

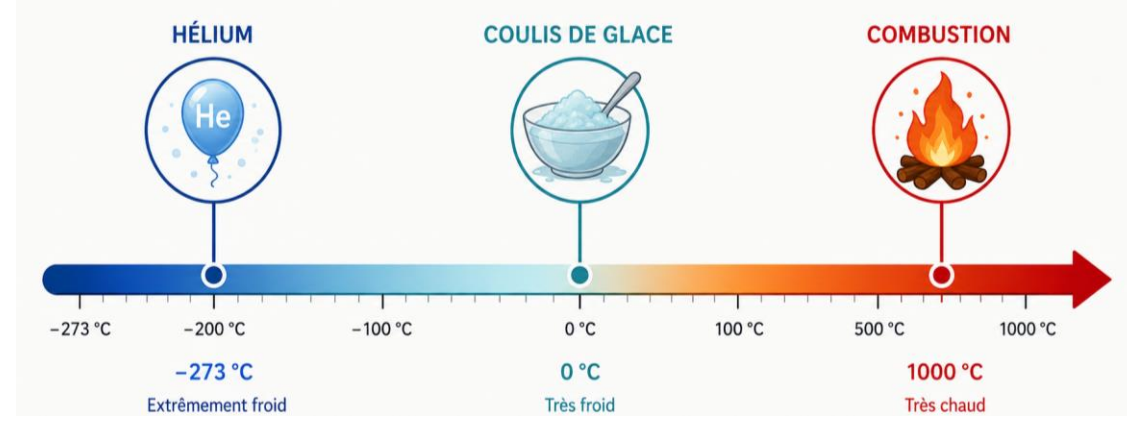
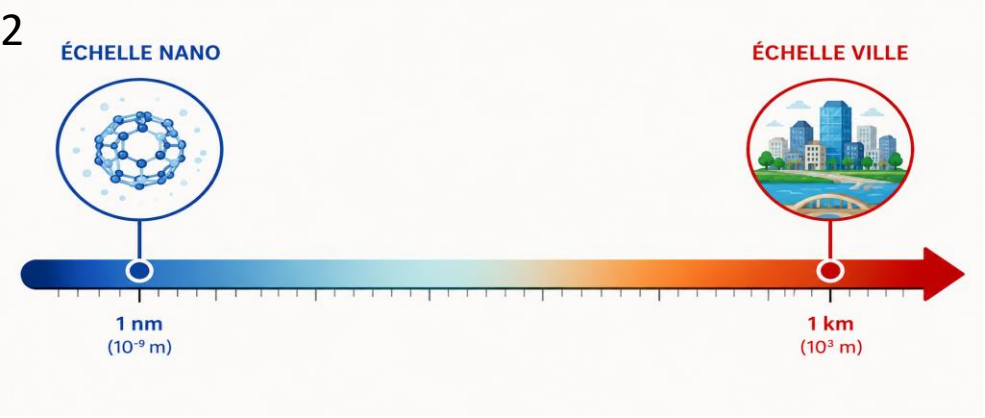
# Mesure de Flux Thermique par Méthode Face Arrière et Reconstruction Inverse

