



Calculs numériques et preuves :

des assistants de preuve aux applications aérospatiales

Numerical Computations and Proofs : From Proof-Assistants to Aerospace Applications

Soutenance d'HDR – Pierre ROUX

1er décembre 2025 à 09h30 Salle des thèses, ENSEEIHT, 2 rue Charles Camichel, Toulouse

Devant le jury composé de :

Andrew Appel, Prof. émérite Princeton, visiting prof. Cornell (rapporteur)

Assia Mahboubi, DR INRIA Nantes (rapporteuse)

David Monniaux, DR CNRS Grenoble (rapporteur)

Yves Bertot, DR INRIA Nice (examinateur)

Sylvie Boldo, DR INRIA Saclay (examinatrice)

Emmanuel Grolleau, Prof. ENSMA (examinateur)

Didier Henrion, DR CNRS Toulouse (examinateur)

Philippe Queinnec, Prof. INPT (examinateur et parrain)

Résumé Les commandes de vol numérique sont très répandues dans les avions de ligne modernes, pour un ensemble de raison que nous résumerons. Ces logiciels étant critiques, ils exigent un très haut niveau de qualité, actuellement atteint par des tests nombreux et coûteux. Nous souhaiterions développer des méthodes formelles pour remplacer certain de ces tests par des preuves mathématiques.

Au cœur des commandes de vol se trouvent des calculs numériques. Pour les vérifier, nous étudions des méthodes basées sur les polynômes sommes de carrés (SOS), utilisant la programmation semidéfinie (SDP). Ces solveurs numériques produisent efficacement des solutions approximées, grâce à l'arithmétique à virgule flottante. Malheureusement, les erreurs d'arrondi peuvent mener à des résultats erronés, parfois sans indice annonçant l'erreur. Nous avons donc développé une méthode pour obtenir des preuves rigoureuses à partir de ces solutions approximées.

Cette méthode a été implémentée comme une tactique automatique dans l'assistant de preuve Rocq (anciennement Coq). Pour permettre des preuves efficaces basées sur des calculs numériques, cela nous a mené à développer un support des flottants matériel dans Rocq.

Les systèmes embarqués critiques dépendent aussi de réseaux qui doivent remplir des contraintes temps réel. Diverses technologies sont disponibles, parmi lesquelles les réseaux à débit contraint en utilisant le calcul réseau pour garantir que les contraintes temps réel sont satisfaites. Nous avons formalisé dans Rocq à la fois des résultats théoriques du calcul réseau et les calculs en algèbre tropicale nécessaires pour de véritables analyses.

Nous terminerons la présentation par un rapide tour d'horizon d'activités plus techniques : contributions à l'assistant de preuve Rocq et sa librairie MathComp, ainsi qu'une expertise technique sur le réseau embarqué du lanceur Ariane 6.

Mots clés commandes de vol numérique, systèmes embarqués, méthodes formelles, polynômes sommes de carrés (SOS), optimisation convexe, programmation semidéfinie (SDP), assistants de preuve, Rocq, Coq, arithmétique à virgule flottante, calcul réseau

Un lien visio-conférence sera disponible sur <https://www.onera.fr/fr/staff/pierre-roux>