Optimisation multi-disciplinaire et multi-objectif

Centre de recherche en simulation numérique, Cenaero a développé un système d'optimisation reposant sur le développement d'algorithmes génétiques et l'utilisation de méta-modèles pour l'optimisation globale de systèmes complexes.

Lier la CAO à l'optimisation

La conception optimale de formes 3D réelles (au sens industriel) est un problème qui préoccupe nombre d'ingénieurs depuis des décennies. Cette tâche requiert à la fois des outils d'analyse multidisciplinaire, une méthode d'optimisation numérique et des techniques efficaces d'optimisation de formes. En outre, les systèmes CAO sont devenus part intégrante du processus de design, notamment dans le domaine des turbomachines, un secteur dans lequel s'illustre le centre belge de recherche en simulation Cenaero. Ce dernier s'est penché sur cette application au cours des trois dernières années. Il propose une boîte à outils innovante et rapide à mettre en place pour relever ce défi. Car la difficulté est réelle et repose sur l'élaboration d'un outil de « conception automatisée » qui accède à la géométrie native du système CAO. Ceci est obligatoire pour que le système soit utilisable dans une boucle d'optimisation industrielle.

Les méthodes traditionnelles proposées jusqu'à maintenant réalisent l'optimisation et le design en dehors du logiciel CAO. En effet, une fois la géométrie d'un objet finalisée, il s'agit d'exporter une version adaptée de celle-ci vers le logiciel de calcul employé. Souvent manuelle, cette opération est également sujette à des imprécisions, voire des erreurs. Après optimisation de la géométrie de la pièce, les paramètres de celle-ci doivent être transférés de nouveau vers la CAO si l'on veut fermer la boucle : cela se fait souvent sous forme de simples courbes (splines) ou de coordonnées de points. Ce qui nécessite encore diverses opérations avant d'obtenir la forme

Une capacité de calcul de 275 microprocesseurs...

Le Cenaero est un centre de R&D appliquée dont l'activité se focalise autour de la simulation numérique à destination de l'aéronautique. Sa mission est de supporter l'innovation technologique des entreprises du secteur aéronautique de la région wallonne. Laboratoire semi publique crée en 2002, il est constitué d'environ d'une trentaine d'ingénieurs et articule ses travaux autour de quatre grands pôles :

- la fabrication virtuelle avec la modélisation de procédés d'assemblage, d'usinage de soudage, d'étirage à froid…
- la mécanique des fluides et notamment ses applications multi-physiques. Un domaine pour lequel le centre technique a développé un code spécifique capable de modéliser un ensemble de 100 millions d'éléments pour par exemple mesurer les écoulements instationnaires autour des trains d'atterrissage (étude aéro-acoustique).
- La modélisation des matériaux et notamment les composites, les structures collées, pour des études de fatigue et la simulation de propagation de fissures sur alliages.
- L'optimisation multi-disciplinaire reposant sur le développement d'algorithmes génétiques et l'utilisation de méta-modèles pour l'optimisation globale de systèmes complexes.

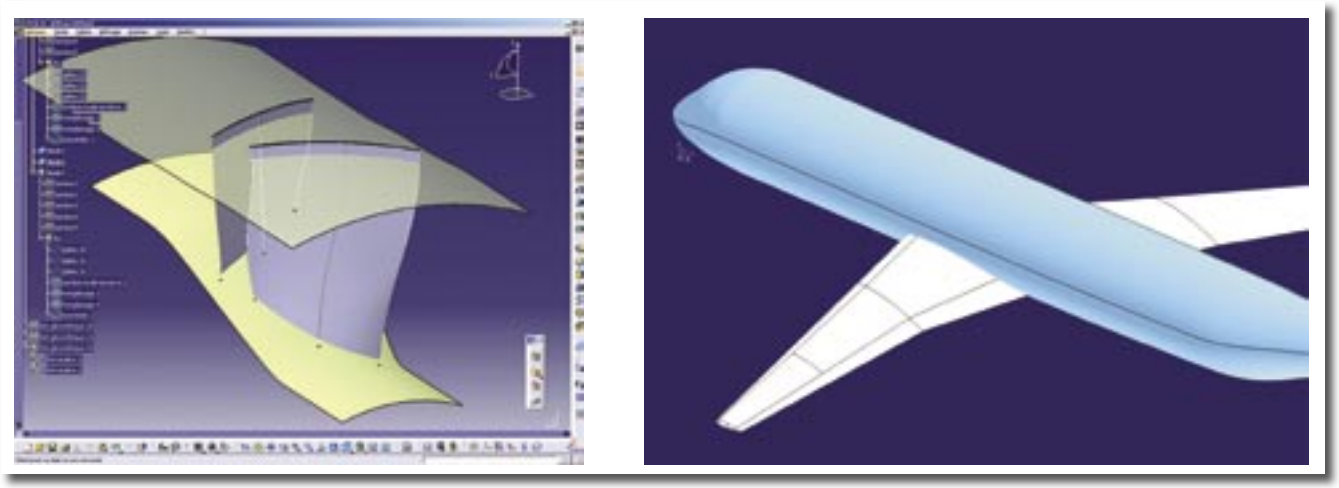


Figure 1 : Exemples de modèles de base paramétrés pouvant servir en optimisation de forme.

