



HAL
open science

Simplification adaptative de la géométrie et calcul des structures

Philippe Maurice Marin

► **To cite this version:**

Philippe Maurice Marin. Simplification adaptative de la géométrie et calcul des structures. 7e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2005, Giens, France. hal-01813051

HAL Id: hal-01813051

<https://hal.science/hal-01813051>

Submitted on 12 Jun 2018

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.

Public Domain

Simplification adaptative de la géométrie et calcul des structures

Philippe Marin

*Laboratoire 3S, Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG),
B.P. 95, 38402 St Martin d'Hères
philippe.marin2@hmg.inpg.fr*

RÉSUMÉ. La précision des calculs par éléments finis dépend d'un grand nombre de facteurs, la discrétisation éléments finis, les simplifications géométriques, la modélisation des conditions aux limites et du comportement... Dans cet exposé, nous nous intéressons aux erreurs provoquées par les simplifications du domaine. Nous présentons un indicateur a posteriori permettant d'estimer l'influence de chaque simplification. Cet indicateur s'appuie sur la solution obtenue sur le problème simplifié et nécessite des calculs locaux au voisinage de la zone simplifiée. Cet indicateur peut être utilisé dans une démarche adaptative de simplification de la géométrie. Le cadre de l'étude concerne les calculs stationnaires de structures linéaires.

ABSTRACT. The accuracy of finite element computation depend on different factors, finite element discretization, geometrical simplifications, boundary conditions and behaviour law... The paper deals with the errors given by the domain simplification. We present a posteriori estimator in order to estimate the influence of each simplification. It uses the solution on the simplified domain and local computations on the neighbourhood of each suppressed feature. This indicator can be used in an adaptive process of geometrical simplification. The framework is the static computation of elastic linear structures.

MOTS-CLÉS : modélisation adaptative, simplification géométrique, contrôle des erreurs ; éléments finis, élasticité linéaire

KEYWORDS: adaptive modelling, geometrical simplification, error, finite element, linear elasticity.

1. Contexte

Le contrôle de la précision des résultats constitue un challenge majeur en simulation numérique. Les sources d'erreur sont nombreuses (Szabo, 1996), simplifications géométriques du modèle CAO initial, erreur de discrétisation, qualité de la modélisation des conditions aux limites et du comportement du matériau. Certaines ont fait l'objet d'une recherche intense dans ces dernières années comme les erreurs de discrétisation (Zhienkiewicz *et al.*, 1987) et les procédés adaptatifs associés. Nous nous intéressons ici aux erreurs dues aux simplifications géométriques du domaine de calcul. La simulation des structures complexes nécessite un processus de simplification du modèle CAO et d'élimination de certains petits détails dont la taille génèrerait des maillages trop fins. Dans cette étape de simplification, l'ingénieur peut être assisté par des logiciels permettant de réaliser cette étape d'une façon quasi-automatique. Certains de ces outils utilisent l'historique de construction du modèle CAO et les entités géométriques d'une taille inférieure à la taille fixée par l'utilisateur sont supprimées (Mobley *et al.*, 1998), (Dabke *et al.*, 1994). D'autres démarrent avec une représentation polyédrique de l'objet et des opérateurs d'adaptation du maillage permettent la simplification du modèle en combinant des opérations de décimation et de suppression de détails topologiques (Veron *et al.*, 1997), (Fine *et al.*, 2000).

Que la procédure de simplification soit manuelle ou automatique, il est nécessaire d'avoir des critères pertinents pour contrôler l'influence de la simplification sur la précision des calculs futurs. Lorsque le processus de simplification est automatique, les logiciels développés utilisent généralement des critères géométriques pour le pilotage, courbure, taille... Certains de ces critères peuvent être reliés à des grandeurs mécaniques (variation de masse, de section ...) plus explicites pour l'utilisateur (Foucault *et al.*, 2004).