*Chiraz KHELAIFIA*

Équipe d'encadrement : **C. Galizzi, M. Kühni**

Établissement d'inscription : **INSA Lyon, CETHIL**

Partenaires : **PEPR FROZEN**



# Centre d'énergétique et de thermique de Lyon

**CETHIL**  
UMR 5008



**MiNT**

Micro et nanothermique



**FPC**

Fluides, polymères et composites



**MRTR**

Milieus réactifs et transferts radiatifs



**EHTIS**

Thermique et énergétique des systèmes industriels



**TEBE**

Thermique et énergétique des bâtiments et de leur environnement

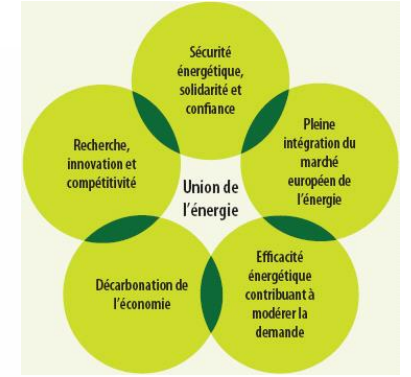
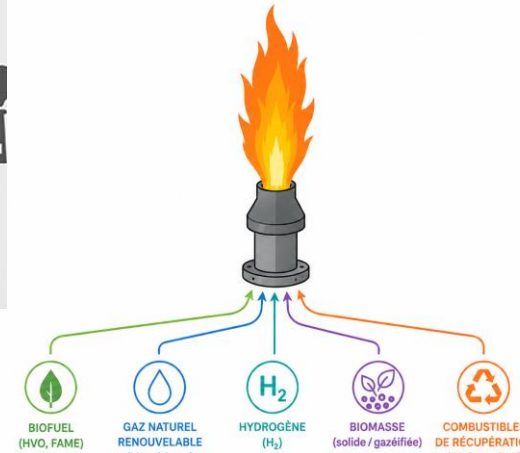
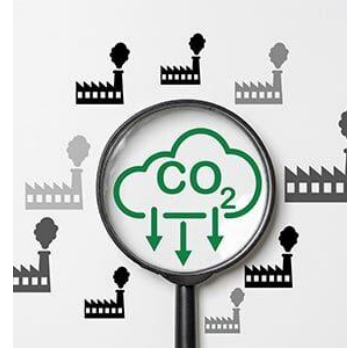


Upe Lyon 1 CNRS INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

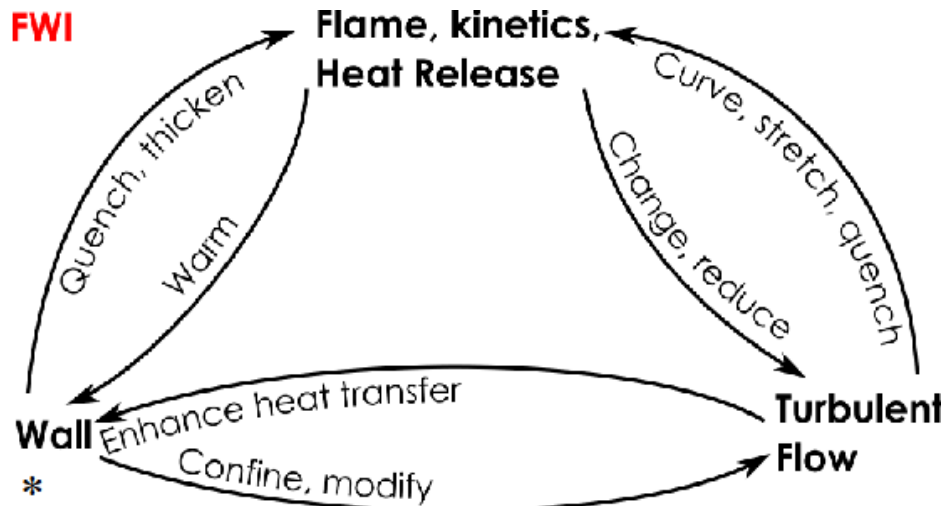
# Objectif de l'étude

## Motivation socio-économique

- Décarbonation des procédés industriels.
- Développement de brûleurs multi-combustibles bas carbone.
- Amélioration de la sécurité et de l'efficacité énergétique.



L'action de l'UE dans le domaine de l'énergie et du changement climatique



## Contexte scientifique

- Interactions flamme-paroi et transferts thermiques.
- Conditions de mesure sévères en combustion.
- Besoin de diagnostics thermiques précis et robustes.
- Nécessité de données expérimentales pour la validation des modèles.

**Comment mesurer avec précision la température et le flux thermique en environnement réactif ?**



**Comment fiabiliser les diagnostics ?**

### **Objectif**

Développer et valider des diagnostics thermiques pour les milieux réactifs et leur confinement.

