

# Caractérisation expérimentale de la CONDENSATION d'AIR HUMIDE

**Frédéric PLOURDE (DR)**  
**Institut PPrime**, Département Fluide-Thermique-Combustion  
Axe COST « Convection, Optimisation, Systèmes Thermiques » **ENSMA**

Partenaire Industriel : LIEBHERR Aerospace Toulouse

## **Principaux résultats**

### **Développement de la soufflerie HUMIDE**

Influence de la teneur en humidité (flux convectif)

Mécanismes de condensation (flux latent)

Mécanismes de condensation (flux global et convectif)

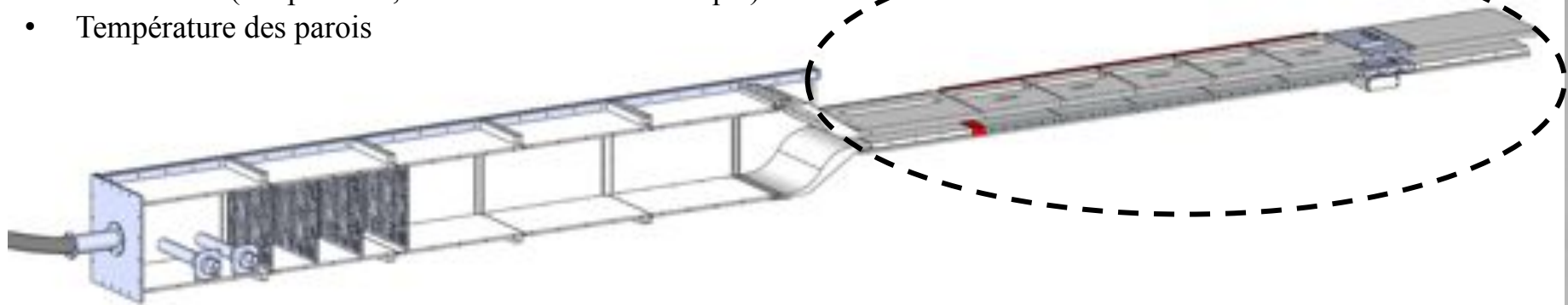
Traitements de surface contrôlés

# Développement de la soufflerie HUMIDE

## Soufflerie HUMIDE Conception et Développement

Contrôle fin des conditions aux limites:

- Air humide (température, humidité et débit massique)
- Température des parois



# Développement de la soufflerie HUMIDE

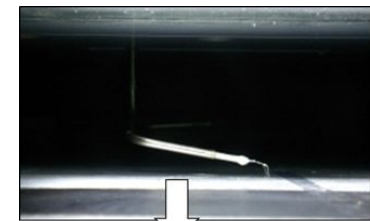
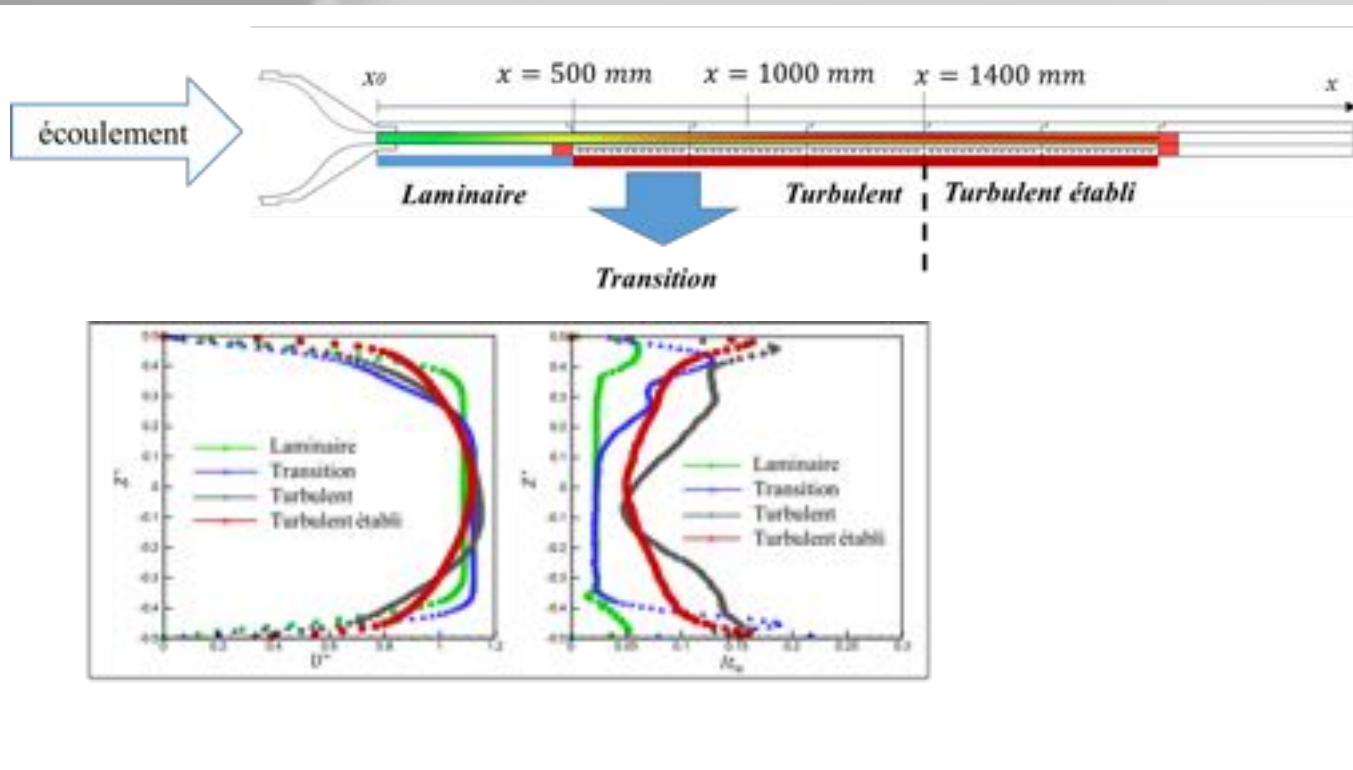
(Caractérisation de la veine d'essais)

Soufflerie HUMIDE  
Recherche et Développement

- Caractérisation de la veine d'essais
- dynamique (vitesse d'écoulement)
  - thermique (flux convectif)

?

1 – Influence de la teneur en humidité sur le transfert convectif



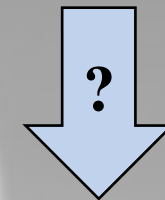
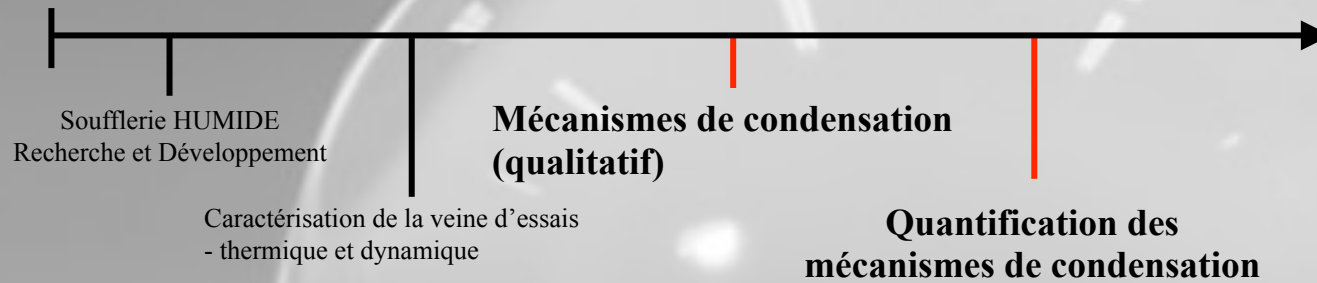
Visualisation de la sonde  
AVEC télescope



Sonde thermocouple fin  
12.7  $\mu\text{m}$

# Développement de la soufflerie HUMIDE

(quantification du transfert latent)



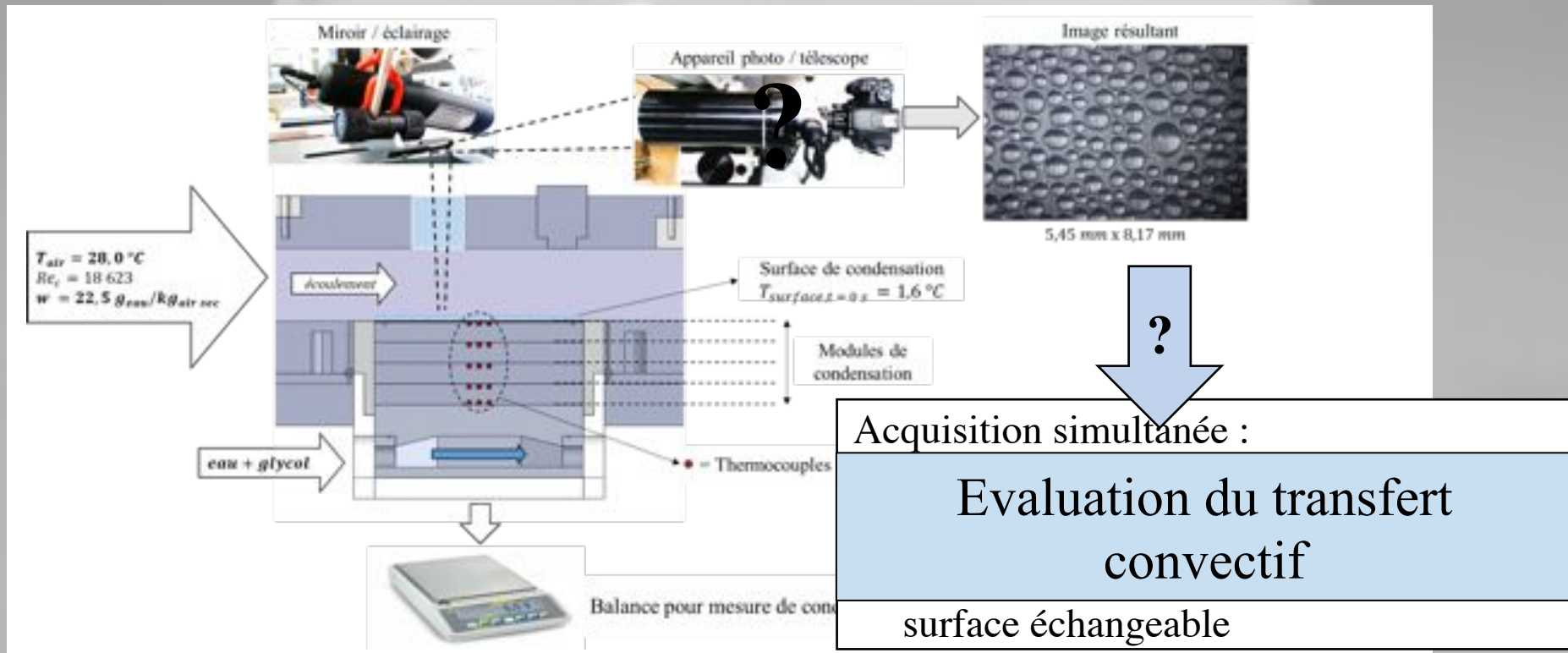
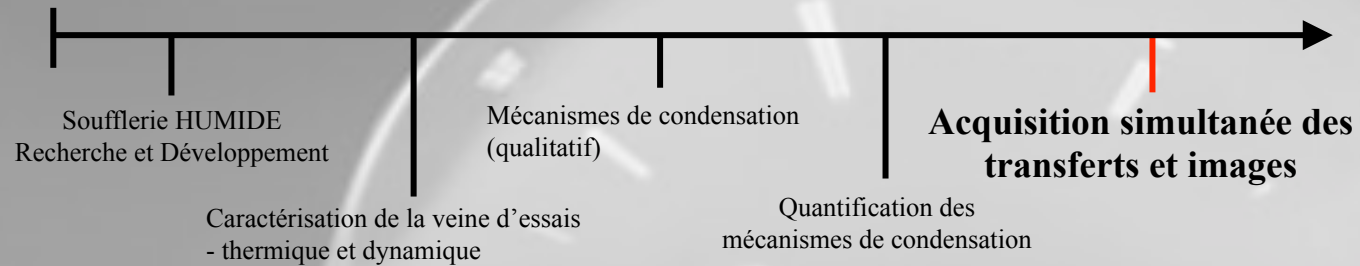
Influence des paramètres clés sur le transfert latent



