

Méthodes avancées pour l'optimisation de systèmes dynamiques complexes pour la physique des cœurs

1. DESCRIPTIF DE LA THESE

De nombreuses simulations numériques s'attachent à prédire l'évolution de système physique au cours du temps. Les enjeux sont principalement des problématiques de prévision à plus ou moins long terme. Pour les systèmes dynamiques non-linéaires en particulier, la qualité de cette prévision est fortement liée à l'état initial, et la manière dont il est déterminé ou « assimilé », ainsi qu'à l'erreur numérique qui y est associée. Par exemple, la modélisation de l'évolution de la concentration de xénon dans le cœur des centrales nucléaires est extrêmement importante pour leur pilotage en suivi de charge et pour le contrôle d'oscillations parasites de la puissance axiale. En effet, le recourt croissant aux énergies renouvelables sollicite un pilotage fin et efficace des réacteurs à eau pressurisée (REP) pour assurer la stabilité et l'efficacité du réseau électrique. L'objectif que se fixe cette thèse est d'améliorer la fiabilité et la robustesse des prévisions à long terme, en croisant diverses approches et techniques mathématiques.

Le développement de stratégies de contrôle des erreurs de modélisation et de mesure sont des axes de recherche clairement identifiés dans les méthodes d'assimilation de données, pour l'optimisation des modèles et de leurs usages. Des progrès sont à attendre aussi bien sur des aspects fondamentaux théoriques et des méthodologies numériques que sur des problématiques industrielles. Du côté de l'usage des modèles numériques à des fins prédictives, il est indispensable de contrôler et réduire leurs erreurs numériques associées, ce qui nécessite non seulement une optimisation de l'état et des paramètres de modèles, mais aussi une estimation précise des incertitudes (e.g. paramétriques) et des intervalles de confiance en prédiction. Lorsque les codes de calcul sont trop coûteux en temps de calcul, l'une des solutions retenues pour faciliter l'optimisation par assimilation de données comme la quantification de l'incertitude, est de construire des modèles mathématiques simplifiés, nommés *métamodèles*. Ces métamodèles continus s'appuient sur un échantillonnage discret parcimonieux du modèle numérique déterministe, considéré comme une boîte noire.

Afin d'aborder le problème, un premier objectif du travail de thèse sera d'appliquer diverses méthodes de propagation des incertitudes et de contrôle de l'erreur par assimilation de données sur des exemples, simplifiés mais représentatifs des difficultés de l'application industrielle. Sur la base de ces modèles simples, on propose d'évaluer l'interaction des méthodes de détermination de paramètres, soit par des techniques bayésiennes soit par assimilation de données [1,5], avec l'adaptation des aspects temporels de la dynamique du modèle (l'analyse et le contrôle d'erreur que l'on pourra en tirer pourra même potentiellement être appliqué de manière non intrusive aux simulations industrielles).

En particulier, on étudiera l'aspect adaptatif de ce contrôle temporel en fonction des méthodes de détermination de paramètres du modèle. On s'intéressera en particulier à la complémentarité entre les méthodes de contrôle d'erreurs et celles de propagation d'incertitudes, et plus spécifiquement

celles tirant profit de l'utilisation de métamodèles construits à partir de polynômes de chaos ou de processus gaussiens [2], qui sont les plus usités à EDF. L'une des voies de travail consistera à prendre en compte finement la nature des données (différents types d'observations), pour des processus œuvrant sur différentes échelles de temps, et avec plusieurs modèles possédant des niveaux de précision différents. A cette fin, les techniques de métamodélisation par processus gaussiens semblent prometteuses. Ils permettent en effet une modélisation multi-fidélités, la prise en compte de simulations bruitées, la mise à disposition d'une estimation de l'erreur de métamodélisation et des calculs analytiques pour accéder aux gradients de prédiction. Du point de vue de l'assimilation de données, les travaux sur l'évolution des systèmes dynamiques sont nombreux car ils sont à la base de la prévision météo [3]. L'originalité est ici de prendre en compte dans les processus d'évolution les informations sur les précisions issues des métamodélisations pour enrichir la prédiction. Par ailleurs on pourra aussi tirer avantage des nouvelles approches disponibles en assimilation de données qui permettent de travailler uniquement sur des bases caractéristiques du processus (PBDW [4]) pour tirer le meilleur parti des approches de métamodélisation.

A l'issue de ce travail de thèse, une implémentation des méthodes développées sera recherchée dans SALOME, en lien avec le logiciel d'assimilation de données ADAO et avec le logiciel de traitement des incertitudes Open TURNS, développés par EDF R&D.

2. QUELQUES REFERENCES INTRODUCTIVES :

- [1] F. Bouttier, P. Courtier. Data assimilation concepts and methods, <http://www.ecmwf.int/>
- [2] R.C. Smith. Uncertainty quantification : Theory, implementation, and applications, SIAM
- [3] E. Kalnay. Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability, Cambridge University Press
- [4] Y. Maday. A Parametrized-Background Data-Weak Approach to Variational Data Assimilation: Formulation, Analysis, and Application to Acoustics, Int. J. Numer. Meth. Engng
- [5] J. Munoz Sabater *et al.* Applications du CERFACS en assimilation de données

3. CARACTERISTIQUES DE LA THESE :

- Thèse dans le cadre ANRT/CIFRE
- Encadrant universitaire et laboratoire associé : Didier LUCOR, LIMSI-CNRS/Univ. Paris Saclay
- Encadrants EDF/R&D : Jean-Philippe Argaud (SINETICS), Bertrand Bourriquet (SINETICS), Bertrand Iooss (MRI)
- Lieu de travail principal : EDF/R&D Paris Saclay, Palaiseau