

Vérification de la cohérence d'une solution mécanique associée à diverses représentations d'un produit

Rosalinda Ferrandes^{*+}, Philippe Marin^{*}, Jean-Claude Léon^{*}, Franca Giannini⁺

^{*}Laboratoire Sols, Solides, Structures - Pôle Conception Intégrée, UMR 5521,
Domaine Universitaire, B.P. n° 53, 38041 GRENOBLE Cedex 9, France

⁺IMATI-GE CNR, via de Marini 6, 16149 GENOVA, Italie

E-mail: Rosalinda.Ferrandes@hmg.inpg.fr, Philippe.Marin2@hmg.inpg.fr,
Jean-Claude.Leon@hmg.inpg.fr, franca.giannini@cnr.imati.ge.it

Résumé :

En utilisant un critère mécanique a posteriori caractérisant l'influence des variations de forme d'un objet sur la solution mécanique associée, il est possible de quantifier la cohérence des différentes formes produites d'un point de vue mécanique. Cette cohérence indique dans quelle mesure des objets de formes différentes ont un comportement mécanique pouvant être considéré comme identique lorsqu'ils sont soumis à des conditions aux limites identiques. Nous présentons une ébauche de plateforme permettant de vérifier automatiquement cette cohérence dans différents scénarii du processus de développement d'un produit.

Abstract :

The mechanical consistency among different geometrical shapes can be assessed using an a posteriori mechanical criterion which estimates the influence of object shape variations on their mechanical behaviour. This consistency quantifies how different object shapes exhibit equivalent mechanical behaviours when they are subjected to the same boundary conditions. The platform outlined here maintains automatically this consistency in the context of several product development process scenarios.

Mots-clefs :

Variations de forme ; Critère mécanique ; Comportement de structures

1 Introduction

La conception d'un composant mécanique nécessite fréquemment des étapes de simulation par des méthodes Élément Finis (EF) pour contrôler sa tenue mécanique et éventuellement pour optimiser sa conception. Toutefois, cette phase de simulation mécanique peut demander des temps importants de préparation et de simplification du modèle. Des étapes de prétraitement qui adaptent la forme du modèle de conception au processus d'analyse peuvent se révéler aussi nécessaires [Mobley *et al.* (1998), Dabke *et al.* (1994), Fine *et al.* (2000), Lee *et al.* (2005)]. Une étape d'analyse requiert des compétences qui ne sont pas propres au concepteur et demande donc un processus de communication continu avec les ingénieurs spécialistes de l'analyse mécanique. Souvent, l'utilisation des techniques d'analyse du comportement mécanique est alors limitée au scénario classique: la simulation est effectuée en aval du processus de conception pour vérifier et éventuellement perfectionner un produit déjà très figé.

Des outils qui donnent des informations sur le comportement mécanique dans des phases initiales du processus de développement d'un nouveau produit peuvent cependant donner des indications utiles au concepteur qui, par exemple, pourrait tester différentes alternatives de

conception et valider certains de ses choix de conception [Ferrandes, Léon *et al.* (2006), Gopalakrishnan et Suresh (2006)].

Dans cet article, on propose un outil simplifiant l'utilisation « continue » de l'analyse durant le processus de conception en permettant de valider des résultats d'analyse EF attachés à un modèle antérieur au lieu de refaire un calcul EF avec sa phase de prétraitement associée chaque fois que la forme géométrique du modèle change. Un critère mécanique a posteriori a été développé [Marin (2005)], qui peut être utilisé dans des problèmes EF de statique linéaire ou des problèmes thermiques de conduction stationnaire linéaire. Ce critère a été premièrement conçu et testé comme critère a posteriori utilisé pour valider la préparation des modèles simplifiés de produits, modèles destinés à l'analyse EF [Ferrandes, Marin *et al.* (2006)]. Il évalue l'influence des simplifications de forme effectuées pendant la phase de prétraitement et pouvant influencer de façon importante la précision des résultats EF. Il peut également se révéler utile pour évaluer si le comportement mécanique de deux formes dérivées l'une de l'autre, et donc différentes du point de vue géométrique, peut être considéré comme identique.

