

Mini-symposium ROM
Réduction de Modèles : Algorithmes et Applications

Résumé

L'objectif du minisymposia est de réunir quelques spécialités dans le domaine de la pratique de outils de réduction de modèles. Il s'agit donc de faire le point sur le potentiel de ces techniques pour répondre aux applications.

Organisateur(s)

1. **Mejdi Azaiz**, Bordeaux INP.
2. **Michel Bergmann**, INRIA Bordeaux.
3. **Aziz Hamdouni**, Université de La Rochelle.
4. **Angelo Iollo**, Université de Bordeaux.

Liste des orateurs

1. **Cyrile Allery**, Université de La Rochelle
Titre : Contrôle optimal des phénomènes de transfert par des modèles d'ordre réduit adaptatifs.
2. **Nawfal Blal**, LAMCOS-INSA Lyon
Titre : Simulation numérique en temps réel du procédé de soudage par une approche ROM.
3. **Lionel Mathelin**, CNRS-LIMSI
Titre : A statistical learning strategy for high-dimensional Bayesian inference.
4. **Samuele Rubino**, Université de Bordeaux
Titre : Improved LPS-POD-ROM for convection-dominated flows.

Mejdi Azaïez, Bordeaux INP, mejdi.azaiez@enscbp.fr

Michel Bergmann, INRIA Bordeaux, michel.bergmann@inria.fr

Aziz Hamdouni, Université de La Rochelle, ahamdoun@univ-lr.fr

Angelo Iollo, Université de Bordeaux, aiollo@u-bordeaux.fr

Cyrile Allery, Université de La Rochelle, cyrille.allery@univ-lr.fr

Nawfal Blal, LAMCOS-INSA Lyon, nawfal.blal@insa-lyon.fr

Lionel Mathelin, CNRS-LIMSI, mathelin@limsi.fr

Samuele Rubino, Université de Bordeaux, samuele.rubino@u-bordeaux.fr

L'objectif du minisymposia est de réunir quelques spécialistes dans le domaine de la pratique de outils de réduction de modèles. Il s'agit donc de faire le point sur le potentiel de ces techniques pour répondre aux applications.

1 Contrôle optimal des phénomènes de transfert par des modèles d'ordre réduit adaptatifs

M. Oulghelou, C. Allery

Le contrôle optimal des phénomènes de transfert nécessite de résoudre les équations décrivant ces phénomènes et leurs équations adjointes de nombreuses fois, ce qui entraîne des temps de calcul très longs et des capacités de stockage importantes. Il n'est donc pas possible d'envisager de faire du contrôle en temps réel ou quasi-réel avec les techniques de résolution classiques (éléments finis, volumes finis, etc). Afin de diminuer drastiquement les temps de calcul et la taille des données stockées, il est possible d'utiliser des méthodes de réductions de modèle. Ces approches consistent à écrire la solution du problème dans une base de taille réduite, puis à projeter les équations décrivant les phénomènes de transfert sur cette base afin d'obtenir un système d'équations différentielles de petite taille dont la résolution, très rapide, permet d'accéder à la dynamique temporelle. La POD (Proper Orthogonal Decomposition), caractérisée par son optimalité à pouvoir reproduire le phénomène physique en très peu de modes, est la méthode de réduction de modèle la plus utilisée. L'inconvénient majeur de l'approche POD réside dans le fait que la base construite n'est valable que pour la gamme de paramètres pour laquelle elle a été construite. Cet aspect est handicapant notamment à l'intérieur d'une boucle de contrôle où le paramètre varie. Dans le contexte du contrôle optimal, l'approche POD a entre autres été utilisée par Bergmann et al. (Journal of Computational Physics, 2008) pour minimiser la traînée d'un écoulement autour d'un cylindre. Basée sur la méthode des régions de confiance, l'approche proposée nécessite de construire une nouvelle base POD pour chaque itération de l'algorithme de contrôle où la solution est en dehors de la région de validité du ROM précédent, et donc par suite à faire des simulations classiques des équations de Navier-Stokes, ce qui est coûteux. Tallet et al. (Numerical Heat Transfert part B, 2016) ont quant à eux utilisé l'approche pour contrôler un écoulement anisotherme. Pour cela ils ont considéré une base POD fixe construite à l'aide de clichés issus de simulations balayant une large plage de paramètres de contrôle. Les simulations se font en temps quasi-réels mais l'approche ne permet pas d'avoir un paramètre cible trop éloignée de ceux utilisés pour la construction de la base. Dans ce papier, afin de s'affranchir de ces difficultés, deux techniques de mise à jour de base sont proposées. La première approche considérée est la PGD (Proper Generalized Decomposition), introduite par Ammar et al. (Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2006), qui est une technique itérative d'enrichissement de bases. Ainsi à chaque itération de l'algorithme de contrôle la base est mise à jour par quelques itérations PGD. La seconde approche est quant à elle une technique d'interpolation de bases, robuste, basée sur le calcul des géodésies dans la variété de Grassmann. Cette approche, introduite par Amsallem et Farhat (AIAA Journal, 2008) dans le contexte de l'aéro-élasticité, permet d'obtenir rapidement par interpolation une nouvelle base à chaque itération de l'algorithme de contrôle. Ces différentes approches seront appliquées pour contrôler les phénomènes décrits par les équations de Burger et les équations de Stokes à l'intérieur d'une cavité dans laquelle des sources existent. L'objectif est de retrouver l'intensité des sources, qui sont les paramètres de contrôle, correspondant à une valeur cible du phénomène. La robustesse et le potentiel de ces approches en termes de précision et de temps de calcul seront présentés.

