



**HAL**  
open science

# Réseaux de neurones informés par la physique pour l'apprentissage de lois de comportement

Antoine Benady, Ludovic Chamoin, Emmanuel Baranger

► **To cite this version:**

Antoine Benady, Ludovic Chamoin, Emmanuel Baranger. Réseaux de neurones informés par la physique pour l'apprentissage de lois de comportement. IA POUR LES SCIENCES DE L'INGÉNIERIE, Jun 2022, Online, France. hal-03929866

**HAL Id: hal-03929866**

**<https://hal.science/hal-03929866>**

Submitted on 9 Jan 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Réseaux de neurones informés par la physique pour l'apprentissage de lois de comportement

A. BENADY<sup>a</sup>, L. CHAMOIN<sup>a</sup>, E. BARANGER<sup>a</sup>

a. Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, ENS Paris-Saclay, CNRS, LMPS - Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay, 91190, Gif-sur-Yvette, France.  
{antoine.benady, ludovic.chamoin, emmanuel.baranger}@ens-paris-saclay.fr

**Mots clés :** Endommagement, réseaux de neurones, jumeaux numériques, garanties thermodynamiques.

## Résumé :

L'endommagement des structures mécaniques est un enjeu important en ingénierie, liée à des problématiques de durabilité et de sécurité. La thématique est actuellement l'objet de diverses activités de recherche dont les challenges numériques liés au contrôle santé intégré de structures à grande échelle, afin d'aller des matériaux intelligents vers les structures intelligentes, capables de surveiller leur état de façon autonome et de fonctionner de façon sûre même en mode dégradé. Plus particulièrement, le travail proposé a pour objectif de construire une procédure numérique efficace pour l'assimilation des données issues de capteurs distribués à base de fibres optiques. L'idée est de créer un jumeau numérique hybride, combinant les modèles physiques (qui représentent une riche histoire des sciences de l'ingénieur, et qui fournissent une forte connaissance a priori) et les techniques d'apprentissage issus de l'IA (ici, les réseaux de neurones). Ces dernières techniques sont donc ici exploitées pour corriger le biais de modèle. Cependant, les réseaux de neurones classiques (au sens où il ne sont pas informés par la physique), présentent les inconvénients de nécessiter des volumes de données très importants pour être entraînés, ainsi que des baisses de précisions lors de la généralisation à de nouvelles données. Les réseaux de neurones informés par la physique [RAI19] ont permis de lever ces verrous sur diverses applications [KAR21] car l'apprentissage est simplifié (la richesse expérimentale étant ajoutée à une connaissance a priori). Ici, une méthode utilisant des réseaux de neurones pour l'apprentissage de lois de comportement sous forme de potentiel thermodynamique est proposée. Dans cette approche, l'architecture du réseau respecte les principes thermodynamiques [MAS21] grâce à l'obtention de certaines grandeurs par différentiation automatique ainsi que des propriétés de convexité imposées dans la structure du réseau de neurones. Enfin, l'apprentissage du réseau de neurones est facilité par l'utilisation d'une fonction coût physique, l'erreur en relation de comportement modifiée déjà utilisée dans le contexte de recalage de paramètres [MARC19]. La méthodologie sera illustrée et analysée sur différents cas tests.

## Références :

[KAR21] Karniadakis GE, Kevrekidis I, Lu L, Perdikaris P, Wang S, Yang L. Physics-Informed Machine Learning. *Nature Reviews Physics* 3:422-40 (2021)

[MAS21] Masi F, Stefanou I, Vannucci P, Maffi-Berthier V, Thermodynamics-Based Artificial Neural Networks for Constitutive Modeling, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 147:104277 (2021)

[**RAI19**] Raissi M, Perdikaris P, Karniadakis G.E., Physics-Informed Neural Networks: A Deep Learning Framework for Solving Forward and Inverse Problems Involving Nonlinear Partial Differential Equations, *Journal of Computational Physics* 378: 686-707 (2019)

[**MARC19**] Marchand B, Chamoin L, Rey C, Parameter identification and model updating in the context of nonlinear mechanical behaviors using a unified formulation of the modified Constitutive Relation Error concept, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 345:1094–1113 (2019)

This project has received funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (grant agreement No. 101002857)