

Groupe « METTI (Mesures Thermiques et Techniques Inverses) »

« Inversion de données faisant appel à un modèle en thermique, quels apports de l'intelligence artificielle ? »

Journée thématique SFT - Jeudi 8 juin 2023

organisée par : Fabrice Rigollet (IUSTI), Jean-Luc Battaglia (I2M), Denis Maillet (LEMTA)

La journée thématique « Inversion de données faisant appel à un modèle en thermique, quels apports de l'intelligence artificielle ? » s'est tenue le 08 Juin 2023 au FIAP, 30 rue Cabanis, Paris 14^{ème} arrondissement.

La journée a réuni 32 personnes dont 7 doctorants, 2 jeunes chercheurs, 2 ingénieurs et 21 chercheurs et enseignants chercheurs. Un des présentateurs était en connexion à distance depuis le Brésil. Outre la présentation d'introduction, 9 présentations ont eu lieu en 2 sessions séparées par un repas pris sur place.

L'objectif de cette journée était de partager les différentes pratiques, existant dans la communauté de la SFT, concernant le traitement de données expérimentales (les *mesures*, les *datas*) et la construction d'un modèle du système qui a généré ces datas. Les activités identifiées dans ce cadre, et régulièrement mises en œuvre dans le groupe METTI, peuvent se ranger en 3 catégories : a) identification expérimentale du modèle direct qui prédit les datas de sorties pour des entrées données, b) construction d'un modèle direct rapide à partir d'un modèle détaillé plus lourd et c) utilisation d'un modèle pour la résolution de problème inverse de mesures.

Ces 3 catégories ont été abordées dans la journée. Les outils d'apprentissage statistique (faisant partie du grand domaine de l'IA, Intelligence Artificielle) étant de plus en plus utilisés pour modéliser le lien entre des données d'entrées et des données de sorties, deux tiers des présentations ont illustré leur utilisation en transferts radiatifs en milieu participant (#3, #7) ou entre surfaces opaques (#4), en mécanique des fluides (#5, #8) et en contrôle non destructif par voie thermique (#1). De plus, hors outils de l'IA, deux présentations ont montré l'intérêt d'utiliser en transferts thermiques instationnaires des modèles dont la structure s'appuie soit sur des dérivées d'ordre non-entier des entrées et des sorties (#2) ou bien sur le principe de convolution temporelle (#9) dont la version ARX est plus parcimonieuse en paramètres. Enfin, la méthode de réduction de modèle par amalgame modal (AROMM) a été présentée sur un problème de rayonnement instationnaire entre surfaces, couplé à la convection (#6).

Cette journée a permis de faire des parallèles intéressants entre différentes pratiques, utilisant ou pas des outils de l'IA. Il était intéressant notamment de noter que l'hybridation des 2 types de pratiques peut être envisagée : par exemple les outils de l'IA pour la détection de défaut, et les outils 'physiques' pour la caractérisation de ces défauts (#1). Ou bien, dans des problèmes couplés, des outils 'physiques' pour résoudre une partie des transferts et les outils de l'IA pour d'autres (divergence du flux radiatif #7), avec souvent un gain de temps à l'appui, une fois la phase d'apprentissage réalisée. Les auteurs (#7) comparent d'ailleurs les outils de l'IA à un 'super-interpolateur' dans leur démarche. Cette approche hybride trouve son point culminant dans l'utilisation de *réseaux de neurones informés par la physique* (PINN, #8). Un point de vigilance soulevé en #1 concerne l'aspect pénalisant des outils de l'IA en termes de consommation énergétique et de ressources matérielles.

Ce premier rendez-vous en appelle certainement d'autres avec, parmi les questions à aborder, quelques propositions comme : quand faut-il privilégier l'IA ? En cas de « grand » nombre d'entrées et « grand » nombre de sorties (à définir) ? Peut-on imaginer un ou deux cas de comparaison de performances des différentes approches ? En identification de modèle ? En inversion de mesures ? Enfin, un autre aspect de l'utilisation de ces outils n'a pas été évoqué à cette première journée : Le « design numérique » de matériaux à propriétés (radiatives, conductives par exemple) souhaitées.

Un programme avec résumés a été rédigé et mis en ligne, avec les présentations. De plus, le premier exemplaire de *Cahier de la Thermique* a été rédigé sur la base de cette journée.

Références aux exposés de la journée

#1 - 10:15 - 10:40 Emmanuelle Abisset-Chavanne, Malo Lecorgne, Morgane Suhas, Marie Marthe Groz, Thomas Lafargue, Christophe Pradère (I2M, Bordeaux) - Quel apport de l'IA dans l'obtention et le traitement des données expérimentales ?

#2 - 10:40 - 11:05 Jean-Luc Battaglia (I2M, Bordeaux) - Identification de systèmes thermiques linéaires et non linéaires par des structures mathématiques d'intégration d'ordre non entier.

#3 - 11:35 – 12 :15 Frédéric André (Partie 1) et Cindy Delage (partie 2) (CETHIL, Lyon) – Combinaison de modèles physiques et d'outils d'apprentissage statistique pour l'approximation des propriétés radiatives d'atmosphères non-uniformes

#4 - 12:15 – 12 :40 Marie-Hélène Aumeunier, Alexis Juven (CEA, Cadarache) – Réseaux neuronaux convolutifs pour la thermographie quantitative en environnement complexe.

#5 - 14:20 – 14 :45 Helcio Orlande (COPPE, Rio de Janeiro) et al. – Metamodel based on evolutionary neural networks for the solution of inverse problems within the Bayesian framework of statistics.

#6 - 14:45 – 15 :10 Benjamin Gaume, Yassine Rouizi, Frédéric Joly, Olivier Quéméner (LMEE, Evry Val d'Essone) - Apport des modèles réduits pour la mesure thermique indirecte en temps réel dans un four rayonnant

#7 - 15:10 – 15 :35 Olivier Farges, Alex Royer, Pascal Boulet (LEMTA, Nancy), Daria Burot (Safran Aircraft Engine) – Modélisation du transfert radiatif dans des milieux participants, par réseaux de neurones bayésiens et méthode de Monte Carlo.

#8 - 15:35 – 16 :00 Yoann Cheny, Mickaël Delcey, Adrien Ganz, Sébastien K. de Richter (LEMTA, Nancy) – Réseaux de neurones informés par la physique (PINNs) pour la reconstruction de courants de gravité.

#9 - 16:00 – 16 :25 Denis Maillet, Benjamin Rémy, Adrien Barthélémy (LEMTA, Nancy) – Construction de modèles convolutifs transitoires ou paramétriques (ARX) pour une utilisation ultérieure directe ou inverse en thermique