



HAL
open science

Optimisation de topologie adaptative

Vincent François, Jean-Christophe Cuillière, Alexandre Nana

► **To cite this version:**

Vincent François, Jean-Christophe Cuillière, Alexandre Nana. Optimisation de topologie adaptative. 12e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01400447

HAL Id: hal-01400447

<https://hal.science/hal-01400447v1>

Submitted on 22 Nov 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Optimisation de topologie adaptative

Vincent François, Jean-Christophe Cuillière, Alexandre Nana

ERICCA, Département de génie mécanique, UQTR, Trois-Rivières G9A 5H7, {francois,cuillier,nana}@uqtr.ca

Résumé — La conception de pièces et de structures peut maintenant être réalisée à l'aide de méthodes automatisées qui permettent d'obtenir des formes optimales selon divers critères. Parmi ces méthodes, figurent les méthodes d'optimisation de topologie. Ces méthodes sont actuellement utilisées dans la pratique, mais le fait que les résultats obtenus ne peuvent pas être directement et automatiquement utilisés dans le processus de CAO/FAO limite leur intérêt. Cet article présente une avancée vers la reconstruction d'un modèle CAO à partir de résultats d'optimisation de topologie.

Mots clés SIMP, Adaptation, modèle CAO, Remaillage

1. Introduction

Les progrès informatiques permettent d'améliorer les méthodes de simulation numérique en offrant de plus en plus de mémoire et de rapidité de calcul. Ces progrès permettent d'améliorer la performance des méthodes classiques et également de mettre en œuvre de nouveaux processus de calcul. Les méthodes d'optimisation de topologie figurent parmi ces nouveaux processus. Ces méthodes mettent en œuvre un enchaînement de calculs par éléments finis afin de faire évoluer une forme vers un certain degré d'optimalité par rapport à un ou plusieurs critères donnés (rigidité, poids, fréquences de vibration, etc.). Les capacités de calcul permettent désormais de traiter des cas d'optimisation de topologie basés sur une modélisation tridimensionnelle volumique et donc de faire de l'optimisation de manière beaucoup plus réaliste.

Dans ce contexte, notre équipe de recherche développe, depuis maintenant quelques années, des outils qui ont pour objectif d'améliorer l'intégration des méthodes d'optimisation de topologie au sein du processus de développement de produits [1-3]. Nos travaux nous ont notamment amenés à travailler à l'intégration de la méthode SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization). Cette méthode consiste globalement à utiliser des études par éléments finis afin d'actualiser une répartition de porosité (représentée par une densité de matériel) à l'intérieur de la matière d'une pièce afin de l'optimiser en minimisant sa compliance. La forme de la pièce optimisée est ensuite obtenue en éliminant les parties de matière les plus poreuses. À chaque itération de la méthode, la compliance et l'actualisation de la répartition de densité sont calculées à partir de la répartition de l'énergie de déformation fournie par le calcul par éléments finis. De nombreux travaux sur cette méthode ont été réalisés en 2D et sur des cas où il était possible d'obtenir des maillages structurés.

Les travaux de notre équipe ont d'abord consisté à adapter et étendre la méthode aux maillages 3D non structurés (maillés avec des générateurs de mailles automatiques) afin de permettre le traitement de cas réels. Le but est de permettre d'effectuer des études d'optimisation sur des pièces de géométrie et de topologie quelconques, en intégrant certains de nos travaux de recherche antérieurs [4, 5] dans le cadre de la méthode SIMP. Ainsi, notre recherche s'est orientée sur la création automatique de modèles CAO-Éléments finis spécifiquement destinés à l'optimisation et à la reconstruction de modèles CAO en fonction du résultat de l'optimisation. Dans cet article, nous proposons une amélioration de la méthode SIMP qui a pour but de faciliter la définition d'un modèle CAO à partir du résultat d'optimisation en introduisant un processus d'adaptation automatique.