Plaques Liebherr

# Développement de la soufflerie HUMIDE

(quantification du transfert global et convectif)



# Principaux résultats

Développement de la soufflerie HUMIDE

**Influence de la teneur en humidité (flux convectif)**

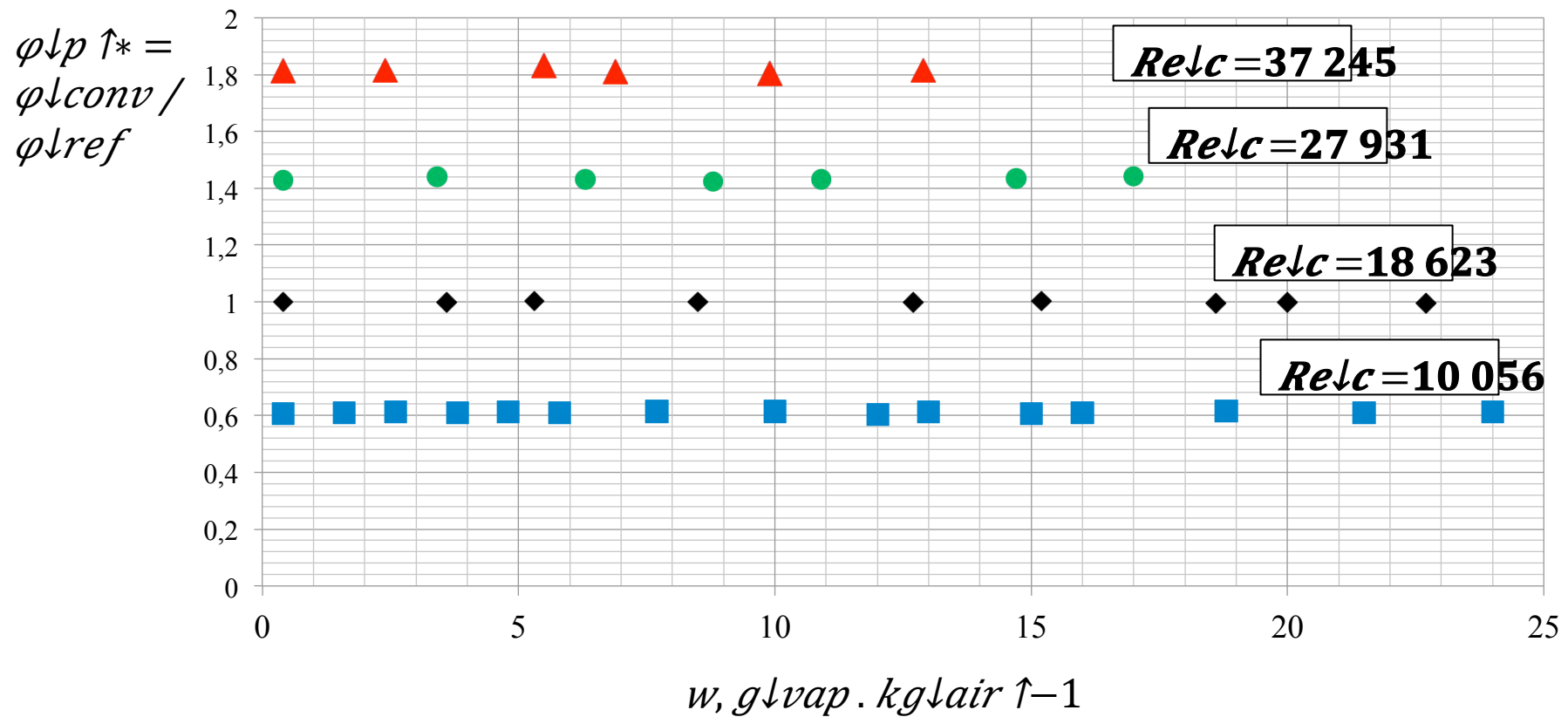
Mécanismes de condensation (flux latent)

Mécanismes de condensation (flux global et convectif)

Traitements de surface contrôlés

# Air humide non saturé

(Influence de la teneur en humidité sur le transfert convectif)





## **Principaux résultats**

Développement de la soufflerie HUMIDE

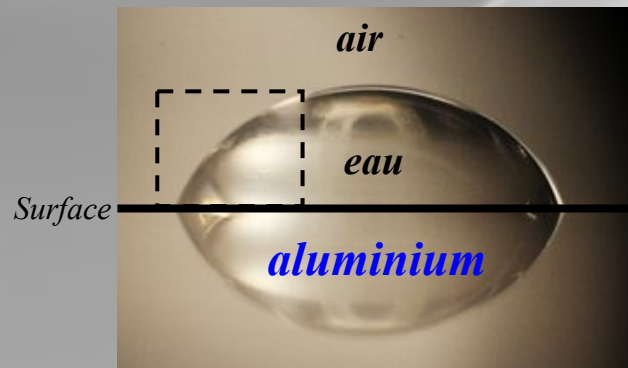
Influence de la teneur en humidité (flux convectif)

**Mécanismes de condensation (flux latent)**

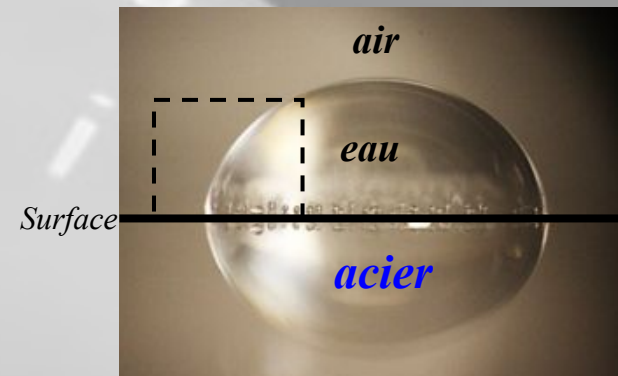
Mécanismes de condensation (flux global et convectif)

Traitements de surface contrôlés

# Evolution du condensat



- ✓ Régime de flaques d'eau
- ✓ Absence d'interstices entre gouttes
- ✓ Formation de film liquide stationnaire



- ✓ Formation de gouttes « déformées »
- ✓ Mouvement des frontières
- ✓ Coexistence de tailles de gouttes différentes



1 mm



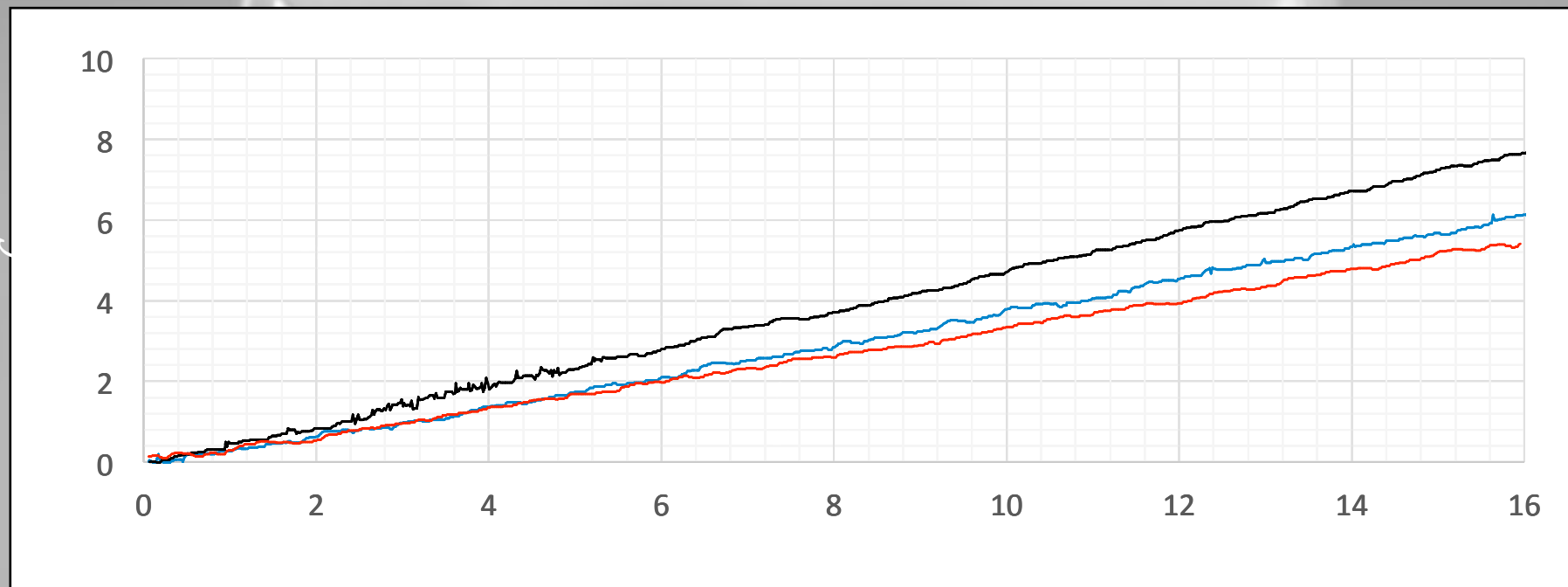
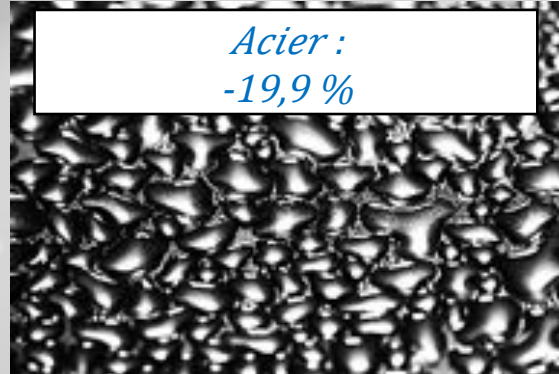
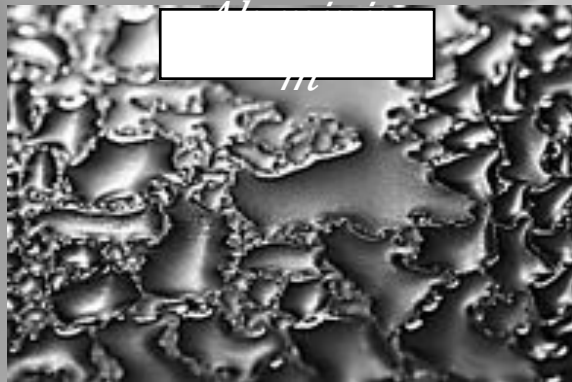
1 mm

