

Journée thématique

« Coefficient d'échange convectif en milieu urbain : Mesures et modélisation »

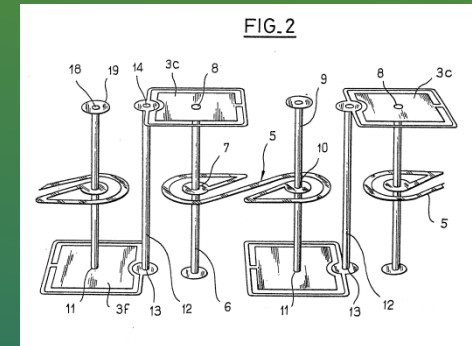
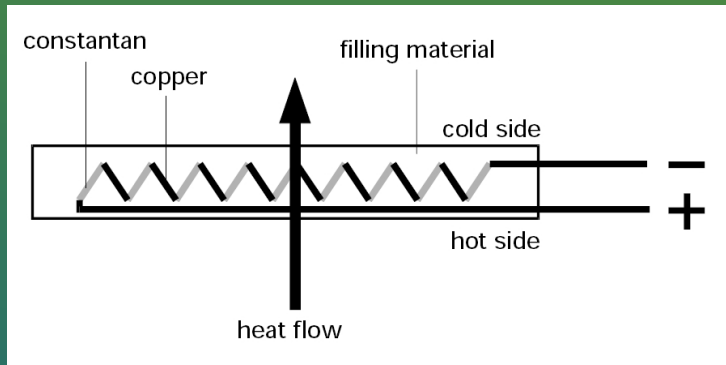
"Mesures de coefficients d'échanges convectifs h
à l'aide de fluxmètres"

Stéphane LASSUE, Laurent LIBESSART, Laurent ZALEWSKI,
Yassine CHERIF, Annabelle JOULIN

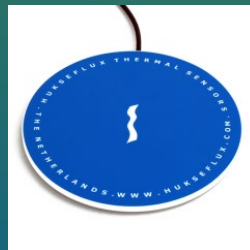
Conception des fluxmètres thermiques:

Beaucoup de recherches dans les années 1970. En général, le concept repose sur la mesure d'un gradient de température entre deux faces d'une résistance thermique, (paroi auxiliaire)

Le capteur est forcément perturbateur dans de nombreuses situations



Saint Gobain



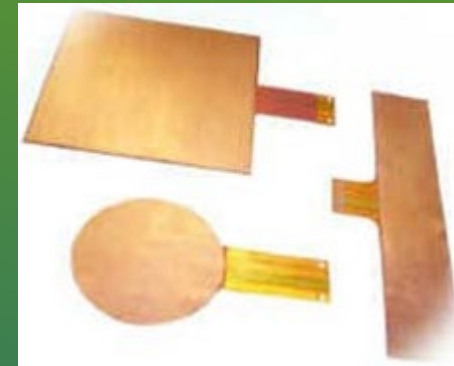
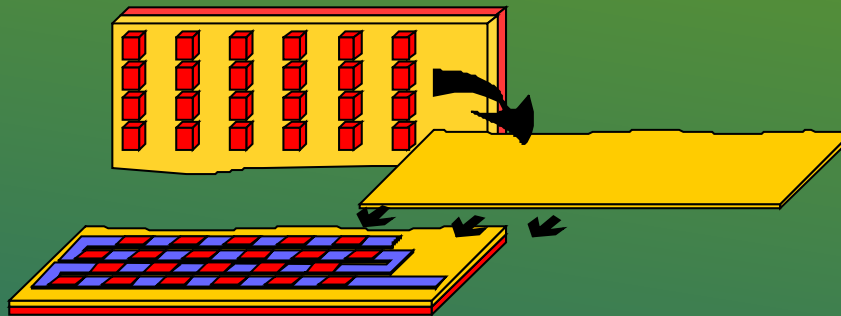
hukseflux



thermalinstrumentcompagny

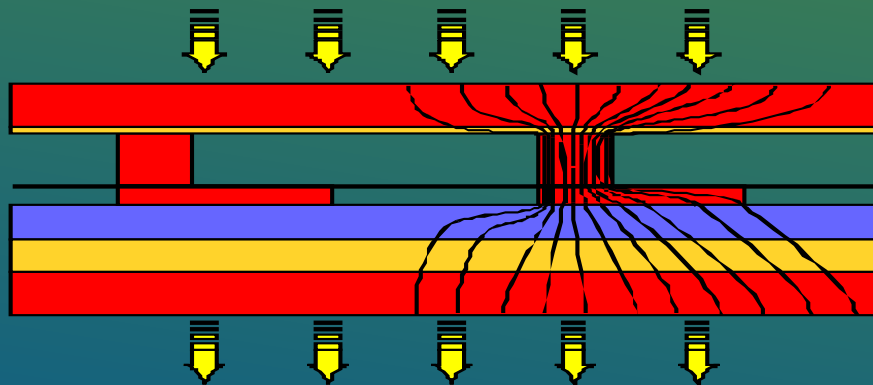
Fluxmètre à gradient tangentiel, né à Béthune dans les années 1980

Vue éclatée



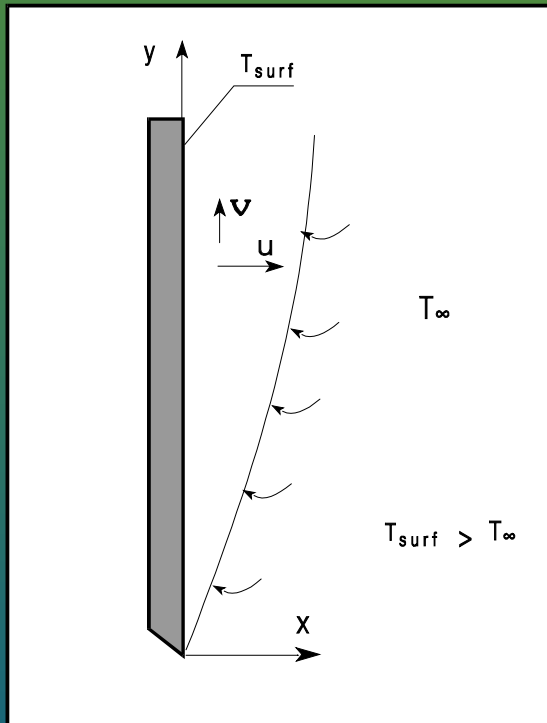
Doc: CAPTEC

Déviations des
lignes de flux



Mesures des échanges convectifs

Cas « académique » de la plaque plane verticale



$$\phi_y = hc_y \cdot (T_s - T_\infty)$$

$$Nu_y = 0,536 \cdot (Gr_y/4)^{1/4} \quad \text{GREGG et SPARROW}$$

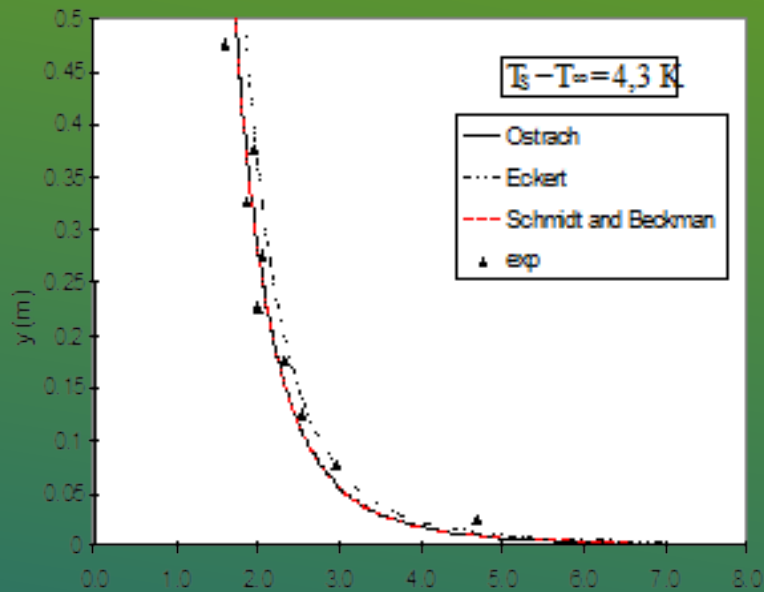
$$Nu_y = 0,505 \cdot (Gr_y/4)^{1/4} \quad \text{ECKERT}$$

$$Nu_y = 0,387 \cdot (Gr \cdot Pr_y)^{1/4} \quad \text{OSTRACH}$$

$$hc_y = 4,20 \cdot \left[\frac{T_s - T_\infty}{y \cdot T_\infty} \right]^{1/4} \quad \text{SCHMIDT et BECKMANN}$$

