



**HAL**  
open science

# Calcul de carte de taille automatique pour la pré-optimisation de maillages dans le cadre de l'intégration CAO-Éléments Finis

Vincent François, Jean-Christophe Cuillère

## ► To cite this version:

Vincent François, Jean-Christophe Cuillère. Calcul de carte de taille automatique pour la pré-optimisation de maillages dans le cadre de l'intégration CAO-Éléments Finis. 8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. hal-01488889

**HAL Id: hal-01488889**

**<https://hal.science/hal-01488889>**

Submitted on 14 Mar 2017

**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

---

# Calcul de carte de taille automatique pour la pré-optimisation de maillages dans le cadre de l'intégration CAO-Éléments Finis

Vincent François — Jean-Christophe Cuillière

*Département de Génie Mécanique  
Université du Québec à Trois Rivières  
3351 des forges – C.P. 50  
Trois-Rivières - Québec - Canada  
G9A 5H7  
francois/cuillier@uqtr.ca*

---

*RÉSUMÉ. Dans le cadre de nos recherches sur l'intégration de la méthode des éléments finis dans le processus de CAO/FAO, nous avons élaboré le concept de pré-optimisation de la densité nodale. Ce principe consiste à traduire des données en termes de carte de taille selon plusieurs facteurs. Ce principe a été développé dans le passé pour chacun des facteurs de façon indépendante. Nous proposons dans ce papier de valider un outil automatique qui permet de calculer une carte de taille 3D influencée par un ensemble non limité de facteurs en utilisant une grille virtuelle de calcul. L'outil fonctionne en plusieurs phases successives : l'échantillonnage, l'extrapolation et la construction de la grille.*

*ABSTRACT. Through our research on the integration of finite element analysis in the CAD/CAM process, we have elaborated the concept of nodal density pre-optimization. This principle consists in converting analysis data in terms of a size map (or nodal density function) according to multiple adaptation criteria. We have implemented this concept for each criterion independently. We validate in this paper an automatic tool which calculates a 3D size map derived from an unlimited set of criteria by calculating a regular grid. The tool operates in several successive phases: sampling, extrapolation and grid construction.*

*MOTS-CLÉS : maillage automatique, modèle solide, adaptation de maillage, méthode frontale, CFAO*

*KEYWORDS: Automatic mesh generation, solid modelling, mesh adaptation and optimization, advancing front method, CAD/CAM.*

---

## 1. Introduction

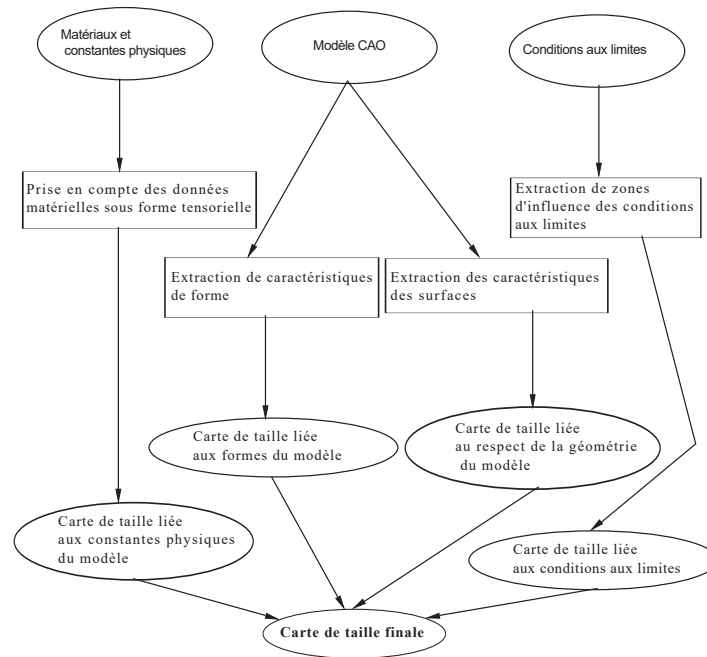
Le développement récent et fulgurant des systèmes informatiques permet d'augmenter de façon importante la performance des solutions aux problèmes mécaniques par l'analyse numérique. Parmi celles-ci la méthode des éléments finis (MEF) connaît aujourd'hui un certain essor (Batoz *et al.*, 1990). Présente uniquement sur des systèmes informatiques de grande taille il y a une dizaine d'années, elle se retrouve aujourd'hui sur tous les ordinateurs personnels. La disponibilité de la méthode s'est accrue et va encore s'accroître dans les années à venir. Cette démocratisation entraîne également des demandes de plus en plus sophistiquées de la part des utilisateurs. Elle devient également interdisciplinaire avec les autres méthodes de la phase de conception mécanique. Pour aider les concepteurs, de nouveaux outils sont développés afin d'insérer de mieux en mieux l'analyse numérique dans le reste du processus de conception. Dans cette optique, nous travaillons, depuis plusieurs années à améliorer la phase de saisie des données en éléments finis en créant de nouveaux outils. Le concept de la pré-optimisation de la densité nodale est un de ces outils. Il permet d'obtenir des données optimales a priori pour l'analyse par éléments finis à partir d'un modèle solide CAO.