géométrique finale, et donc des pertes de précision pratiquement inévitables.

La plupart des méthodes d'intégration à la CAO reposent sur des traducteurs ou des moteurs géométriques qui ne permettent pas à l'environnement de simulation d'accéder complètement en natif aux paramètres et attributs du modèle CAO. D'où une perte d'information regrettable et une robustesse discutable du process. On constate également qu'on a souvent recours à une étape supplémentaire et manuelle de réparation de la CAO, ce qui est incompatible avec les besoins d'une chaîne industrielle, et entièrement automatisée. C'est précisément cette phase qui constitue le principal goulot d'étranglement étant donnée la nature spécifique et multidisciplinaire de chaque problème d'optimisation. Mettre au point un environnement flexible d'optimisation qui soit suffisamment robuste pour répondre aux besoins industriels n'est en aucun cas une tâche aisée. Pourtant, le process d'optimisation compte tout autant que la qualité intrinsèque de l'algorithme de calcul utilisé !

Quel est le système idéal ?

Dans ce contexte, Cenaero a identifié quelques composants clés d'un tel système idéal :
– la CAO doit être la colonne vertébrale du système, et doit permettre l'accès direct aux outils multidisciplinaires ainsi qu'à l'optimiseur,
– neutralité par rapport au système CAO mis en place,
– neutralité par rapport aux outils de simulation IAO,
– algorithmes d'optimisation efficaces et indépendants des outils IAO et CAO.

L'un des principaux avantages des outils CAO modernes réside dans leur capacité paramétrique. Cela permet d'obtenir autant de variants que l'on souhaite, en intervenant seulement sur quelques paramètres du modèle original (voir figure 1).

Il est également impératif de conserver une source unique de données géométriques dans la boucle d'optimisation. Utiliser le système CAO pour archiver les données géométriques successives semble aussi être un moyen efficace pour limiter la quantité de données à stocker, et garantir ainsi la robustesse du process (notamment par respect des contraintes de

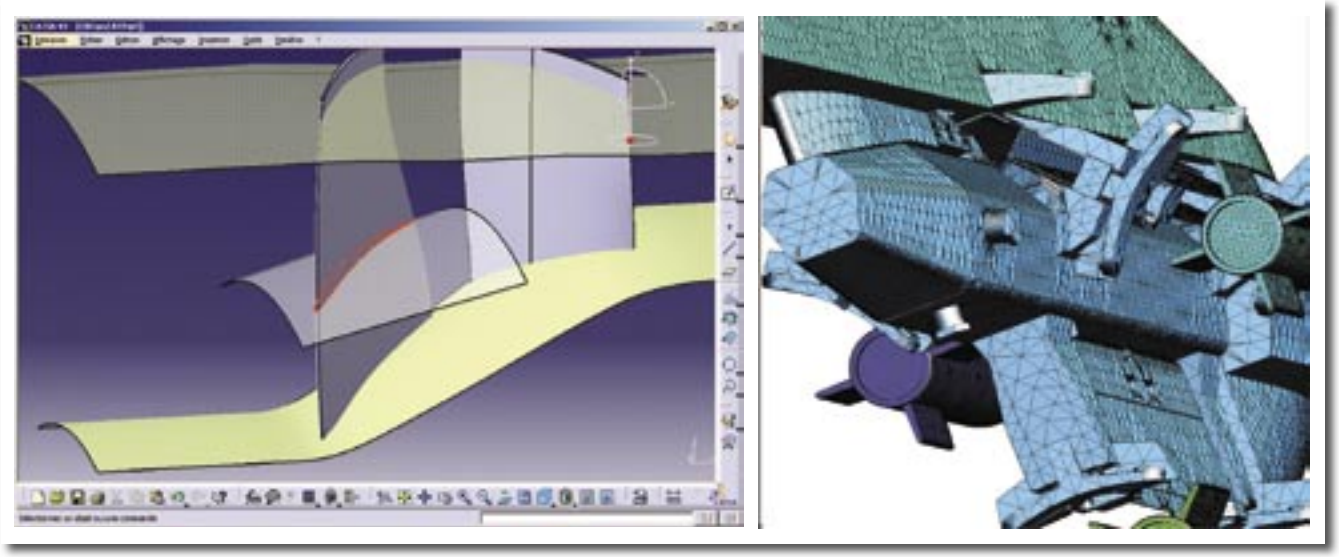


Figure 2 : Exemples de manipulation solide et de triangulation de surface avec Capri.

