



HAL
open science

Optimisation d'un patch composite pour le renforcement d'une voilure

Jean-Denis Mathias, Xavier Balandraud, Michel Grédiac

► **To cite this version:**

Jean-Denis Mathias, Xavier Balandraud, Michel Grédiac. Optimisation d'un patch composite pour le renforcement d'une voilure. 7e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2005, Giens, France. hal-01813046

HAL Id: hal-01813046

<https://hal.science/hal-01813046>

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

Optimisation d'un patch composite pour le renforcement d'une voilure

J.D. Mathias — X. Balandraud — M. Grédiac

*LaMI (Laboratoire de Mécanique et Ingénieries),
IFMA/UBP Campus des Cézeaux BP 265
63175 AUBIERE Cedex
jmathias@ifma.fr*

RÉSUMÉ. Ce papier décrit l'utilisation d'un algorithme génétique afin d'optimiser un patch composite dans un contexte de renforcement de structures métalliques. Le problème d'optimisation d'un renfort composite est présenté dans un premier temps. Les variables de conception sont la forme ainsi que les plis et la position du patch composite sur la structure. Ensuite, les bases des algorithmes génétiques sont décrites avant d'être appliquées au problème de renforcement d'une voilure endommagée.

ABSTRACT. This paper describes the main features of a genetic algorithm suitable for the optimization of composite patches used for the reinforcement of metallic structures. The structural optimization problem of a composite patch is presented. Design variables are the ply orientations and the location of the composite patch on the structure. Some examples illustrate the relevance of the approach.

MOTS-CLÉS : Matériau composite, renforcement, optimisation, algorithme génétique

KEYWORDS: Composite materials, reinforcement, optimization, genetic algorithm

1. Introduction

La maintenance des structures vieillissantes concerne aussi bien le génie civil que l'aéronautique. Le dommage dû à la fatigue provoque généralement l'apparition de fissures qui diminuent le temps de service de ces structures. Il est possible de réparer ces dommages, par exemple avec des patches composites collés qui pontent ces fissures [BAK 84]. Une autre solution consiste à intervenir avant que les fissures n'apparaissent, également en collant un patch. Sa géométrie, sa stratification et la zone de collage doivent cependant être ajustées de telle sorte que la modification du flux d'efforts qui en résulte soulage au mieux la zone affectée [MAT 04]. Un programme de conception de patches par algorithme génétique a été développé pour optimiser ce type de renfort composite. Ce type d'algorithme a déjà été utilisé avec succès pour optimiser des structures composites [RIC 95]. Il nécessite cependant ici le couplage avec un logiciel de calcul par éléments finis : Ansys, pour traiter finement l'effet d'un patch composite sur la voilure sur laquelle il est collé. En pratique, chaque patch est défini par plusieurs paramètres. Les angles d'empilement des couches du stratifié, valeurs discrètes sont prises dans l'ensemble $+45, 0, -45, 90$. Un angle continu oriente le patch par rapport à un repère global de structure. Les coordonnées des points d'interpolation de la courbe spline définissent la géométrie du patch. Ce sont des valeurs continues. Dans les applications visées, le nombre de plis par patch et le nombre de points d'interpolation sont fixés afin de ne pas alourdir le calcul.

2. Optimisation d'un patch composite

Le problème d'optimisation d'un patch composite consiste à minimiser une fonction $f(\mathbf{V})$ soumise à :

$$g_i \leq 0; i = 1, n_g \quad [1]$$

$$I_j \leq v_j \leq S_j; i = 1, n_v \quad [2]$$

où \mathbf{V} est le vecteur contenant les variables de conception v_j . $f(\mathbf{V})$ est la fonction objectif à minimiser, g_i sont les contraintes du problème d'optimisation structural, n_g est le nombre de contraintes, I_j et S_j sont respectivement les limites inférieure et supérieure des variables v_j , avec n_v le nombre de variables. Dans ce problème de renforcement, les variables de conception sont les orientations des plis unidirectionnels ainsi que la géométrie et la position du patch composite (voir Figure 1-a).