## 2. Pré-optimisation de la densité nodale

Le concept de la pré-optimisation de la densité nodale consiste à traduire l'ensemble des paramètres utilisateurs sous forme d'une carte de taille (Cuillère *et al.*, 1999)(François *et al.*, 2000)(figure 1). Cette carte de taille est représentée sous la forme d'une fonctionnelle qui décrit la forme et la taille des mailles nécessaires à l'analyse par éléments finis. Les données éléments finis sont ensuite construites en respectant au mieux cette carte de taille et elles définissent le maillage qui forme le support du calcul de la méthode des éléments finis (Golgolab, 1989)(Lohner *et al.*, 1988)(Chae *et al.*, 1989)(Lewis *et al.*, 1996)(François *et al.*, 2000). Cette carte de taille se présente sous forme d'une fonction scalaire pour les cas d'analyse isotrope et sous forme d'une fonction tensorielle pour les cas d'analyse anisotrope.

## 3. Opérateur de construction de la fonction densité nodale

L'objectif de l'opérateur de construction de la fonction densité nodale est de fournir un outil qui permette d'obtenir a priori une expression de la fonctionnelle représentant la carte de taille volumique avant le début du processus d'analyse par éléments finis. Cet opérateur doit fonctionner quelque soit le critère considéré pour effectuer la pré-optimisation L'idée de base est de rechercher les endroits où la carte de taille est la plus contrainte. Par défaut, dans les zones de l'espace où l'on n'a pas de contrainte sur la carte de taille, on affecte une taille cible constante fournie par l'utilisateur  $E_{n,g}$ , qui représente indirectement la précision globale souhaitée quant au



**Figure 1.** *Le concept de pré-optimisation de la densité nodale*

résultat de l'analyse par éléments finis.

L'opérateur fonctionne en suivant trois phases menées séquentiellement :

- l'échantillonnage en un ensemble de points de la carte de taille.
- l'estimation en tout point de l'espace de la fonctionnelle à partir de l'échantillonnage précédent par une méthode d'extrapolation. Cette méthode d'extrapolation lisse au maximum la fonctionnelle afin que celle-ci possède des gradients les plus faibles possible.
- la construction de la fonctionnelle sur un pavage régulier de l'espace qui englobe le corps à étudier au complet.

L'opérateur est décrit plus en détails dans la version longue du papier.

#### 4. Application du principe de la pré-optimisation de la densité nodale

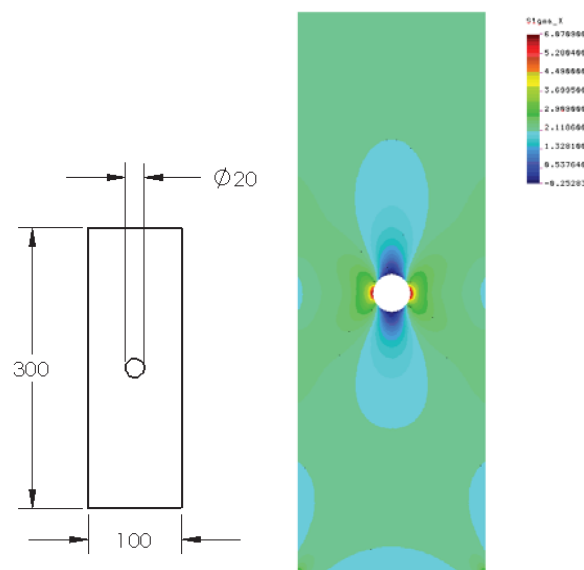
Le principe de la pré-optimisation de la densité nodale permet d'obtenir directement un meilleur maillage pour effectuer une étude éléments finis. La pertinence d'une telle procédure est illustrée dans ce paragraphe en utilisant un exemple de pré-optimisation par rapport aux caractéristiques de forme d'un modèle géométrique. Un exemple dont la solution théorique est connue est choisi afin d'obtenir une référence exacte. Cet exemple est une plaque trouée en traction (figure 2) d'épaisseur  $10\text{mm}$ . Une pression de  $2\text{MPa}$  est appliquée sur le haut de la plaque et celle-ci est bloquée en bas. Cette pression correspond à une force totale de  $2000\text{N}$ . Pour des raisons de clarté, l'exemple est présenté en deux dimensions. La contrainte nominale dans la plaque dans une section hors du trou est de  $2\text{MPa}$ . Au niveau du trou, il existe un

concentrateur de contrainte et la contrainte locale est  $\sigma_y = K_t \sigma_{nom}$ . Dans ce cas figure  $K_t = 2.51$  (Bailon *et al.*, 2000) et la solution est

$$\sigma_y = 2.51 \frac{2000}{10 * 80} = 6.27 MPa \quad [1]$$

Une première étude éléments finis est réalisée à l'aide d'une très forte densité afin de montrer que l'on peut obtenir une bonne référence de façon numérique. Le modèle éléments finis comporte 69191 éléments et la réponse obtenue est  $\sigma_y = 6.07 MPa$  (figure 2). Ce résultat est exact à 97% par rapport à la solution exacte.

