

8^{ème} AO de la FRAE (Mathématiques)
29 juin 2009

L'optimisation non-linéaire et le contrôle constituent encore aujourd'hui deux thématiques mathématiques majeures pour les applications aéronautiques et spatiales. La problématique générale pourrait être décrite comme suit : si l'on peut penser qu'actuellement la simulation numérique de modèles (souvent des systèmes d'équations complexes) est raisonnablement maîtrisée dans les faits, la question que se posent désormais tous les praticiens dans le domaine des sciences de l'ingénieur est de savoir comment utiliser ces modèles afin d'améliorer les performances des systèmes modélisés, c'est-à-dire d'en optimiser certaines caractéristiques.

L'intérêt pour l'optimisation découle donc naturellement du progrès considérable engrangé sur le front de la résolution numérique, ce qui conduit à prédire que cette tendance ne va que se renforcer dans les prochaines années. Une recherche sur les méthodes avancées en optimisation non-linéaire et contrôle s'avère donc à la fois stratégique et primordiale. Il importe de prendre pleinement en compte les développements récents et de contribuer à leur essor, qu'il s'agisse de nouvelles problématiques (par exemple optimisation multidisciplinaire, prise en compte d'incertitudes dans les processus de minimisation) et de nouvelles méthodes (utilisation de méta-modèles et développement conjoint des techniques de plan d'expérience, optimisation stochastique, optimisation multi-niveau, optimisation de fonctions sans dérivée, algorithmes évolutionnaires)

Parmi les domaines applicatifs que l'on peut citer :

- l'assimilation de données dans les géosciences (climat, océan et géodésie spatiale). Ces disciplines ont recours à un usage intensif de l'approche mathématique afin de reconstruire les états initiaux ou des paramètres de forçage de systèmes dynamiques de grande taille (plusieurs millions d'inconnues) et parfois fortement non-linéaires, comme dans le cas de l'évolution de l'atmosphère. L'extension de l'assimilation de données à de nouvelles applications aéronautiques et spatiales pour lesquelles le dialogue entre "données" et "modèles" reste à développer (au-delà des seules approches baptisées "recalage de modèles", ou "calage de paramètres", ou "reconstitution de champ", ou encore "identification de conditions initiales") ouvre de nouvelles perspectives en optimisation non-linéaire, tout comme l'extension des méthodes de l'"observation adaptative" au contrôle des écoulements ;

- l'optimisation numérique en aérodynamique ou en combustion. Ces deux thématiques suscitent elles aussi un intérêt croissant en raison de perspectives environnementales de réduction de la consommation des véhicules. Un problème typique en est la minimisation de la traînée aérodynamique produite par un profil d'aile paramétrisé sous diverses contraintes opérationnelles, dont la garantie d'une portance minimale. En combustion, il peut s'agir par exemple d'optimiser le positionnement d'injecteurs dans des turbines. L'optimisation en aérodynamique peut être couplée avec des problème d'optimisation de structure. La dimensionnalité des problèmes peut alors s'avérer un obstacle redoutable à leur résolution pratique, notamment dans le cas de l'emploi de matériaux composites.

- d'autres secteurs applicatifs relatifs au contrôle en temps réel ou en léger différé s'avèrent également consommateurs de nouvelles méthodes d'optimisation, où il s'agira de résoudre des problèmes de tailles plus modestes mais à des fréquences plus élevées. C'est notamment

le cas en robotique ou en contrôle autonome au sein de systèmes embarqués. Contrairement à certains autres domaines algorithmiques, il n'existe en ce jour aucun outil logiciel susceptible de fonctionner en boîte noire pour résoudre des problèmes de contrôle ou d'optimisation relatifs à ce type d'applications. A plus forte raison, il n'existe pas non plus de techniques permettant de relever à coup sûr les futurs défis au sein de ces deux disciplines.

- de façon générale, l'identification, la détection et le contrôle en propagation d'ondes posent encore problème : il s'agit de reconnaître le champ des coefficients ou des seconds membres d'un système d'équations aux dérivées partielles hyperbolique dans l'opérateur lui-même ou dans des conditions aux limites par le biais de la minimisation d'une fonction objectif (qui représentera l'écart par rapport aux mesures dans le cas des problèmes d'identification). Il est clair que de tels problèmes se posent en électromagnétisme (détection de défauts, d'objets enfouis, restitution de propriété de matériaux par le biais des permittivités et des conductivités) et en aéroacoustique (identification de sources, contrôle de propagation de bruits par traitement de parois).

Dans tous les cas, les techniques de résolution doivent tenir compte du caractère plus ou moins non linéaire du problème inverse et du caractère toujours, mais plus ou moins sévèrement, mal posé de celui-ci. Les problèmes de contrôle actif associés à des systèmes d'équations d'état hyperboliques, qu'il s'agisse de contrôles distribués en volume ou de type frontière, sont encore peu maîtrisés.

La principale difficulté provient du fait que le contrôle du problème discrétisé est qualitativement et quantitativement différent du problème de contrôle.

La prise en compte du feed-back constitue un problème difficile, bien éloigné des problèmes habituels de contrôle des EDO : on ne sait pas écrire sans paradoxes les équations de RICCATI du problème. Ceci est bien sûr dû à la finitude des vitesses de propagation et à la complexité géométrique du système bicaractéristique associé aux équations.

L'objectif de l'AO est donc de solliciter la communauté des mathématiciens et mathématiciens appliqués pour améliorer les méthodes et les outils dans les domaines de l'optimisation non-linéaire et du contrôle.