Cependant un critère a posteriori ne peut être suffisant pour quantifier l'influence réelle d'une simplification de la géométrie. La suppression d'une nervure faiblement sollicitée par un chargement n'aura pas la même influence que la suppression d'une nervure de taille éventuellement plus petite mais fortement sollicitée. Un critère réellement mécanique de simplification de la géométrie nécessite une connaissance au moins approximative de la forme de la solution et donc un processus a posteriori de calcul de l'influence de chaque simplification. Après un calcul par éléments finis sur la structure simplifiée, on estime l'influence de chaque simplification. Suivant la précision souhaitée, les résultats sont alors validés ou une nouvelle géométrie simplifiée doit être redéfinie et servir de support à un nouveau calcul. Dans le paragraphe 2, nous présentons l'erreur utilisée pour mesurer l'influence d'une simplification géométrique ainsi que l'estimation a posteriori de cette erreur. L'exemple du paragraphe 3.1 permet de constater l'efficacité de cette estimation et le paragraphe 3.2 illustre l'utilisation de cet estimateur dans un processus adaptatif de simplification de la géométrie.

2. Calcul de l'influence d'une simplification géométrique

Le contexte est celui de la statique linéaire. Les simplifications géométriques peuvent être classées en deux catégories suivant qu'elles diminuent ou accroissent le domaine (figure 1). Nous noterons \vec{U}_1 le déplacement solution du problème initial sur le domaine Ω_1 , $\bar{\sigma}_1$ et $\bar{\varepsilon}_1$ les contraintes et déformations associées. Les mêmes symboles indicés 2 sont relatifs au problème simplifié sur le domaine Ω_2 . On peut considérer que l'erreur commise est nulle si:

- sur l'intersection, la solution est identique sur les deux domaines,
- sur le domaine Ω_3 , la contrainte $\bar{\sigma}_2$ et la déformation $\bar{\varepsilon}_2$ sont nulles.
- sur le domaine Ω_4 , la contrainte $\bar{\sigma}_1$ et la déformation $\bar{\varepsilon}_1$ sont nulles.

Pour mesurer l'influence de la modification géométrique, nous devons mesurer la non-vérification des ces relations. Pour mesurer ces quantités, nous utilisons une norme en énergie. L'erreur (notée e) utilisée est alors la suivante (1) :

$$2e = \int_{\Omega_1 \cap \Omega_2} (\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_2) : (\bar{\varepsilon}_1 - \bar{\varepsilon}_2) d\Omega + \int_{\Omega_3} \bar{\sigma}_2 : \bar{\varepsilon}_2 d\Omega + \int_{\Omega_4} \bar{\sigma}_1 : \bar{\varepsilon}_1 d\Omega \quad (1)$$

On peut transformer (1) pour obtenir la relation (2). Pour simplifier, on s'est placé dans le cas où les frontières des simplifications géométriques sont libres. Il est à noter que pour certains cas de chargement, cette erreur est identique à la variation d'énergie de déformation entre le problème initial et celui simplifié (Marin, 2004).

$$2e = \int_{\Omega_3} \vec{f} d \cdot \vec{U}_2 d\Omega + \int_{\Omega_4} \vec{f} d \cdot \vec{U}_1 d\Omega + \int_{\partial\Omega_3} [\bar{\sigma}_2 \cdot \vec{n}_{\Omega_3}] \cdot \vec{U}_1 d\Omega + \int_{\partial\Omega_4} [\bar{\sigma}_1 \cdot \vec{n}_{\Omega_4}] \cdot \vec{U}_2 d\Omega \quad (2)$$

