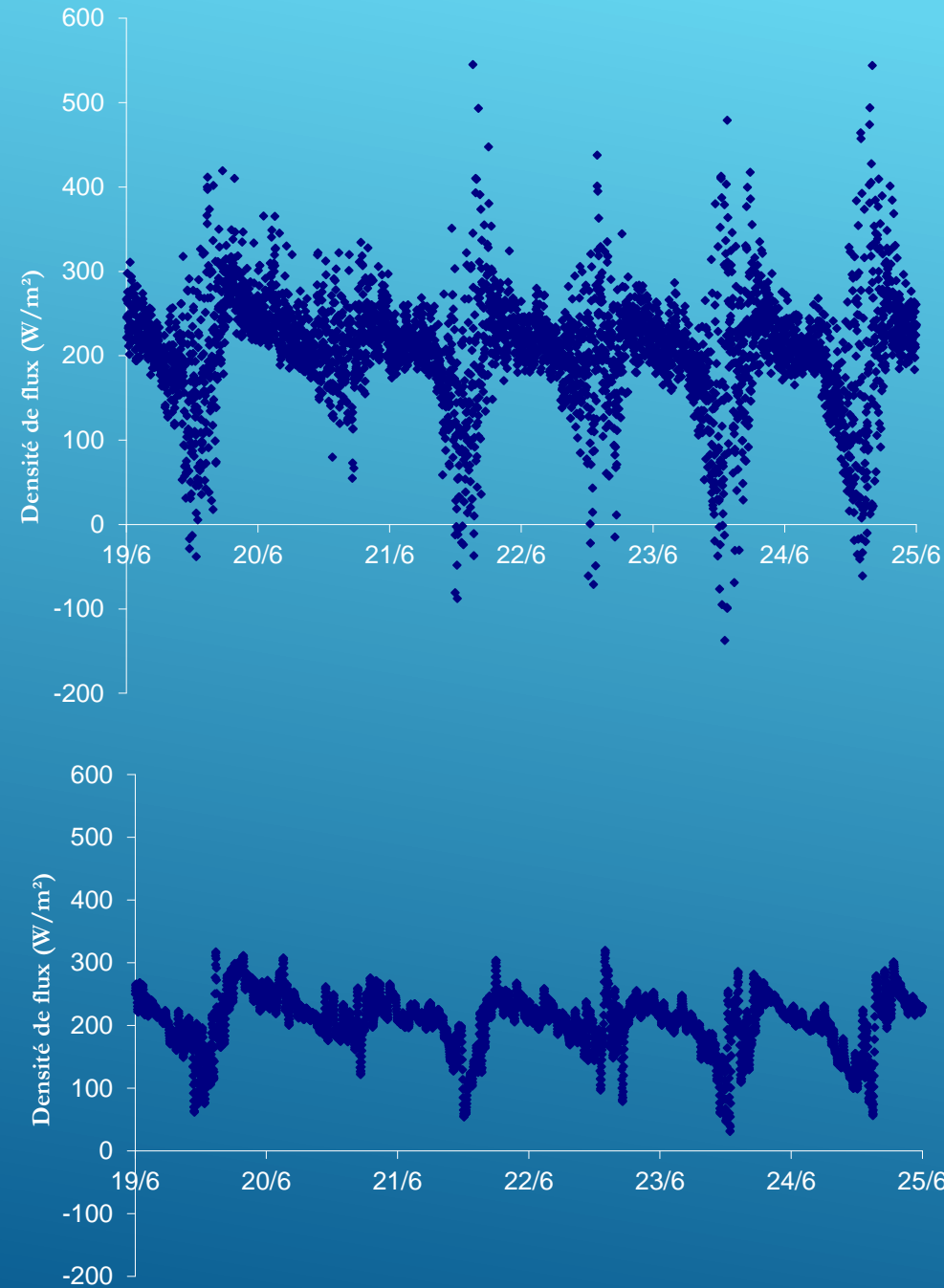
## Coefficient d'échange thermique par convection (avec chauffage)



→ signaux encore très bruités mais exploitables

## Choix de lisser les flux par Transformée de Fourier inverse

Ici Flux noir lissé



Décomposition fréquentielle du flux

Filtrage (coupe à  $\sim 10^{-4}$  Hz)

## Détermination de $h_c$

Pour déterminer  $h_c$ , le calcul est basé sur le coefficient d'échange global du dispositif avec l'environnement déterminé par l'expression suivante :

$$h = h_c + h_r$$

avec un  $h_r$  égal à  $5.15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  en moyenne. Un peu plus pour le noir qui s'échauffe davantage au soleil.