2. Une méthode adaptative d'optimisation de type SIMP

La première étape consiste à mettre en œuvre un mailleur automatique spécifique pour les besoins de la méthode SIMP [3]. Ce mailleur permet de générer un maillage par zones qui empêche la méthode SIMP de modifier la matière dans les zones fonctionnelles. Ensuite, des adaptations dans la formulation même de la méthode SIMP [2] sont également nécessaires afin de permettre le calcul sur des maillages tétraédriques non structurés car les implantations classiquement présentées dans la littérature sont essentiellement limitées aux maillages structurés. Un résultat de forme optimisée obtenue en utilisant un maillage non structuré est présenté à la figure 1. Comme le résultat est basé, sur l'élimination de tétraèdres, la frontière de la forme obtenue est mal définie. Dans ces conditions, la définition d'un ensemble de faces CAO est difficile. De plus, beaucoup de procédures de lissage de triangulations ont été développées [6, 7] mais elles fonctionnent mal sur ces données très bruitées.

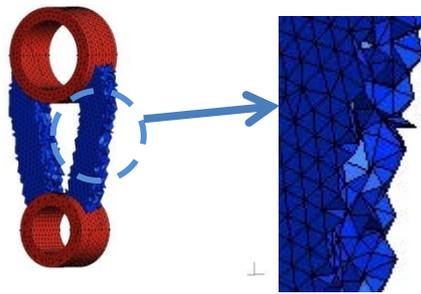


Figure 1 – Exemple de forme optimisée obtenue avec la méthode SIMP

Afin de mieux définir la frontière de la forme optimisée et afin de faciliter l'application subséquente de méthodes de lissage, l'idée proposée dans cet article est de raffiner le maillage utilisé autour des frontières afin de générer une définition plus fine et plus lisse des frontières de la forme optimisée. La mise en œuvre d'une méthode adaptative d'optimisation de type SIMP amène de nouvelles problématiques. En effet, la méthode SIMP doit fonctionner avec des maillages non structurés à densité fortement variable. L'adaptation de la taille de mailles est basée sur le gradient du champ de densité $\rho(x, y, z)$ de la méthode SIMP (figure 2). La distribution de taille de mailles de l'itération suivante $E(x, y, z)$ dans le processus adaptatif est calculée en utilisant la formule suivante (figure 3) :

$$E(x, y, z) = E_{nm} e^{-\mu \|\overrightarrow{\text{grad}}\rho(x,y,z)\|}$$

Dans cette expression, E_{nm} est un seuil maximal sur la taille de mailles et μ permet de faire varier la sévérité du raffinement adaptatif.

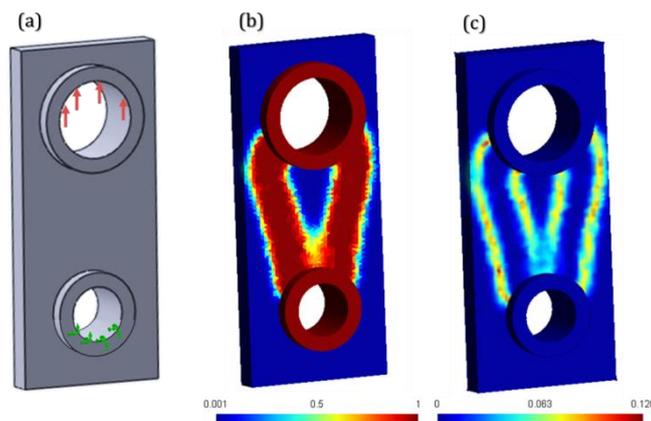


Figure 2 – a) Modèle à optimiser b) Répartition de la densité c) Gradient de densité