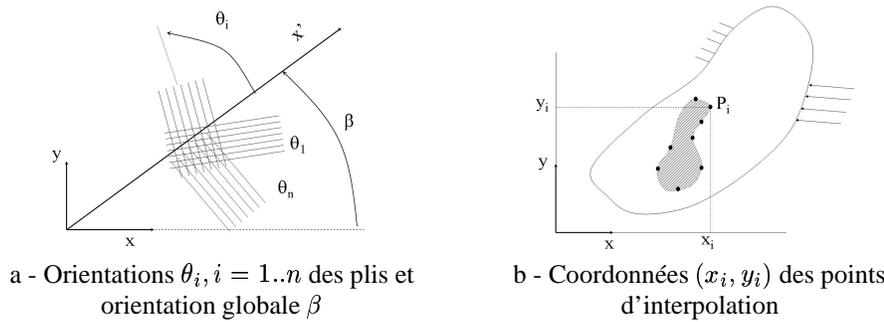


Figure 1. Variables de conception du problème d'optimisation.

Afin de décrire la forme, une description simplifiée doit être utilisée avec un faible nombre de variables. Dans notre cas, la géométrie et la position du patch composite sont définies par une courbe spline fermée (voir Figure 1-b) afin de donner une grande liberté à la forme du patch. Ces variables sont les coordonnées (x, y) de huit points d'interpolation qui sont des variables réelles dans l'algorithme génétique. Elles sont approchées par les coordonnées du noeud du maillage situé au plus près, du fait du couplage avec un programme d'éléments finis. Un des développements de ce travail est d'éviter d'avoir des splines comportant des boucles. Une procédure heuristique, non présentée dans ce papier, a été développée dans cette optique [MAT 04].

3. Algorithme génétique

Le principe des algorithmes repose sur l'utilisation d'opérateurs génétiques qui permettent de faire évoluer des populations d'individus jusqu'à convergence. Les variables de conception de chaque patch composite sont stockées dans un chromosome, chaque gène de ce chromosome correspondant à une variable de conception. Ensuite un opérateur de 'sélection' permet de sélectionner des 'parents' qui seront ensuite croisés via un opérateur de 'croisement'. Les 'enfants' résultant de ce croisement forment ainsi une nouvelle génération et le processus est réitéré jusqu'à convergence. La fonction d'adaptation F_i est la fonction qui permet à l'opérateur de sélection de choisir les individus parents. Elle est liée à la fonction objectif f_i à minimiser. La fonction d'adaptation s'écrit :

$$F_i = C - f_i \quad [3]$$

En pratique, C est égale à f_{max} qui est la valeur maximale de la fonction objective pour une génération donnée, ce qui correspond à la valeur du pire individu de chaque génération.

Afin de sélectionner les individus parents, deux opérateurs de sélection sont utilisés. Le premier opérateur de sélection est l'opérateur de sélection élitiste, qui sélectionne les meilleurs individus d'une même génération afin de les remettre dans la génération suivante. De plus, ces individus sont sélectionnés pour être des individus parents. Le

deuxième opérateur est l'opérateur de sélection proportionnelle, qui sélectionne les individus suivant une probabilité de survie P_i^s définie par :

$$P_i^s = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^{n_i} F_j} \quad [4]$$

où n_i est le nombre d'individus. Cet opérateur favorise les meilleurs individus et donne une chance de survie aux plus faibles, ce qui garantit une certaine diversité génétique au cours de l'évolution de la population. Un opérateur de croisement est appliqué à chaque couple d'individus sélectionnés comme parents. Deux individus parents donnent naissance à deux enfants. Un opérateur de croisement uniforme [SYS 89] et un opérateur de mutation ont été utilisés pour les orientations des plis. Un croisement réel est utilisé pour les coordonnées des points d'interpolation définissant la courbe spline et l'orientation globale du patch composite. Soient x^{parent} et y^{parent} les coordonnées d'un individu parent et β^{parent} son orientation globale. Les gènes enfants correspondants x_i^{enfant} , y_i^{enfant} et β_i^{enfant} des deux enfants ($i = 1, 2$) sont :