Dans notre cas, l'expérimentation nous donne en moyenne pour le :

Noir :  $h_c = 15.07 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Blanc :  $h_c = 15.35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Les règles de thermique en bâtiment indiquent une valeur moyenne de  $h_c$  de  $16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  pour une vitesse d'air de  $4 \text{ m/s}$ .

→ **Nos résultats se rapprochent de cette valeur.**

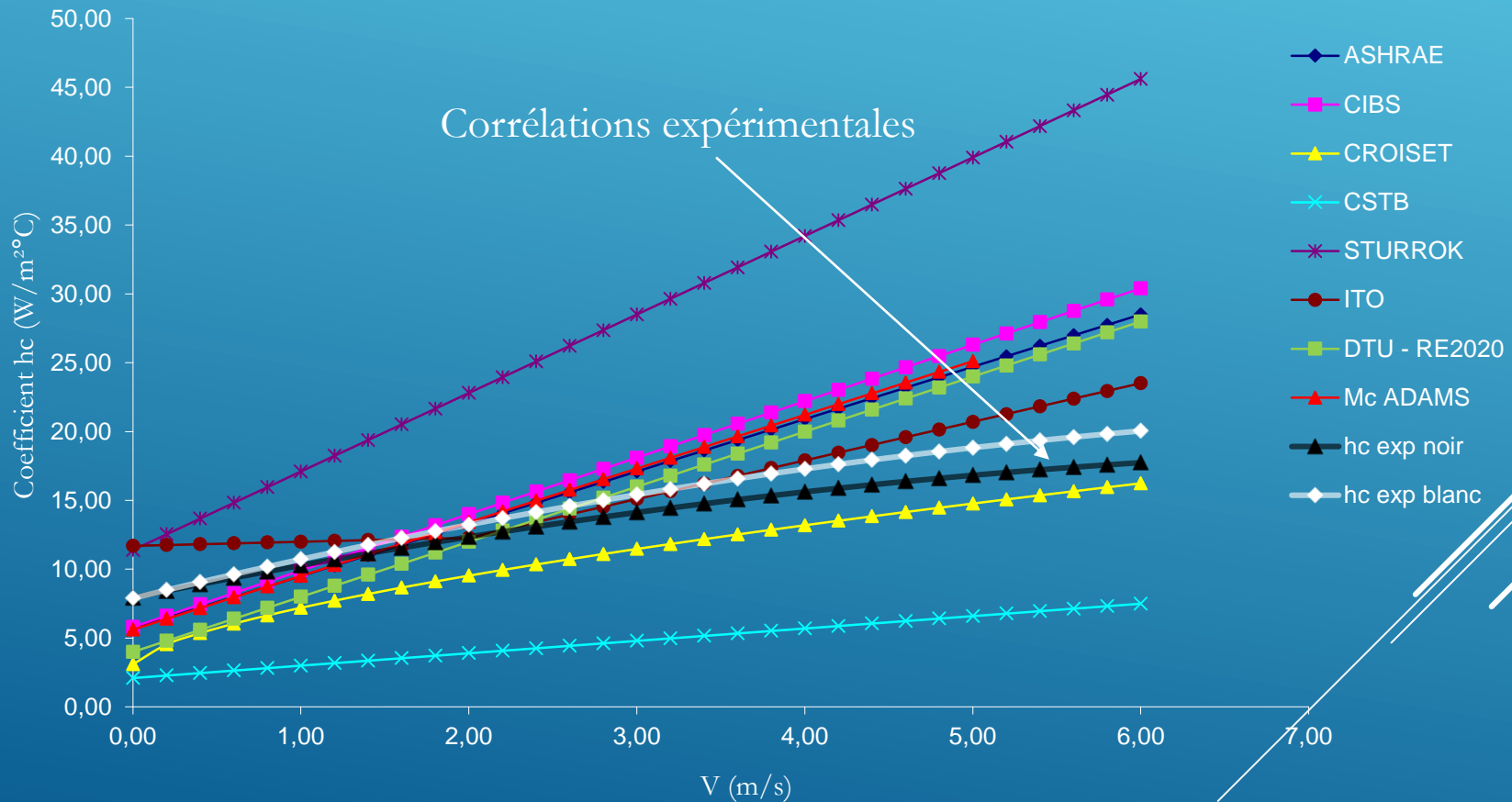
## Coefficients d'échange thermique par rayonnement (hr)



