

**Titre :** Une vision faiblement intrusive de la méthode LATIN-PGD en non-linéaire

**Mots clés :** Non-linéaire, Faiblement intrusif, Modèles réduits, LATIN-PGD, Logiciel industriel

**Résumé :** Portées par une digitalisation omniprésente et grandissante, comme en témoigne l'intérêt porté aux jumeaux numériques, les méthodes de réduction de modèles (ROM) sont de plus en plus convoitées par l'ensemble du secteur industriel, qui souhaite bénéficier d'outils novateurs et de techniques robustes pour réduire drastiquement les temps de calcul. Cependant, le caractère particulièrement intrusif de ces méthodes, ainsi que leur robustesse, représentent encore deux obstacles majeurs qui entravent la diffusion des méthodes ROM dans les logiciels industriels. Cette thèse propose une version faiblement intrusive de la méthode LATIN-PGD destinée à construire et enrichir des modèles réduits nativement au sein de n'importe quel logiciel industriel par éléments finis généraliste. En considérant des problèmes non-linéaires paramétrés dépendant du temps en mécanique du solide, et sous hypothèse de quasi-staticité, nous pro-

posons une démarche générique permettant de combiner la PGD avec toutes les non-linéarités usuellement rencontrées dans les logiciels commerciaux – matériaux, géométriques et contact. Cette manière de procéder conduit à la conception d'outils unifiés – pour la construction de modèles réduits non-linéaires – tous intégrés au sein d'un seul et unique logiciel certifié, en cohérence avec les besoins des ingénieurs des bureaux d'études au quotidien. Grâce à la première implémentation réalisée au sein du logiciel pilote Simcenter Samcef<sup>TM</sup> de Siemens Digital Industries Software, nous soulignons les atouts de cette approche sans jamais redévelopper aucune partie non-linéaire du logiciel. Enfin, sur la base de deux cas-tests industriels, présentant diverses non-linéarités et plusieurs paramètres, nous mettons en lumière des gains intéressants en termes de performance.

**Title :** A weakly-invasive LATIN-PGD method in the non-linear content

**Keywords :** Non-linear, Weakly-invasive, Reduced-order models, LATIN-PGD, Industrial Software

**Abstract :** Driven by a high digitalization context with Digital Twins, reduced-order modeling (ROM) methods are becoming increasingly coveted by the industrial sector, keen to benefit from new tools and robust techniques that allow faster computations. However, the spread of these ROM methods within commercial finite element software is currently hindered by two main obstacles : non-intrusiveness and robustness. This arises directly from the nature of the associated algorithms involving many unconventional operations and thus preventing from getting robust and reliable tools all integrated into one certified product. This thesis introduces a weakly-invasive reformulation of the LATIN-PGD method designed to compute and improve reduced-order models directly into any general-purpose industrial finite element software. Under the quasi-static assumption, we assume any time-dependent non-

linear parametrized problems in solid mechanics. The guiding thought we propose to pursue is to combine PGD with all facilities offered by such software, implying *de facto* the ability to handle any non-linearities – materials, contacts, large transformations. This way of proceeding provides unified tools – for the construction of reduced-order models in non-linear context – all integrated into one certified product in consistency to have end-to-end processes. Thanks to the first implementation conducted within Simcenter Samcef<sup>TM</sup> pilot software owned by Siemens Digital Industries Software, we emphasize the assets of this approach without ever redeveloping any non-linear part of the software. Finally, attractive performance gains are achieved on some non-linear time-dependent industrial test-cases involving some parameters.