Le papier est structuré de la façon suivante. La section 2 explique les points communs des scénarii de conception qui permettent l'application du critère a posteriori et décrit le type de représentation de données utilisé pour effectuer les traitements géométriques nécessaires. Dans la section 3, les caractéristiques de chaque scénario de conception sont exposées.

2 Méthode proposée et outils de base utilisés

2.1 Motivations

Le critère a posteriori développé peut être incorporé dans un environnement logiciel supportant différents scénarii de processus de développement de produits. Il peut être utilisé dans des processus de conception où :

- des résultats EF sont disponibles, relatifs à une analyse statique linéaire effectuée sur une version antérieure du composant;
- la forme du composant a été partiellement modifiée et les modifications consistent en l'addition ou la soustraction d'un certain nombre de sous-domaines de formes et tailles arbitraires.

Avec le critère a posteriori, il est alors possible d'évaluer si les résultats EF disponibles peuvent décrire avec suffisamment de précision le comportement mécanique de la nouvelle version de l'objet. Lorsqu'un sous-domaine de forme, qui caractérise les différences entre les composants, a une influence significative sur la précision des résultats EF, il est alors nécessaire d'effectuer une nouvelle analyse EF sur un modèle qui inclut le sous-domaine de forme influent.

2.2 Représentation mixte

L'indicateur d'influence nécessite la caractérisation de sous-domaines définissant les différences de forme entre les différents objets concernés. L'existence de tels sous-domaines requiert des traitements particuliers pour assurer leur construction à partir d'une description de la frontière (B-Rep) de chacun des objets. Ces traitements sont effectués en utilisant des opérateurs géométriques appropriés, qui s'appuient sur des représentations mixtes des objets sous la forme B-Rep NURBS, utilisée par les modeleurs CAO, et B-Rep polyédrique. La représentation mixte développée agit simultanément sur les deux représentations (polyédrique et NURBS) et ainsi profite de chacune d'entre elles. La représentation polyédrique reste, en tout cas, le modèle de référence. Toutes les opérations de simplification agissent sur le modèle polyédrique [Fine et Léon (2005)]. Cette représentation produit des opérateurs plus généraux et plus robustes et permet de plus grandes diversités et simplicité de changements de formes par

rapport à une représentation par des assemblages de carreaux NURBS où les découpages et raccordement de carreaux sont beaucoup plus complexes. La conservation du lien avec le modèle B-Rep NURBS en entrée permet d'exploiter des informations géométriques et topologiques de plus haut niveau. Ces informations améliorent l'efficacité des opérateurs de simplification et réduisent la complexité des tâches d'identification de sous-domaines de forme [Hamri *et al.* (2006)].

3 Illustration de scénarii de conception

Les scénarii de conception identifiés concernent:

- la préparation d'un modèle simplifié pour la simulation mécanique et l'évaluation de l'influence des simplifications de formes effectuées sur les résultats de la simulation;
- la conception d'objets proprement dite sous la forme d'un paradigme de "modeleur mécanique";
- les variantes de forme d'objets au cours de la conception de produits pour définir une famille de pièces.

3.1 Préparation des modèles pour l'analyse EF

Le premier scénario considéré est celui pour lequel le critère mécanique a posteriori a été initialement développé. La simulation mécanique du comportement d'un composant requiert une représentation simplifiée de la forme de l'objet. La prise en compte de tous les détails de forme est souvent incompatible avec les potentialités des processus de maillage et de résolution EF. Donc, les modèles résultant de la phase de conception ont besoin d'un processus de prétraitement qui précède la phase de simulation mécanique et qui consiste en diverses étapes d'idéalisation et de simplification de formes.