Images : 5,45 mm x 8,56 mm

Durée réelle : 16 min

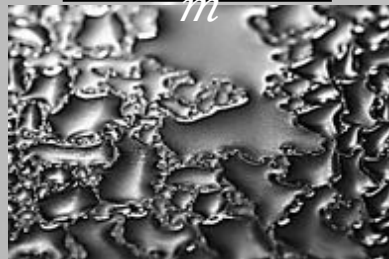
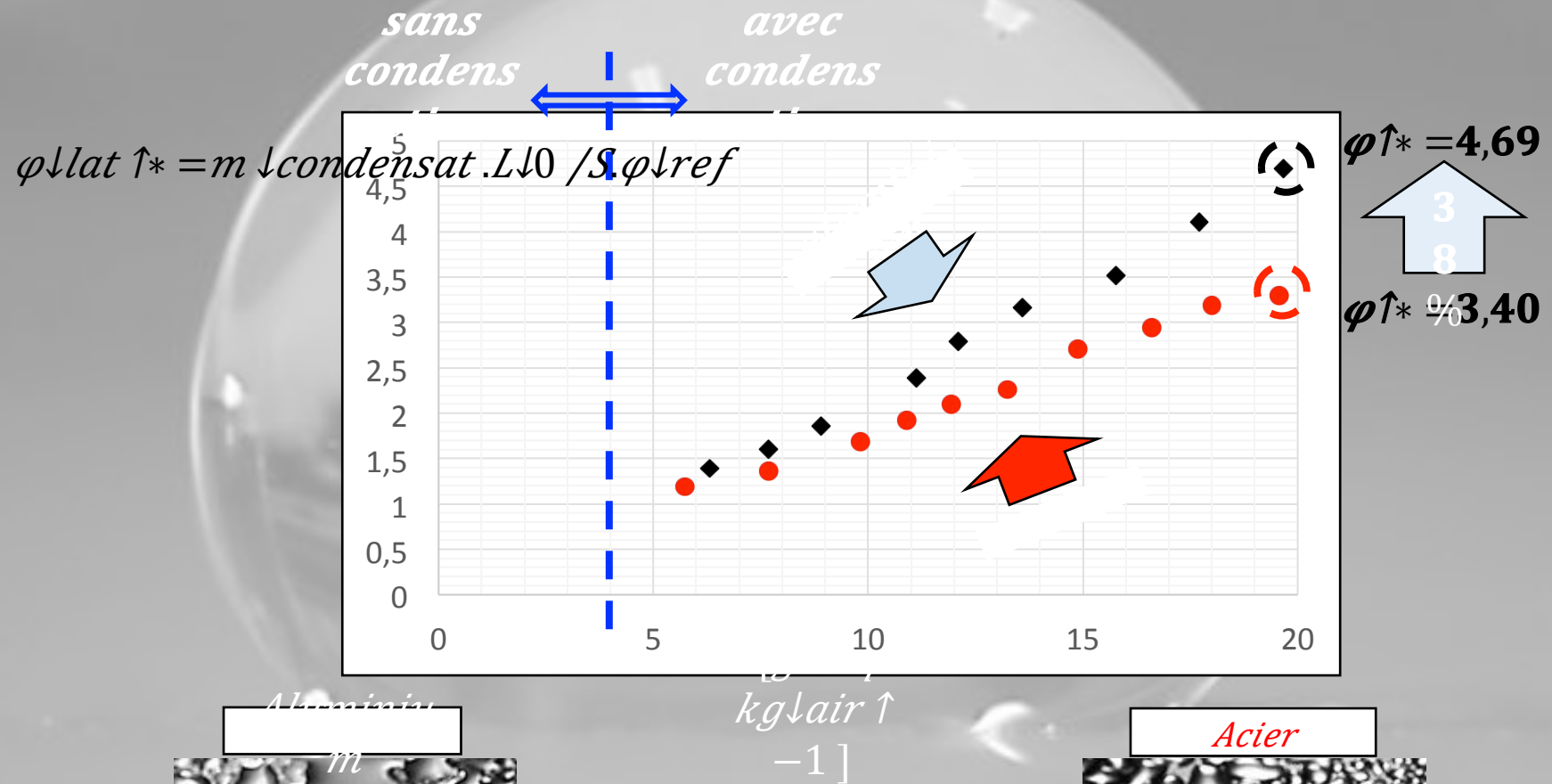
# Evolution de masse condensée

(surfaces Liebherr et surface de référence)

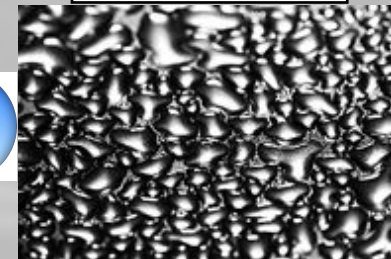


# Evolution de masse condensée

(surfaces Liebherr avec humidité variable : de 1,7 % à 82%)



**Flux global**



## **Principaux résultats**

Développement de la soufflerie HUMIDE

Influence de la teneur en humidité (flux convectif)

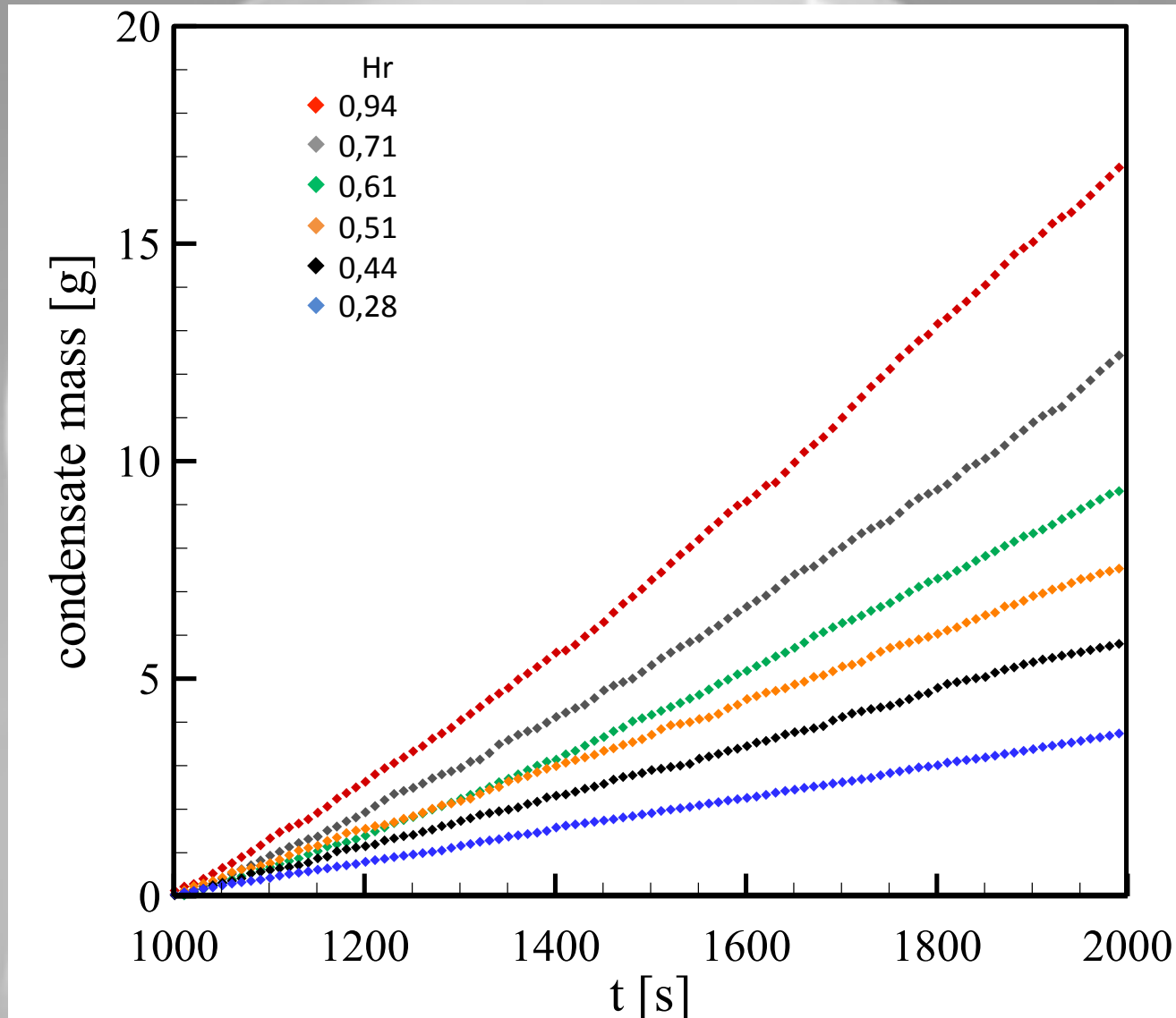
Mécanismes de condensation (flux latent)

**Mécanismes de condensation (flux global et convectif)**

Traitements de surface contrôlés

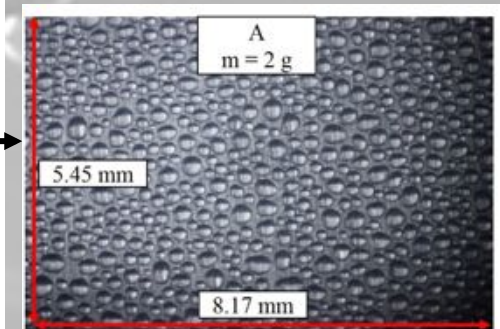
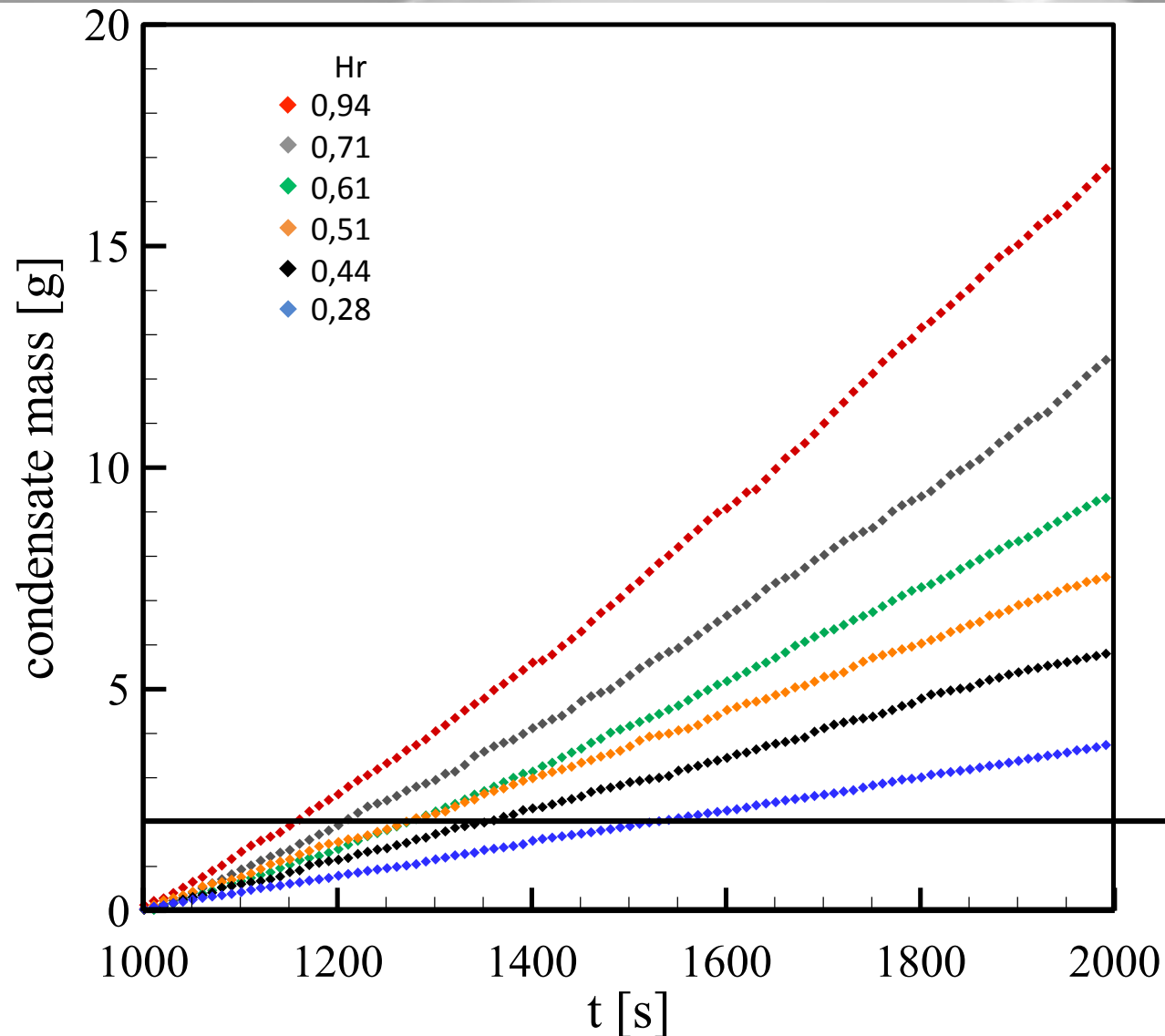
# Estimation des flux global et convectif

(acquisition de masse condensée : 28 % < Hr < 94 %)



