

# Sujet de stage de Master 2: Qualité de la propagation d'incertitudes dans des modèles multiphysiques Chaire "Ingénierie des Systèmes Complexes" Ecole Polytechnique - ENSTA PT

Eric Goubault et Alexandre Chapoutot

octobre 2015

Nous proposons dans ce stage de développer des approches permettant d'étudier la propagation garantie d'incertitudes dans des modèles multiphysiques, mais également de calculer des indicateurs de la qualité de ces garanties. Pour cela, deux approches complémentaires sont envisagées. Il s'agit d'une part d'étudier la propagation d'incertitudes mixtes non-déterministes et probabilistes dans ces modèles. Et d'autre part, nous souhaitons étendre aux systèmes hybrides/multiphysiques des travaux récents pour le calcul de sous-approximations d'ensembles atteignables dans des programmes [5], de façon à soit trouver des états d'erreur, soit quantifier la qualité des garanties obtenues grâce à un indicateur, fonction du ratio de la largeur de la sur-approximation sur la sous-approximation.

Le cadre de ce stage est celui de la conception de systèmes complexes tels que des navires, sous-marins ou des avions. Il fait intervenir des modèles de nature différente: électromagnétique, fluide, thermique etc. La modélisation mathématique de ces systèmes doit prendre en compte de multiples sources d'incertitudes (de paramètres, modèles, mesures, actionneurs etc.). Les secteurs d'application souvent critiques nécessitent de prouver des propriétés garanties quelles que soient les incertitudes considérées. Ces incertitudes peuvent être modélisées soit de manière probabiliste, soit de manière ensembliste, quand des modèles probabilistes ne sont pas disponibles. Par exemple, les mesures ont parfois des modèles de bruit probabilistes venant de la physique des capteurs. Mais les incertitudes venant d'opérateurs humains, ont rarement des modèles uniquement probabilistes, mais plutôt des bornes d'erreur, qui sont plus aisément formalisées par des incertitudes non-déterministes (ensemblistes). La conjonction de ces deux types d'incertitudes a fait l'objet de nombreuses études, en particulier en analyse de risque [3], mais aussi en analyse de propriétés de systèmes discrets (programmes par exemple) [2, 1]. L'objectif de ce stage est d'étendre ces travaux, afin que d'une part, ils puissent passer à l'échelle sur des modèles complexes, et d'autre part, sur des modèles à base d'équations différentielles, et de certaines classes d'équations aux dérivées partielles. Les pistes pour ces travaux sont, pour les équations différentielles, la combinaison entre l'intégration garantie (arithmétique affine, méthodes de Runge-Kutta garanties, modèles de Taylor [7] etc.), et les méthodes de probabilité imprécise (P-box, structures de Demster-Shafer [4]), ainsi que les méthodes fondées sur des bornes type Chernof-Hoeffding. Pour les modèles EDP, on pourra partir des méthodes éléments finis intervalle [8]. Cette approche pourra également permettre de faire des analyses de sensibilité de modèles, voire de robustesse de modèles et de codes [6].

## References

- [1] Assalé Adjé, Olivier Bouissou, Jean Goubault-Larrecq, Eric Goubault, and Sylvie Putot. Static analysis of programs with imprecise probabilistic inputs. In *Verified Software: Theories, Tools, Experiments - 5th International Conference, VSTTE 2013, Menlo Park, CA, USA, May 17-19, 2013, Revised Selected Papers*, pages 22–47, 2013.

- [2] Olivier Bouissou, Eric Goubault, Jean Goubault-Larrecq, and Sylvie Putot. A generalization of p-boxes to affine arithmetic. *Computing*, 94(2-4):189–201, 2012.
- [3] S. Ferson. *RAMAS Risk Calc 4.0 Software: Risk Assessment with Uncertain Numbers*. Lewis Publishers, 2002.
- [4] S. Ferson, V. Kreinovich, L. Ginzburg, D. Myers, and K. Sentz. Constructing probability boxes and Dempster-Shafer structures. Technical Report SAND2002-4015, Sandia National Laboratories, 2003.
- [5] Eric Goubault, Olivier Mullier, Sylvie Putot, and Michel Kieffer. Inner approximated reachability analysis. In *17th International Conference on Hybrid Systems: Computation and Control (part of CPS Week), HSCC'14, Berlin, Germany, April 15-17, 2014*, pages 163–172, 2014.
- [6] Eric Goubault and Sylvie Putot. Robustness analysis of finite precision implementations. In *Programming Languages and Systems - 11th Asian Symposium, APLAS 2013, Melbourne, VIC, Australia, December 9-11, 2013. Proceedings*, pages 50–57, 2013.
- [7] K. Makino and M. Berz. Rigorous integration of flows and odes using taylor models. *Symbolic Numeric Computation*, pages 79–84, 2009.
- [8] A. Pownuk. Efficient method of solution of large scale engineering problems with interval parameters based on sensitivity analysis. In *Proceeding of NSF workshop on Reliable Engineering Computing*, pages 15–17, September 2004.