

Simulation numérique et conception robuste

Belle réussite pour cette première édition du séminaire organisé par l'association Nafems sur le thème de la simulation numérique et de la conception robuste. Ce sont près de 80 personnes qui se sont déplacées au cœur de Paris pour écouter la dizaine de conférenciers venus témoigner sur ce thème.

Problématique d'actualité, la robustesse est devenue une préoccupation forte des industriels des produits manufacturés. A chaque étape du processus d'élaboration d'un produit, le concepteur est amené à confronter sa démarche conceptuelle au tamis des simplifications afin de maintenir son problème dans un cadre technique et économique exploitable. La prise en compte des incertitudes devient dès lors un enjeu majeur du processus. La démarche de conception robuste vise à identifier ces incertitudes, la dispersion des données, les approximations effectuées par rapport au modèle physique ou les simplifications du modèle numérique. Elle vise également à estimer leur influence et leur sensibilité sur le résultat de la simulation et à optimiser les structures tout en conservant des marges suffisantes

par rapport aux seuils de défaillance.

Si les équipes de R&D des industriels se penchent sur le sujet depuis quelques années, il reste beaucoup de travail pour aboutir à des méthodologies de « conception robuste » parfaitement exploitables. D'autant qu'il n'y a pas qu'une seule voie de recherche et que les produits manufacturés ne cessent de se complexifier. Enfin, les spécialistes n'avaient pas jusqu'à maintenant les moyens de calcul suffisamment performants pour résoudre dans des conditions acceptables de tels modèles numériques.

Les présentations matinales firent la part belle aux mathématiques pour introduire et définir précisément les notions de robustesse, de fiabilité, ou encore de sensibilité. Plusieurs industriels et notamment

Renault, Valeo ou Airbus ont également donné des exemples concrets illustrant la manière dont ces questions de robustesse étaient traitées dans l'optimisation ou la validation de leurs produits. Difficile de restituer ici la teneur de ces interventions, voici seulement un résumé des interventions les plus représentatives de ce séminaire.

Maurice Lemaire de l'Institut Français de Mécanique Avancée a entamé la journée en rappelant que



Maurice Lemaire de l'Institut Français de Mécanique Avancée.

la physique était plongée dans le domaine de l'incertain. Mais, comme l'explique Pascal au 17^e siècle, le hasard possède une géométrie : la théorie des probabilités. Couplées aux modèles mécaniques, les probabilités permettent des analyses de sensibilité et de fiabilité. Elles apportent ainsi de précieux indicateurs sur la robustesse de conception et donnent un sens à la notion de coefficient de sécurité. L'enseignant a introduit les principes de la modélisation stochastique pour ces deux types d'analyse et définit la notion d'indice de fiabilité. Il a ensuite montré comment assurer le couplage « mécano-fiabiliste » avec les outils de modélisation numérique de la mécanique.

La présentation d'Anthony Hahnel de Renault a montré que le constructeur travaille depuis quelques années sur une méthodologie basée sur la simulation numérique de la physique de défaillance permettant d'estimer et d'optimiser la fiabilité des systèmes mécaniques. Elle repose sur une approche multidisciplinaire exploitant une représentation système, physique et probabiliste des scénarios de défaillance.

Celle-ci vise à une prise en compte supérieure des incertitudes inhérentes à la caractérisation des paramètres de dimensionnement, ainsi que des écarts de la modélisation physique. Et ceci tout au long du cycle de conception d'un produit. Les techniques mises en œuvre relèvent essentiellement des domaines des plans d'expériences numériques et du couplage mécano-fiabiliste.

Louis Jézéquel de l'Ecole Centrale de Lyon a de son côté présenté les différentes méthodes et outils d'analyse disponibles en matière de conception robuste. Il a notamment expliqué les



Louis Jézéquel de l'Ecole Centrale de Lyon.

tenants et aboutissant de la stratégie « First Design » à travers un exemple Renault. Cette démarche associe les principaux concepts de l'ingénierie système et les divers niveaux de simulation numérique des prestations physiques. Elle vise une gestion de la robustesse par la maîtrise prioritaire de la physique à laquelle répond un système, sans négliger bien entendu ses autres contraintes. Les exemples proposés ont mis en avant la capacité de cette méthode à englober la complexité des produits et à satisfaire à « coût faible »

et à « coup sûr » leur cahier des charges.

Les témoignages de deux représentants de Valeo Thermique Moteur ont sans doute été les plus marquants en termes d'applications de la conception robuste. Stéphane Moreau a rendu compte des dix années de travaux de l'équipementier sur la conception de système de refroidissement moteur, où la simulation numérique joue désormais un rôle majeur. Stéphane Moreau : « Elle a permis de réduire les temps de développement de façon considérable. Là où il fallait un an pour concevoir un nouveau système, un mois suffit désormais pour développer un groupe plus compact (encombrement axial divisé par 2 !) et nettement plus efficace sur le plan de la fiabilité. » Olivier Planel a développé de son côté l'utilisation d'une méthodologie de simulation numérique pour le dimensionnement en dynamique d'un support plastique pour le refroidissement moteur. La mise en place d'un processus d'optimisation a permis de réduire sa masse, son cycle de conception et d'améliorer ses performances mécaniques. « Ce processus comporte plusieurs séquences d'optimisations topologiques et paramétriques afin de conver-



Doc. Valeo.

« Là où il fallait un an pour concevoir un nouveau système, un mois suffit désormais pour la conception d'un groupe refroidisseur Valeo, plus compact et plus performant. »



L'emboutissage des tôles comporte des risques de déformation et de rupture dont il n'est pas simple de prévenir à coup sûr l'apparition. (Doc. ESI Group)

ger vers une conception admissible intégrant notamment les contraintes technologiques et de fabrication. La prise en compte des incertitudes comme le tolérancement permet de vérifier la robustesse de la solution à travers un calcul de fiabilité couplant l'optimisation paramétrique et l'analyse stochastique. »

C'est l'analyse du risque de rupture rencontré dans les phases d'emboutissage de la tôle que Matthieu Burlat d'Autoform Engineering a présenté lors de son intervention pour le compte de Volvo Cars. Malgré des modèles mathématiques très avancés pour décrire le processus physique de l'emboutissage, il existe toujours un certain degré de variabilité ou d'inconnu dans les résultats de la simulation numérique.

Les phénomènes aléatoires sont nombreux en production : coefficient de friction inconstant, distribution non uniforme des efforts de l'outil, variation des caractéristiques des matériaux... Une étude stochastique de robustesse portant sur un exemple industriel a permis à l'entreprise de découvrir des zones sensibles à la rupture de la géométrie, zones non détectées par la simulation, et donc d'optimiser le produit afin de renforcer la stabilité du process.

Toujours dans ce domaine de la déformation des tôles, l'exposé d'Erwan Beuchèsne d'Altair Engineering a porté sur une approche de conception des pièces embouties par l'un de ses clients, en l'occurrence Airbus. Cette démarche fait appel à la simulation des procédés de formage alliant l'analyse de sensibilité et l'optimisation des paramètres de conception. L'avionneur propose dans ce cadre, une méthode d'aide à la conception, s'appuyant sur l'utilisation de la surface de réponse obtenue par cette analyse comme données d'entrée de l'algorithme d'optimisation. ■