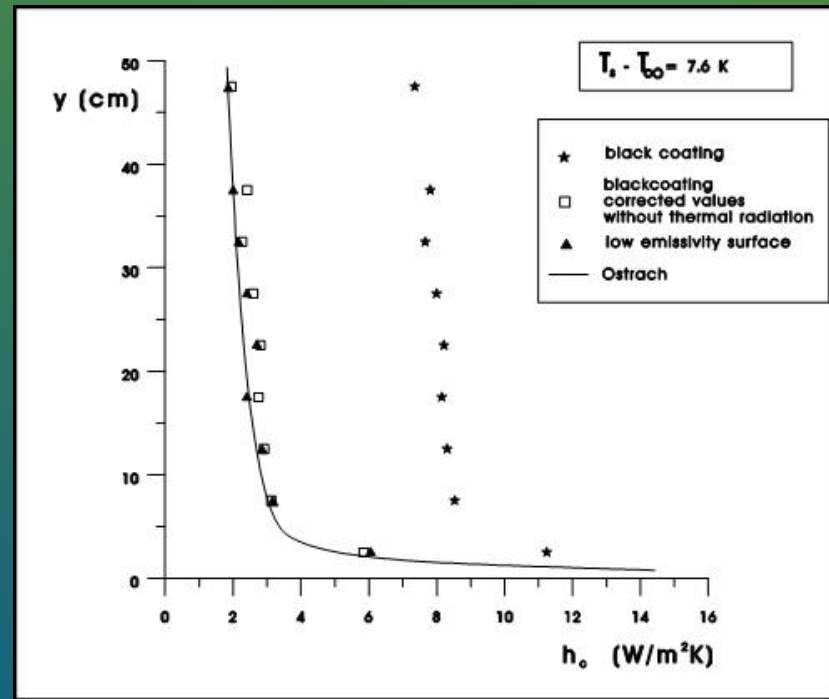
Thèse de S. Guths

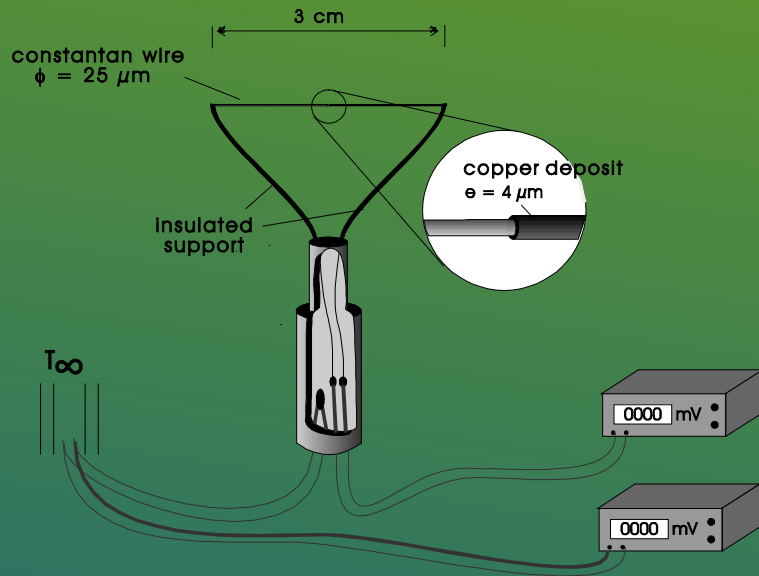
S. LASSUE et al – “Natural convection by heat flux measurement and anemometry using thermoelectric effects.” - Experimental Thermal and Fluid Science
Volume 7, Issue 2, August 1993, Page 145 - [https://doi.org/10.1016/0894-1777\(93\)90184-K](https://doi.org/10.1016/0894-1777(93)90184-K)



← Comparaison des mesures avec les références

Résultats avec différents revêtements de surface

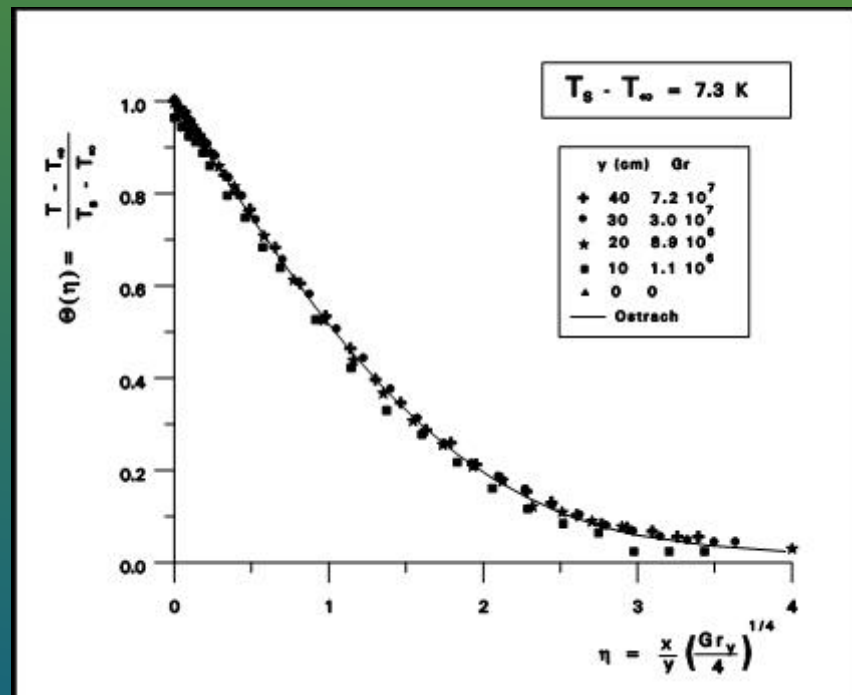




Conception d'un capteur de température d'air en couche limite



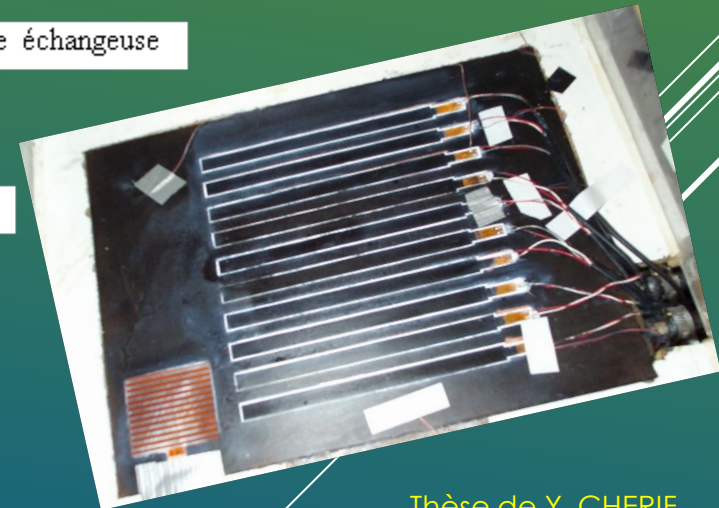
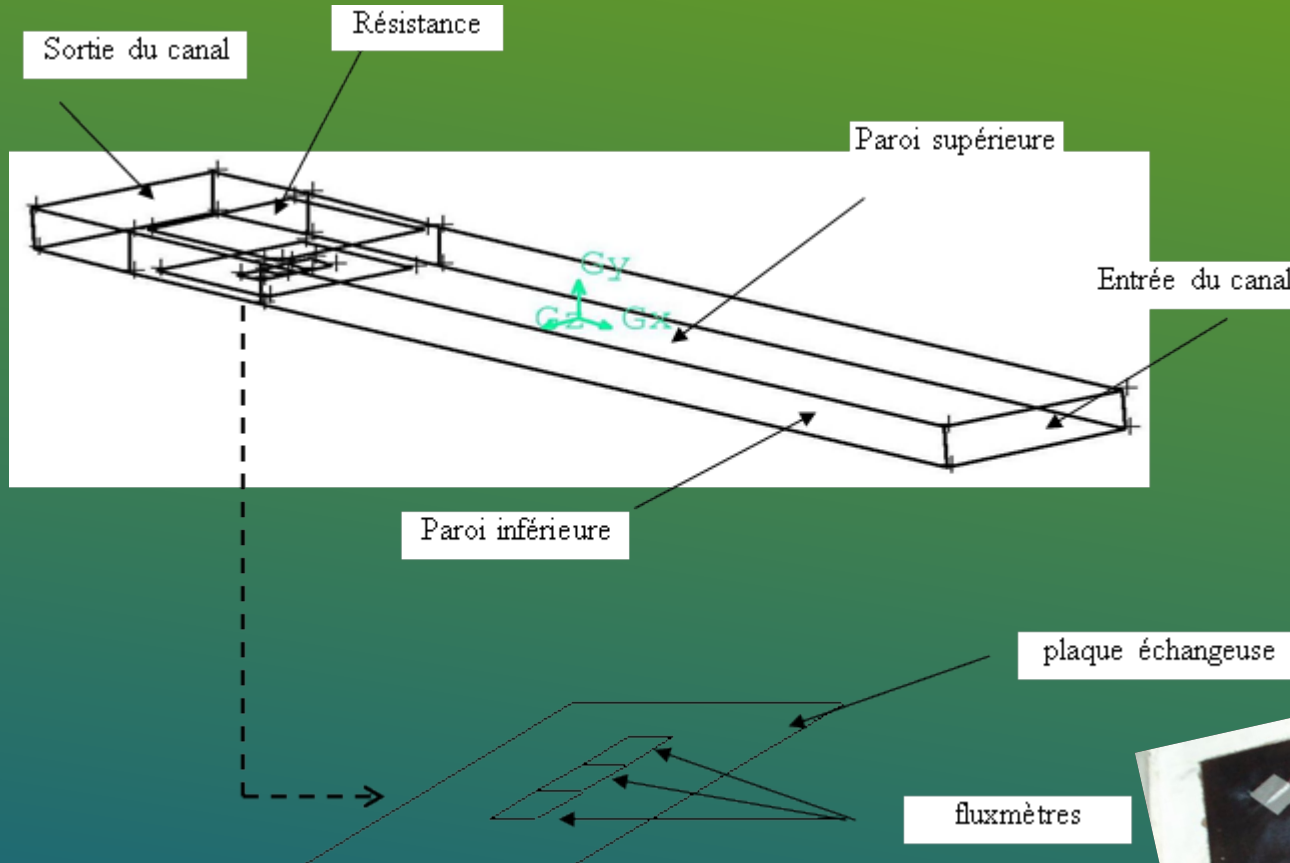
Profils expérimentaux
adimensionnalisés
comparés aux valeurs
de référence (Ostrach)



