

Optimisation multi-objectifs par colonies de fourmis

H. CHAGRAOUI¹, S. GHANMI¹, M. GUEDRI¹, N. BOUHADDI²

¹Unité de Recherche en Dynamique des Structures, Modélisation et Ingénierie des systèmes multi-physiques, Institut Préparatoire aux Etudes d'Ingénieur de Nabeul, Campus universitaire El Mrazka Nabeul 8000, Tunisie, hmdchagraoui@gmail.com, samir.ghanmi@ipein.rnu.tn, mohamed.guedri@isetn.rnu.tn

²Institut FEMTO-ST UMR6174-Département de Mécanique Appliquée, Université de Franche-Comté, Besançon, France, noureddine.bouhaddi@univ-fcomte.fr.

Résumé – L'objectif de ce travail est de montrer qu'il est possible de mener l'optimisation multi-objectifs en utilisant un algorithme heuristique aussi performant qu'un Algorithme Génétique (AG), qui est actuellement le plus utilisé dans les solveurs d'optimisation. Il s'agit de l'algorithme d'optimisation basé sur l'approche Pareto (Pareto Ant Colony Optimization : P-ACO). Dans ce papier on montrera à travers l'étude d'une plaque raidie en composite multicouches que l'algorithme P-ACO est aussi performant qu'un AG mais a l'avantage d'être plus aisé à mettre en œuvre numériquement. La modélisation de la structure composite est réalisée par le code de calcul commercial ANSYS®.

Mots clés : Optimisation multi-objectifs/ Algorithme Génétique/ Algorithme d'optimisation en colonie de fourmis / Structure composite multicouches.

Abstract – The aim of this work is to show that it is possible to conduct multi-objective optimization using another type of evolutionary algorithm that is able to provide optimal solutions as good as those from a Genetic Algorithm (GA) which is currently the most used. It is used Pareto Ant Colony Optimization (P-ACO). In this paper we show through the study of a multilayer's composite plate stiffened that the P-ACO algorithm is as efficient as GA. Modelling of composite structure is performed by the computer code ANSYS®.

Key words: Multi-objective Optimization / Genetic Algorithm/ Pareto Ant Colony Optimization / Multilayer's composite structure.

1 Introduction

L'amélioration des performances des structures et la réduction des coûts ont toujours été un défi pour le concepteur en phase d'avant projet surtout si ces structures sont en composite et ayant un Modèle Eléments Finis de grande taille. Optimiser la conception revient alors à résoudre un problème d'optimisation qui est généralement multi-objectifs très coûteux en termes de temps de calcul, où on cherche à minimiser plusieurs fonctions coût en présence d'un certain nombre de contraintes. Pour optimiser les performances de ces structures des algorithmes évolutionnaires sont généralement utilisés. L'algorithme le plus utilisé actuellement est l'Algorithme Génétique (AG) sous ses différentes variantes mais ses principales handicaps demeurent l'absence de critères de convergence a priori et le réglage de ses paramètres propres à chaque application. L'objectif de ce travail est de montrer qu'il est possible de mener l'optimisation en utilisant un autre type d'algorithme évolutionnaire plus simple mais capable de donner des solutions optimales aussi satisfaisantes que celles issues d'un AG de type NSGA-1 [1] avec une précision acceptable et un temps CPU relativement proche de celui de l'AG. Il s'agit de l'algorithme d'optimisation en colonie de fourmis basé sur l'approche Pareto (Pareto Ant Colony Optimization : P-ACO) [2]. La comparaison des performances des deux algorithmes est réalisée en étudiant le comportement d'une plaque raidie en composite multicouches. La modélisation de cette structure composite est réalisée par le code de calcul commercial ANSYS®.

2 Problème d'optimisation Multi-Objectifs :

Un problème d'optimisation multi-objectifs peut s'écrire sous la forme générale suivante :

$$\begin{cases} \text{Optimiser } F(X) = (f_1(X), f_2(X), \dots, f_n(X)) \\ \text{avec } X = \{x_1, x_2, \dots, x_p\} \in \Omega \end{cases} \quad (1)$$

Où : $F(f_1, f_2, \dots, f_n)$ est le vecteur des fonctions coût à optimiser, $x = [x_1, x_2, \dots, x_p]^T$ est le vecteurs des variables de décisions.

3 Algorithme d'optimisation de colonie de fourmis basé sur l'approche Pareto:

Les algorithmes de colonies de fourmis ,en anglais « Ant Colony Optimization» (ACO), sont des algorithmes inspirés du comportement des fourmis et qui constituent une famille de métaheuristiques d'optimisation. Initialement proposé par [3], pour la recherche de chemins optimaux dans un graphe, le premier algorithme s'inspire du comportement des fourmis recherchant

un chemin entre leur colonie et une source de nourriture. L'idée originale s'est depuis diversifiée pour résoudre une classe plus large de problèmes et plusieurs algorithmes ont vu le jour, s'inspirant de divers aspects du comportement des fourmis dont on cite le P-ACO (Pareto Ant Colony Optimization) (Figure 1). Ce dernier, proposé par [2], est une amélioration de l'ACO qui utilise la notion de dominance au sens de Pareto. Il a été proposé pour résoudre le problème de sélection de portefeuille multi-objectif.