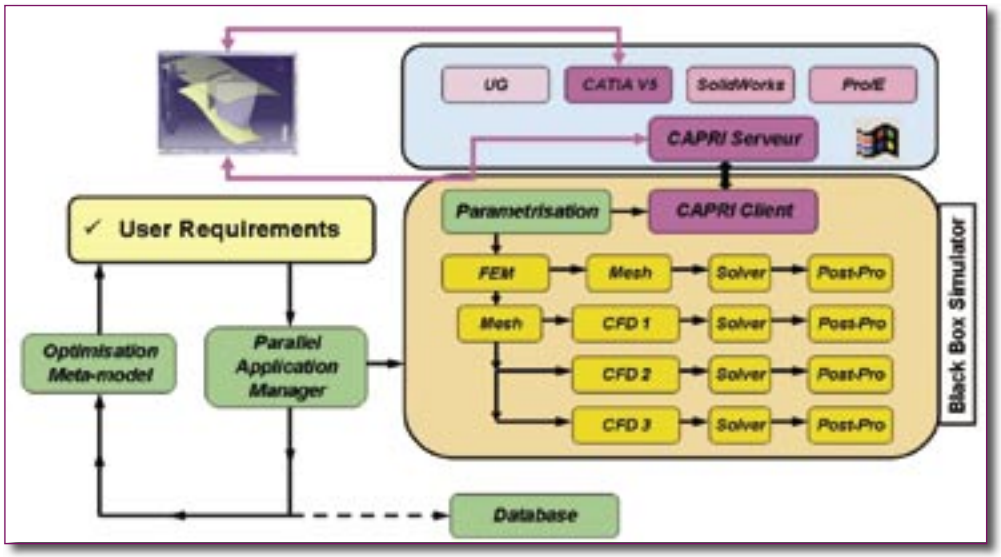


Figure 3 : Environnement d'optimisation basé sur MAX et CATIA-V5.

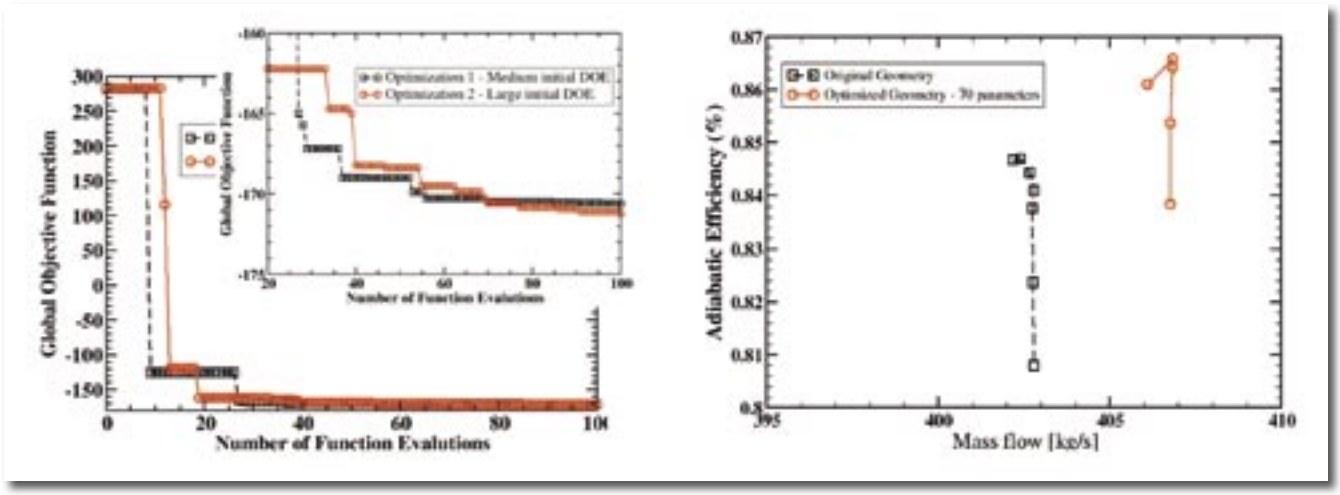
fabrication que l'on peut y introduire). Dans ce cas, l'optimiseur travaille en direct avec la géométrie, ainsi que les outils de calcul. Il paraît également nécessaire de garantir la neutralité du système par rapport aux logiciels de conception et de simulation du marché. Il est par conséquent primordial d'utiliser un modeleur géométrique et un modèle CAO à l'intérieur de la boucle d'optimisation.