$$\begin{cases} x_i^{enfant} = \omega_i \times x^{parent1} + (1 - \omega_i) \times x^{parent2} \\ y_i^{enfant} = \omega_i \times y^{parent1} + (1 - \omega_i) \times y^{parent2} \\ \beta_i^{enfant} = \omega_i \times \beta^{parent1} + (1 - \omega_i) \times \beta^{parent2} \end{cases} \quad [5]$$

où ω_1 est un poids tiré aléatoirement entre 0 et 1. ω_2 est égal à $(1-\omega_1)$. De plus, un croisement primitif est utilisé dans ce travail [IMA 00]. Il consiste à sélectionner le meilleur individu et de lui faire subir successivement une addition et une soustraction sur la valeur de chaque gène. En pratique, cela consiste à tester $2n_v$ individus supplémentaires (n_v additions et n_v soustractions). Un opérateur de translation a été ajouté, afin de compléter le croisement primitif. Il consiste à traduire le meilleur individu dans les quatre directions afin de trouver un meilleur individu. Au total, ce sont donc $(2n_v+4)$ individus qui sont testés. La figure 2 représente les divers opérateurs de l'algorithme génétique utilisé.

4. Application à un problème de renforcement

4.1. Modèle mécanique

Une sous-structure simplifiée de voilure est considérée : il s'agit d'un portion d'intrado ou d'extrado située près de l'encastrement avec le fuselage. Elle est composée d'un alliage d'aluminium dont le comportement est supposé élastique linéaire isotrope de constantes matériau $E = 70$ GPa, $\nu = 0,3$. La voilure est encadrée sur la partie droite. Elle est soumise à une contrainte $\sigma=50$ MPa sur sa partie gauche. La voilure est rigidifiée par trois raidisseurs et sept nervures répartis de façon équidistante sur la voilure. Un modèle bidimensionnel est utilisé. La Figure 3-a représente le modèle de la voilure. Le patch composite est en fibres de carbone avec une matrice en epoxyde. Il

est composé de 6 plis pour une épaisseur totale de 0,75 mm. Les plis unidirectionnels sont supposés être élastiques linéaires orthotropes de constantes matériau $E_x = 181$ GPa, $E_y = 10$ GPa, $\nu_{xy} = 0,28$, $G_{xy} = 7$ GPa. La surface de ce patch composite ne doit pas dépasser 20% de la surface totale de la sous-structure.

4.2. Optimisation

L'algorithme génétique précédemment présenté est implémenté sous Ansys. La fonction objectif est la force moyennée passant par l'encastrement au niveau de deux éléments situés dans le coin à droite de l'encastrement. C'est dans cette zone que les premiers effets d'endommagement sont susceptibles d'apparaître. Cette force moyennée est égale à 413N dans le cas de la structure non renforcée avec une contrainte longitudinale maximum égale à 59MPa dans la zone endommagée. La figure 3-b suivante représente le patch optimisé. Ce patch optimisé diminue la force moyennée de 4,5%, ramenant la valeur à 394,5N. De plus, la contrainte longitudinale maximum a diminué de 12%. Ce résultat peut être comparé à celui obtenu à l'aide d'un patch rectangulaire collé dans le coin en bas à droite de la voilure, i.e. au niveau de la zone à soulager, avec une aire égale à 20% de la structure. Ce patch diminue de 0,5% la force moyennée et augmente la contrainte longitudinale maximum de 11%. Tous les plis du patch optimal sont orientés à 30 degrés par rapport à l'axe x , ce qui correspond pratiquement à l'orientation des raidisseurs longitudinaux. Le renforcement par patch composite peut se décomposer en deux effets. Le premier est local. Il se traduit par un renforcement dû à la rigidité du patch composite et qui renforce aux alentours de