# Description des travaux réalisés

## Stratégie scientifique

### 1 - Bibliographie

#### Méthodes de mesure du flux thermique

##### Méthodes directes (capteurs étalonnés)

Gardon

Théry

Schmidt-Boelter

Capteur à gradient de flux

Capteurs actifs (zéro-flux)

Capteurs à inertie thermique

##### Méthodes indirectes (mesure de température)

##### Méthodes de contact (thermométrie classique)

Thermocouples (TC)

Sondes RTD (film mince)

##### Méthodes optiques (non-intrusive)

Spectrométrie IR (infrarouge)

Thermographie IR (imagerie)

LIP (laser induced phospho)

Face arrière et reconstruction inverse

# Stratégie scientifique

- 1 - Bibliographie
- 2 - Instrumentation



Plaque instrumentée transportable

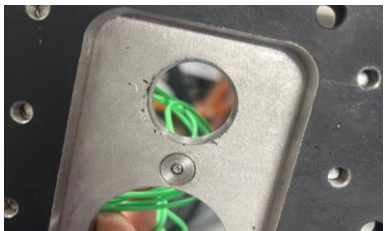
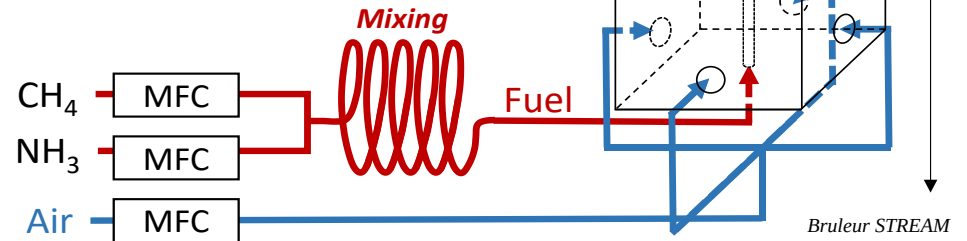
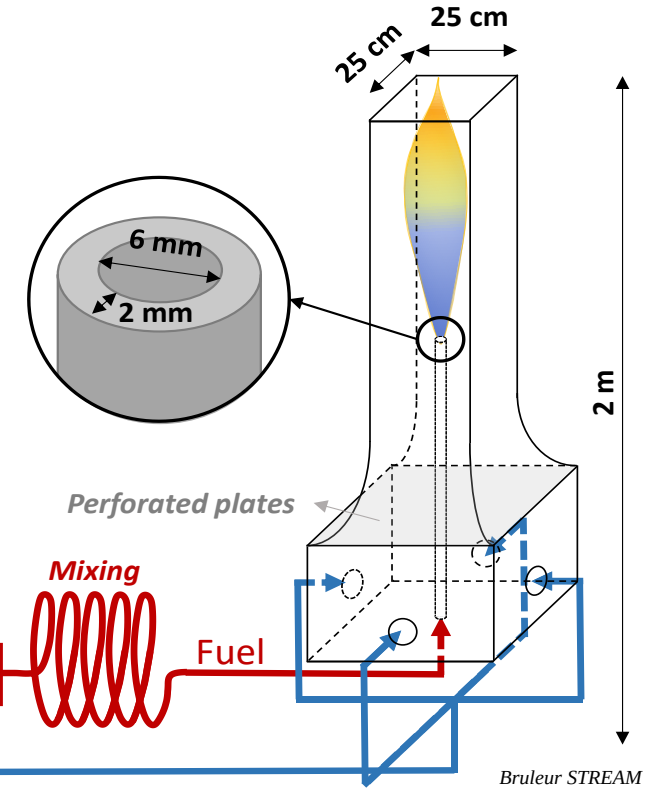


Photo des fluxmètres total et radiatif



## Plage d'investigation :

$U_j$  jet Vitesse du jet : 0.05 m/s  $\rightarrow$  16 m/s

Combustibles : méthane, ammoniac et hydrogène.

