

Extension du domaine d'application des modèles numériques en analyse des structures aéronautiques

Le domaine de l'analyse des structures aéronautiques repose largement sur des modèles numériques construits sur la base de la discrétisation d'équations aux dérivées partielles (equation-based models).

Leur utilisation dans un cadre réglementaire nécessite un niveau de vérification et de validation en adéquation avec leur domaine d'application. Cette validation est assurée par une comparaison des résultats du modèle avec des résultats d'essais physiques représentatifs.

Les configurations testées physiquement sont en nombre limité et définies pour pouvoir servir de support à la définition du domaine de validation du modèle. Les configurations calculées par le modèle peuvent être vues comme des points d'interpolation si elles sont situées à l'intérieur du domaine de validation ou comme des points d'extrapolation à l'extérieur de ce domaine (cf Fig 1.)

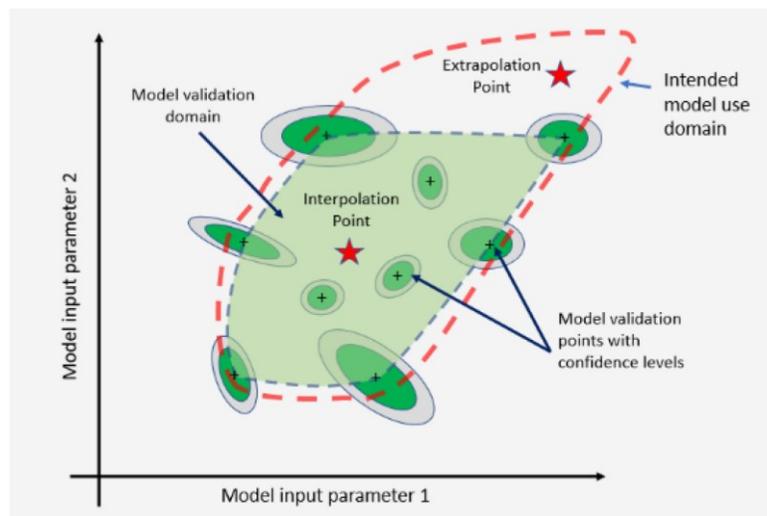


Fig 1. - Exemple de domaine de validation / utilisation

Afin de réduire les délais et coûts de développement de nouveaux avions, Airbus souhaite limiter le nombre d'essais physiques en optimisant l'utilisation des modèles numériques pour lesquels une base de validation expérimentale existe.

L'objectif de cette thèse est de développer et de valider une méthodologie de caractérisation du domaine de validation d'un modèle numérique et de mesure du risque associé à l'utilisation du modèle en dehors de ce domaine. Pour cela on cherchera à mettre en place des éléments quantitatifs de type métrique de robustesse pour supporter l'évaluation des résultats donnés par un modèle lorsqu'il est utilisé en dehors de son domaine de validation. Cette métrique devra prendre en compte l'ensemble des incertitudes significatives (numériques, mesures physiques...), la sensibilité des phénomènes physiques par rapport aux paramètres définissant le domaine d'utilisation du modèle et le niveau d'extrapolation envisagé.

Obtenir cette méthodologie est un enjeu très important pour l'industriel utilisateur de modèles numériques de systèmes complexes pour lesquels il n'est pas toujours possible de réaliser des essais physiques pour des raisons de coûts, de délai, de faisabilité, voire de sécurité (haute température, matériau instable, risque d'explosion...). Elle permettra de rendre abordable le développement de nouvelles technologies innovantes ouvrant par exemple la possibilité d'une propulsion décarbonée (hydrogène).

Le (ou la) doctorant(e) sera intégrée aux équipes Airbus (site de Toulouse) en charge du développement des technologies de modélisation numérique avancée et d'intelligence artificielle. Les cas de développement et d'application de la méthodologie seront sélectionnés parmi les programmes avions et de recherche en cours en fonction de leur maturité et de la plus-value apportée par les travaux du (de la) doctorant(e). Ils consisteront en des modèles numériques associés à des essais physiques représentatifs de structures aéronautiques d'avions commerciaux type voilure et/ou fuselage intégrés dans l'approche de certification des structures illustrée ci-dessous.