Une série d'étude est effectuée afin de comparer les maillages à densité constante



**Figure 2.** Modèle de la plaque trouée en traction avec la solution éléments finis post-sédant 69191 éléments.

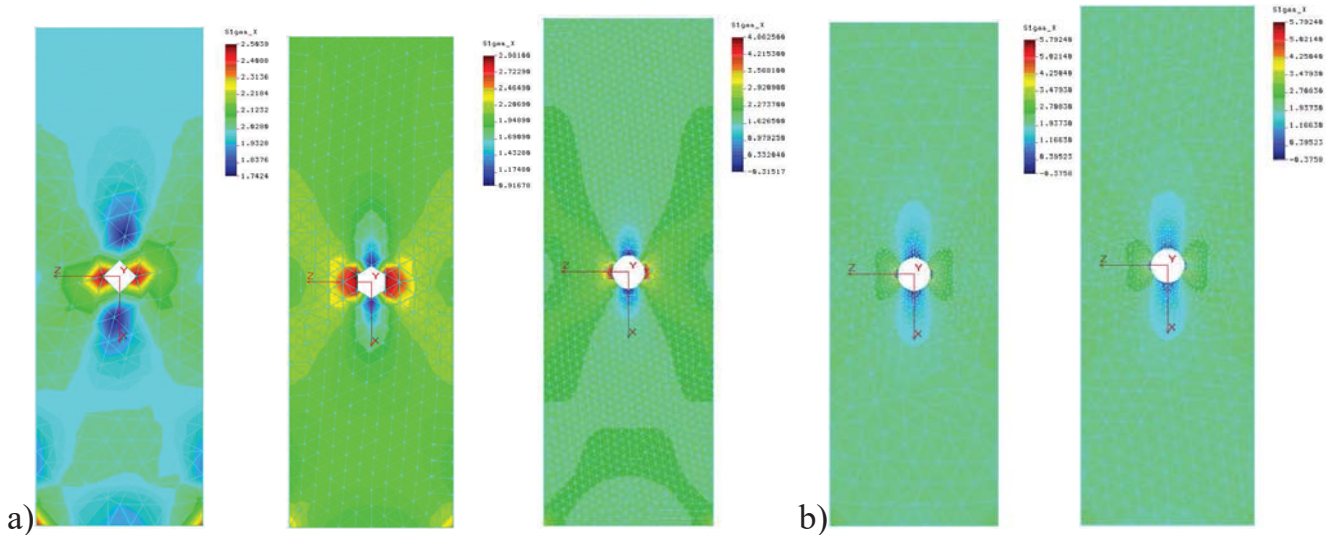
Maillage à densité constante					
Écart nodal (mm)	Carré de la densité (mm-2)	Nombre de nœuds	Nombre d'éléments	Contrainte locale	Rapport avec la solution théorique
15,00	4,444E-03	180	302	2,5	0,40
10,00	1,000E-02	385	684	2,98	0,48
5,00	4,000E-02	1461	2749	4,86	0,78
Maillage pré-optimisé					
15,00	4,444E-03	716	1344	5,79	0,92
10,00	1,000E-02	861	1605	5,79	0,92

**Figure 3.** Caractéristiques des études éléments finis de la plaque trouée.

et les maillage pré-optimisé. Les choix de densité sont effectués comme un analyste mécanicien le ferait c'est à dire que des valeurs courantes sont employées.