$U_{co}$  Vitesse du coécoulement d'air : 0.026 m/s  $\rightarrow$  0.3 m/s

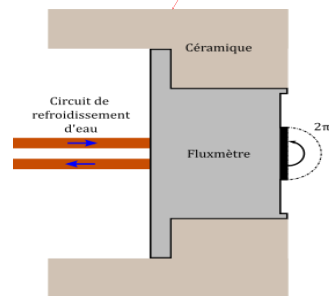
Température du coécoulement : comprise entre la température ambiante et 1000 K.

$E$  Taux de mélange en ammoniac : 0  $\rightarrow$  0.3

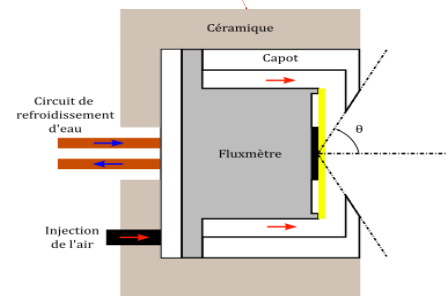
$P_{Max} = 15 \text{ kW}$

# Stratégie scientifique

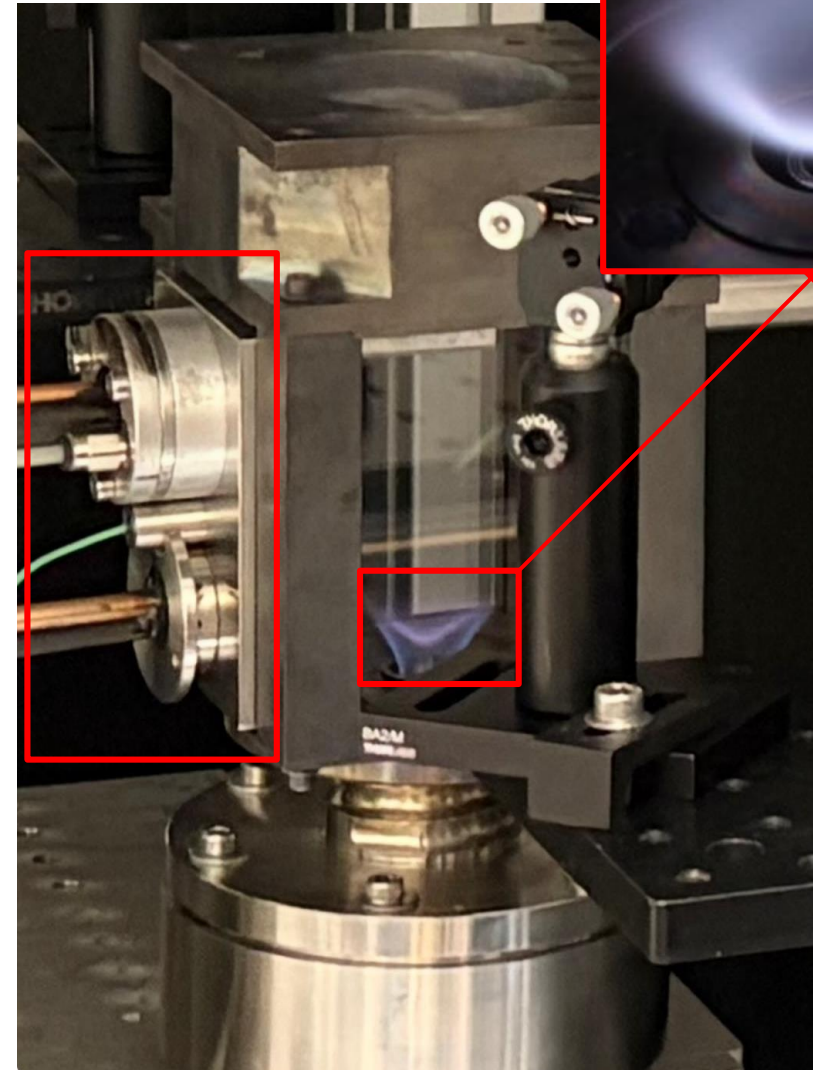
- 1 - Bibliographie
- 2 - Instrumentation
- 3 - Campagne expérimentale



