



Formation Spécialisée MASTERE DMS Design des Matériaux et des Structures

OFFRE DE SUJET MASTERE DMS 2023/2024

Encadrement

Fabien CASENAVE et Brian STABER (SAFRAN), Pierre KERFRIDEN, Aubin GEOFFRE et Farida AZZOUZ (CDM – Mines Paris)

Titre

Machine learning pour la conception automatique d'essais et la sélection de lois de comportement pour la mécanique des matériaux non linéaires

Contexte

Le groupe Safran est un leader mondial dans la conception, la fabrication et la maintenance de moteurs et d'équipements aéronautiques et spatiaux. Comme dans de très nombreux domaines industriels, la simulation numérique est un outil incontournable pour le dimensionnement et la certification de pièces mécaniques. En mécanique des structures, la construction du modèle de comportement est de première importance pour obtenir des prédictions fidèles des phénomènes en jeu. Ce projet DMS se place dans ce contexte : nous cherchons à développer un ensemble d'outils qui permettraient, à partir de données expérimentales, de choisir le bon modèle de comportement et de calibrer ses paramètres.

Objectif et travail proposé

Le projet va s'appuyer sur les résultats d'un projet DMS qui s'est terminé en septembre 2022 et sur les résultats d'un stage en cours de réalisation sur le même sujet chez Safran.

Etant données des courbes expérimentales liées à des essais sur une éprouvette d'un nouveau matériau, trouver le ou les types de modèles adaptés à la modélisation éléments-finis de ce matériau par des méthodes d'intelligence artificielle.

L'objectif du stage peut être formalisé comme l'entraînement d'un classifieur. Pour ce faire, à l'instar de la majorité des méthodes de machine learning, il convient d'abord d'entraîner les classifieurs sur des données labellisées, pour ensuite, dans une phase d'exploitation de notre classifieur, être capable d'attribuer le bon modèle à un résultat d'expérimentation associé à un matériau que l'on cherche à modéliser. Une fois le modèle connu, ses coefficients doivent être calibrés.

Nous proposons de poursuivre les travaux du stage DMS de l'année 2021-2022, au cours duquel il est prévu d'adresser les points suivants :

- Formalisation d'essais 1D sous forme de séries temporelles (traction monotone et cycles de fatigue) ;
- Génération d'une base de données de simulation numérique, sous la forme de Design Of Experiments adaptés aux classes considérées. Les samples des classes associées aux modèles complexes seront « prunées » lorsqu'une calibration satisfaisante peut être obtenue avec un modèle plus simple. Cette procédure permet d'éviter au classifieur de considérer des données bien modélisables par plusieurs classes et favoriser son apprentissage ;

- Ecriture d'une routine d'optimisation très efficace pour la résolution du problème de calibration des coefficients d'un modèle ;
- Extraire ou sélectionner des fonctionnalités/caractéristiques dans les données (séries temporelles) pour faciliter la tâche de classification ;
- Comparer plusieurs méthodes de classification (KNN, Gaussian Processes, Neural Networks), avec leurs variantes, en construisant des indicateurs de performance associés à la tâche considérée.

Dans le stage proposé, il conviendra de terminer et poursuivre le plan de travail précédent. Les nouvelles pistes pourront être choisies parmi les propositions suivantes :

- Considérer des cas 2D / 3D ;
- Augmenter la complexité des matériaux (et donc le nombre de classes) ;
- Donner un sens mathématique au pruning successif des DOE (si non-conservation des propriétés de remplissage de l'espace, comment faire autrement ?) ;
- Conception automatique des essais (profils temporels des chargements monotones et cycliques) pour maximiser les performances de la tâche de classification ;
- Design de géométries complexes d'éprouvettes de sortes à solliciter plusieurs régimes en un seul essai et maximiser les performances de la tâche de classification ;
- Regarder l'apprentissage par renforcement pour cette thématique (apprentissage de règles métiers incrémentales pour corriger les comportements).

Les grandes étapes du stage sont les suivantes :

- Etude bibliographique (éventuellement restreinte au contexte de la mécanique des solides) :
 - Prise en main des travaux DMS de l'année 2021-2022;
 - Régression et classification bayésienne;
 - Méthode de machine learning pour la réduction de dimension et la classification, les références [1-4] constitueront un point de départ de la recherche bibliographique en plus de celles citée dans le rapport DMS 2021-2022;
- Prise en main du code de calcul par éléments finis Z-set ;
- Prise en main des résultats du projet DMS 2021-2022 sur le même sujet;
- Validation sur des cas d'étude ;
- Proposer des perspectives liées à ce travail.

Profil demandé

Capacité d'analyse et de synthèse, de la rigueur de l'autonomie et une grande force de proposition. De bonnes connaissances en mécanique des structures et en programmation (python). Une première expérience en Machine Learning/techniques d'intelligence Artificielle serait un plus.



Formation Spécialisée MASTERE DMS Design des Matériaux et des Structures

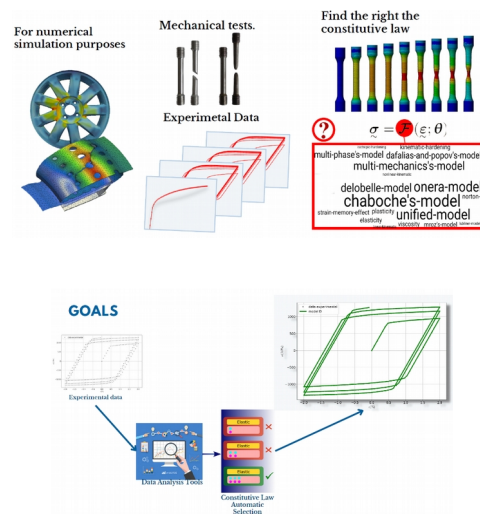


Illustration du workflow développé dans le stage 2021-2022 [5]

Références bibliographiques

- [1] Bishop, Christopher M. Pattern recognition and machine learning. springer, 2006.
- [2] Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2001). The elements of statistical learning (Vol.1, No. 10). New York: Springer series in statistics.
- [3] Murphy, K. P. (2012). Machine learning: a probabilistic perspective. MIT press.
- [4] Ruiz, A.P., Flynn, M., Large, J. et al. The great multivariate time series classification bake off: a review and experimental evaluation of recent algorithmic advances. Data Min Knowl Disc 35, 401 449 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10618-020-00727-3>
- [5] Yvan Jordan NGUCHO MBEUTCHOU, Machine Learning for Constitutive Law Selection in Nonlinear Mechanics, rapport de Mastère Spécialisé DMS, Mines Paris, 2021-2022.
- [6] Nezha AKOUZ, Machine learning pour la conception automatique d'essais et la sélection de loi de comportement pour la mécanique des matériaux nonlinéaire, rapport de stage