De telles capacités sont proposées dans un outil disponible sur le marché et baptisé Capri. Il s'agit d'une interface de programmation et d'intégration de la CAO qui fournit un accès aisé et totalement transparent aux modèles 3D paramétrés. Ceci inclut les surfaces natives pour la géométrie, le maillage volumique pour l'analyse, ainsi que les paramètres dont l'optimiseur a besoin pour modifier et mettre la CAO à jour. Grâce à Capri, des manipulations géométriques du modèle peuvent être réalisées de manière indépendante du logiciel de conception utilisé (Figure 2). De plus, cet outil facilite l'accès à une triangulation de base de l'objet CAO complexe rendant possible l'interfaçage avec de nombreux générateurs de maillages.

La proposition Cenaero

Cenaero a développé le logiciel Max pour l'optimisation mono et multi-objectifs. Cette application peut être facilement couplée aux logiciels de simulation de CFD, de calcul de structures, d'analyse thermique, d'acoustique. Elle peut aussi être associée a une solution d'optimisation de formes, de process ou d'outillage, utilisant l'imposition d'objectifs et de contraintes par l'utilisateur. Max repose sur la technologie des algorithmes génétiques, très largement accélérés par l'utilisation de modèles approchés comme des réseaux de neurones artificiels ou des réseaux de fonctions à bases radiales. Il peut-etre utilisé sur des ordinateurs massivement parallèles et est capable de planifier efficacement la soumission de logiciels de simulation commerciaux, académiques ou internes. Max est également en mesure de gérer les fonctions non calculables rencontrées dans les cas complexes et de modifications de géométries très importantes.

Un des avantages principaux de cette solution est de permettre une optimisation précise et rapide, sans avoir d'accès au code source des logiciels de simulation. Ce dernier point est particulièrement important dans tous les secteurs et notamment dans celui de l'aéronautique, où de nombreux logiciels sont utilisés par les fabricants et surtout sont certifiés pour la conception. Par conséquent, il est abso-

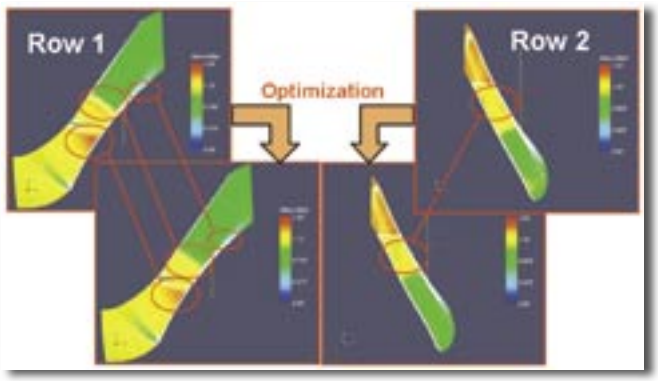


Historique de convergence de l'optimisation (gauche) et performance de la soufflante (droite).