Même si le but du travail est de se concentrer sur l'application d'un critère a posteriori pour évaluer l'influence des simplifications de forme, l'utilisation des critères a priori est nécessaire pour effectuer une première simplification. Les détails de forme supprimés dans cette étape sont stockés pour l'évaluation future de leur influence a posteriori.

Ensuite, le maillage EF du modèle simplifié est construit et le problème mécanique avec ses conditions aux limites associées est résolu.

Une fois que les résultats EF sont disponibles, l'influence mécanique des détails de forme stockés est évaluée. Pour chaque sous-domaine simplifié, un maillage EF est créé. Le critère a posteriori nécessite la résolution d'un problème local sur un domaine constitué :

- du sous-domaine supprimé,
- d'un sous-domaine l'entourant et construit avec des éléments du maillage EF du modèle simplifié (voir Figure 1).

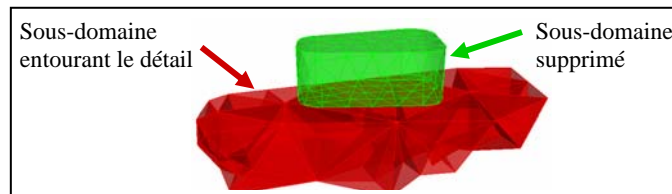


FIG. 1 – Exemple de maillages EF du domaine utilisé pour le calcul local: addition du sous-domaine supprimé correspondant au détail de forme et d'une sous-partie du maillage EF du modèle simplifié l'entourant.

Les conditions aux limites du problème local sont les déplacements des nœuds sur une partie de la frontière du sous-domaine entourant le détail. Ces déplacements sont ceux obtenus

par l'analyse EF sur le modèle simplifié. Le critère a posteriori donne une indication sur l'influence de chaque détail par rapport à la solution EF obtenue sur le modèle simplifié. Si cette contribution est inférieure à la valeur prescrite par l'utilisateur, l'élimination du détail de forme correspondant est validée. La description complète de cette étape est donnée dans Ferrandes, Marin *et al.* (2006).

3.2 Paradigme du "Modeleur Mécanique"

Comme indiqué dans la section 2.1, le critère développé peut être utilisé pour d'autres étapes du processus de développement d'un nouveau produit. En effet, il est capable de donner des informations utiles pendant la phase de conception proprement dite, quand la forme finale du composant est encore inconnue et que des décisions de conception peuvent influencer de façon significative différents aspects liés au produit, comme les coûts, les performances, la fiabilité, la sécurité et l'impact environnemental.

La méthodologie proposée se fonde sur quelques hypothèses clés:

- le concepteur modifie la forme du composant à travers des changements incrémentaux, plutôt que par des changements radicaux du projet. La forme initiale grossière est affinée avec l'addition ou la soustraction des sous-domaines de forme,
- Les zones clés de la forme du composant sont des surfaces fonctionnelles, et sont donc définies dès les premières étapes du processus de modélisation. D'ailleurs, ces surfaces correspondent souvent aux interfaces du composant avec d'autres composants et sont donc associées aux conditions aux limites.

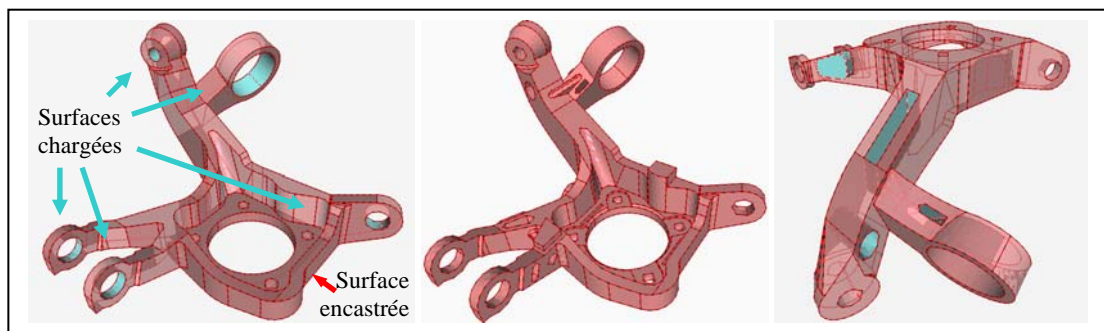


FIG. 2 – Adaptation du modèle de simulation pendant le processus de conception. a) Modèle sur lequel une première analyse EF est effectuée; b) Modèle résultant de la phase de conception; c) Modèle de simulation adapté qui donne des résultats EF avec une précision de 1%.