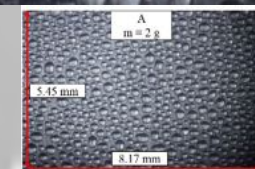
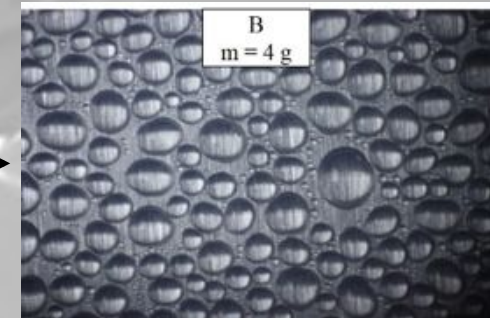
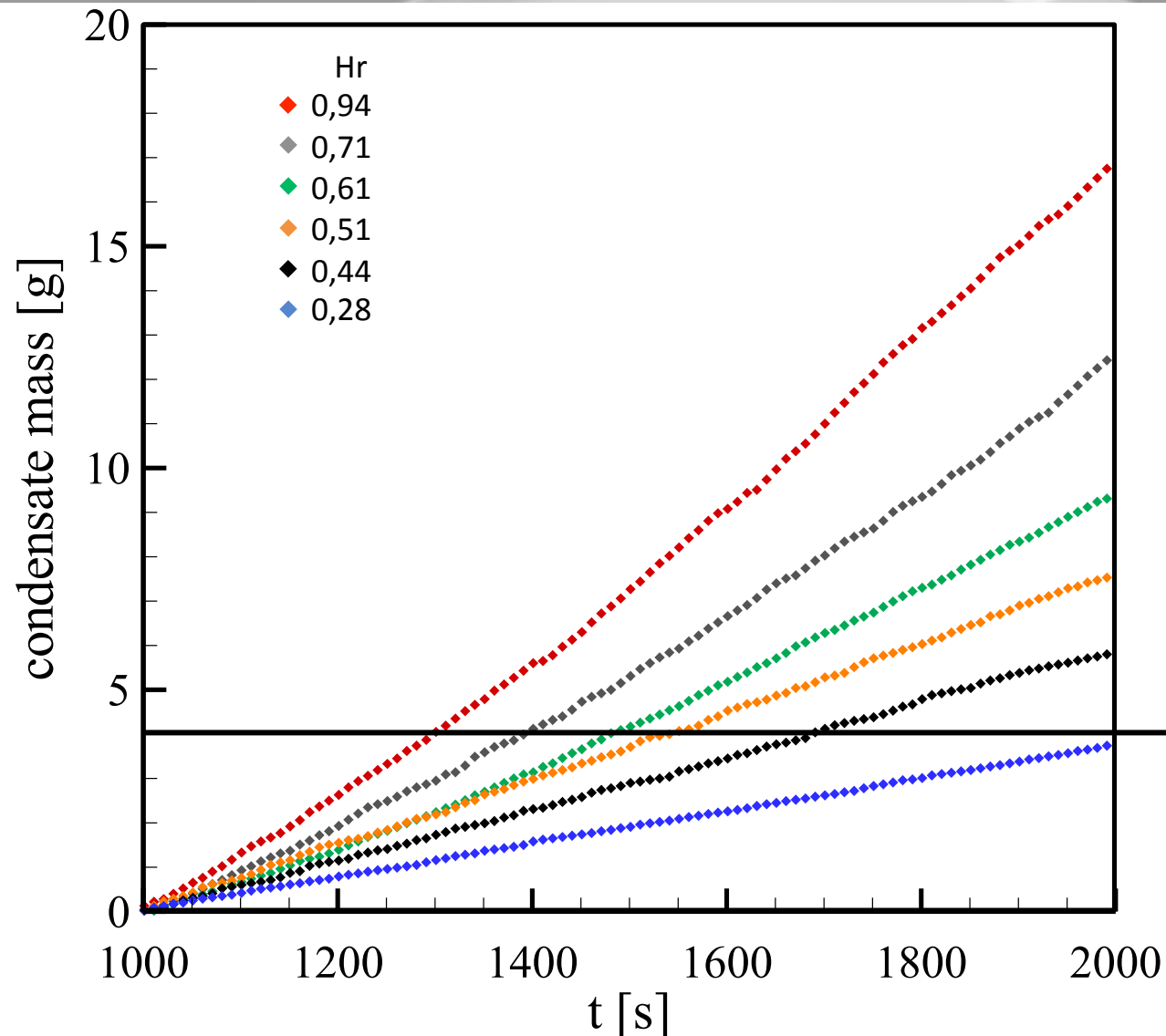
# Estimation des flux global et convectif

(acquisition de masse condensée : 28 % < Hr < 94 %)



# Estimation des flux global et convectif

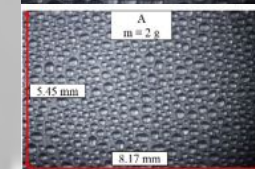
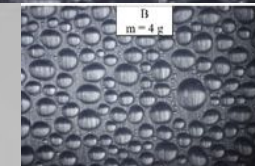
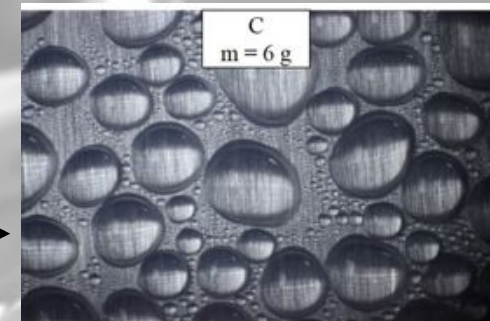
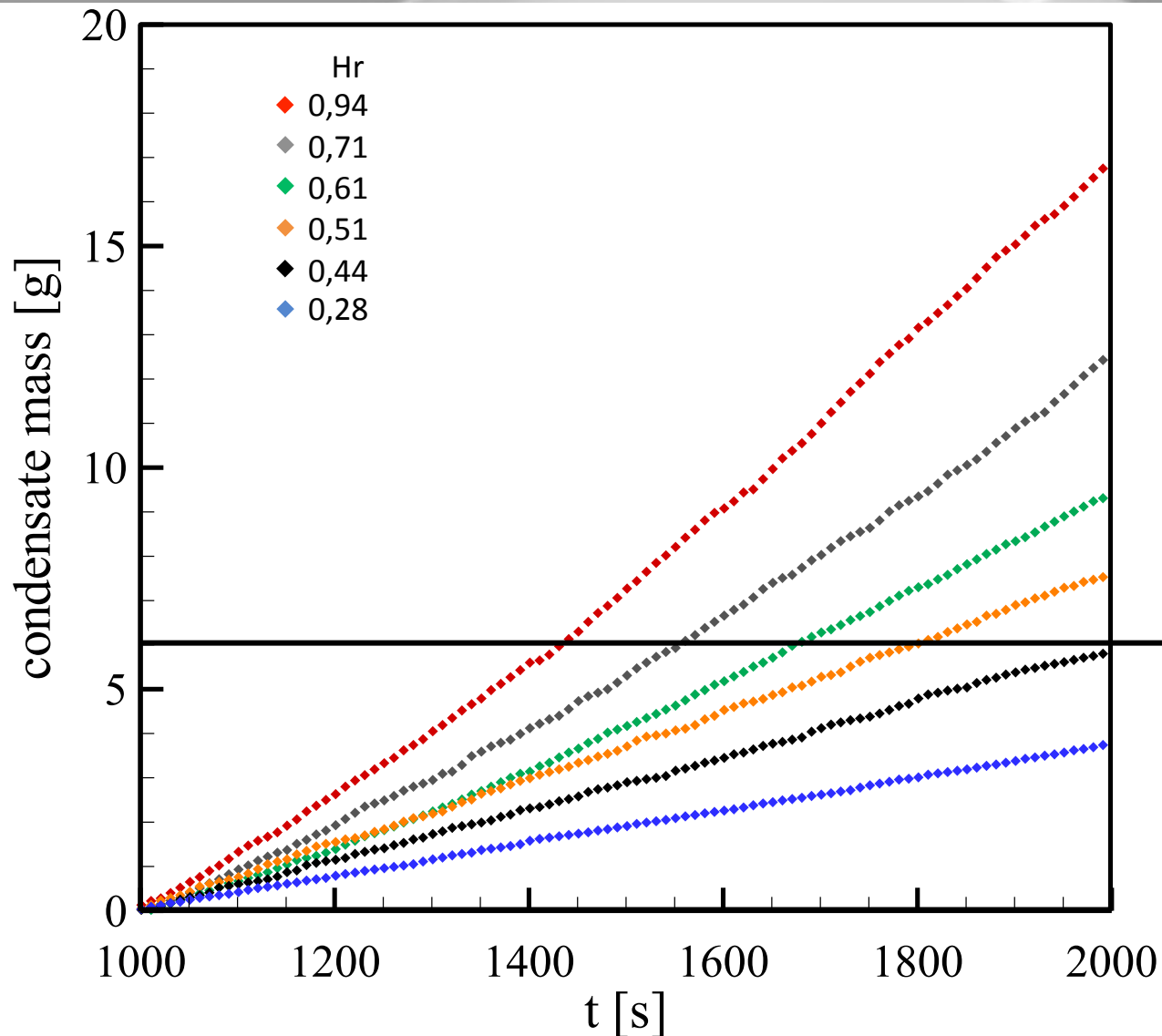
(acquisition de masse condensée : 28 % < Hr < 94 %)





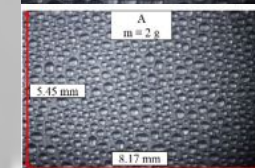
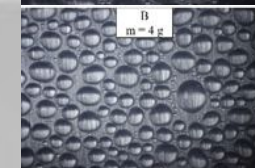
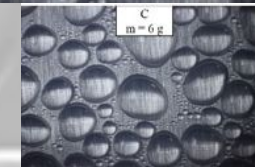
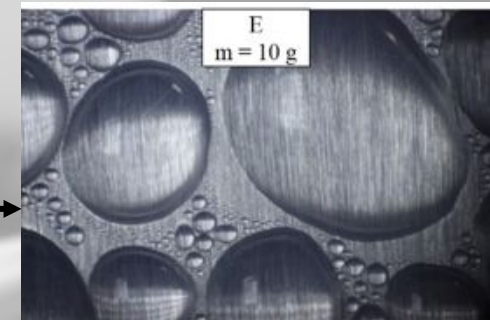
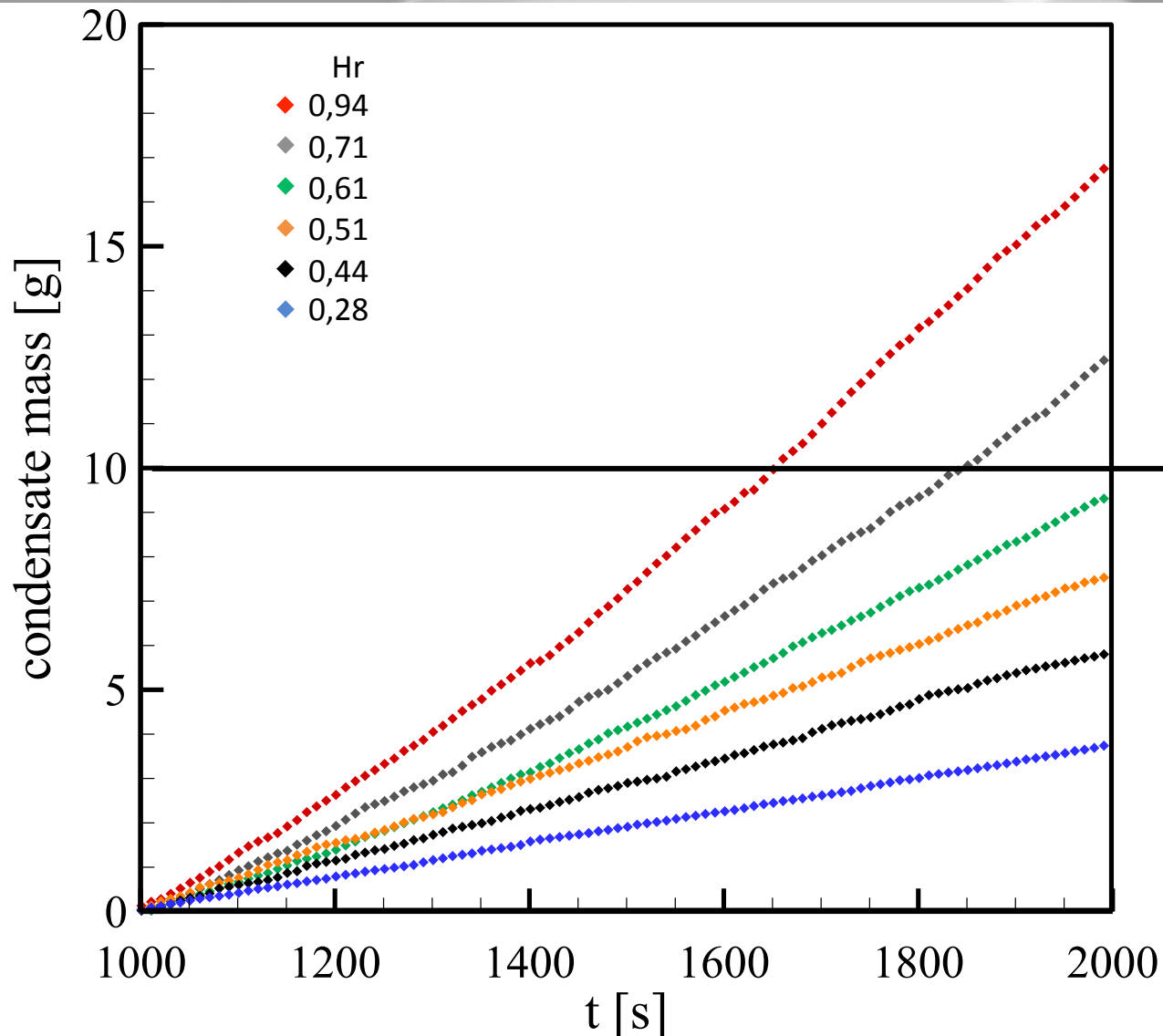
# Estimation des flux global et convectif