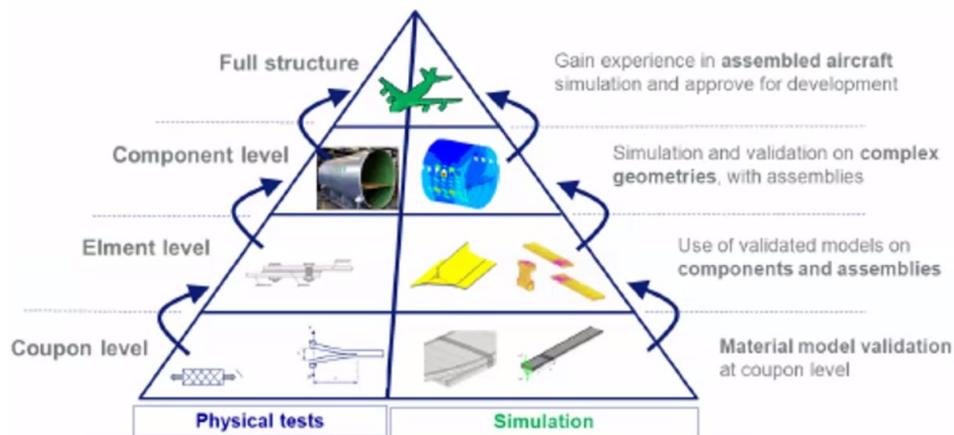


Fig 2. – Pyramide des essais illustrant le dialogue essai-calcul

L'organisation des travaux de recherche est envisagée comme suit:

1. Formalisation des caractéristiques de la métrique recherchée
 - a. Prise en compte des besoins industriels pour son utilisation dans un processus de prise de décision opérationnelle
 - b. Formulation mathématique et lien avec le processus de validation d'un modèle

- c. Identification des paramètres (continus et discrets)
- 2. Méthodologie de construction de la métrique de robustesse
 - a. Définition des pré-requis
 - b. Formalisation de la méthodologie
- 3. Applications
 - a. Cas d'application académique
 - b. Cas d'applications industriels (voilure et/ou fuselage)

Le développement de la méthodologie se fera d'abord sur un cas d'étude académique permettant de valider l'approche. La méthodologie sera par la suite appliquée sur des cas d'études industriels de complexité croissante.

L'encadrement académique sera assuré par l'ONERA-Toulouse & l'ISAE-SUPAERO.

Profil du candidat

Le ou la candidate aura idéalement une formation en mathématiques appliquées avec un complément en mécanique des structures et méthodes numériques (éléments finis).

Cette double compétence est nécessaire pour permettre de connecter ces deux domaines académiques. Une première sensibilisation aux attentes du monde industriel via une expérience préalable (stage, diplôme d'ingénieur...) serait un plus.

Bibliographie

1. W.L. Oberkampf and C.J. Roy, *Verification and Validation in Scientific Computing*, Cambridge University Press, 2010 (ISBN978-0-521-11360-1)
2. ASME, *Standard for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics*, American Society of Mechanical Engineers, ASME V&V 10, New York, NY, 2019
3. A. Haldar, S. Mahadevan. *Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design*. John Wiley & Sons – 2000
4. M. Lemaire, M., A. Chateauneuf, & J.C. Mitteau, *Fiabilité des structures*. Hermes-Lavoisier, 2005.
5. M. W. Long and J. D. Narciso. *Probabilistic Design Methodology for Composite Aircraft Structures*. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. DOT/FAA/AR-99/2 – 1999
6. M. Kempeneers. *Towards airframe static stress requirements improvement using probabilistic analyses* - 13th World Congress in Computational Mechanics – New York City, NY – 2018
7. M. Baudin, A. Dutfoy, B. Iooss & A-L Popelin. *OpenTURNS : An industrial software for uncertainty quantification in simulation*. Springer International Publishing Switzerland R. Ghanem et al. (eds.), *Handbook of Uncertainty Quantification* (pp.2001-2038) – 2016

8. S. Dubreuil, N. Bartoli, C. Gogu & T. Lefebvre, Propagation of modeling uncertainty by polynomial chaos expansion in multidisciplinary analysis. *Journal of Mechanical Design*, 138(11), 111411, 2016.
9. C.K. Williams, C.E. Rasmussen, *Gaussian processes for machine learning* Cambridge, MA: MIT press, 2006.
10. Thacker, B.H. and Paez, T. L. "A Simple Probabilistic Validation Metric for the Comparison of Uncertain Model and Test Results." Paper presented at the 16th AIAA Non- Deterministic Approaches Conference, National Harbor, MD., (AIAA 2014-0121), Jan. 2014.
11. Menz, M., Gogu, C., Dubreuil, S., Bartoli, N., & Morio, J. (2020). Adaptive coupling of reduced basis modeling and Kriging based active learning methods for reliability analyses. *Reliability Engineering & System Safety*, 196, 106771
12. *Uncertainty in Industrial Practice*, E. de Rocquigny, N. Devictor, and S. Tarantola (Editors), Wiley, 2008.
13. Sandia Validation workshop challenge *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Fall 2008

Contacts:

jean-philippe.navarro@airbus.com AIRBUS	christian.gogu@isae-superaero.fr ISAE-SUPAERO	nathalie.bartoli@onera.fr ONERA DTIS/M2CI Toulouse
--	--	--