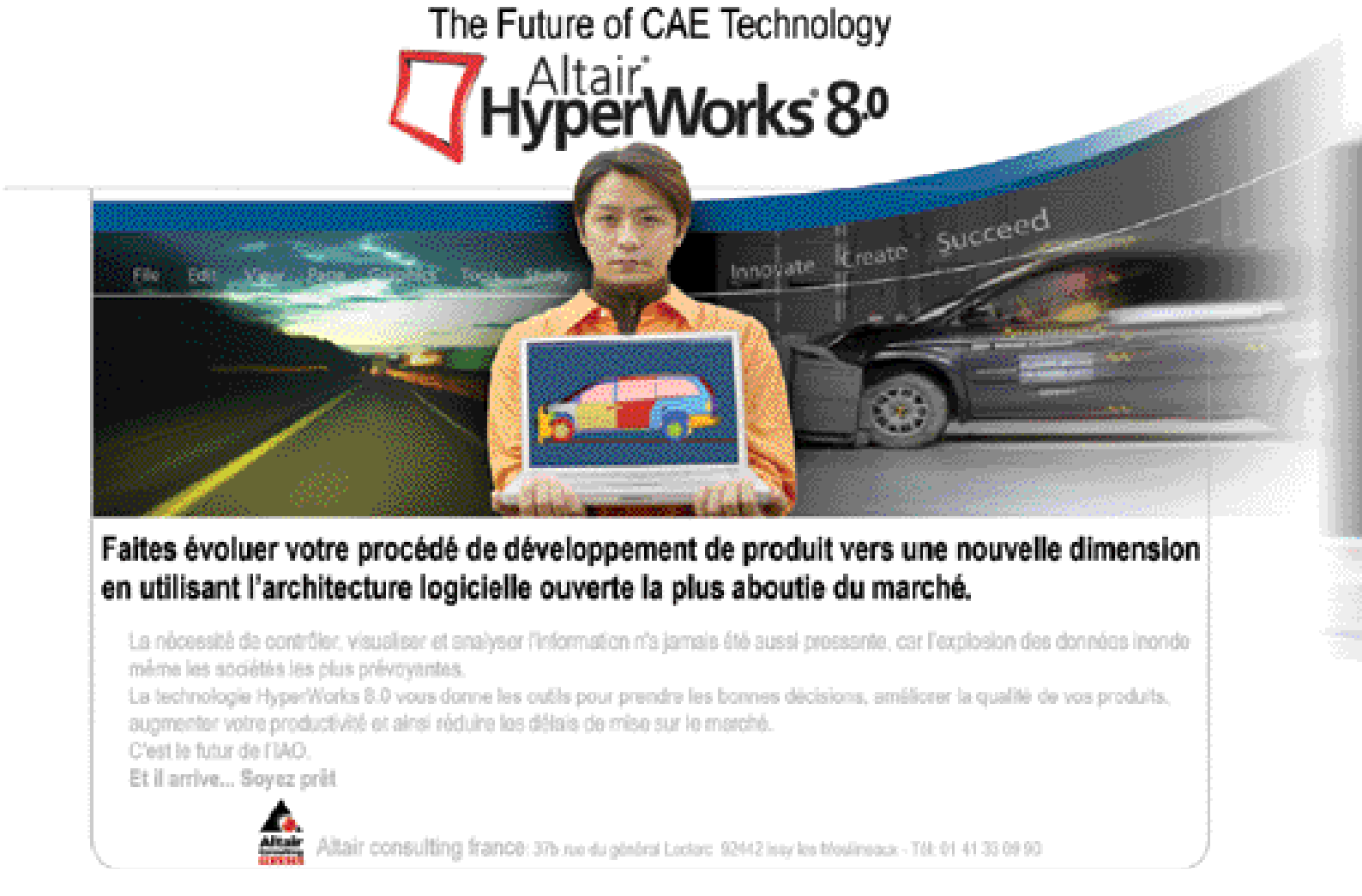
lument obligatoire que le logiciel d'optimisation soit capable d'interagir avec les logiciels de simulation en « boîte noire ».

Validation sur applications aéronautiques

Dans le but de valider le concept de cette approche d'optimisation de formes dans un contexte industriel, nous avons développé un environnement orienté objet autour du logiciel Max et de la librairie Capri (Figure 3). Les logiciels de calcul de structure (CSM) et de calcul fluide sont souvent exécutés sur des supercalculateurs de type cluster Linux. D'un autre coté, les systèmes CAO peuvent ne pas être disponibles sur les mêmes plates-formes Linux. Dans notre architecture, Catia V5 est installé sur un PC sous Windows 2000. Max et les outils de simulation CFD et CSM sont exécutés sur le supercalculateur Linux, et envoient des requêtes au serveur CAO de type Windows. Une architecture de type Client/Serveur est alors définie et les messages sont échangés au travers de TCP/IP.



Améliorations de l'écoulement dans la soufflante contra-rotative.

Dans l'application présentée ici, la soufflante contra-rotative est optimisée non seulement à plusieurs points de fonctionnement, mais également en prenant en compte plusieurs physiques. Plus de 100 contraintes sont imposées dans le but de contrôler les 16 premiers modes de vibration des aubages. La géométrie est paramétrée avec 70 variables de conception et l'optimum est trouvé en moins de 300 cycles d'optimisation. Le pic de rendement est augmenté de 1.5 % alors que les contraintes mécaniques statiques et dynamiques sont satisfaites.

Enfin, une seconde application a été réalisée pour démontrer le même type d'optimisation avec un accès direct au logiciel CAO en cours d'optimisation. Dans cette seconde application, la section de tête du premier rotor est paramétrée à l'aide de 7 variables. Le rendement est augmenté de 0.5 % ce qui démontre la faisabilité de l'intégration de la CAO dans un problème d'optimisation de forme multi-disciplinaire. ◘