(acquisition de masse condensée : 28 % < Hr < 94 %)



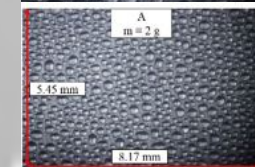
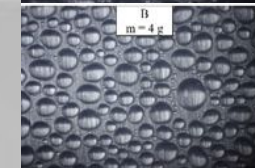
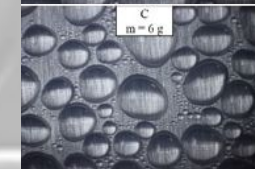
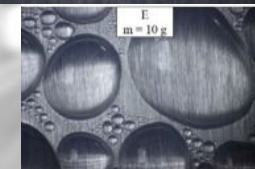
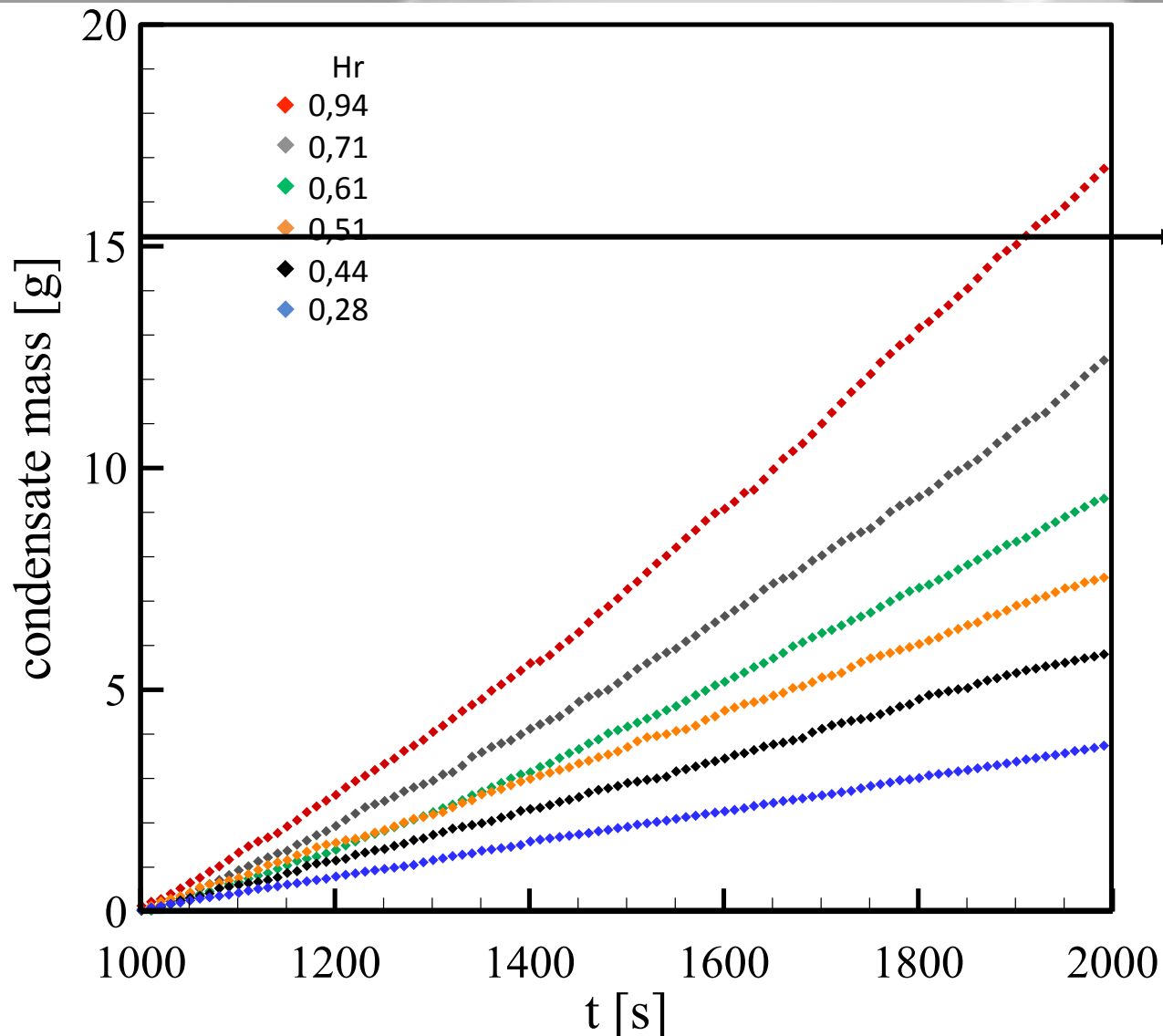
# Estimation des flux global et convectif

(acquisition de masse condensée : 28 % < Hr < 94 %)



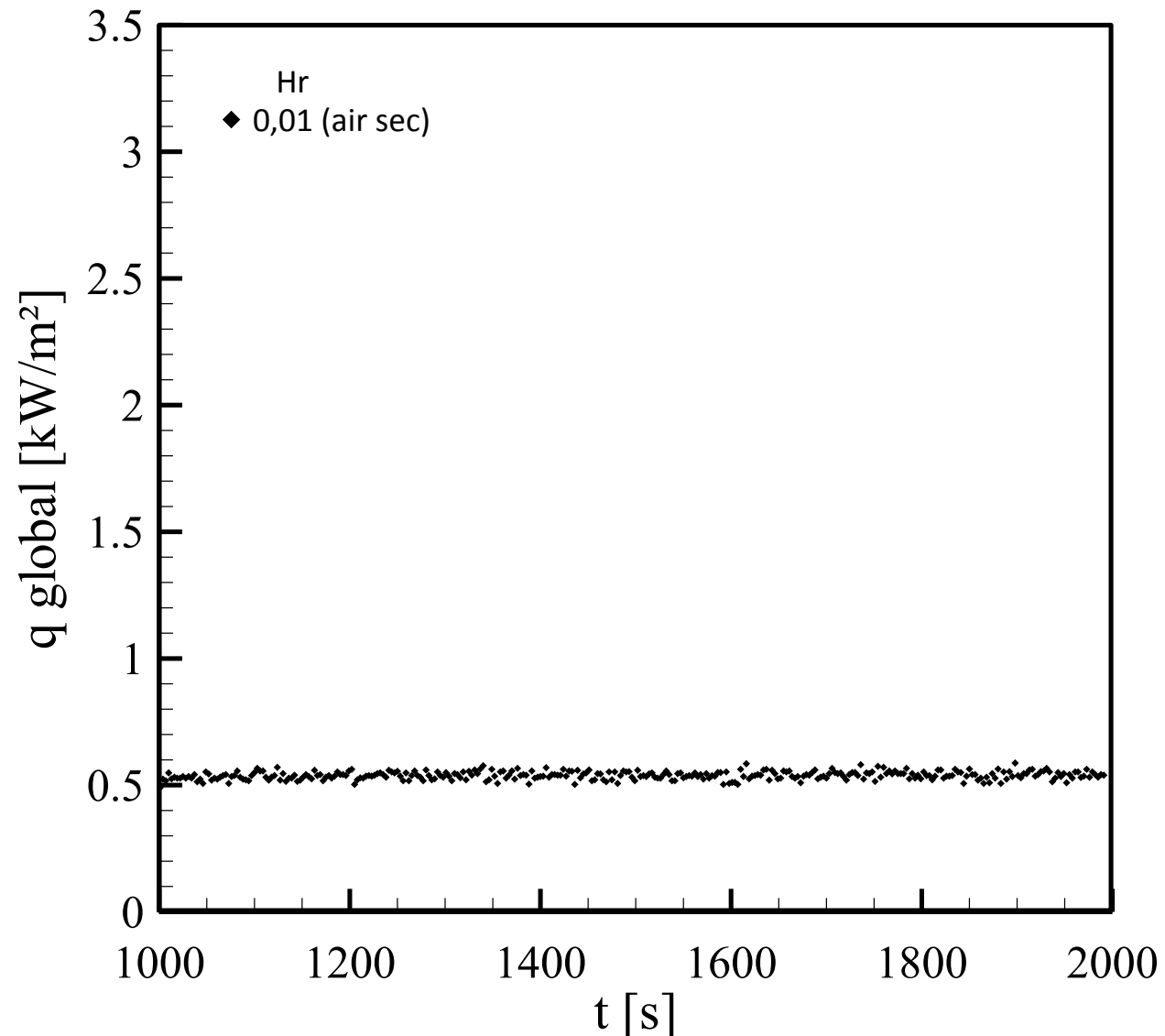
# Estimation des flux global et convectif

(acquisition de masse condensée : 28 % < Hr < 94 %)