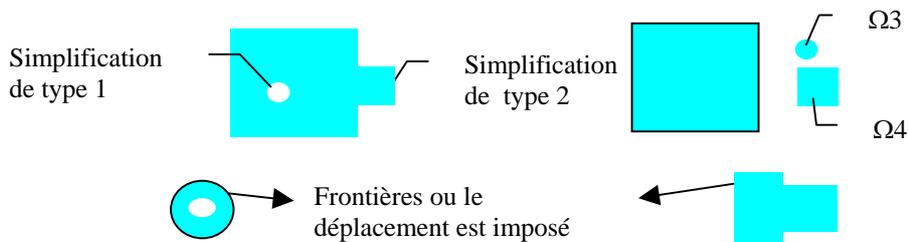


Figure 1 Exemples de simplification, géométrie initiale Ω_1 et simplifiée Ω_2 En bas, domaines pour les calculs locaux

Le calcul de l'erreur e à partir de l'expression (2) nécessite la connaissance de la solution indicée 1, sur le domaine initial, solution inconnue. L'indicateur que nous utilisons est obtenu à partir de cette expression de l'erreur et en approchant la solution 1 par des calculs locaux autour des simplifications géométriques. La figure

1 donne les domaines utilisés pour les calculs locaux. Les conditions aux limites sur les frontières sont les déplacements 2 obtenus sur le problème simplifié.

3. Quelques exemples tests

3.1. Efficacité de l'indicateur

Nous avons testé l'efficacité de notre indicateur sur le problème 3D de la figure 2. Le problème étant simple la solution peut être calculée à la fois sur le problème initial et sur le domaine simplifié. Avec le résultat sur le modèle simplifié, nous avons estimé l'influence de chaque simplification sur la précision. L'erreur due à chaque simplification a été obtenue en comparant la solution sur le domaine initial et celle sur ce même domaine après une seule simplification. Le tableau 1 permet de comparer pour chaque simplification notre estimateur à l'erreur exacte. On peut constater que l'estimateur proposé permet d'estimer l'influence de chaque simplification avec une bonne précision.

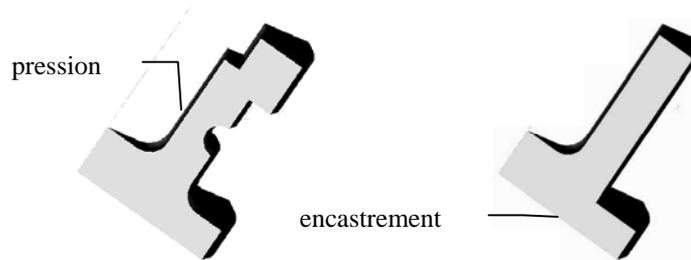


Figure 2. Problème initial et problème simplifié

	a= erreur provoquée	b= estimation de l'erreur	Efficacité de l'estimation (a/b)
Rainure circulaire	8,4 %	8,3 %	1,01
Congé	16 %	18 %	0,89
Bossage	0,27 %	0,26 %	0,96
Rainure rectangulaire	0,014 %	0,009 %	1,56

Tableau 1. Comparaison de l'estimateur proposé et de l'erreur provoquée par chaque simplification

3.2. Utilisation de l'indicateur dans un contexte de simplification adaptative

L'indicateur proposé peut être utilisé dans une procédure adaptative de simplification de la géométrie. Une première simulation est réalisée sur un modèle très simplifié de la structure. L'utilisateur précise la précision qu'il souhaite. En fonction de l'indicateur d'influence de chaque simplification et de la précision souhaitée, un nouveau domaine simplifié est défini. Nous présentons un exemple d'une telle procédure adaptative. La figure 3 présente le problème initial et le modèle simplifié. Ce dernier est obtenu en supprimant 17 entités géométriques dans l'historique de la pièce initiale. Le problème initial peut difficilement être maillé et calculé en l'état, certains détails étant très petits. La structure subit des efforts de traction sur deux alésages. Le problème est alors simulé sur le domaine simplifié et l'influence de chaque simplification est calculée. Si l'utilisateur impose une précision de 2%, le modèle simplifié doit alors être modifié (figure 4), deux des entités géométriques supprimées ayant une influence trop importante sur la précision des résultats.