Validation du principe de la mesure d'un flux convectif ou de coefficients d'échanges à l'aide de fluxmètres

$T_s - T_\infty = 2,8K$				$T_s - T_\infty = 7,2K$			
y	hc_y^*	hc_y	hc_y	y	hc_y^*	hc_y	hc_y
	flux	reference	Tprofil		flux	reference	Tprofil
(cm)		(W/m ² K)		(cm)		(W/m ² K)	
40	2.16	2.10	2.11	40	1.7	1.63	1.82
30	2.30	2.25	2.24	30	1.83	1.77	1.69
20	2.48	2.49	2.39	20	2.02	1.98	1.96
10	3.01	2.95	2.91	10	2.34	2.37	2.32

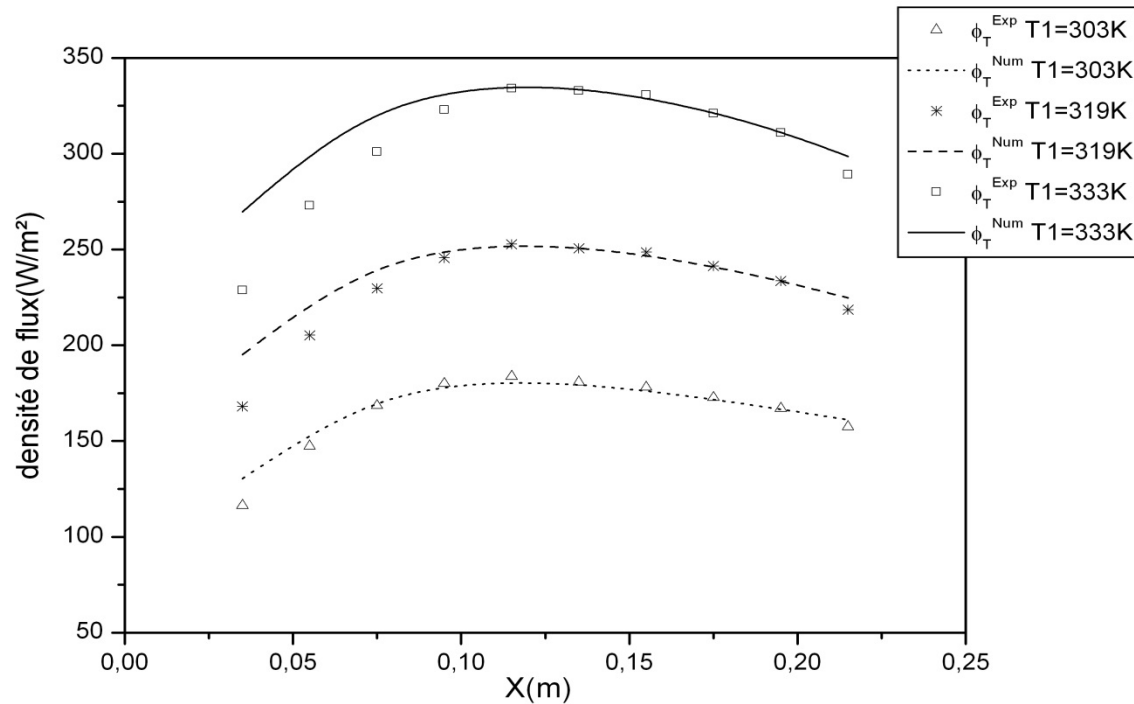
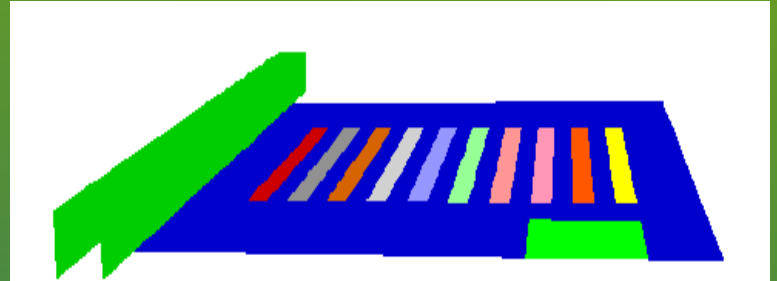
Ecoulement forcé d'air en canal horizontal



Thèse de Y. CHERIF

Y. CHERIF, A. JOULIN, L. ZALEWSKI, S. LASSUE
 Superficial heat transfer by forced convection and radiation in a horizontal channel
 Int Journal of thermal Sciences, Volume 48, Issue 9, September 2009, Pages 1696-1706
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2009.01.017>

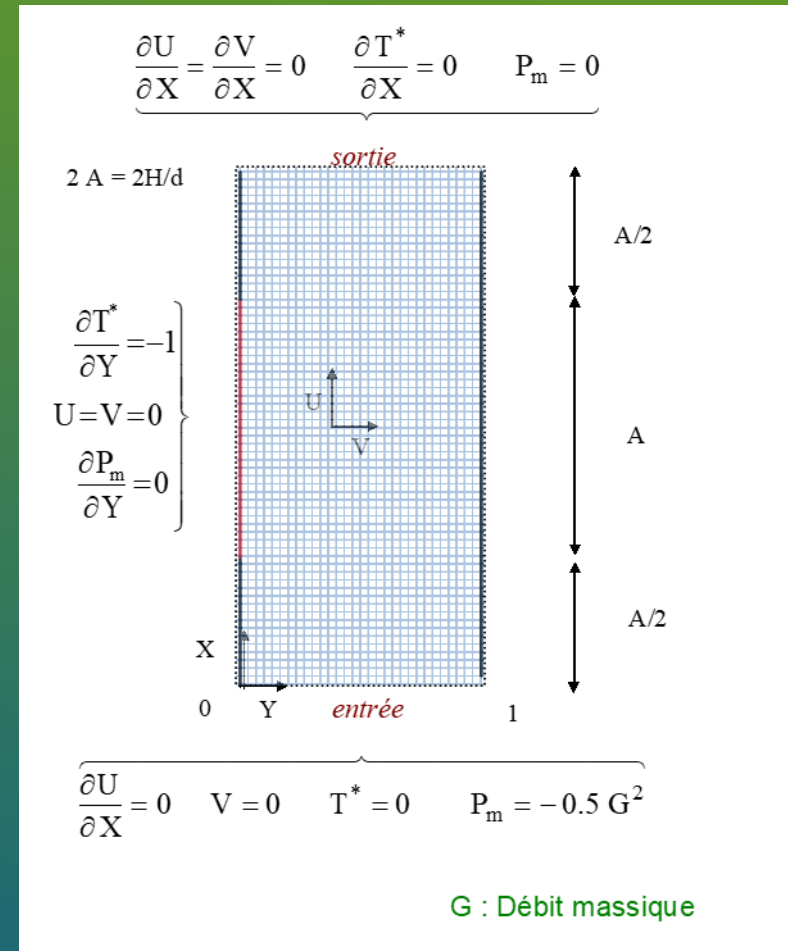
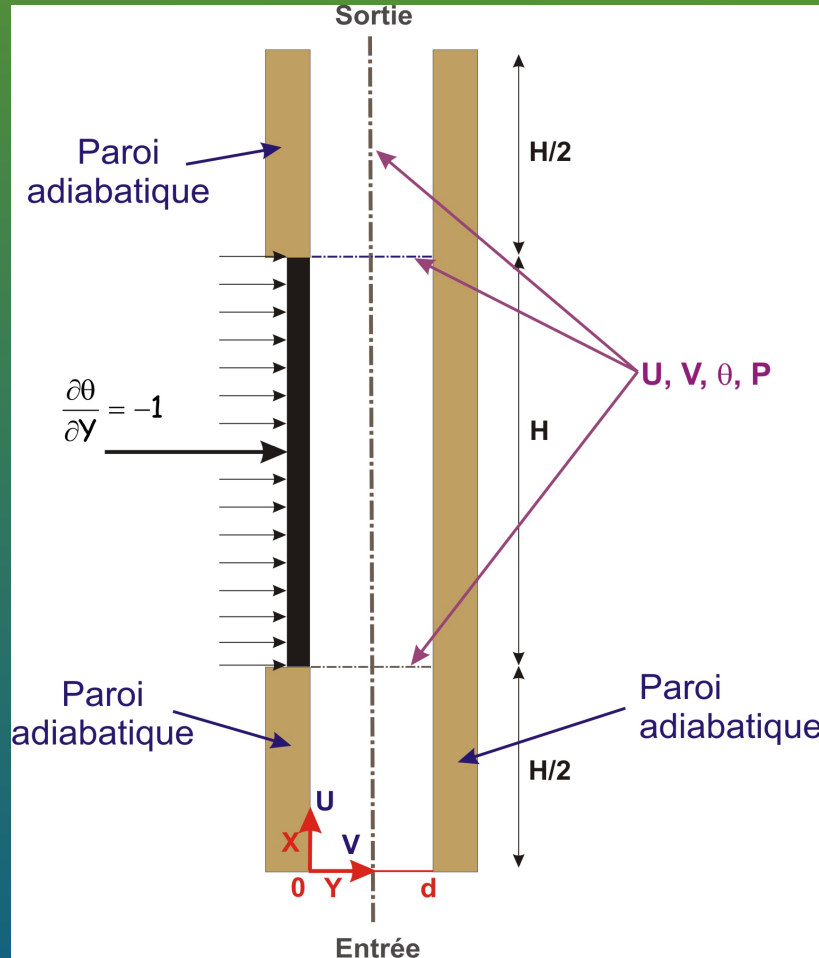
Evolution du flux total dans le sens de l'écoulement en aval d'un obstacle de section 2 x 2 cm²



