



Mesure de Flux Thermique par Méthode Face Arrière et Reconstruction Inverse

Porteur : Cédric GALIZZI

Co-encadrement : Chiraz KHELAIFIA et Manuel KUHNI

Laboratoire : CETHIL

Nature du financement demandé : Stage de M1

Dates : Juillet - Septembre

Résumé :

La caractérisation précise des flux thermiques constitue un verrou scientifique majeur pour l'optimisation des systèmes énergétiques, particulièrement dans les environnements réactifs à haute température (fours industriels, moteurs, réacteurs chimiques). Les méthodes conventionnelles de mesure par fluxmètres intrusifs peuvent perturber sensiblement le champ thermique local et offrent une résolution spatiale limitée. La méthode face arrière, couplée à la thermographie infrarouge et aux algorithmes de reconstruction inverse, représente une approche non intrusive permettant d'estimer les champs de flux thermiques à partir de cartographies thermiques acquises sur la face opposée à la source de chaleur.

Un défi majeur de cette approche réside dans l'optimisation conjointe des résolutions spatiale et temporelle. La résolution spatiale, limitée par la diffusion thermique dans le matériau et la résolution de la caméra IR, détermine la capacité à capturer les gradients thermiques locaux. La résolution temporelle, contrainte par la fréquence d'acquisition et l'inertie thermique du système, conditionne la détection des phénomènes transitoires. Le compromis entre ces deux résolutions constitue un des enjeux scientifiques central pour la reconstruction précise des flux instationnaires et spatialement hétérogènes.

Sujet développé : Mesure de Flux Thermique par Méthode Face Arrière et Reconstruction Inverse

Contexte et Enjeux

La caractérisation des flux thermiques dans les systèmes énergétiques complexes représente un défi scientifique et technologique majeur. Les méthodes traditionnelles de mesure directe présentent certaines limitations :

- Perturbation intrusive du champ thermique par l'insertion de capteurs
- Résolution spatiale insuffisante pour capturer les hétérogénéités locales
- Intégration difficile dans des environnements agressifs (milieux réactifs avec $T > 1000^{\circ}\text{C}$.)

La méthode face arrière avec thermographie IR offre une alternative intéressante en exploitant la propagation de la chaleur à travers un matériau pour reconstruire les conditions thermiques sur la face exposée. Cette approche soulève toutefois des problématiques scientifiques complexes liées aux contraintes spatio-temporelles :

1. Résolution spatiale :

La diffusion thermique dans le matériau agit comme un filtre passe-bas spatial, atténuant les gradients thermiques lors de leur propagation

La distance inter-pixels de la caméra IR limite la discrimination des gradient thermiques importants

Le rapport signal/bruit décroît avec l'augmentation de la résolution spatiale, impactant la qualité de la reconstruction

2. Résolution temporelle :

Les phénomènes transitoires rapides (instabilités de combustion, fluctuations turbulentes) nécessitent des fréquences d'acquisition élevées

L'augmentation de la fréquence d'acquisition réduit le temps d'intégration, dégradant le rapport signal/bruit

La capacité thermique du matériau introduit un retard et un lissage temporel des signaux

3. Couplage spatio-temporel :

Les algorithmes de reconstruction doivent gérer simultanément la régularisation spatiale et temporelle

Le problème inverse devient fortement mal-posé pour les hautes fréquences spatiales et temporelles

L'optimisation du compromis résolution/précision nécessite une réflexion approfondie sur la configuration expérimentale étudiée et les objectifs scientifiques de l'étude.

Objectifs du Stage

Le stage vise à développer une méthodologie robuste de mesure de flux thermique par méthode inverse, avec une attention particulière portée à l'optimisation des résolutions spatio-temporelles. Le programme de travail s'articule autour de quatre axes principaux :

1. Développement du dispositif expérimental multi-échelle

Conception et réalisation de plaques d'essai instrumentées

Intégration d'un système de mesure hybride : thermocouples type K distribués + caméra IR haute résolution

Calibration métrologique des capteurs et quantification des incertitudes de mesure

Optimisation du positionnement spatial des capteurs pour optimiser les comparaisons

2. Campagne expérimentale et acquisition de données

Mise en œuvre sur les bancs expérimentaux du laboratoire

Élaboration d'un plan d'expériences

Analyse de la propagation des incertitudes expérimentales

3. Développement algorithmique de la reconstruction inverse

Implémentation de méthodes de régularisation avancées :

Régularisation de Tikhonov spatio-temporelle avec paramètres adaptatifs

Méthodes itératives (gradient conjugué, Landweber)

Analyse de sensibilité aux résolutions spatiale et temporelle

4. Validation métrologique et analyse des performances

Comparaison systématique avec des mesures de référence (fluxmètres étalonnés)

Quantification des erreurs de reconstruction en fonction des paramètres d'acquisition

Contexte du travail :

Le Centre d'Énergétique et de Thermique de Lyon (CETHIL) est une Unité Mixte de Recherche (UMR 5008) de l'INSA Lyon, du CNRS et de l'Université Claude-Bernard Lyon 1. Le laboratoire est situé à Villeurbanne (Rhône) sur le site de la Doua. Le groupe de recherche « Transferts Thermiques dans les Milieux Réactifs (2TMR) » qui fait partie du thème de recherche « Milieux Réactifs et Transferts Radiatifs » possède une expertise reconnue en combustion expérimentale (<https://cethyl.insa-lyon.fr/fr/content/transferts-thermiques-dans-milieureactifs>).

Informations complémentaires : Documents requis : CV, lettre de motivation et deux références à contacter. Le candidat devra posséder une appétence pour la réalisation d'essais expérimentaux, pour la programmation et les méthodes numériques.

Contacts : Chiraz KHELAIPIA : chiraz.khelaifia@insa-lyon.fr, Manuel KUJNI (MCF INSA) manuel.kuhni@insa-lyon.fr (04 72 43 88 16) et Cédric GALIZZI (PR INSA) : cedric.galizzi@insa-lyon.fr (04 72 43 70 67)