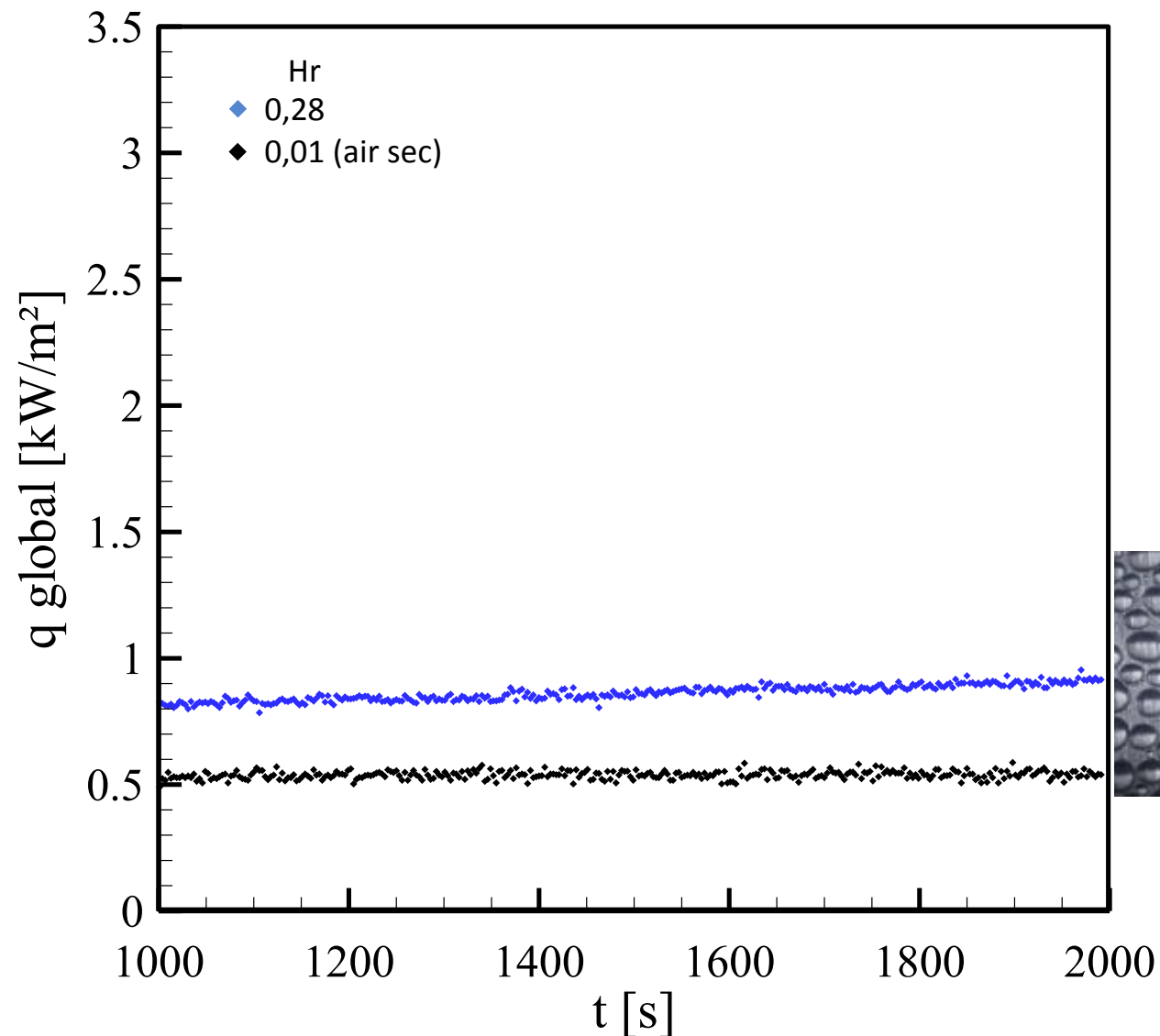
# Estimation des flux global et convectif

(acquisition de flux global : 1 % < Hr < 94 %)



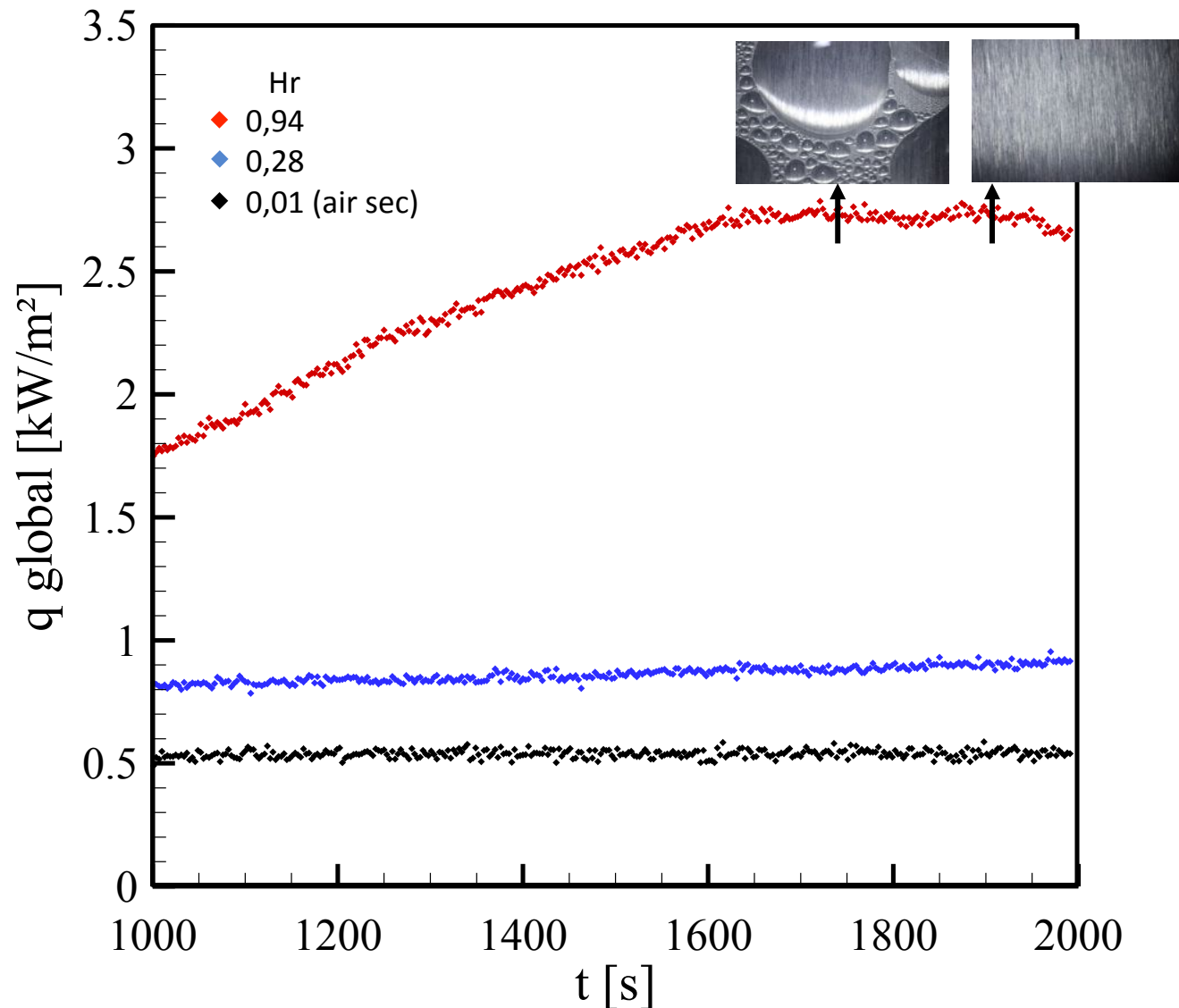
# Estimation des flux global et convectif

(acquisition de flux global : 1 % < Hr < 94 %)



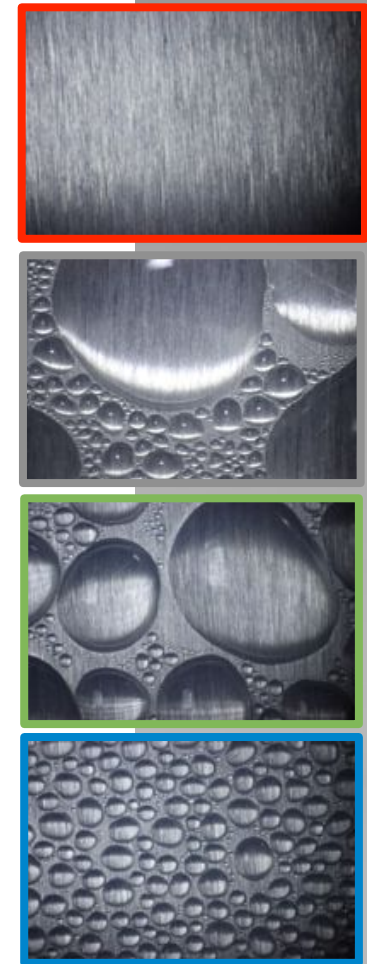
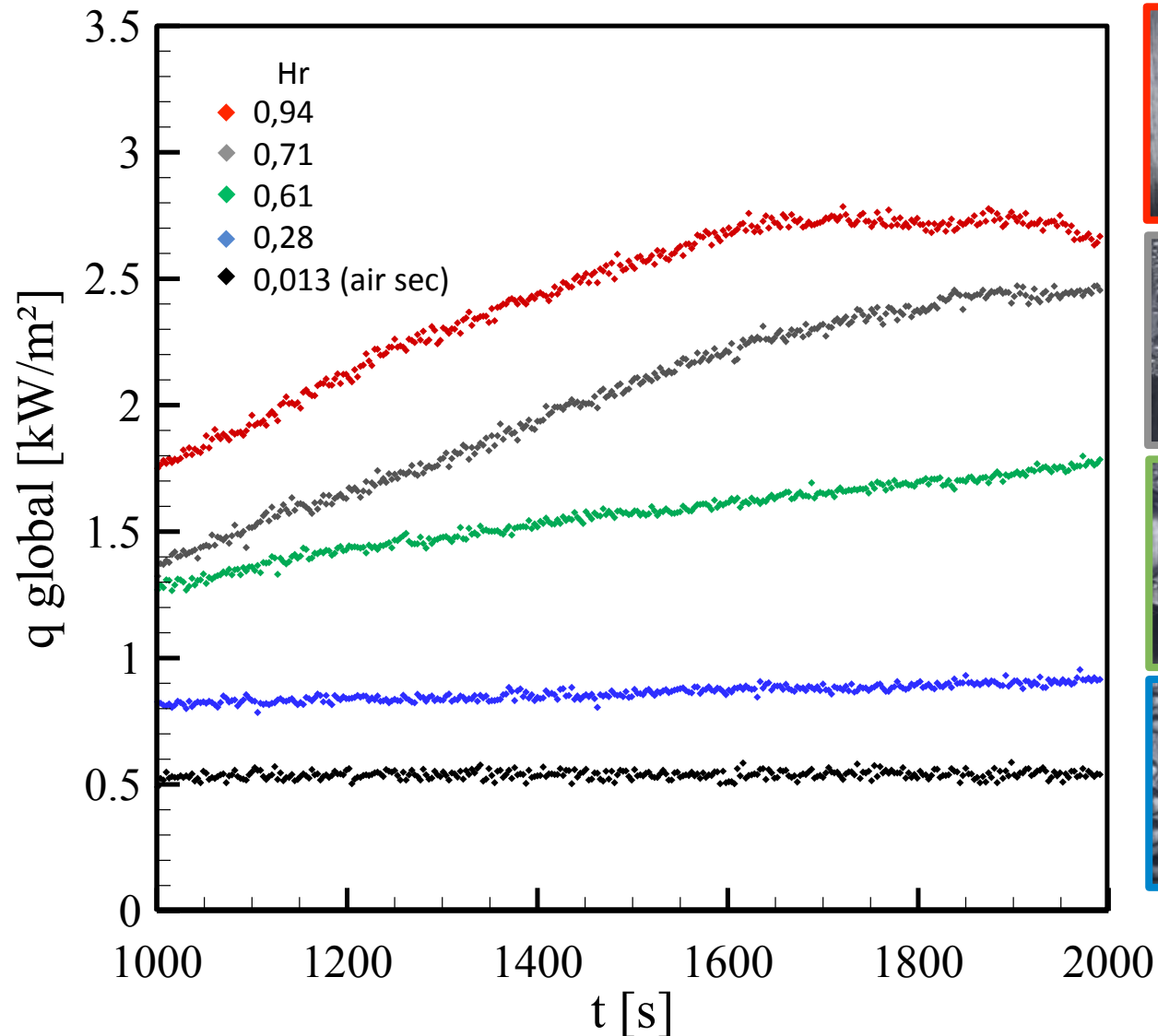
# Estimation des flux global et convectif

(acquisition de flux global : 1 % < Hr < 94 %)



