

Quantification d'incertitudes sur la modélisation des enveloppes fluides (océan, atmosphère, surfaces continentales)

Pour LEFE-MANU, Sophie Ricci, Pascale Braconnot, Didier Ricard

Descriptif et enjeux

Les processus physiques, chimiques et biogéochimiques en géosciences sont représentés par des équations aux dérivées partielles (EDP) discrétisées sur une grille potentiellement à haute résolution. D'une part, l'estimation des paramètres, des conditions initiales et conditions aux limites de ces EDP est incertaine et d'autre part leur implémentation numérique est entachée d'erreurs liées à la discrétisation spatio-temporelle et à la simplification des processus physiques. Ces erreurs se traduisent par des erreurs sur les simulations et sur les prévisions issues des modèles. La quantification de l'incertitude consiste à chercher la fonction de densité de probabilité (Pdf) des sorties du modèle étant donnée la Pdf des entrées du modèle qui sont sources d'incertitude. La méthodologie repose sur des approches stochastiques dérivées des méthodes de Monte-Carlo et nécessite un grand nombre d'intégrations du modèle - un ensemble de réalisations. La réduction des incertitudes relève du domaine de l'assimilation de données qui consiste à chercher une estimation optimale de la Pdf des sorties du modèle en prenant en compte des observations incomplètes et imparfaites du système.

État des lieux

Les méthodes de quantifications d'incertitudes sont en plein essor dans le domaine de la mécanique des fluides numérique et sont principalement appliquées pour un nombre limité de paramètres, typiquement une dizaine. Un point clé pour la quantification des incertitudes réside dans la construction de l'ensemble qui doit être représentatif des gammes d'erreurs sur chacune des sources d'incertitudes du modèle.

Ces méthodes s'appuient sur la construction d'une surface de réponse approchée pour le modèle à partir d'un nombre limité d'intégrations et d'approximations, par exemple à l'aide d'une décomposition sur une base polynomiale ou de fonctions de krigeage. L'utilisation de cette surface de réponse permet de réaliser à moindre coût de calcul l'intégration des membres de l'ensemble et d'aboutir à la description de la Pdf ou de certaines de ses caractéristiques. Enfin, dans le contexte d'optimisation de paramètres du modèle, l'utilisation de ce modèle réduit permet de limiter le coût du processus d'optimisation qui nécessite généralement de nombreuses estimations du modèle et de son gradient.

Problématiques

- Caractéristiques des modèles en géosciences : grande dimension, multi-physiques, coût de calcul important, validation par rapport à des jeux d'observations incomplets et imparfaits.
- Sources d'incertitudes : toute la physique n'est pas comprise, schémas numériques, définition du domaine de simulation, données en entrée du modèle. L'approche déterministe n'est pas suffisante.
- Génération d'un ensemble : échantillonnage, identification des sources d'incertitudes, résolution suffisante, dispersion suffisante, en accord avec la réalité. Important coût de calcul. Difficulté pour la génération des membres avec des perturbations sur l'ensemble des sources d'incertitudes.
- La génération d'un ensemble de conditions initiales peut se faire sous la forme de l'ajout de petites perturbations à un état de référence, par exemple suivant les modes principaux de croissance d'erreur. L'ensemble des conditions limites peut par exemple provenir de prévisions d'ensemble d'un modèle grande échelle. La représentation de l'erreur intrinsèque au modèle nécessite une approche multi-

physique qui peut s'exprimer par des variantes des schémas de paramétrisation, l'ajout d'une physique stochastique ou bien une étude multi-modèles.

- Les méthodes actuelles de quantification d'incertitudes (intrusives ou non) ne sont pas appropriées à ce jour pour les problèmes de grande taille. Il faut également prévoir l'ajout de contraintes par rapport à la physique du système considéré.
- Assimilation de données et incertitudes a posteriori : utilisation d'observations pour réduire les incertitudes de sorte à maximiser la vraisemblance du modèle. Algorithme implémenté dans un espace de grande taille avec des hypothèses sur la linéarité des opérateurs et la distribution des erreurs. Certains algorithmes d'assimilation reposent sur une estimation stochastique des matrices de covariance qui décrivent les statistiques des erreurs liées à l'état du modèle; les difficultés relatives à la génération de l'ensemble sont semblables à celles décrites dans le cadre de la quantification d'incertitudes.

Référence

Prospective OA : méthodes mathématiques et numériques, groupe de travail LEFE/MANU, avril 2011.