

## **Titre de la thèse : Méthodes et outils pour la propagation d'incertitudes des simulations en énergétique des bâtiments**

**Directeur(s) de thèse :** Benoit Delinchant, Olivier Adrot  
*benoit.delinchant@G2ELab.grenoble-inp.fr, Olivier.Adrot@g-scop.inpg.fr*

**Ecole doctorale :** EEATS (Electronique, Electrotechnique, Automatique & Traitement du Signal)  
Option : Automatique, Productique

**Date de début** (souhaitée) Septembre 2011

**Lieu :** Grenoble (Laboratoires G2ELab & G-Scop)

**Financements envisagés :** ANR HABISOL Fiabilité

**Mots clés :** Fiabilité, Incertitudes, Analyse de sensibilité, Modélisation énergétique du bâtiment, Programmation.

### **1. Contexte :**

Le sujet de thèse s'inscrit dans un projet de l'agence national de la recherche (ANR) intitulé « Fiabilité », en partenariat avec EDF, CEA-INES, CSTB, Armines CEP, Trèfle I2M, LPBS, LOCIE, et CETHIL. Ce projet est centré sur la question fondamentale de la fiabilité des codes de simulation thermique et énergétique des bâtiments dans le contexte de bâtiments à basse consommation (BBC) ou à bilan énergétique annuel positif (BEPOS). Afin de répondre aux questions importantes de la filière relatives aux possibilités de garantir une performance énergétique du fait notamment de l'usage d'outils de simulation, il est primordial d'assurer que les résultats de simulation reflètent les effets des incertitudes liées aux paramètres de conception, aux sollicitations ou aux usages des bâtiments.

### **2. Objectif :**

L'objectif est donc de définir et de développer des techniques appropriées pour propager les incertitudes dans des modèles temporels réduits appliqués à la modélisation énergétique des bâtiments, en adaptant des techniques existantes, en les comparant et en les améliorant.

Pour cela, le candidat devra s'appropriier les domaines de la modélisation physique et les techniques de résolution numériques associées (équation différentielles, équations aux dérivées partielles), le calcul statistique et les méthodes d'analyse de sensibilité, ainsi que la programmation pour la mise en œuvre de prototypes logiciels.

Le travail de thèse s'effectuera en co-encadrement par deux laboratoires de Grenoble, le G2Elab (génie électrique) et le G-Scop (génie industriel).

### **3. Méthodes envisagées :**

Une méthode classique dite de « Monte Carlo » vise à effectuer des tirages aléatoires des paramètres d'entrée pour reconstruire la probabilité des sorties du modèle. Cette méthode, pour être précise, nécessite un nombre trop important de simulations. Une solution consiste alors à créer une « surface de réponse » du modèle, c'est-à-dire un modèle approché très rapide à calculer et à réaliser la méthode de Monté Carlo sur ce modèle.

D'autres méthodes dites « intrusives » existent également mais nécessitent de retravailler le code même de la simulation. Ces méthodes seront étudiées dans cette thèse et feront l'objet de comparaison avec la méthode de Monté Carlo sur surface de réponse.

**La première méthode, dite « locale », exploite le Jacobien du modèle**, c'est-à-dire les dérivées partielles des sorties par rapport aux entrées. Il s'agit en fait d'une approximation linéaire autour d'un point de fonctionnement. A partir de ce Jacobien, des méthodes simples permettent de connaître approximativement la dispersion des sorties vis-à-vis des incertitudes des entrées. Il est également possible de quantifier des indices de sensibilité (Sobol, etc.) ou de fiabilité (Hasofer et Lind, etc.). Ces techniques peuvent être utilisées à partir de différences finies (méthode non intrusive) mais les temps de calcul deviennent lourds et la précision faible. En revanche, si le modèle de calcul est accessible, il est possible d'exploiter les techniques de dérivation de code qui permettent, dans beaucoup de cas, un calcul symbolique du Jacobien. De plus, dans certains cas, il est possible d'appliquer des théorèmes de dérivation (Théorème des fonctions implicites, technique de la variable adjointe, ...) permettant de réduire drastiquement les temps de calcul du Jacobien.

**La deuxième méthode dite « ensembliste », au lieu de représenter des paramètres d'un modèle ou des mesures connus avec imprécision par des valeurs nominales, décrit ces grandeurs par leurs supports bornés (le plus souvent des intervalles), c'est-à-dire les ensembles de valeurs qu'ils sont susceptibles de prendre. Il s'agit ensuite d'étendre les relations mathématiques des modèles de la physique à ces ensembles, puis de propager ces supports au cours du processus d'évaluation du modèle grâce à l'analyse par intervalles afin d'appréhender toutes les situations possibles.**

De manière générale, les méthodes ensemblistes désignent toutes les méthodes permettant de manipuler des sous-ensembles de  $R^n$ , et de résoudre des contraintes liant les éléments de ces ensembles. Les sous-ensembles élémentaires utilisés peuvent prendre des formes diverses et variées comme des zonotopes, des polytopes, des ellipsoïdes, des boîtes (ou vecteur d'intervalles)... Lorsque le domaine de solution est trop complexe et ne peut être exactement représenté par un simple sous-ensemble élémentaire, une approximation extérieure (contenant toute les solutions au problème posé) peut être déterminée.

L'utilisation de modèles ensemblistes dynamiques peut conduire à des tubes de trajectoires en fonction du temps dont la taille d'enveloppe est difficilement maîtrisable dans certaines situations (phénomène d'enveloppement). L'utilisation de techniques de contraction et/ou un choix judicieux dans l'expression utilisée des fonctions intervalles doivent permettre de résoudre cette difficulté.

#### **4. Quelques références bibliographiques :**

- Adrot O., Flaus J-M., Fault detection based on uncertain switching models with bounded parameters, Safeprocess2009, 7th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes, Barcelona, 30th June – 3rd July, 2009
- Adrot O., Flaus J-M., Guaranteed fault detection based on interval Constraint Satisfaction Problem, Conference on Control and Fault-Tolerant Systems, Systol'10, pp 708-713, Nice, France, October 6-8, 2010
- R.E. Moore, Interval analysis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1966.
- Neumaier, A., Interval Methodes for Systems of Equations. Cambridge University Press, 1990.
- B. Delinchant "Interval Arithmetic for the Design of Electrical Engineering Systems", OIPE 2006 – September 13th – 15th 2006, Sorrento (Italy)
- P. Pham-Quang, B. Delinchant, C. Ilie, E. Slusanschi, J.L. Coulomb, B. du Peloux "Mixing Techniques to Compute Derivatives of semi-numerical models: Application to Magnetic Nano Switch Optimization", accepted in COMPUMAG 2011, 12-15 July 2011, Sydney, Australia.
- P. Enciu, F. Wurtz, L. Gerbaud, B. Delinchant "Automatic differentiation for electromagnetic models used in optimization", COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering; Vol 28, Issue: 5, pp 1313 - 1326, 2009
- B. Delinchant, H.L. Rakotoarison, V. Ardon, O. Chadebec and O. Cugat, "Gradient based optimization of semi-numerical models with symbolic sensitivity: Application to a simple ferromagnetic MEMS switch device", International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics (IJAEM), Volume 30, Number 3-4, pp.189-200, 2009