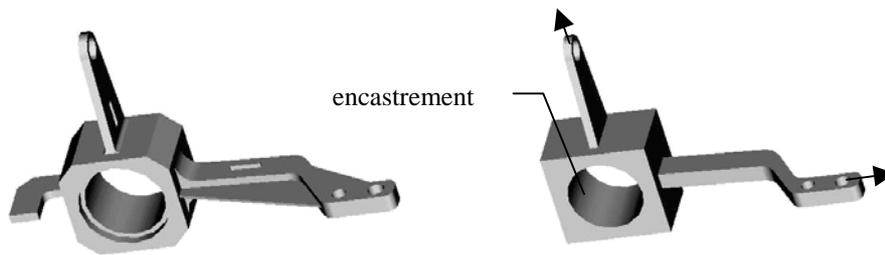


Figure 3. Géométrie initiale complète et géométrie simplifiée initiale

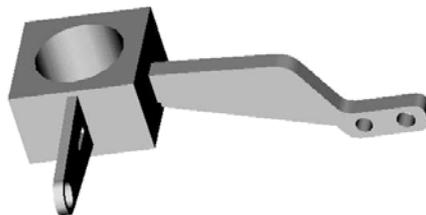


Figure 4. Géométrie simplifiée optimale pour la précision demandée 2%

4. Conclusion

Les concepteurs utilisent des modèles numériques de plus en plus complexes de leurs produits. L'utilisation de ces modèles en simulation nécessite une phase initiale de simplification de la géométrie. Nous proposons un indicateur a posteriori permettant de quantifier l'influence de chaque simplification de la géométrie. Les tests effectués ont montré que cet indicateur donnait avec une bonne précision l'erreur due à chaque suppression d'entité géométrique. Il peut piloter un processus adaptatif de simplification de la géométrie permettant de définir la géométrie simplifiée tout en respectant la précision demandée par l'utilisateur. Il peut être également utilisé durant le processus de conception d'une pièce ou lors de sa réutilisation. Si l'on dispose d'un résultat de simulation sur une version antérieure d'un objet, l'indicateur peut être utilisé pour quantifier l'influence sur son comportement mécanique, des modifications qui lui ont été ajoutées. Il indiquera également si une nouvelle simulation est nécessaire. Actuellement, la reconnaissance et la manipulation des différentes entités géométriques et la définition du domaine optimal ont été réalisés par l'utilisateur en utilisant l'historique de construction des pièces. Des développements sont en cours pour améliorer cette procédure et pour définir un environnement automatique de modélisation adaptative des structures.

5. Bibliographie

- Szabo BA, *The problem of model selection in numerical simulation*, Advances in Computational Methods for Simulation, B.H.V. Topping Editor, Civil-Comp Press, Edinburgh, pp 9-16, 1996
- Zhienkiewicz OC, Zhu JZ, *A simple error indicator and adaptive procedure for practical engineering analysis*, International Journal of Numerical Methods in Engineering, Vol 24, pp 337-357, 1987.
- Mobley AV, Carroll MP, Canann SA, *An object oriented approach to geometry defeaturing for Finite Element Meshing*, Proceeding of the 7th International Meshing Roundtable, Dearborn, USA, 1998.
- Dabke P, Prabhakar V, Sheppard S, *Using features to support Finite Element idealisation*, International Conference ASME, Minneapolis, Volume 1, 183-193, 1994
- Veron P, Léon J-C, *Static Polyhedron simplification using error Measurements*, CAD, Vol 29, n°4, April, 287-298, 1997.
- Fine L, Rémondini L, Léon J-C, *Automated Generation of FEA models through idealization operators*, International Journal of Numerical Methods in Engineering, Vol 49, n°1-2, 83-108, 2000.
- Foucault G, Marin P., Léon J-C., *Mechanical criteria for the preparation of finite element model*, Proceeding of the 13° Int. Meshing Roundtable, Williamsburg, USA, 2004.
- Marin P., *Influence of geometrical simplification on the accuracy of the finite element computation*, Proceeding of CST2004, Lisbonne, Portugal, Septembre 2004