Fluxmètre total



Fluxmètre radiatif



Plaque instrumentée sur le brûleur HYLON (IMFT)



# Méthode scientifique

Méthodes directes  
(capteurs étalonnés)

Capteur à  
gradient de flux

Théry

## Principe :

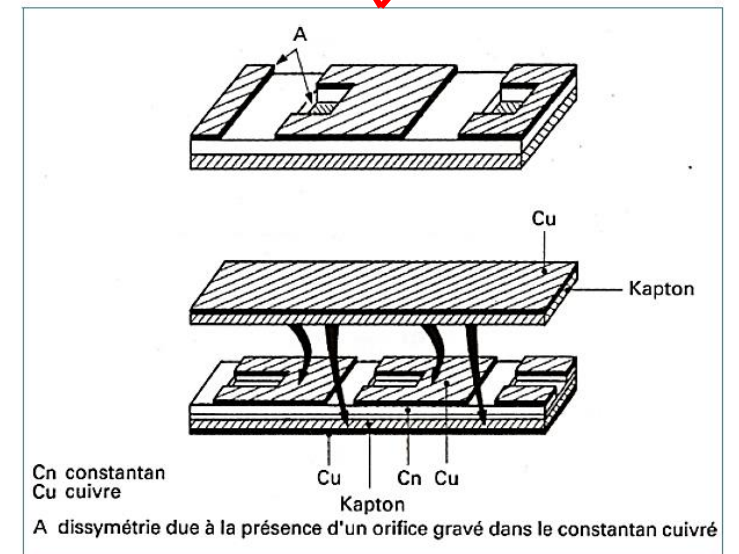
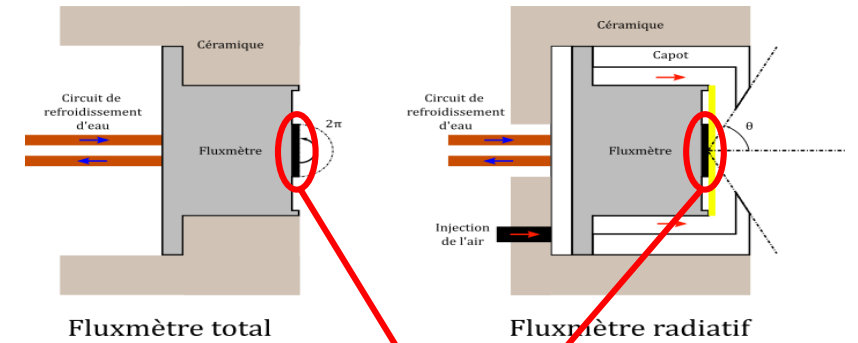
- Gradient tangentiel de température induit artificiellement
- Exploitation d'une thermopile Cuivre/Constantan