→ Valeurs des flux plus sensibles pour le fluxmètre noir

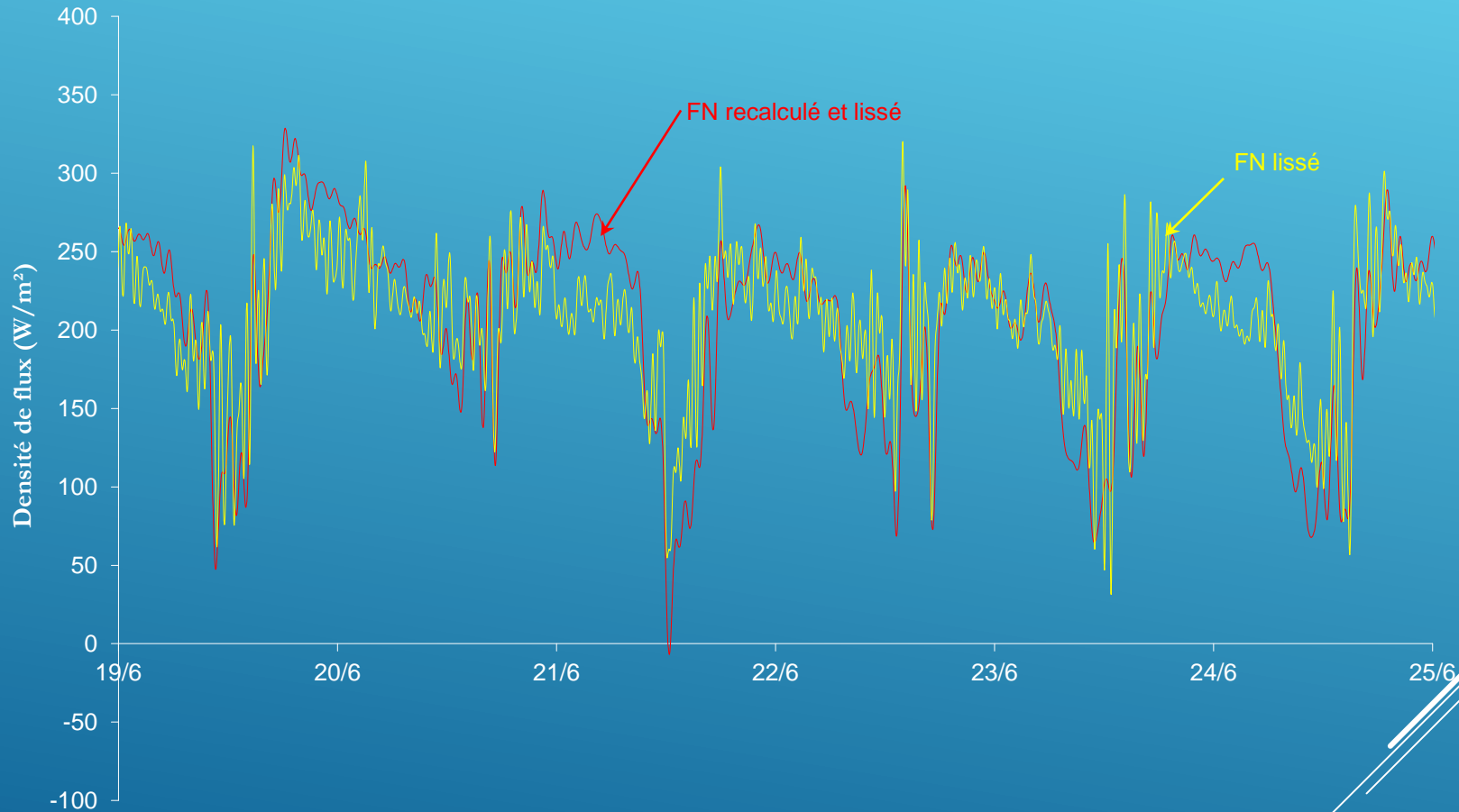
## Résultats expérimentaux et corrélations existantes