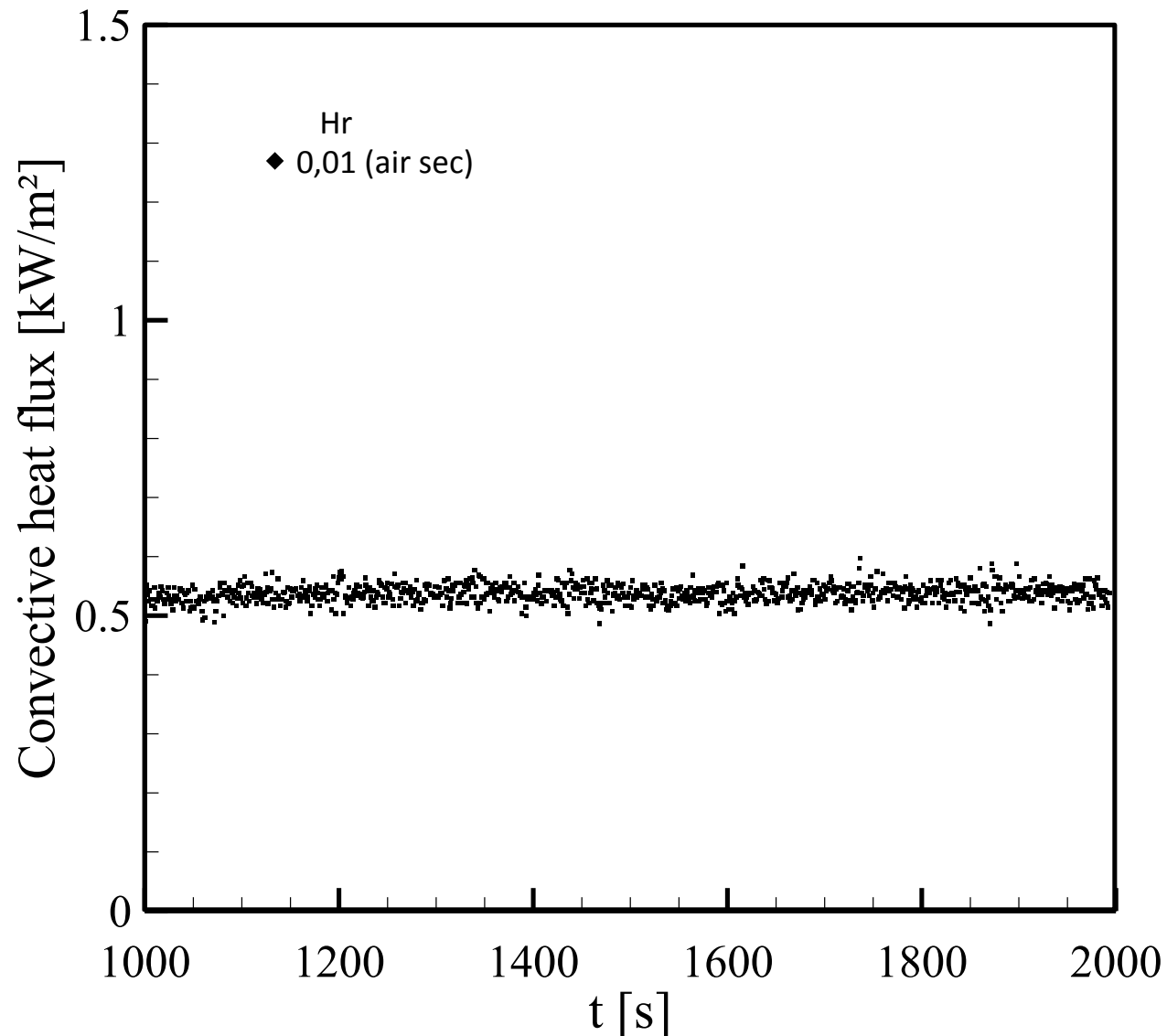
# Estimation des flux global et convectif

(acquisition de flux global : 1 % < Hr < 94 %)



# Estimation des flux global et convectif

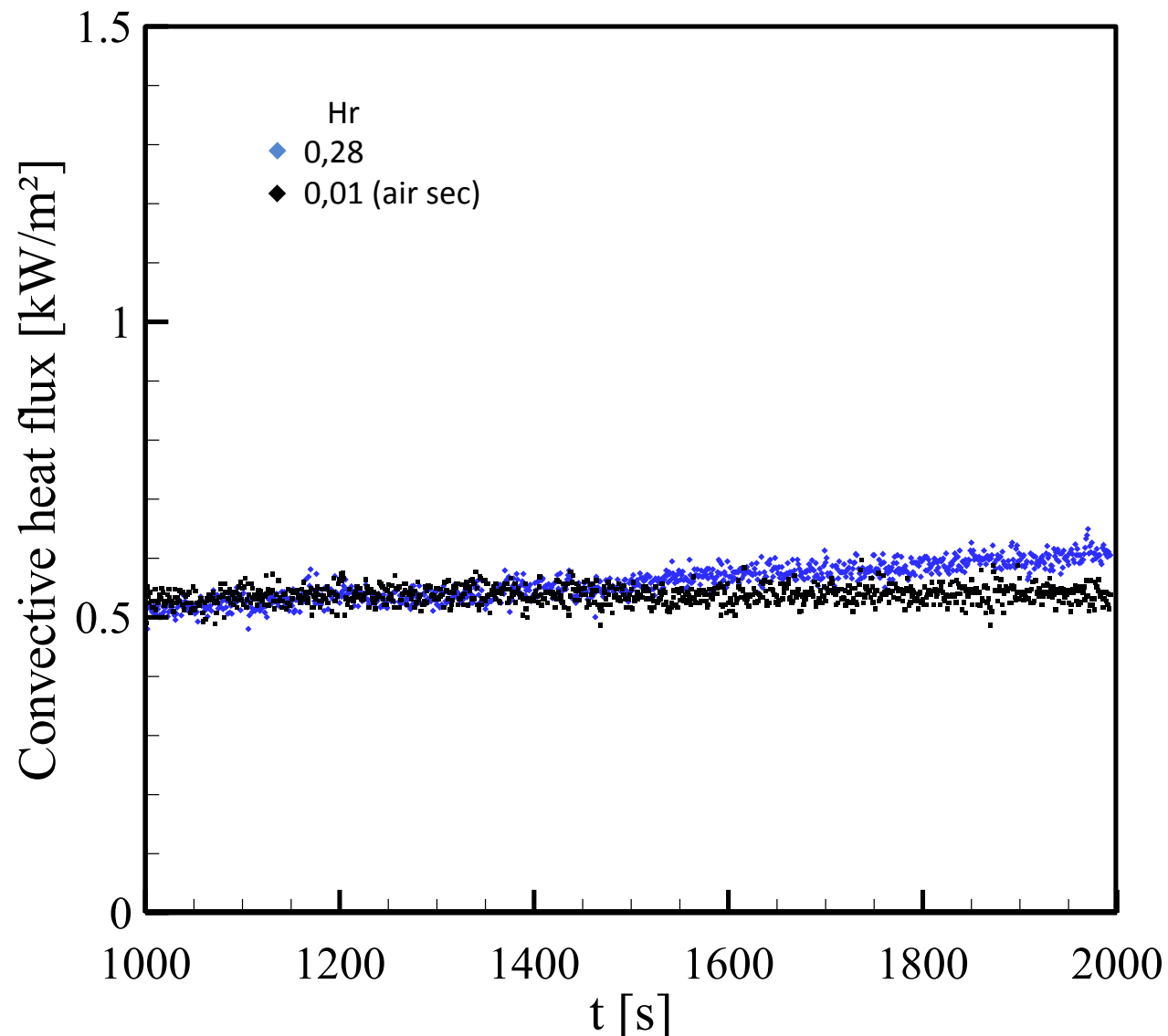
(estimation de flux convectif : 1 % < Hr < 94 %)





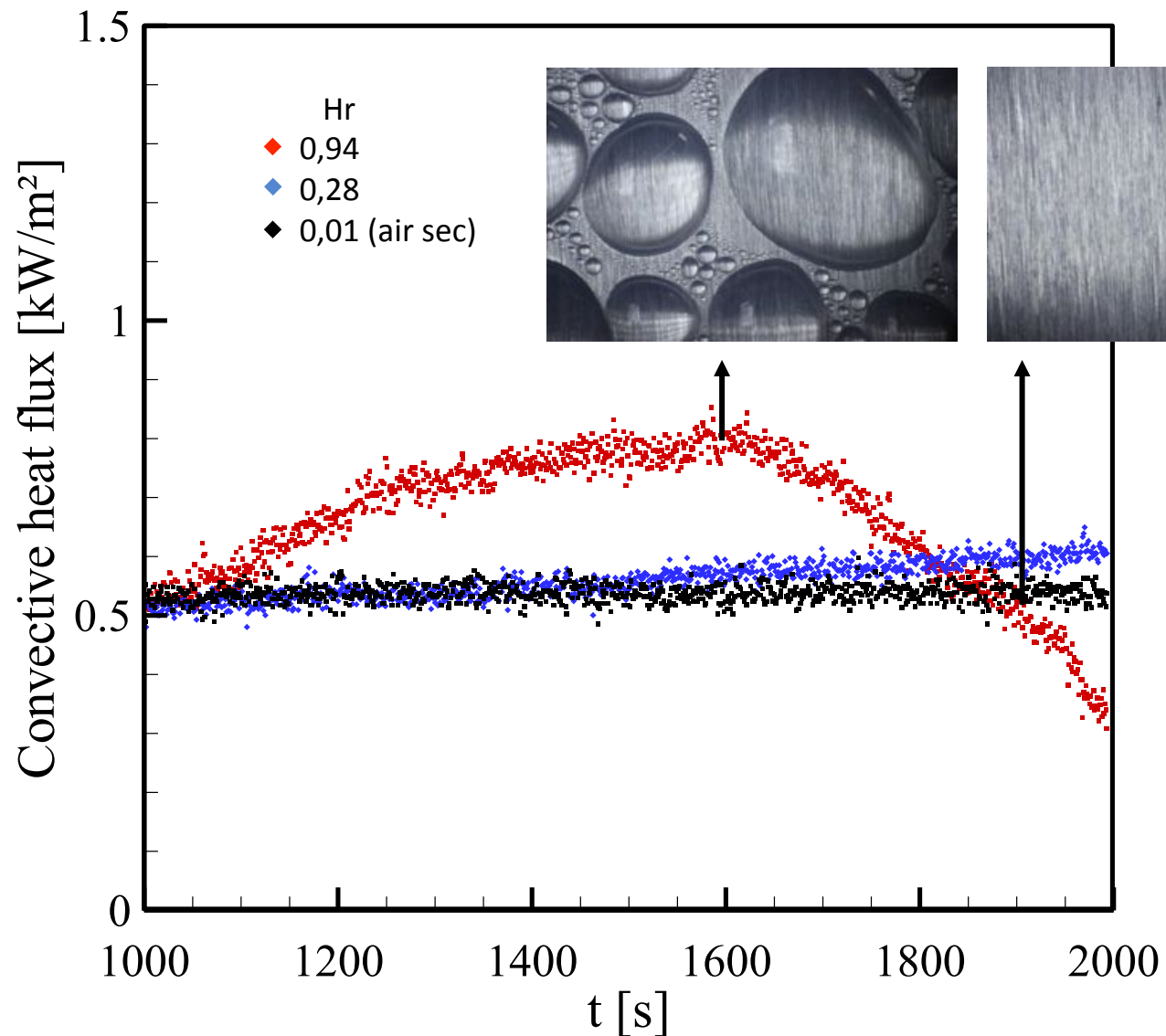
# Estimation des flux global et convectif

(estimation de flux convectif : 1 % < Hr < 94 %)