## Structure :

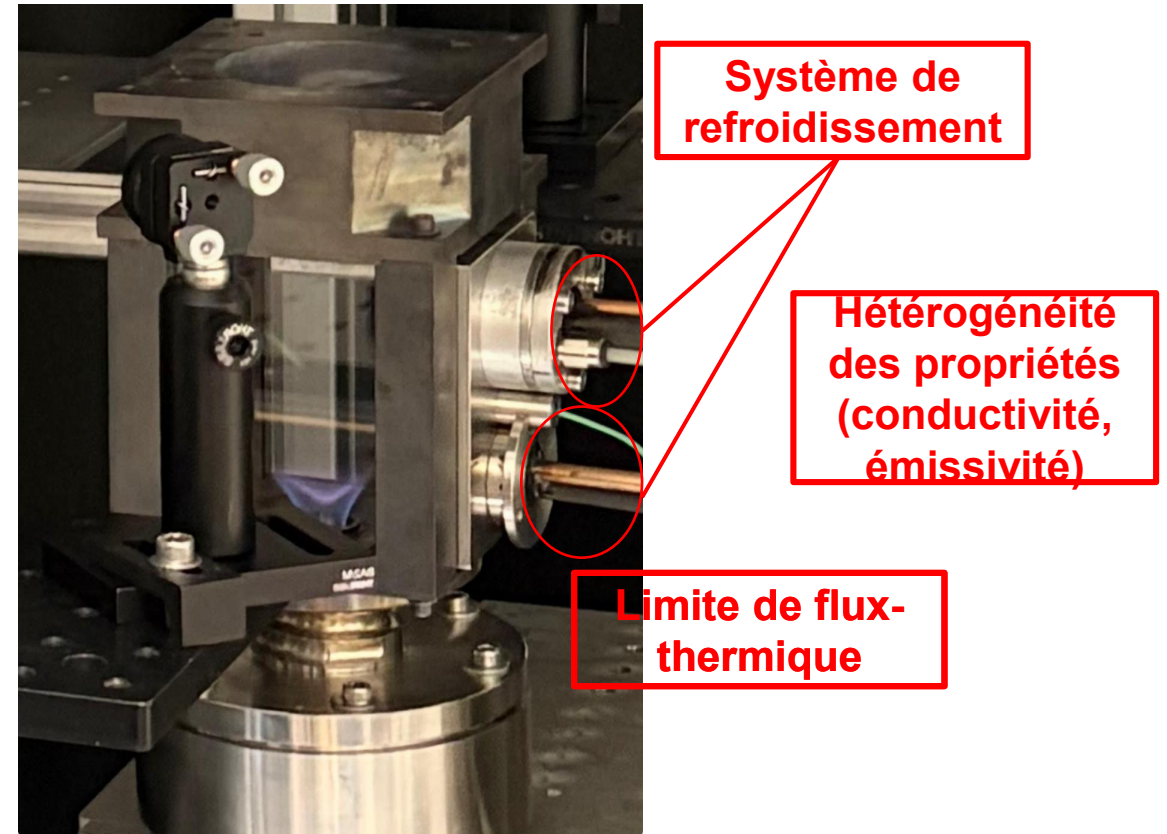
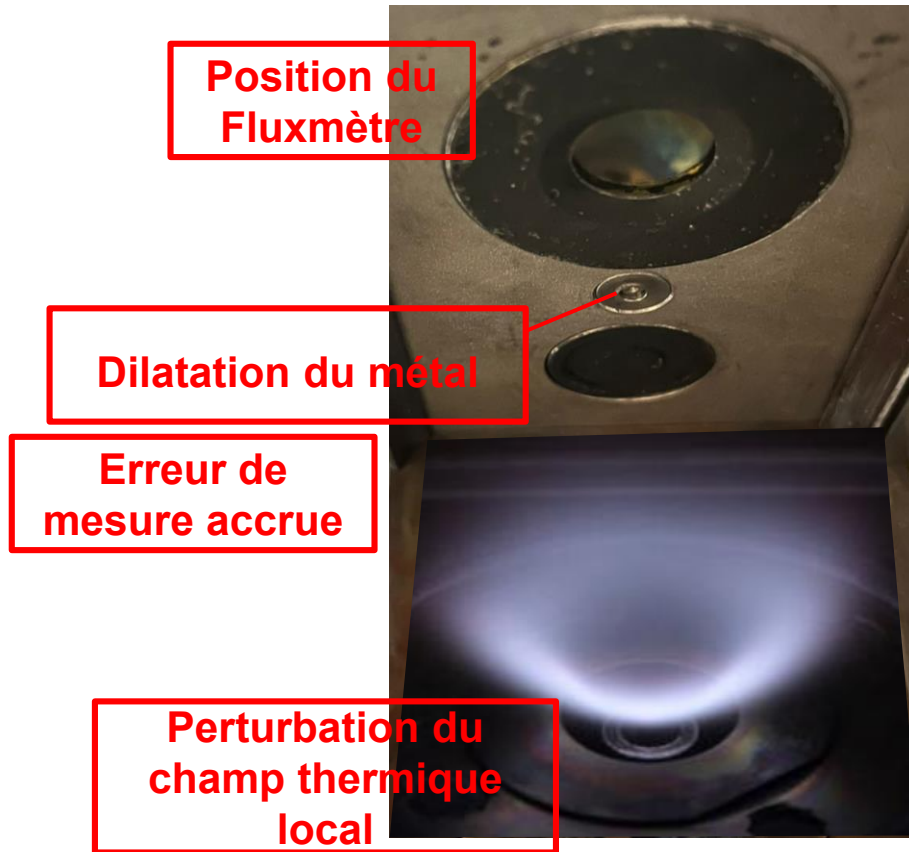
- Capteur multicouches
- Faible épaisseur (~100–500  $\mu\text{m}$ )
- Couches isolantes (Kapton)