Mar 14, 2005
FLUENT 6.0 (3d, segregated, ske)

Canal chauffé asymétriquement à flux constant

$Pr = 0.71$; $Ra^* = 10^5, 10^7$, $A = 5$ avec $Ra^* = Ra/A$



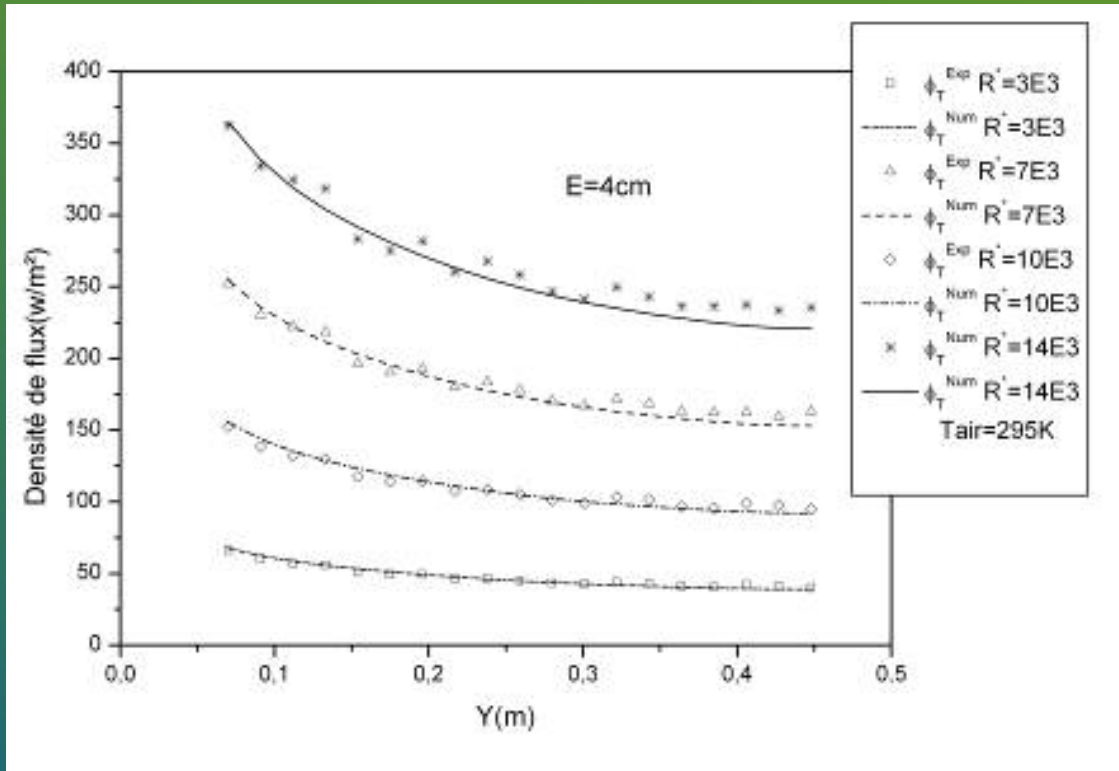
Benchmark du groupe

$AmET_h \approx$

de la SFT

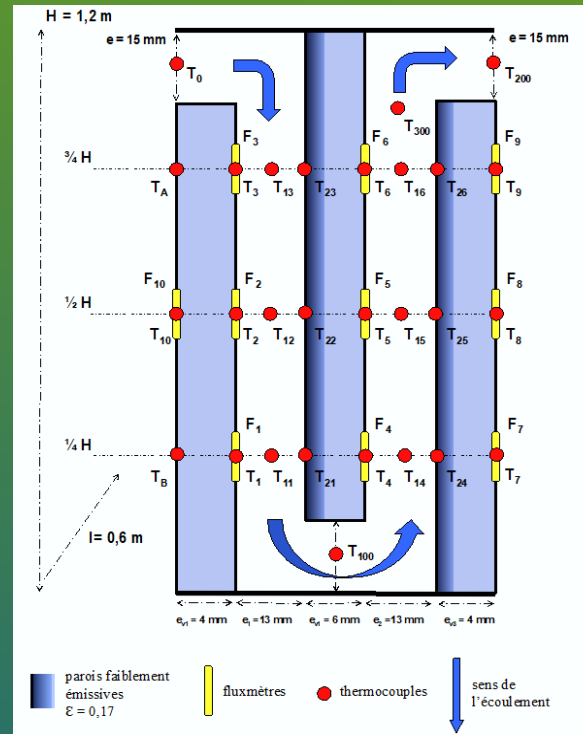
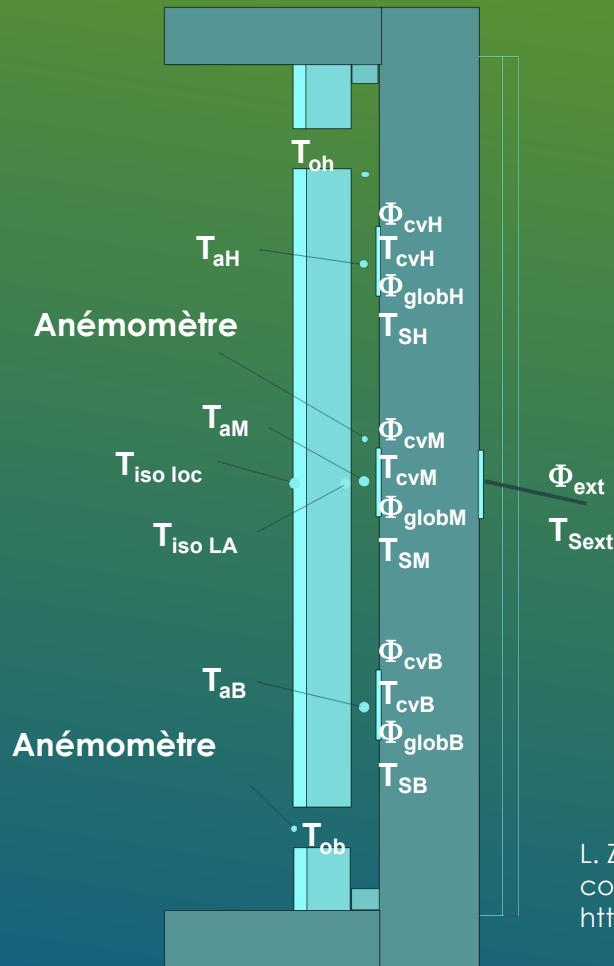
Résultats expérimentaux

Parois « isothermes »



G. DESRAYAUD, E. CHÉNIER, A. JOULIN, A. BASTIDE, B. BRANGEON, J.P. CALTAGIRONE, Y. CHERIF, R. EYMARD, C. GARNIER, S. GIROUX-JULIEN, Y. HARNANE, P. JOUBERT, N. LAAROUSSI, S. LASSUE, P. LE QUÉRÉ, R. LI, D. SAURY, A. SERGENT, S. XIN, A. ZOUBIR
 Benchmark solutions for natural convection flows in vertical channels submitted to different open boundary conditions
 International Journal of Thermal Sciences, Volume 72, October 2013, Pages 18-33
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2013.05.003>

Puis développements dans le cadre de l'étude de composants de façade ventilés (Murs TROMBE, fenêtres pariétodynamiques, etc....)