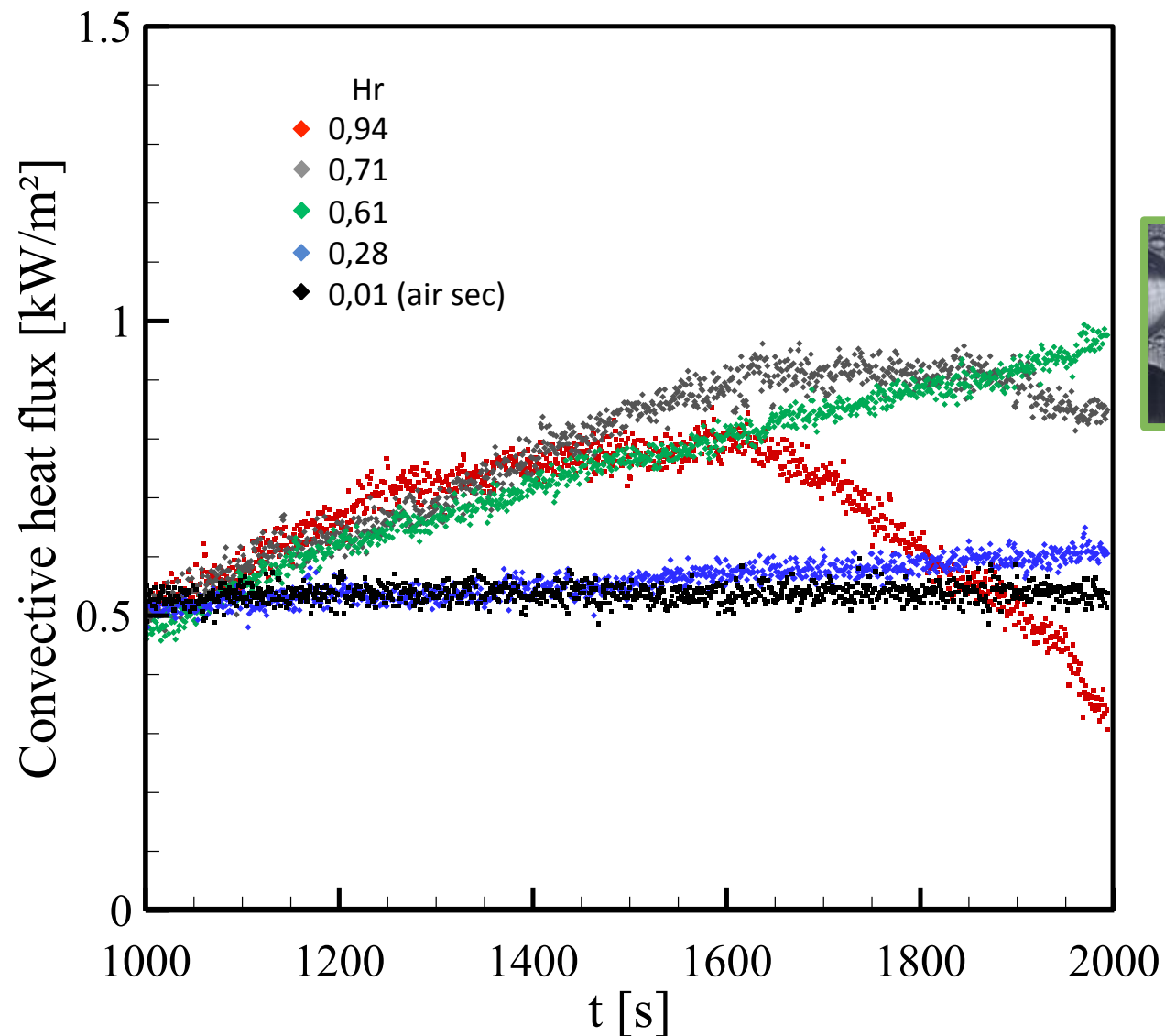
# Estimation des flux global et convectif

(estimation de flux convectif :  $1 \% < Hr < 94 \%$ )



# Estimation des flux global et convectif

(estimation de flux convectif : 1 % < Hr < 94 %)



## **Principaux résultats**

Développement de la soufflerie HUMIDE

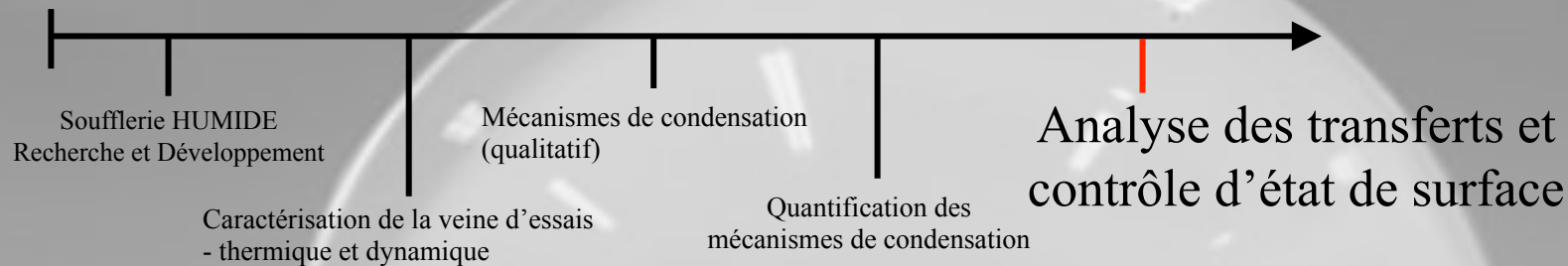
Influence de la teneur en humidité (flux convectif)

Mécanismes de condensation (flux latent)

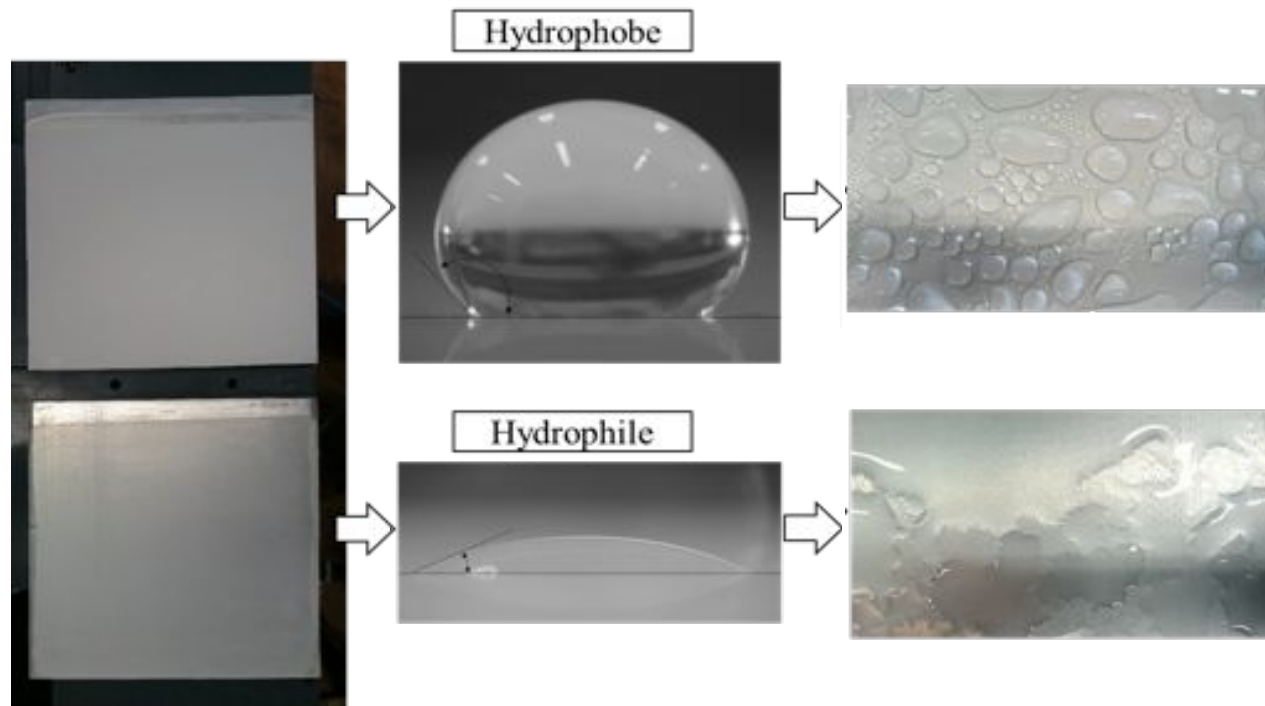
Mécanismes de condensation (flux global et convectif)

**Traitements de surface contrôlés**

# Application des traitements surfaciques

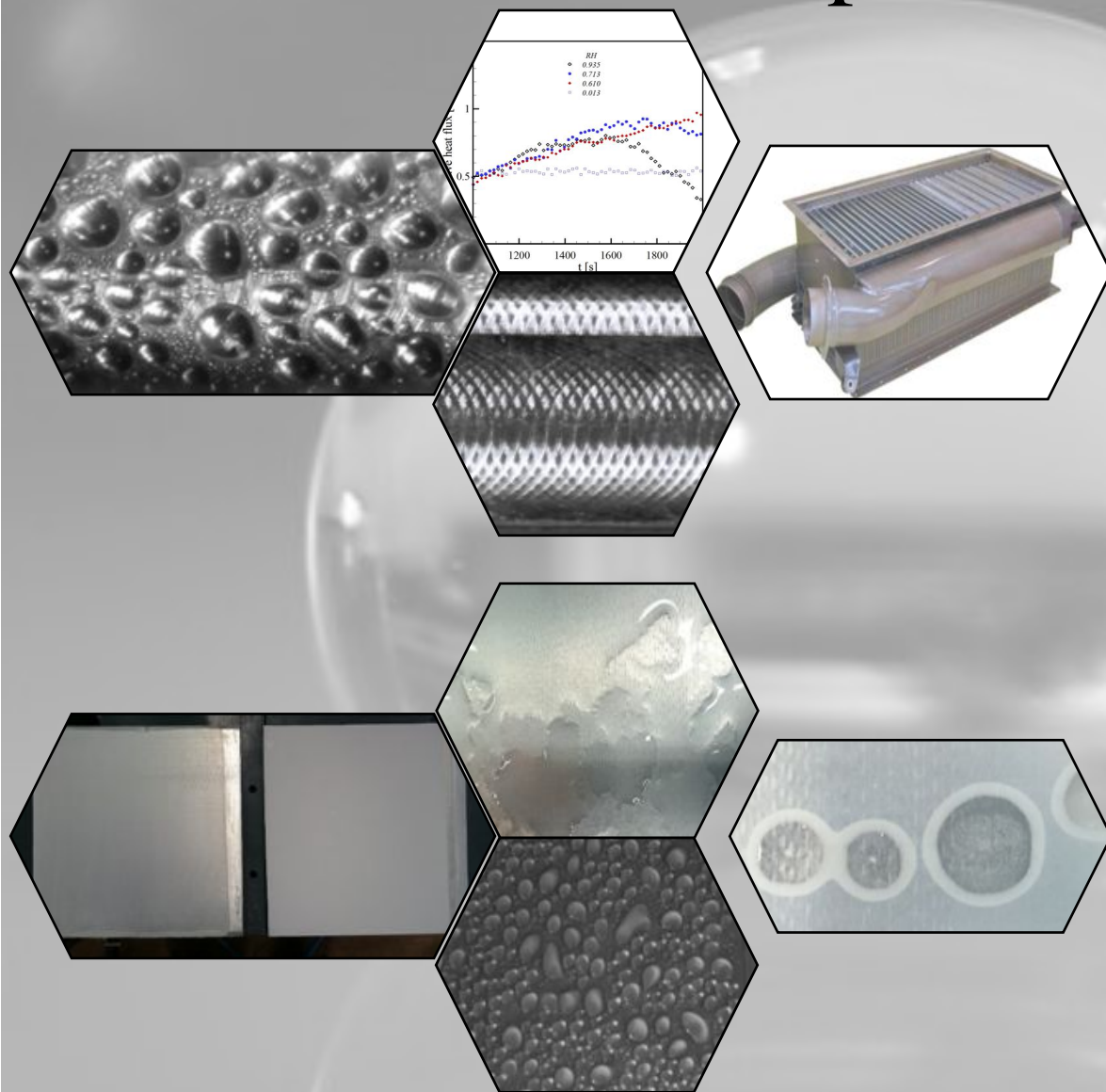


- Traitement chimique sur plaques en aluminium



- Comportements extrêmes (hydrophobe et hydrophile)
- Analyse couplée des transferts

# Perspectives



## Intercalaires

- ✓ Analyse des transferts couplés
- ✓ Fabrication d'intercalaires avec traitements surfaciques
- ✓ Rôle de l'état de surface sur le mouvement des gouttes et sur le transfert thermique
- ✓ ....

## Recherche appliquée

- ✓ Nouveaux traitements surfaciques
- ✓ Durée de vie du traitement
- ✓ Résistance thermique



*Merci de votre attention*