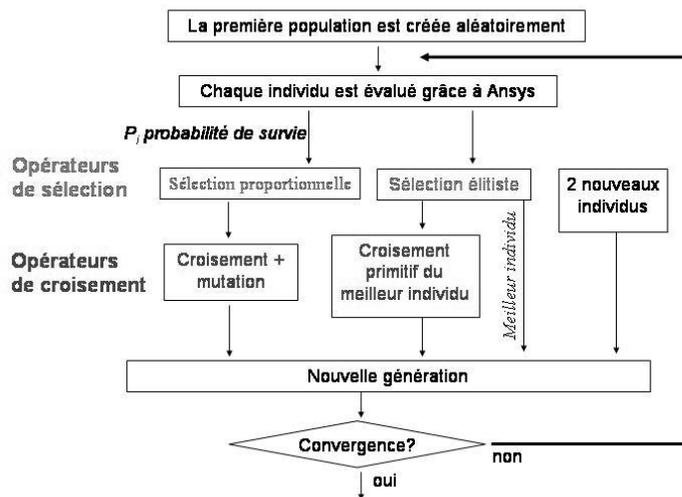


Figure 2. Description de l'algorithme génétique et des opérateurs utilisés.

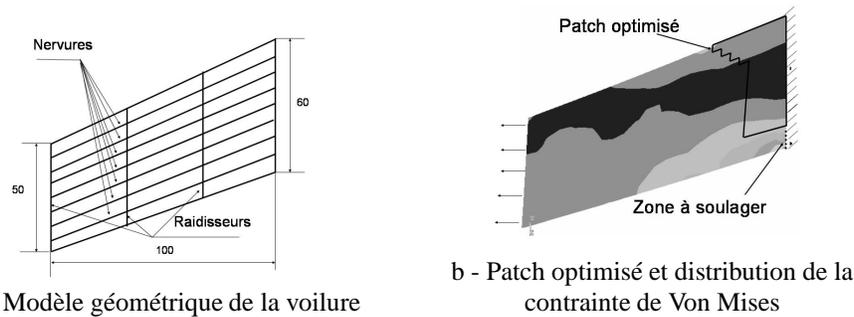


Figure 3. *Modèle géométrique et patch optimisé.*

celui-ci. Le deuxième type est quant à lui global. Il consiste en une déviation du flux de contrainte dans la structure afin de pouvoir soulager la zone endommagée.

5. Conclusion

L'algorithme génétique a été appliqué au renforcement d'une voilure. Un effort au niveau d'une zone de l'encastrement a été utilisé comme fonction objectif. Un patch optimisé renforce de manière plus importante qu'un patch composite rectangulaire. Le renforcement par le patch optimisé a permis de mettre en évidence une déviation du flux de contraintes dans la structure créant de ce fait un renforcement global de la structure qui soulage efficacement la zone endommagée.

6. Bibliographie

- [BAK 84] BAKER A., « Repair of Cracked or Defective Metallic Aircraft Components with Advanced Fibre Composites-an Overview of Australian Work », *Composite Structures*, vol. 2, 1984, p. 153-181.
- [IMA 00] IMAM M. H., AL-SHIHRI M. A., « A primitive crossover for improving the reliability of genetic algorithms for structural optimization », TOPPING B., Ed., *Computational engineering using metaphors from nature*, Edinburgh, 2000, Civil-Comp Press, p. 91-97.
- [MAT 04] MATHIAS J., BALANDRAUD X., GRÉDIAC M., « Applying a genetic algorithm to the optimization of composite patches », *Computers and Structures*, submitted, , 2004.
- [RIC 95] RICHE R. L., HAFTKA R. T., « Improved genetic algorithm for minimum thickness composite laminate design », *Composites Engineering*, vol. 5, n° 2, 1995, p. 143-161.
- [SYS 89] SYSWERDA G., « Uniform crossover in genetic algorithms », *Proceeding of the third international conference on genetic algorithms and their application*, San Mateo, 1989, Morgan Kaufman Publishers, p. 2-9.