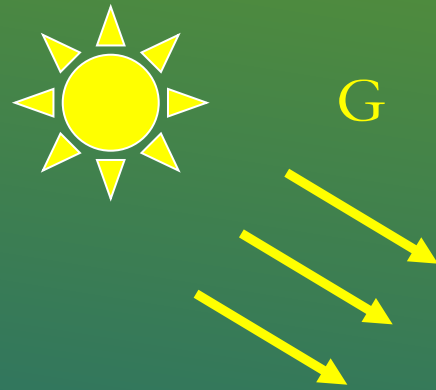


L. ZALEWSKI, M. CHANTANT, S. LASSUE, B. DUTHOIT - Experimental thermal study of a solar wall of composite type - Rev. Energy and Buildings, vol 25, n°1, pp 8-17, 1997
[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00974-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00974-7)

F.GLORANT, P. TITTELEIN, A. JOULIN, S. LASSUE - Modeling a triple-glazed supply-air window Building and Environment Volume 84, January 2015, Pages 1-9
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.017>

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

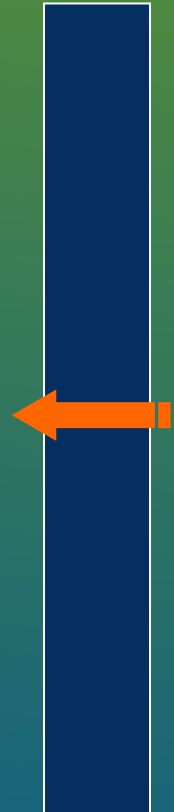
Rayonnement Solaire Global CLO



Climat extérieur

Convection

Rayonnement GLO



Différents modes de transferts thermiques

Convection

Ambiance intérieure

Rayonnement GLO



Un exemple: le bilan énergétique instantané d'un vitrage en présence de rayonnement solaire

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

- La composante solaire peut être très importante..... ou nulle
- Ici le coefficient h_e globalise l'effet des échanges convectifs et radiatifs (GLO)

$$h_e = h_c + h_r$$

Se pose le problème de la séparation de phénomènes physiques, thermiques très différents et qui peuvent être extrêmement variables)

Influence du coefficient d'échange convectif

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

$$h_e = h_{ce} + h_{re}$$

$$\theta_e = \frac{h_{ce} \cdot \theta_{air} + h_{re} \cdot \theta_{rm}}{h_{ce} + h_{re}}$$

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{h_{ce} + h_{re}} + \sum Rth + \frac{1}{h_{ci} + h_{ri}}}$$

TABLEAU T-12

Valeurs du coefficient C_2 (effets du vent)

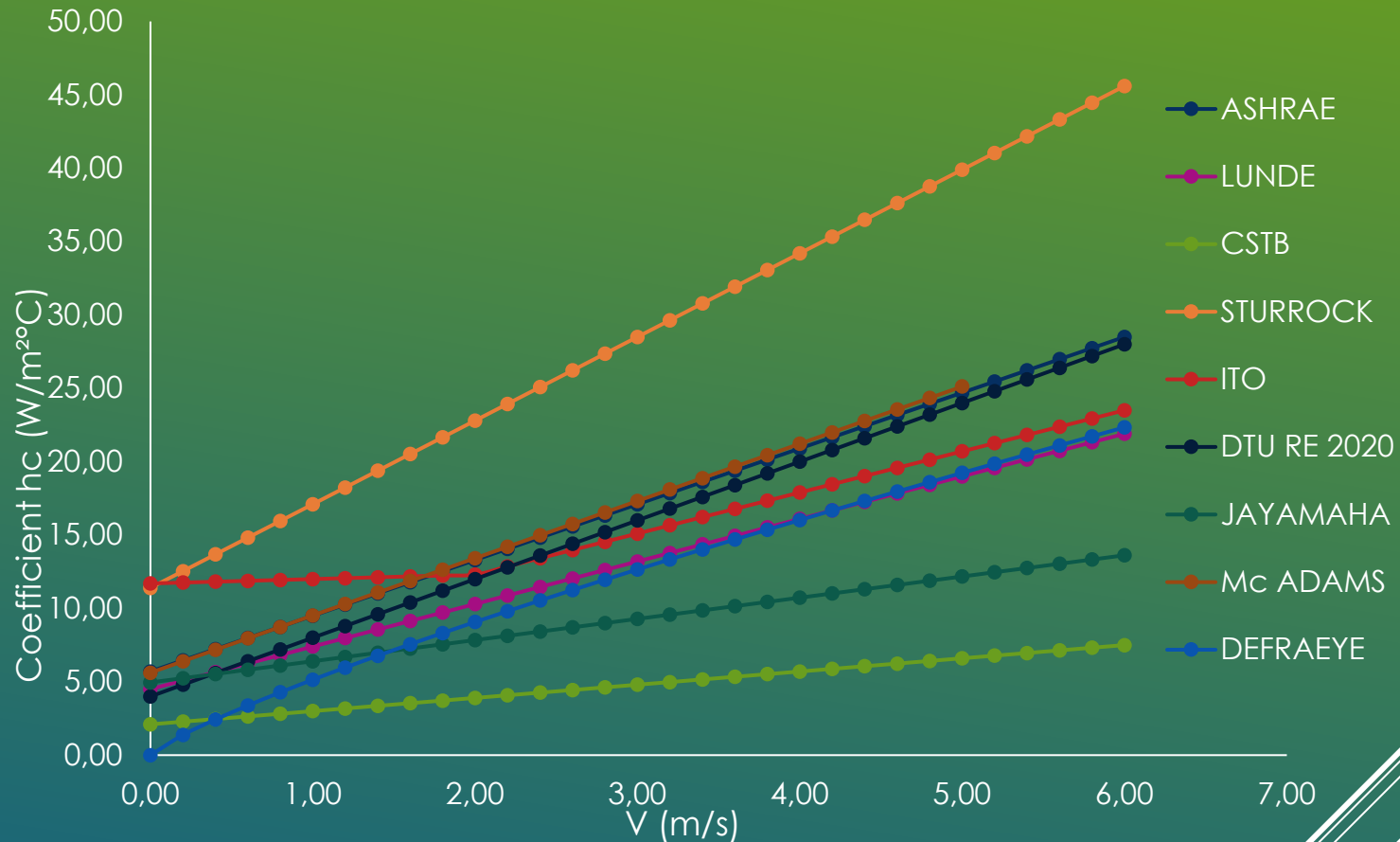
Région ⁽¹⁾	Hauteur ⁽²⁾ du niveau [m]	Coefficient U en (W/m ² .K)								
		1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	5,00	7,00
1 Centre de grande ville	0 à 6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	7 à 18	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,04
	19 à 30	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06
	30 à 50	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,05	1,07	1,09
	sup à 50	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,14
2 Ville moyenne, zone suburbaine	0 à 6	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,06	1,08
	7 à 18	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,07	1,11
	19 à 30	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,13
	30 à 50	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,11	1,15
	sup à 50	1,02	1,03	1,05	1,06	1,07	1,08	1,10	1,13	1,18
3 Plateau dégagé, zone rurale	0 à 6	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,07	1,11
	7 à 18	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,13
	19 à 30	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,10	1,15
	30 à 50	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,09	1,11	1,17
	sup à 50	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10	1,13	1,19
4 Plateau très dégagé, zone côtière	0 à 6	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,10	1,14
	7 à 18	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,11	1,16
	19 à 30	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,09	1,12	1,18
	30 à 50	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10	1,13	1,19
	sup à 50	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,10	1,11	1,14	1,21
5 Ile, sommet en altitude (sauf Corse)	0 à 6	1,03	1,04	1,06	1,07	1,09	1,11	1,12	1,16	1,24
	7 à 18	1,03	1,05	1,06	1,08	1,09	1,11	1,13	1,17	1,25
	19 à 30	1,03	1,05	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,18	1,27
	30 à 50	1,03	1,05	1,07	1,09	1,10	1,12	1,14	1,19	1,28
	sup à 50	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	1,20	1,30

Simple
vitrage

Double
vitrage

Double
vitrage
faible
émissivité
+ lame
Argon

Diversité des corrélations qui donnent hc_e en fonction de la vitesse du vent



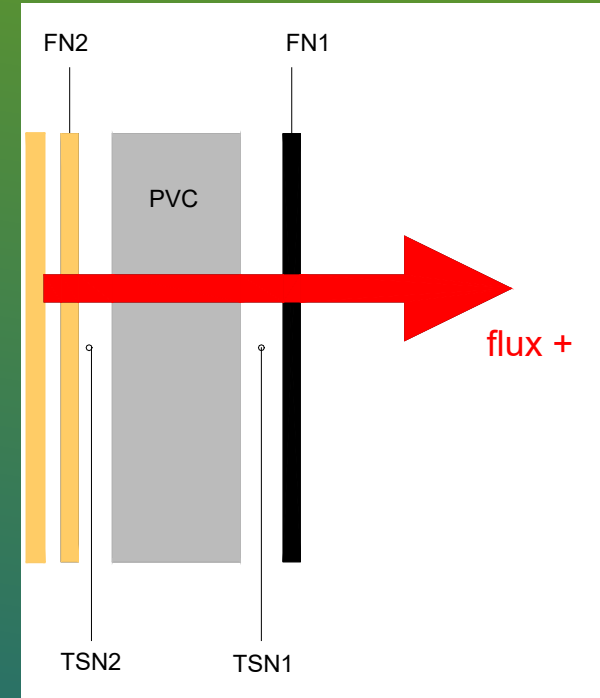
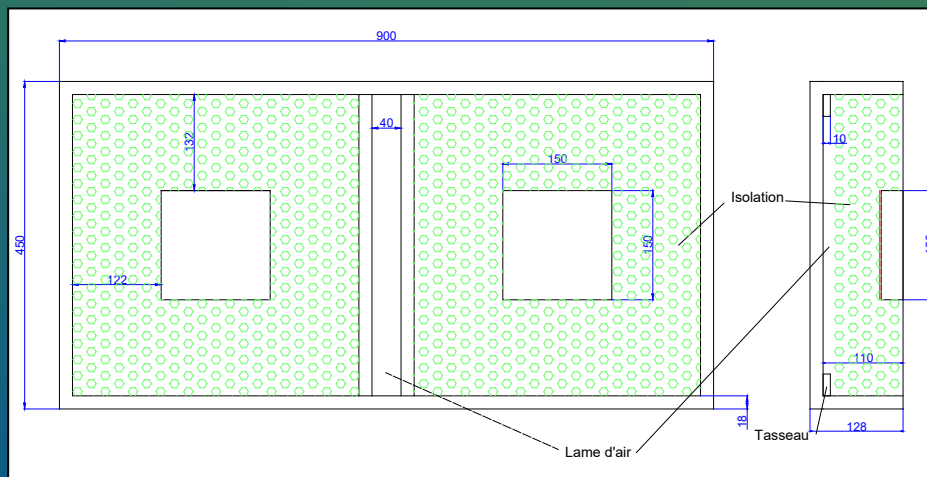
La configuration des lieux, l'orientation des façades sont des paramètres qui peuvent induire des variations très importantes: zones mortes ou d'accélération du vent en fonction du relief, des obstacles (bâtiments, etc.....), ...