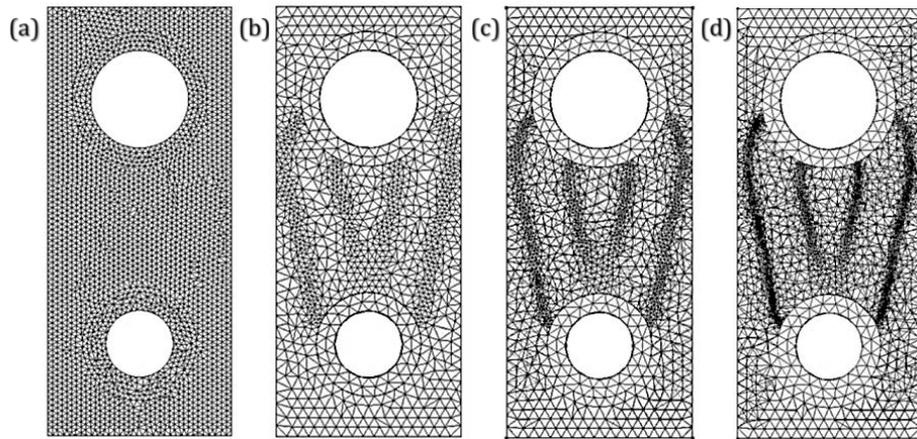


Figure 3 – Évolution du maillage au cours de 3 adaptations successives à partir d'un maillage à taille constante

La convergence du processus est atteinte lorsque le maillage ne varie plus (figure 4).

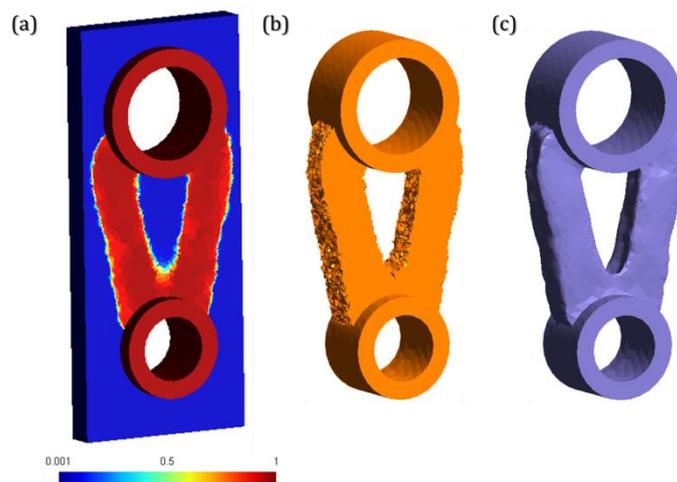


Figure 4 – Résultat de l'optimisation adaptative : a) Répartition de densité b) Forme finale c) Forme finale lissée

La même méthode est appliquée sur un exemple de suspension de vélo (figure 5). Pour ce deuxième exemple, tel qu'illustré à la figure 6, on observe au cours du processus des solutions qui ont tendance à bifurquer de la solution optimale.

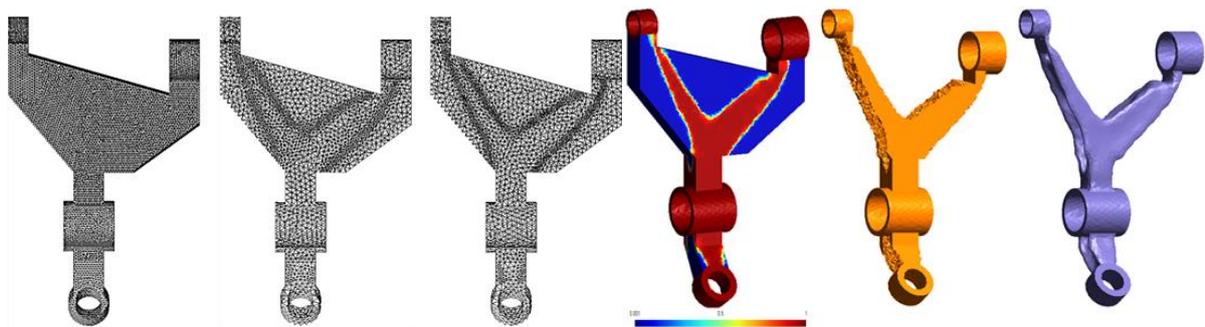


Figure 5 – Exemple de la suspension de vélo. Adaptations de maillage. Résultat final en densité, forme et forme lissée.