2 Simulation numérique en temps réel du procédé de soudage par une approche ROM

N. Blal, Ye LU

L'étude de l'influence des paramètres de contrôle (matériau, chargement, conditions aux limites, procédé) sur les différentes quantités de sortie en soudage (contraintes résiduelles, distorsion, énergie dissipée) s'avère long et coûteux vu l'aspect multiparamétrique du procédé. Le recours à des simulations numériques standards (e.g. éléments finis EF) devient rapidement coûteux aussi bien en terme des temps de calcul que des capacités de stockage à cause du grand nombre des paramètres mis en jeu. Les techniques de

réduction de modèle offrent un cadre efficace et robuste pour traiter ces aspects multiparamétriques tout en accélérant les temps de calcul. Dans cette étude, on propose une nouvelle stratégie pour la construction d'abaques numériques dédiés à la simulation numérique, en temps réel, du procédé de soudage. La méthode est basée sur une approche ROM a posteriori. Ainsi, un ensemble de snapshots est construit en phase hors-ligne pour quelques valeurs des paramètres considérés et qui sont adéquatement sélectionnés. Le choix des snapshots est basé sur une méthode multi-grilles permettant de réduire le nombre de calculs hors-ligne. La technique dite HOPGD est ensuite utilisée pour obtenir les différents modes séparés associés aux différents extra-coordonnées (espace, temps, variables de contrôle). Les abaques construits sont utilisés en phase en-ligne conduisant à des simulations en temps-réel 4D (espace-temps) du procédé de soudage. Pour le cas d'une simulation thermo-mécanique non-linéaire avec une source de chaleur mobile, les abaques construits permettent d'obtenir des solutions en temps réel (1s) alors qu'une simulation EF complète nécessite environ 7 heures de calcul.

3 A statistical learning strategy for high-dimensional Bayesian inference

L. Mathelin

Inference of model parameters or spatially-distributed properties is an important and difficult step in many engineering processes. Information often comes from only a few spatially-localized measurements, nonlinearly related to the quantity of interest, resulting in a very challenging ill-posed problem. A typical example is the inference of subsurface resources from scarce surface measurements. Fortunately, these high-dimensional quantities are often sparse in properly chosen bases so that dedicated recovery algorithms such as compressed sensing can be employed. We introduce a novel approach which does not rely on an a priori choice of basis for approximating the parameter field. From a prior set of realizations, one seeks a basis (dictionary) such that each realization is likely to admit a sparse representation. A critical additional aspect is that this basis has to be observable by the sensors, so that the basis modes can indeed be informed by the data. In the particular context of Bayesian inference with a linear model, this problem formulates via constructive sparse Bayesian learning and leads to lower variance estimates. Our approach will be illustrated with several examples, such as the recovery of the inhomogeneous diffusivity field from a few sensors. Thanks to the enforced observability property, it will be shown to significantly outperform current methods, such as those based on K-SVD.

4 Improved LPS-POD-ROM for convection-dominated flows

M. Azaïez , T. Chacón Rebollo , L. Lestandi , S. Rubino

In this work, we introduce improved Reduced Order Models (ROM) for convection-dominated flows. These closure models are inspired from successful numerical stabilization techniques used in Large Eddy Simulation (LES) of turbulent flows, such as Local Projection Stabilization (LPS), which may be cast in the Variational Multi-Scale (VMS) framework, and constitutes low-cost, accurate solvers (of optimal error order) for incompressible flows, despite being only weakly consistent.

We propose to apply a Streamline Derivative-based (SD-based) LPS finite element method to standard ROM created by Proper Orthogonal Decomposition (POD) of flows with Galerkin projection, to improve the numerical stability as well as the physical accuracy of the POD-ROM approximation.

Although LPS-POD closure model is being developed to derive a low-order approximation of complex non-isothermal turbulent flows, as first step we analyse it for convection-dominated convection-diffusion-reaction equations, by mainly deriving the corresponding error estimates.

Preliminary numerical simulations and results of convection-dominated flows confirm the increased numerical stability and physical accuracy of the new LPS-POD-ROM over the standard one. The computational efficiency of the proposed model is also showcased.