Essai d'une instrumentation basée

sur la mise en œuvre de mesures fluxmétriques in-situ

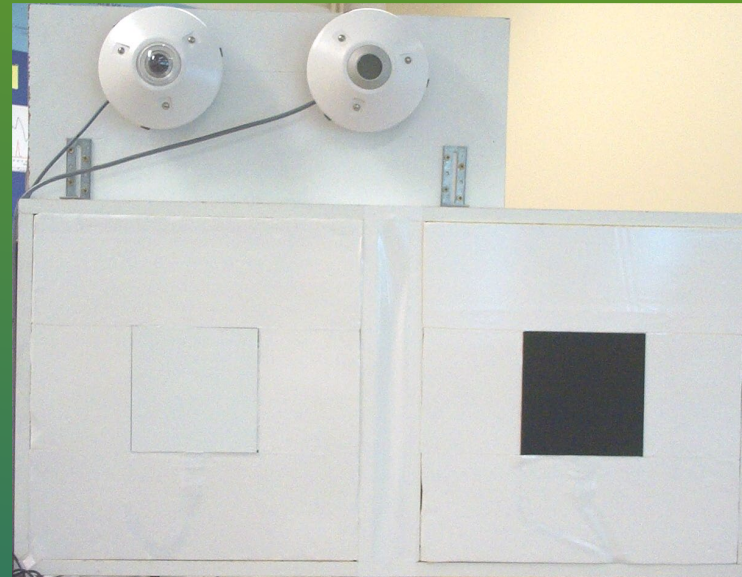


Insertion dans un boîtier en bois + isolant rigide



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

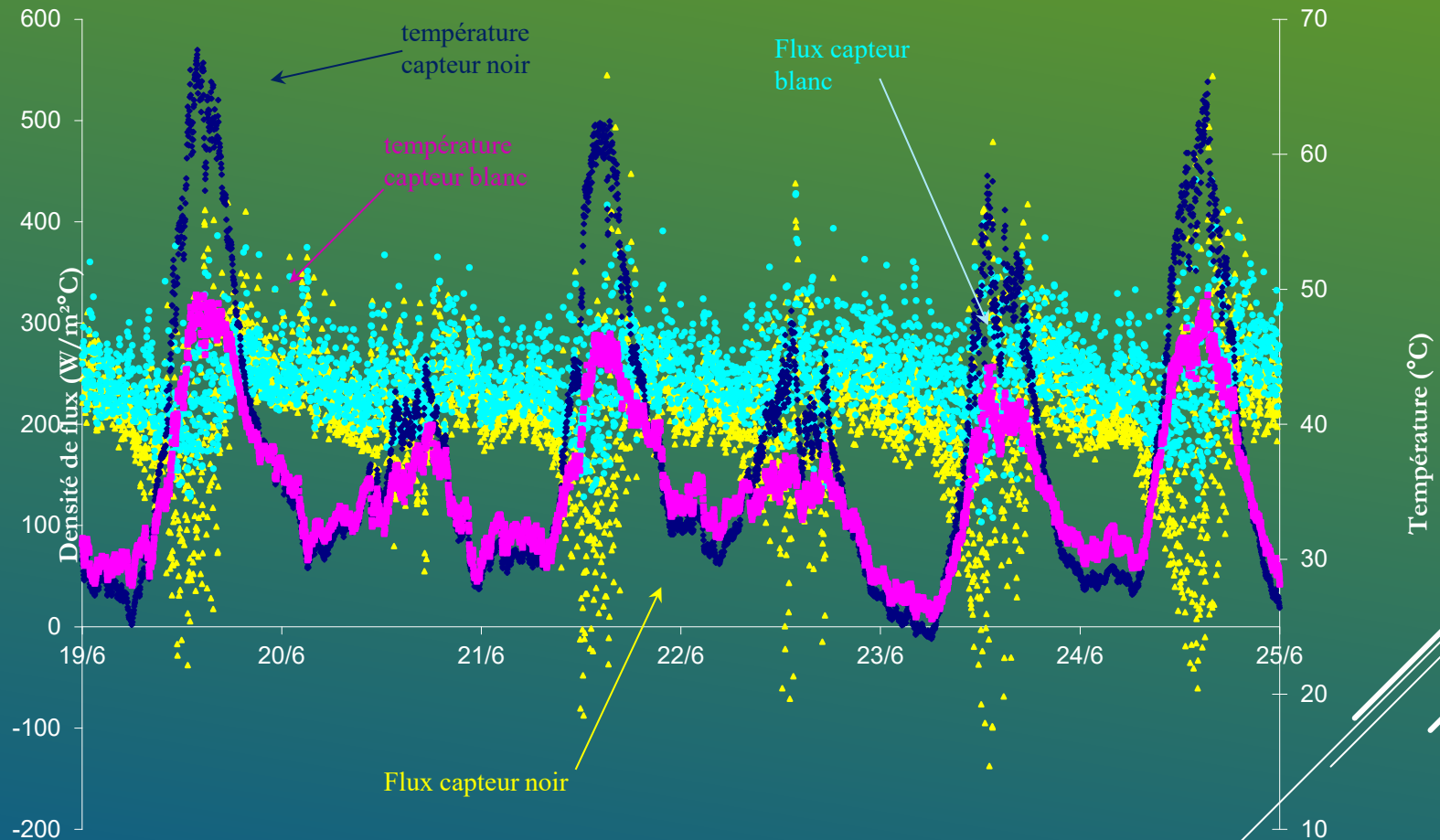
Dispositif final avant pose en façade (~SUD) de la faculté à Béthune



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

Courbes de flux et températures

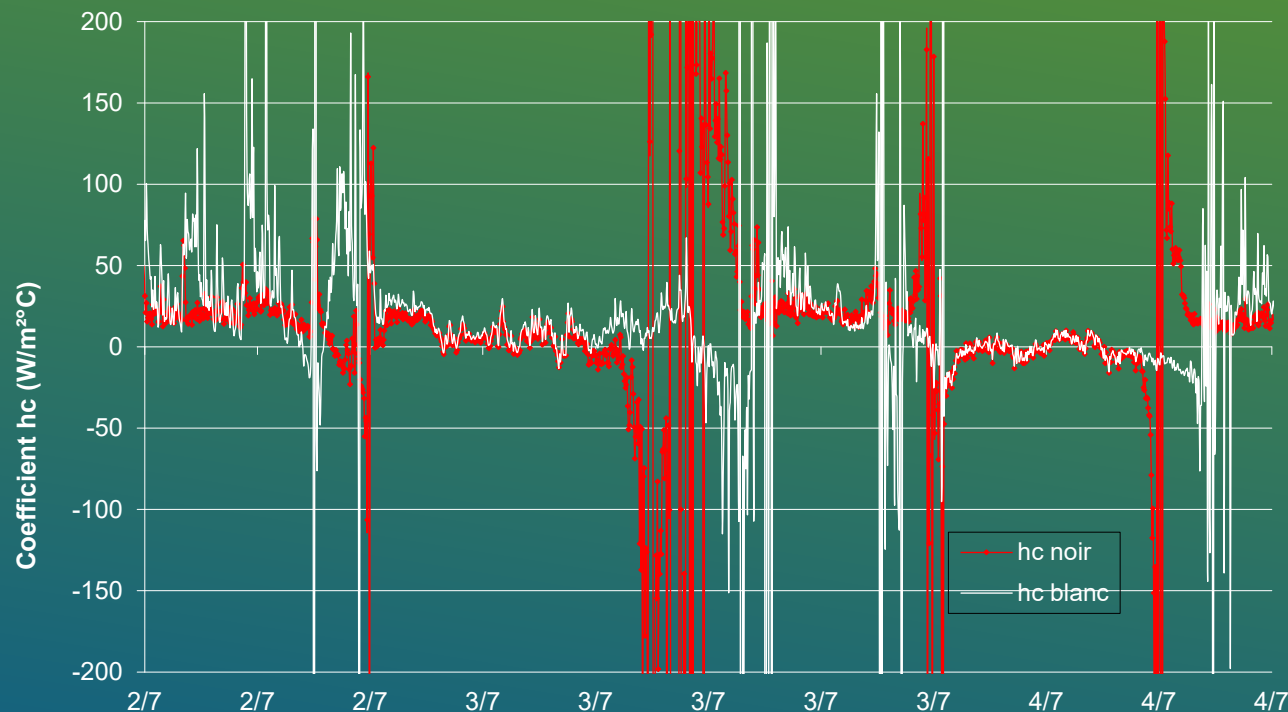
Signaux bruts « naturels »