$$hc = \frac{\phi_{lissé} - hr (T_S - T_{env}) + \alpha_s G}{(T_S - T_{air})}$$





## Reconstitution du flux



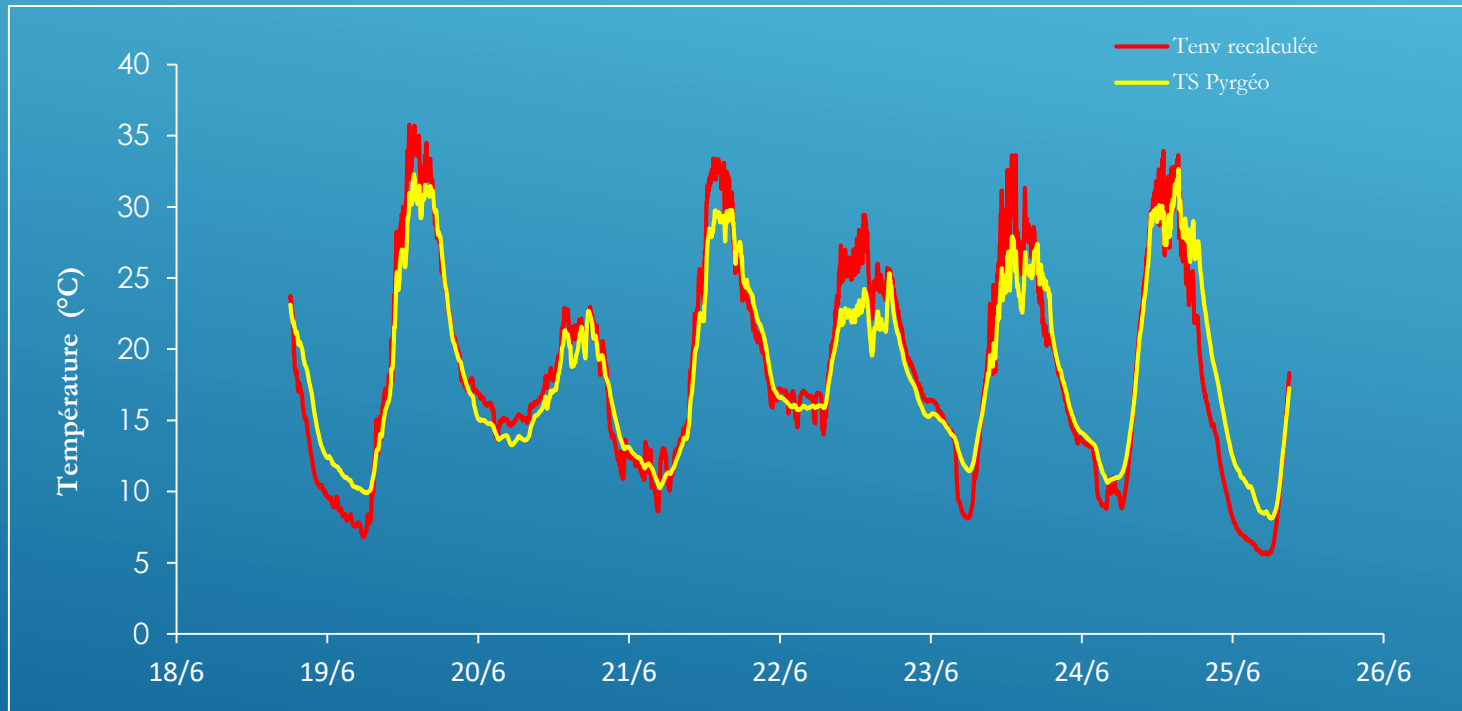
→ Comparaison entre le flux mesuré lissé et le flux recalculé à partir de la corrélation

## Reconstitution du flux

- ♦ Les corrélations des  $h_c$  expérimentaux se dispersent légèrement quand la vitesse du vent augmente. (Pb: propriété du capteur blanc?)
- ♦ Nous pouvons observer des écarts durant certaines périodes nocturnes, en effet les vitesses d'air relevées sont proches de zéro dans ce créneau. Nous nous trouvons donc dans la zone de plus grande incertitude au niveau de la détermination du coefficient d'échange.

## Calcul de la température d'environnement

$$T_{env} = \sqrt[4]{\frac{\sigma \cdot \epsilon \cdot T_{SN}^4 + hc \cdot (T_{SN} - T_{air}) - \alpha \cdot G - \varphi_N}{\sigma \cdot \epsilon}} - 273,15$$



→ Bonne corrélation entre les valeurs issues du pyrgéomètre et le calcul de la température d'environnement (formule ci-dessus)

## Conclusions :

- Le dispositif semble adapté au problème posé, possibilité d'une caractérisation locale de l'environnement d'une paroi.
- La sélectivité des capteurs vis-à-vis des rayonnements thermiques est un procédé intéressant (*déjà utilisé par ailleurs dans le cadre de la gestion d'ambiances de confort*)

## Perspectives :

- Suite à ces travaux un capteur à bandes alternées noires et blanches a été réalisé.
- Mesures souhaitables plus fines et des trois composantes de la vitesse pour l'évaluation du  $h$  convectif
- Etudes envisagées en ambiances urbaines à l'aide de capteurs noir et blanc en s'inspirant du principe du radiomètre à deux sphères pour séparer rayonnements CLO et GLO

Merci pour votre attention