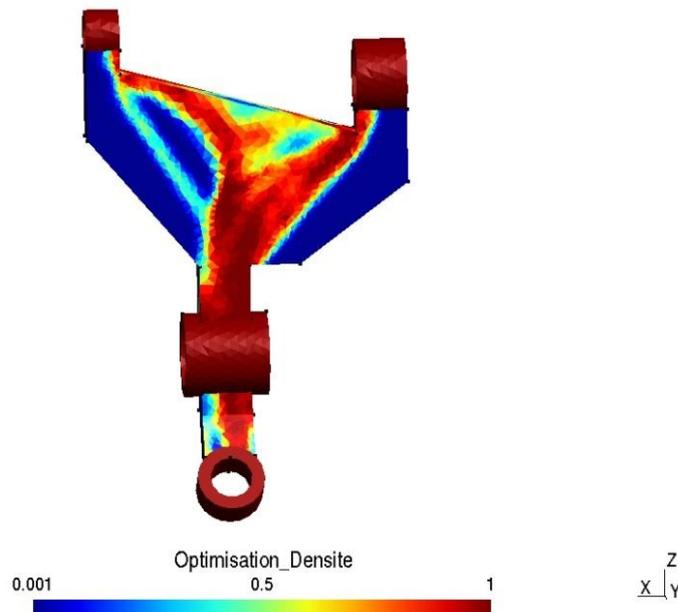


Figure 6 – Exemple de bifurcation de la solution

Une analyse de la méthode SIMP montre que ces phénomènes de bifurcation de la solution découlent du comportement des algorithmes de filtrage de la sensibilité et de la densité dans le contexte des maillages à taille fortement variable. Pour traiter ces problèmes de bifurcation, il est nécessaire d'adapter la zone de filtrage autour des éléments du fait de la forte variation locale de la taille de mailles. Cette modification des zones de filtrage permet de faciliter la convergence vers des solutions du type de celle présentée à la figure 5.

3. Conclusion

Une méthode adaptative d'optimisation topologique par la méthode SIMP a été présentée. Cette méthode permet une meilleure définition des frontières de la forme optimisée afin de faciliter la reconstruction automatique d'un modèle CAO à partir des résultats d'optimisation. Cette contribution a pour objectif de mieux intégrer les méthodes d'optimisation topologique au sein du processus de développement de produits par la CAO.

4. Références bibliographiques

1. Bendsoe, M.P. and O. Sigmund, *Topology optimization - Theory, Methods and Applications*. 2nd ed. 2003, Berlin: Springer. 370.
2. Cuillière, J.C., V. François, and J.M. Drouet, *Towards the Integration of Topology Optimization into the CAD Process*. Computer-Aided Design and Applications, 2014. **11**(2): p. 120-140.
3. Cuillière, J.-C., V. François, and J.-M. Drouet, *Automatic mesh generation and transformation for topology optimization methods*. Computer-Aided Design, 2013. **45**(12): p. 1489-1506.
4. François, V. and J.-C. Cuillière, *Automatic mesh pre-optimization based on the geometric discretization error*. Advances in Engineering Software, 2000. **31**(10): p. 763-774.
5. François, V. and J.-C. Cuillière. *Un mailleur frontal 3D à densité variable intègre aux modèles solides*. in *IDMME*. 2002. Clermont-Ferrand, France.
6. Chen, C.-Y. and K.-Y. Cheng, *A sharpness dependent filter for mesh smoothing*. Computer Aided Design, 2005. **22**: p. 376-391.
7. Chen, C.-Y. and K.-Y. Cheng, *A direction-oriented sharpness dependent filter for 3D polygon meshes*. Computers & Graphics, 2008. **32**(2): p. 129-140.