## Fonctionnement :

- Découpage dissymétrique des couches
- Distorsion des lignes de flux
- Création d'une composante tangentielle du gradient thermique



# Inconvénients des mesures direct



# Méthode alternative

Méthodes indirectes  
(mesure de température)

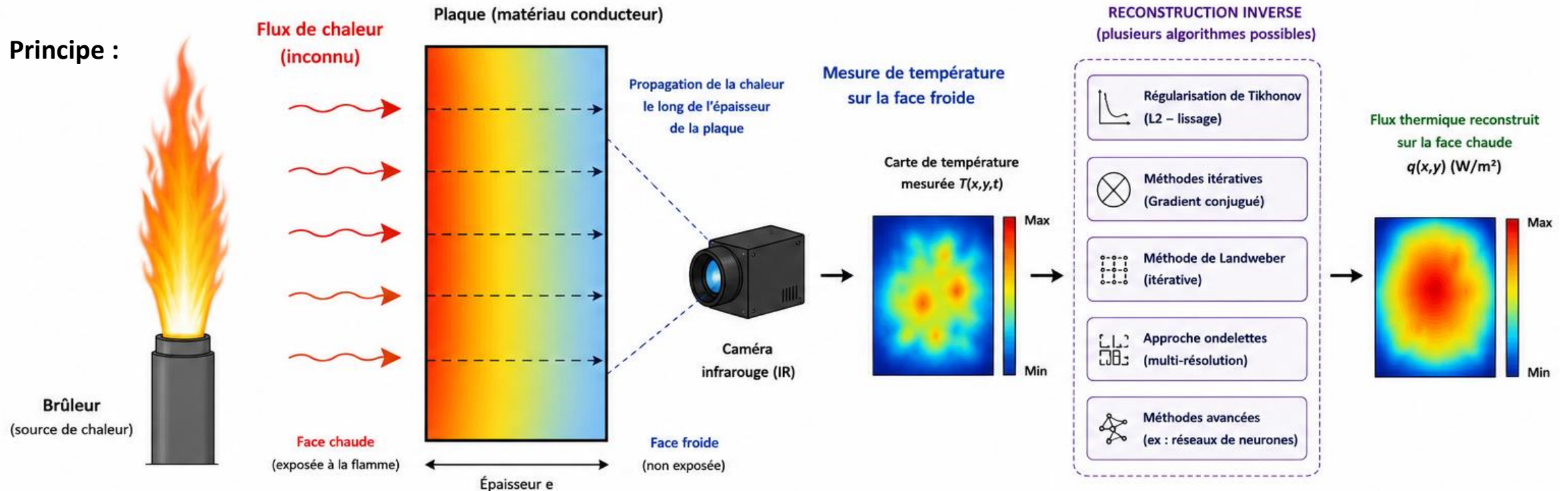
Méthodes optiques  
(non-intrusive)