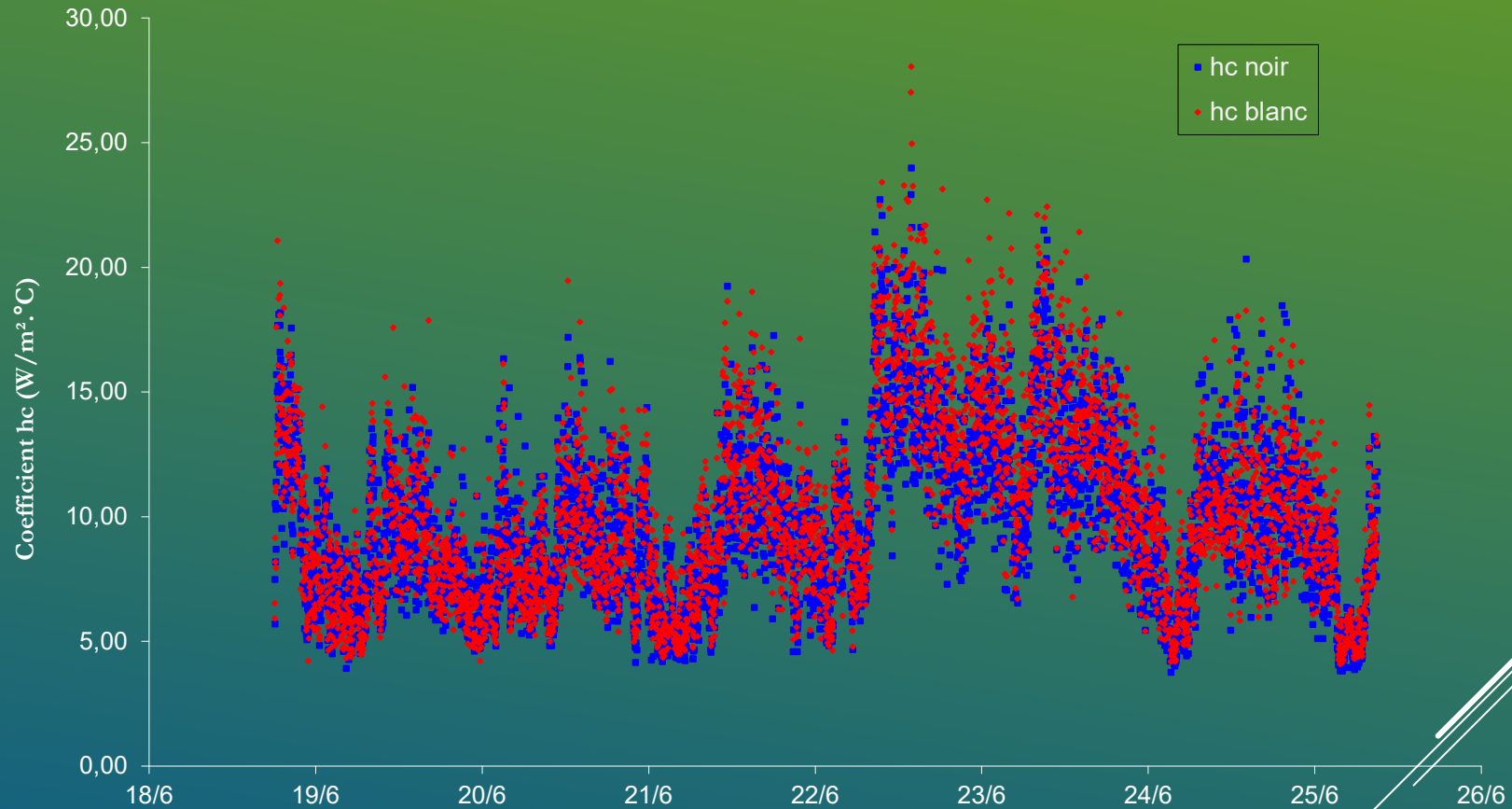
Coefficient brut d'échange thermique par convection (sans chauffage)

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

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

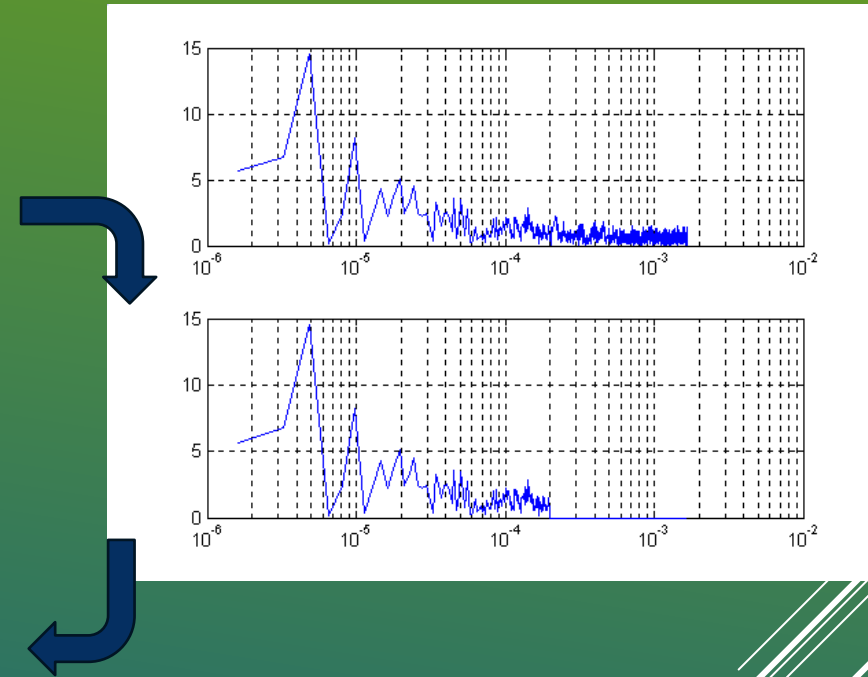
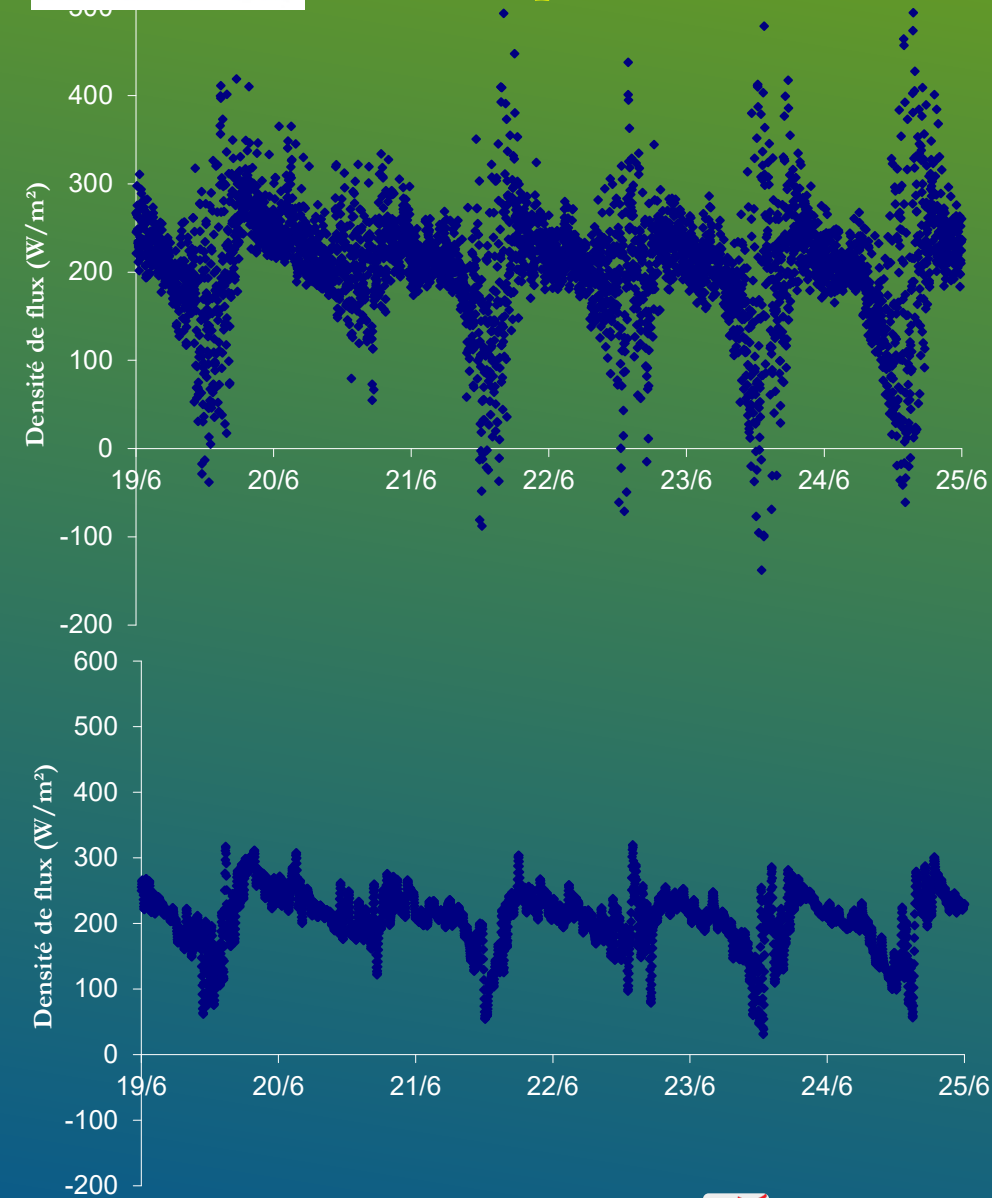


