

Deep learning, simulation temps réel et réduction de modèles

Filippo Masi

*Nantes Université, Ecole Centrale Nantes, CNRS,
GeM, UMR 6183, F-44000 Nantes, France.*

L'essor de structures innovantes en ingénierie est aujourd'hui freiné par notre capacité à prédire la réponse des systèmes complexes, et plus précisément des matériaux qui les composent. Le comportement de ces derniers est en effet très difficile à appréhender avec des modèles empiriques, faute de la complexité sous-jacente et de la méconnaissance des phénomènes physiques.

À cette fin, les approches data-driven sont apparues ces dernières années avec comme but de fournir des descriptions enrichies du comportement matériau.

Un changement de paradigme dans la modélisation traditionnelle s'est ainsi produit: les données, plutôt que d'être utilisées uniquement comme des outils de vérification, ont commencé à devenir le stimulus dans la quête de nouvelles représentations constitutives. Pourtant, les approches data-driven présentent des faiblesses majeures qui entravent leur application. L'absence d'un cadre rigoureux basé sur la physique (effet modèle « boîte noire ») est un des principaux problèmes menaçant la généralisation de ces méthodes à la résolution de problèmes en ingénierie.

Dans ce mini-cours, on se penchera sur les approches data-driven pilotées par la physique visant à modéliser le comportement des matériaux complexes et la réponse des structures hétérogènes. En particulier, on analysera en détail les réseaux de neurones basés sur la thermodynamique, aussi appelés TANN (*Thermodynamics-based Artificial Neural Networks*, cf. [Masi et al. 2021](#), [Masi and Stefanou 2021](#)). Ces réseaux, grâce à l'intégration du premier et second principe de la thermodynamique, garantissent des résultats toujours thermodynamiquement admissibles et ouvrent de nouvelles possibilités dans la mécanique numérique et expérimentale, notamment à travers l'emploi de jumeaux numériques et des approches de réduction de modèles.

Session pratique. On regardera de plus près l'implémentation théorique et numérique des réseaux des neurones pour la modélisation du comportement des matériaux. À travers des exemples motivants, on étudiera l'architecture des réseaux classiques et des réseaux TANN. L'attention sera mise sur la compréhension des schémas numériques et l'entraînement des réseaux des neurones, mais aussi la programmation guidée des certaines tâches.

À la fin de cette session pratique, on analysera les bénéfices des approches data-driven pilotés par la physique par rapport aux approches standard.

F. Masi, I. Stefanou, P. Vannucci, and V. Maffi-Berthier, Thermodynamics-based Artificial Neural Networks for constitutive modeling, [Journal of the Mechanics and Physics of Solids](#) **147**, 104277 (2021).

F. Masi and I. Stefanou, Thermodynamics-based Artificial Neural Networks (TANN) for multiscale modeling of materials with inelastic microstructure, arXiv preprint arXiv:2108.13137 (2021).