

---

**Titre :** Identification des propriétés des matériaux et de la distribution des phases des matériaux hétérogènes par des méthodes data-driven : Vers un espace constitutif amélioré

**Mots clés :** Méthodes data-driven, Corrélation d'images numériques, Analyse de correspondances, Analyse en composantes principales, Composites

**Résumé :** L'identification des relations constitutives des matériaux est une tâche essentielle pour comprendre leur comportement. Les méthodes classiques sont efficaces pour comprendre ces relations, mais l'introduction de modèles peut conduire à des formulations biaisées. En plus, il n'est pas possible d'expliquer toutes les relations constitutives par des expressions mathématiques ou il peut y avoir des valeurs que nous ne pouvons pas obtenir facilement par des techniques courantes.

L'identification pilotée par les données (DDI), développée par Leygue et al. (2018), est un algorithme dans lequel la relation constitutive des matériaux élastiques est définie par une base de données de points matériels qui doivent être calculés en fonction des champs de déformation mesurés, des forces appliquées et de la géométrie connue des échantillons testés du matériau. L'algorithme estime simultanément les valeurs correspondantes des champs de contraintes qui émergent en raison des déformations mesurées dans les échantillons.

Dans cette thèse, nous nous concentrons sur l'abandon de l'élasticité pour couvrir des comportements de matériaux plus complexes avec l'algorithme DDI. Dans un premier temps, la méthode est appliquée à des échantillons hétérogènes, où un post-traitement est effectué avec l'analyse des correspondances pour séparer les différentes phases dans un échantillon et identifier leur comportement séparé. Ensuite, la DDI a également été appliquée à des matériaux viscoélastiques linéaires, où une approche étendue de l'espace de phase est utilisée pour tenir compte de la dépendance temporelle du comportement. Enfin, différentes variations de l'algorithme sont envisagées en combinant la DDI avec différentes techniques statistiques telles que l'analyse en composantes principales, dans une recherche de rapidité et de précision des prédictions par réduction de la dimensionnalité. Parallèlement, la méthode est testée sur des échantillons composites hétérogènes et comparée aux résultats attendus obtenus par les méthodes classiques.

---

**Title:** Identification of material properties and phase distribution of heterogeneous materials through data-driven computational methods: Towards an enhanced constitutive space

**Keywords:** Data-driven methods, Digital image correlation, Correspondence Analysis, Principal Component Analysis, Composites

**Abstract:** Identifying the constitutive relations of materials is an essential task to understand their behavior. Classical methods like testing can be effective in understanding these relationships, but introducing models can lead to biased formulations and errors. Furthermore, not all constitutive relations can be explained directly by mathematical expressions or there might be values that we cannot obtain easily through common techniques.

Data-Driven Identification (DDI), developed by Leygue et al. (2018), is an algorithm in which the constitutive relation of elastic materials is defined by a database of material points that need to be computed based on measured strain fields, applied forces and known geometry of tested samples of the material. The algorithm simultaneously estimates the corresponding values of the stress fields that emerge due to the deformations measured in the samples.

In this thesis, we focus on departing from elasticity to cover more complex material behaviors with the DDI algorithm. In a first step, the method is applied to heterogeneous samples, where a post-process is performed with Correspondence Analysis to separate the different phases in a sample and identify their separated behavior. Then, DDI was also applied to linear viscoelastic materials, where an extended phase-space approach is used to account for the time dependence of the behavior. Finally, different variations of the algorithm are considered by combining DDI with different statistical techniques such as the Principal Component Analysis, in a search for speed and accuracy of the predictions through dimensionality reduction. Parallel to this, the method is tested in heterogeneous composite samples and compared to expected results obtained by classical methods.