Un exemple est donné en Fig. 2. Une fois que les surfaces fonctionnelles ont été définies, la forme globale du composant est connue et donc une première analyse EF peut être effectuée sur une forme assez simple et ne nécessitant pas de processus d'adaptation pour définir le modèle destinée à l'analyse (Fig. 2.a). La solution du problème statique linéaire donne des informations préliminaires sur le comportement mécanique du composant et elle peut être considérée comme la solution de référence pour l'application du critère a posteriori pour chaque pas suivant de la modélisation CAO, de façon à évaluer du point de vue mécanique l'influence des évolutions successives de forme de l'objet. La Fig. 2.b montre le modèle résultat de la phase de conception. Plusieurs détails de forme ont été ajoutés par rapport au modèle en Fig. 2.a. Le modèle d'analyse initial est conservé tant que le critère assure que l'évolution de la forme ne modifie pas de façon importante le comportement mécanique de ce modèle. Le modèle de simulation est redéfini et une nouvelle analyse EF est effectuée seulement si le critère montre qu'un sous-domaine de forme compromet la précision des résultats d'analyse disponibles et si le concepteur estime important l'ajout de ce sous-domaine à l'objet en cours de conception. Si le concepteur, guidé par ces indications, impose une précision inférieure à 1%, le modèle de

simulation doit être redéfini (Fig. 2.c) en ajoutant les sous-domaines qui ont montré une influence supérieure à l'1%.

3.3 Conception de variantes de forme d'objets

Le critère a posteriori peut se révéler utile également quand différentes versions d'un composant existant sont conçues. L'hypothèse nécessaire est que les données relatives au processus de développement de la première version du composant soient disponibles, y compris les modèles géométriques et les résultats d'analyses EF. L'élément distinctif de ce scénario est que la distance chronologique entre l'analyse EF et l'évaluation de l'influence des variations de forme est beaucoup plus grande.

Dans ce cas également, les changements de forme sont d'un type incrémental et local. Un composant étant souvent une partie d'un assemblage, ces variantes du composant peuvent différer suivant les assemblages où ils sont inclus.

Dans ce contexte, la difficulté principale est la caractérisation des différences de forme entre deux versions différentes d'un composant, différences qui consistent en un certain nombre de sous-domaines disjoints. Si la modélisation de la forme et le processus de modification ont tous les deux lieu dans le même environnement CAO, il est possible de déterminer les différences de forme en utilisant les deux arbres historiques. Si, au contraire, deux environnements logiciels différents ont été utilisés pour la modélisation de la forme initiale et pour sa modification, un modèle tessellé est créé pour chaque modèle en utilisant les mêmes paramètres. Les modifications de forme qui ont été effectuées étant plutôt localisées, elles changent seulement une partie des coordonnées des sommets des modèles tessellés. En figure 3 un exemple pratique est illustré.

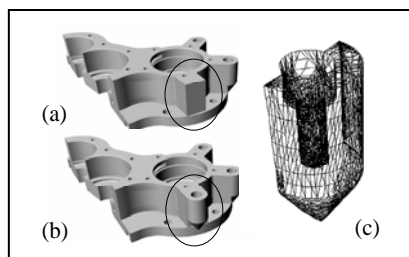


FIG. 3 – Exemple de recouvrement des différences de forme entre deux variantes du même composant. a) Modèle déjà existant; b) Nouvelle version du composant; c) Sous-domaine caractérisant les différences de forme entre a et b.