Coefficient d'échange thermique par convection (avec chauffage)



→ signaux encore très bruités mais exploitables

Choix de lisser les flux par Transformée de Fourier inverse



Décomposition fréquentielle du flux noir

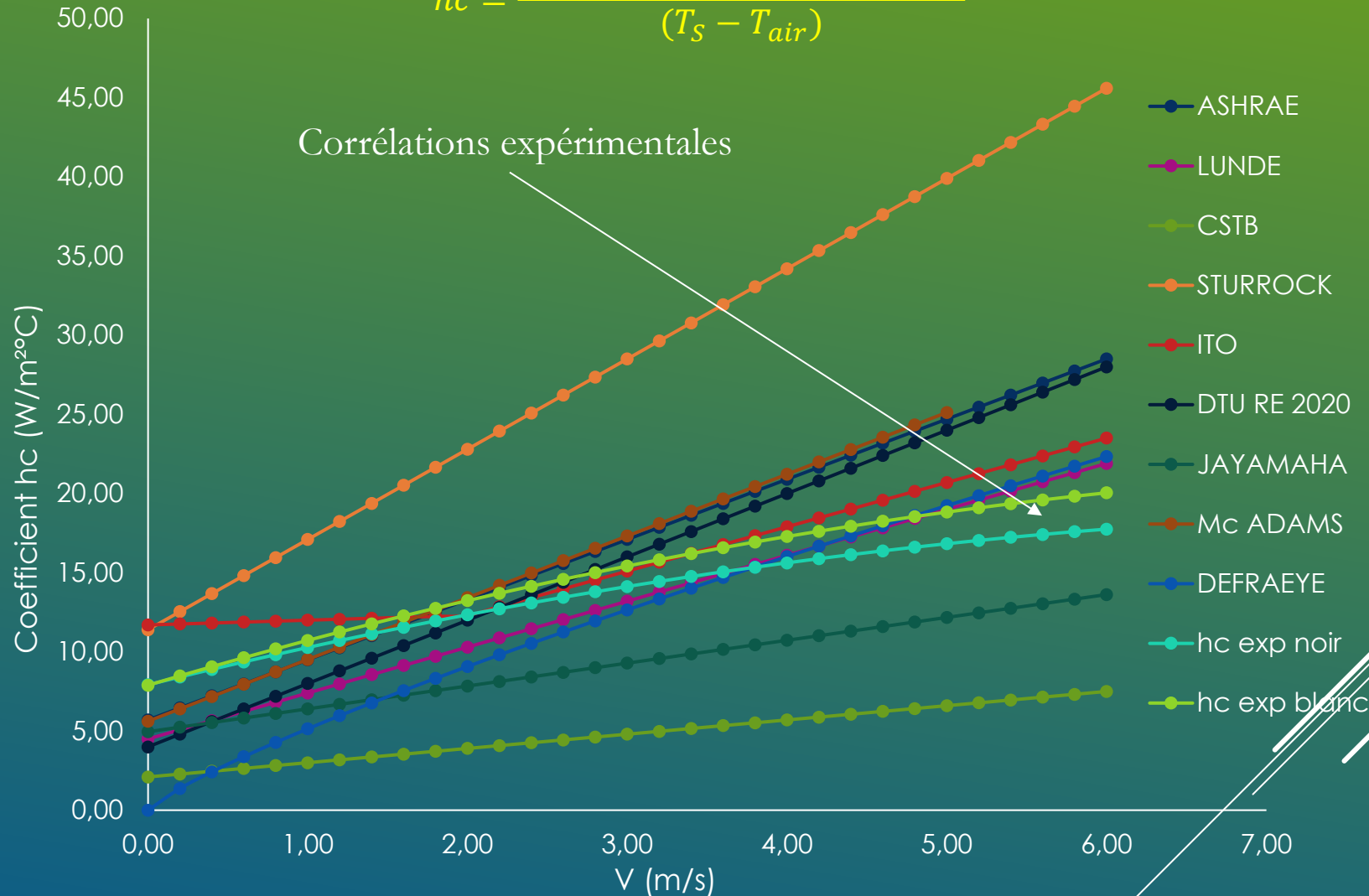
Filtrage (coupe à $\sim 10^{-4}$ Hz)

Coefficients d'échange thermique par rayonnement (hr)

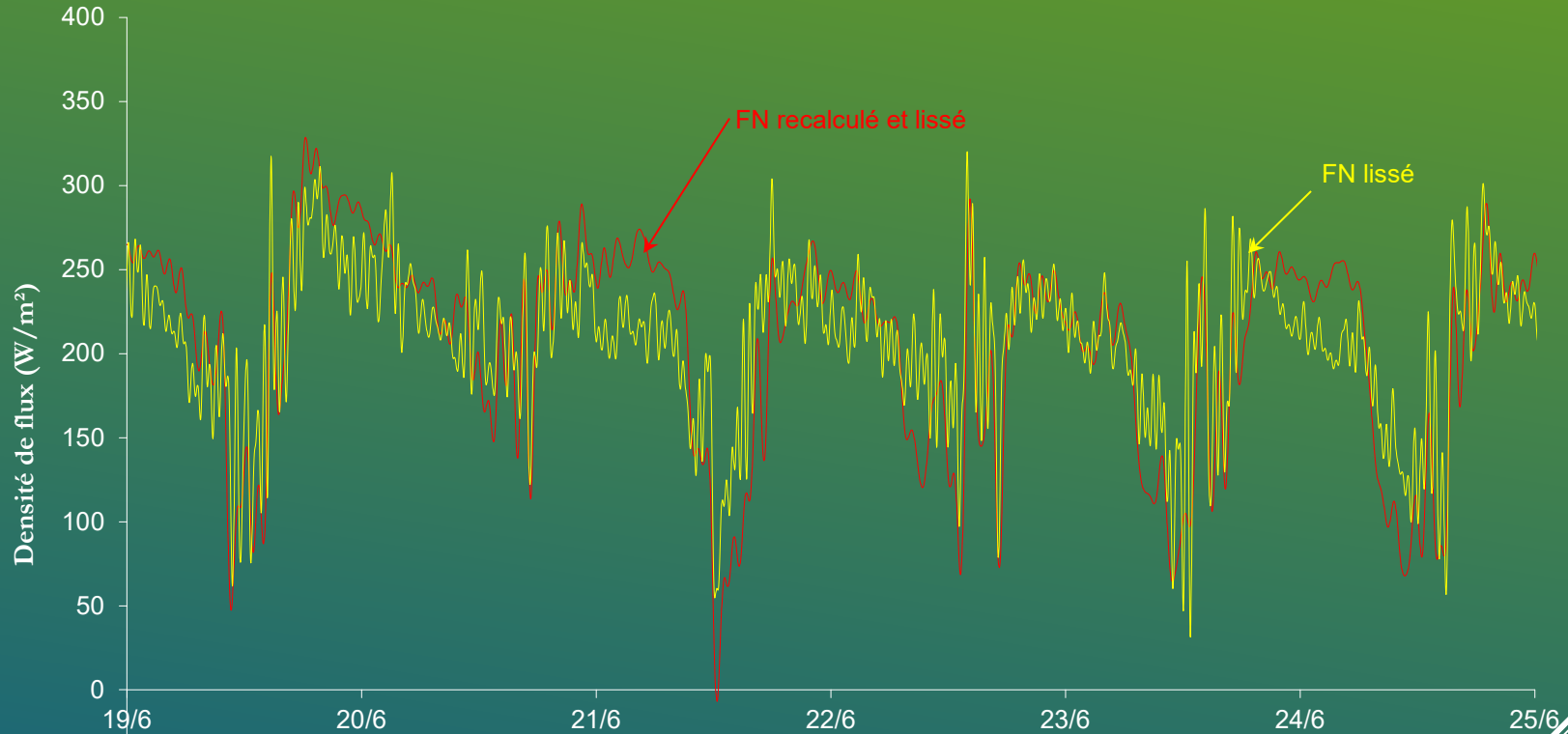


Résultats expérimentaux et corrélations

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



Reconstitution du flux total



Correspondance correcte
entre le flux mesuré lissé et le flux recalculé à partir de la corrélation

Reconstitution du flux

- Les corrélations des h_c expérimentaux trouvés se dispersent légèrement quand la vitesse du vent augmente. (Pb: propreté 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. A basse vitesse le chauffage du capteur rends la convection « naturelle » prépondérante Nous nous trouvons donc dans la zone de plus grande incertitude au niveau de la détermination du coefficient d'échange.

Conclusions :

- Le dispositif semble adapté au problème posé, possibilité d'une caractérisation locale des échanges entre une paroi et l'environnement climatique
- La sélectivité des capteurs vis-à-vis des rayonnements thermiques est un procédé intéressant.

Perspectives :

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

Merci pour votre attention