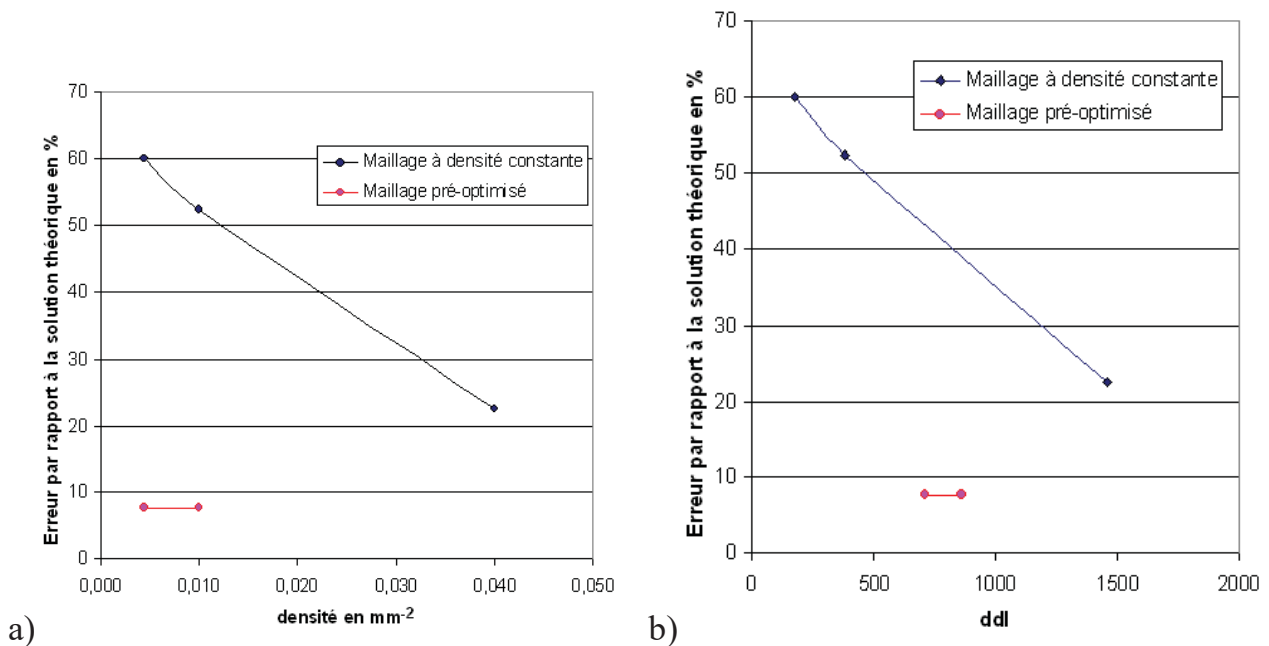
Les caractéristiques et les résultats des différents calculs effectués sont illustrées à la figure 3.

Le graphique de la figure 5a montre l'erreur en fonction de la densité demandée par



**Figure 4.** a) Calculs à densité constante b) Calculs avec le maillage pré-optimisé.  
biblio-hermes.bst

l'utilisateur et le graphique de la figure 5b montre l'erreur en fonction du nombre de degrés de liberté du problème (c'est à dire de la grosseur du problème à résoudre). Ces



**Figure 5.** a) Erreur de l'étude en fonction de la précision souhaitée par l'utilisateur. b) Erreur de l'étude en fonction du nombre de degrés de liberté du problème.

deux graphiques montrent que aussi bien que pour une densité donnée ou une grosseur donnée, l'étude avec le maillage pré-optimisé donne un résultat beaucoup plus précis. Ils montrent également que globalement, il n'est possible d'atteindre la précision de l'étude possédant le maillage pré-optimisé qu'en utilisant des valeurs de densité non usuelles et en formant de gros modèles éléments finis.

## 5. Conclusion

Ce papier démontre la pertinence de l'outil de construction automatique de carte de taille a priori. Cet outil permet d'obtenir l'expression de la carte de taille sur un support virtuel de l'espace. De cette manière, ce résultat devient une donnée optimisée pour l'analyse numérique au lieu d'être généré pendant ou après les phases de calcul. Cette nouvelle donnée peut alors piloter d'autres outils pour former le modèle éléments finis.

## Remerciements

Cette recherche est en partie subventionnée par le Fond Québécois de Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT) et par le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG).

## 6. Bibliographie

- Bailon J.-P., Dorlot J.-M., *Des matériaux*, Presses internationales polytechnique, 2000.
- Batoz J.-L., Dhatt G., *Modélisation des structures par éléments finis*, Hermes, 1990.
- Chae S. W., Bathe K. J., « On automatic mesh construction and mesh refinement in finite element analysis », *Computers and Structures*, vol. 32, p. 911-936, 1989.
- Cuillère J.-C., Maranzana R., « Automatic and a priori refinement of three-dimensional meshes based on recognition techniques », *Advances in Engineering Software*, vol. 30, p. 139-149, 1999.
- François V., Cuillère J.-C., « Automatic mesh pre-optimization based on the geometric discretization error », *Advances in Engineering Software*, 2000.
- Golgolab A., Mailleur 3D automatique pour des géométries complexes, Technical report, Rapport technique INRIA, 1989.
- Lewis R. W., Gethin G. T., Zheng Y., « Three dimensional unstructured mesh generation. Part 3. Volume meshes », *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 134, p. 285-310, 1996.
- Lohner R., Parikh P., « Generation of three-dimensional grids by the advancing front method », *International Journal for Numerical Methods in fluidsp.* 2135-2159, 1988.