4 Conclusions

Une analyse du comportement mécanique peut être utile dans différentes configurations du processus de développement d'un nouveau produit. Toutefois, ces analyses successives prennent un temps considérable (en particulier pour la préparation du modèle) et requièrent une grande expérience et beaucoup de savoir-faire de l'utilisateur.

Ici, plusieurs scénarii ont été identifiés où des acteurs peuvent être aidés dans le processus de conception par des indications utiles sur le comportement mécanique de l'objet en cours de conception, sans effectuer une analyse EF complète chaque fois que la forme du composant change. Ces indications viennent de l'utilisation d'un critère mécanique a posteriori qui peut être appliqué pour des analyses de type stationnaire linéaire et donne des informations sur des paramètres mécaniques difficiles à déterminer avec des critères a priori. Le critère a posteriori peut être utilisé si des résultats EF sont disponibles et si l'objet subit des variations de forme de type incrémental. Il évalue alors l'influence de changements de forme sur les résultats EF

disponibles et détermine si ces résultats EF peuvent décrire fidèlement le comportement mécanique du composant malgré son changement de forme.

Le travail futur visera à généraliser et automatiser chaque scénario identifié.

Remerciements

Ce travail est actuellement réalisé dans le cadre du Réseau d'Excellence Européen AIM@SHAPE, contrat de la Commission Européenne IST 506766.

Références

- AIM@SHAPE, Advanced and Innovative Models And Tools for the development of Semantic-based systems for Handling, Acquiring, and Processing knowledge Embedded in multidimensional digital objects, European Network of Excellence, Key Action: 2.3.1.7 Semantic-based knowledge systems, VI Framework, URL: <http://www.aim-at-shape.net>.
- Dabke, P., Preabhakar, V., Sheppard, S., 1994, Using features to support Finite Element idealization, Actes de: Int. Conf. ASME, Vol. 1, pp. 183-193, Minneapolis.
- Ferrandes, R., Léon, J-C., Marin, P.M., Giannini, F., 2006, An analysis of product development process configurations where an a posteriori FE criterion improves simulation models consistency, Actes de: Int. ASME Conference, Philadelphia.
- Ferrandes, R., Marin, P.M., Léon, J-C., Giannini, F., 2006, Evaluation of simplification details for an adaptive shape modelling of components, Actes de: Fifth Int. Conf. on Engineering Computational Technology, N°2 ISBN 1-905088-11-6, Las Palmas de Gran Canaria, Spain.
- Fine, L., Léon, J-C., 2005, A new approach to the Preparation of models for F.E. analyses, In International Journal of Computer and Applications, Vol. 23, 2/3/4, pp. 166-184.
- Fine, L., Remondini, L., Léon, J-C., 2000, Automated Generation of FEA models through idealization operators, In Int. J For Num. Meth. In Eng., Vol. 49, n°1-2, pp. 83-108.
- Gopalakrishnan, S.H., Suresh, K., 2006, Exploiting shape similarity in engineering analysis, Actes de: ASME Conference, Philadelphia.
- Hamri, O., Léon, J-C., Giannini, F., Falcidieno, B., Poulat, A., Fine, L., 2006, Interfacing product views through a mixed shape representation. Part 1: Data structures and operators, Actes de: Virtual Concept, Playa Del Carmen, Mexico.
- Lee, K.Y., Armstrong, C.G., Price, M.A., Lamont, J.H., 2005, A small feature suppression/unsuppression system for preparing B-Rep models for analysis, Actes de: ACM Symposium on Solid and Physical Modeling.
- Marin, P., 2005, Simplifications géométriques et précision des calculs des structures linéaires élastiques, Actes de: CFMO5, Troyes.
- Mobley, A.V., Carroll, M.P., Canann, S.A., 1998, An object oriented approach to geometry defeaturing for Finite Element Meshing, Actes de: 7th Int. Meshing Roundtable, Dearborn, USA.