Face arrière et  
reconstruction inverse

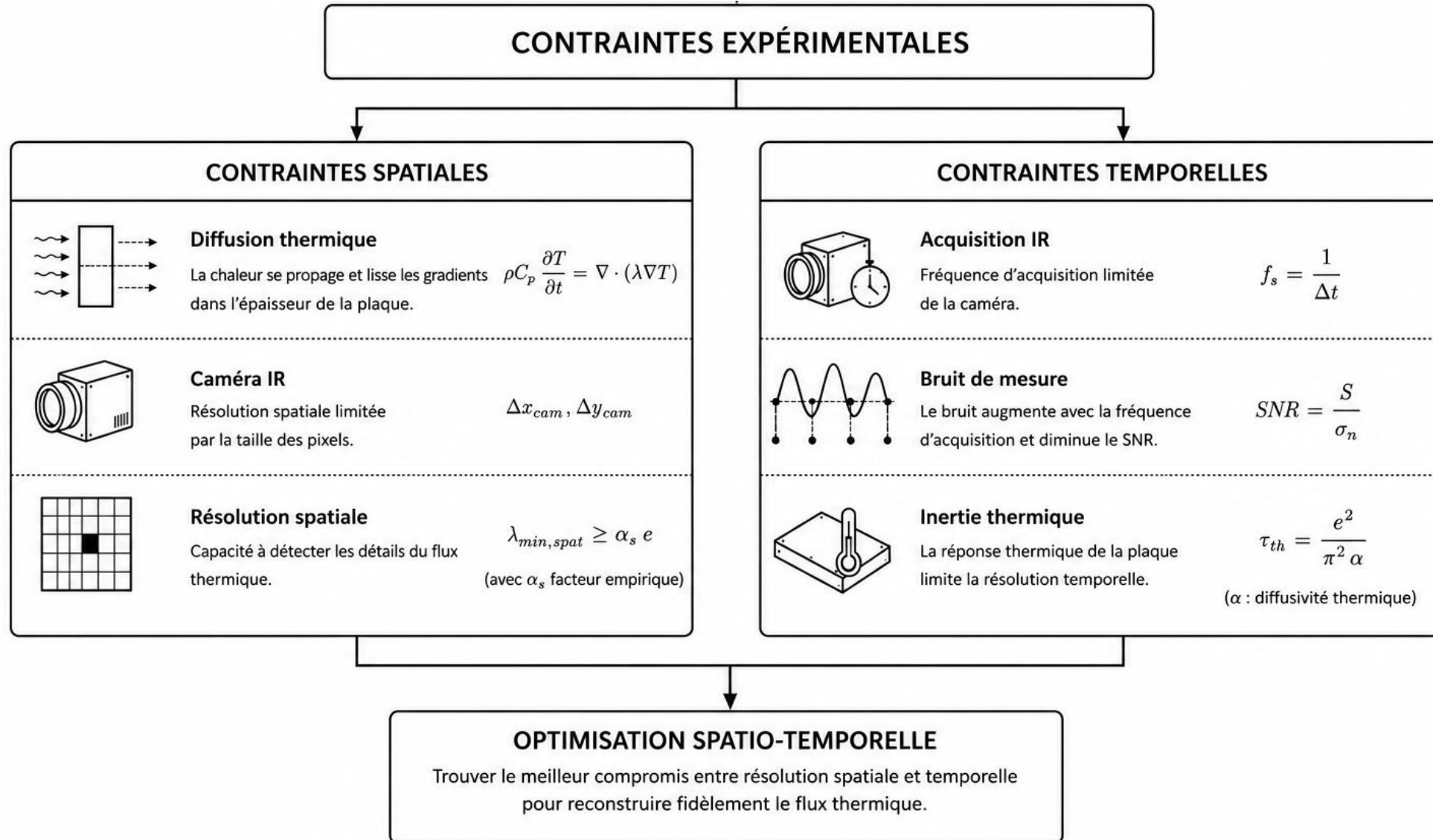
## Concept :

Déterminer la température et le flux sur la face « chaude » (exposée) en instrumentant uniquement la face « froide » (arrière)

## Principe :



# Verrous scientifique et défis de la méthode



# Merci pour votre attention !

Question ?