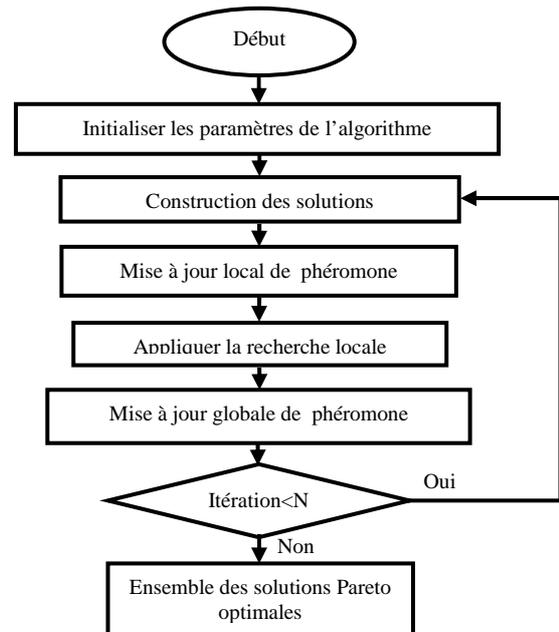


Figure 1 : Algorithme P-ACO

4 Simulation numérique et discussions

La structure à étudier est un panneau raidi en composite multicouches (Figure 2). Cette structure est en carbone / époxy unidirectionnel T800/924C renforcée par quatre raidisseurs de même matériau. L'empilement de la peau est symétrique et équilibré à vingt-deux plis, celui de l'âme du raidisseur est symétrique et équilibré à trente plis. Les propriétés mécaniques de cette structure sont : $E_1 = 162 \text{ GPa}$; $E_2 = E_3 = 9.2 \text{ GPa}$; $G_{12} = G_{13} = 5 \text{ GPa}$; $G_{23} = 3.285 \text{ GPa}$; $\nu_{12} = \nu_{13} = 0.3$; $\nu_{23} = 0.4$; $e = 0.125 \text{ mm}$ (épaisseur d'une couche) ; $\rho = 1810 \text{ Kg/m}^3$.

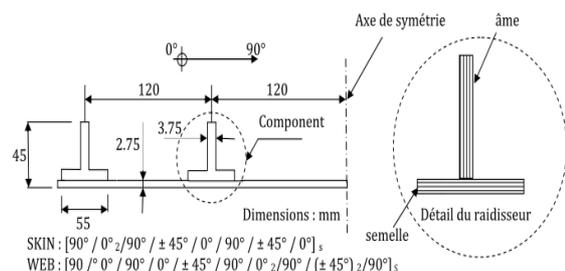


Figure 2 : Dimensions du demi-panneau et empilements de la peau et des raidisseurs.

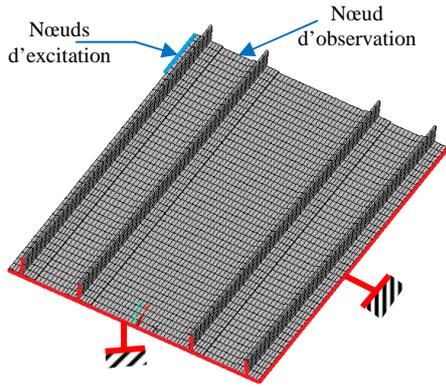


Figure 3 : Modélisation par éléments finis du panneau raidi avec chargement et conditions aux limites.

La figure (3) présente le maillage et les conditions aux limites du panneau raidi. Ce dernier contient 10208 nœuds, 5590 éléments et 29424 degrés de liberté. Le problème multi-objectifs à résoudre admet trois fonctions coût et qui sont : minimiser simultanément (i) la première fréquence propre : F_1 , (ii) le déplacement maximal au nœud d'observation (figure 3): D_{Max} et (iii) La masse globale de la structure : M_g . Ce problème est formulé comme suit :

$$\begin{cases} \text{Min}(M_g, F_1, D_{Max}) \\ x \in (E_1, E_2, E_3, G_{12}, G_{13}, G_{23}, v_{12}, v_{13}, v_{23}, e, \rho) \end{cases} \quad (2)$$

La figure (4) présente les deux fronts Pareto issus des deux algorithmes NSGA-1 et P-ACO. On remarque bien la bonne concordance entre les deux nuages de solutions calculées par les deux algorithmes. Ce qui est confirmé également par la distance de Mahalanobis D_M^2 (Eq. 3) qui ne dépasse pas 0.13 (Tableau 1). On a enregistré globalement une légère supériorité en temps de calcul CPU et en nombre de solutions optimales pour l'algorithme P-ACO (Tableau 1).

$$D_M^2 = (G_1 - G_2)^T \Sigma^{-1} (G_1 - G_2) \quad (3)$$

Avec G_1, G_2 et Σ^{-1} sont respectivement les centres de gravité des nuages des solutions issues du P-ACO et NSGA-1 et la matrice inverse de covariance entre les deux nuages de solutions.

5 Conclusion

D'après les résultats des simulations, on peut conclure que de manière similaire à l'algorithme génétique de type NSGA-1, l'utilisation d'un algorithme de type P-ACO est bien adaptée pour l'optimisation des structures composite multicouches ayant un MEF de grande taille et un nombre de paramètres de conception important ainsi que plusieurs fonctions objectifs à optimiser simultanément.

6 Bibliographie

- [1] N. Srinivas, K. Deb, Multi-objective optimization using non dominated sorting in genetic algorithms, Technical Report, Department of Mechanical Engineering, Institute of Technology, India, 1993.
- [2] Doerner, K., Gutjahr, W. J., Hartl, R. F., Strauss, C., & Stummer, C., Pareto Ant Colony Optimization: A Metaheuristic Approach to Multiobjective Portfolio Selection. *Annals of Operations Research*, 2004.
- [3] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colomi. Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B*, 26(1):29–41, 1996.

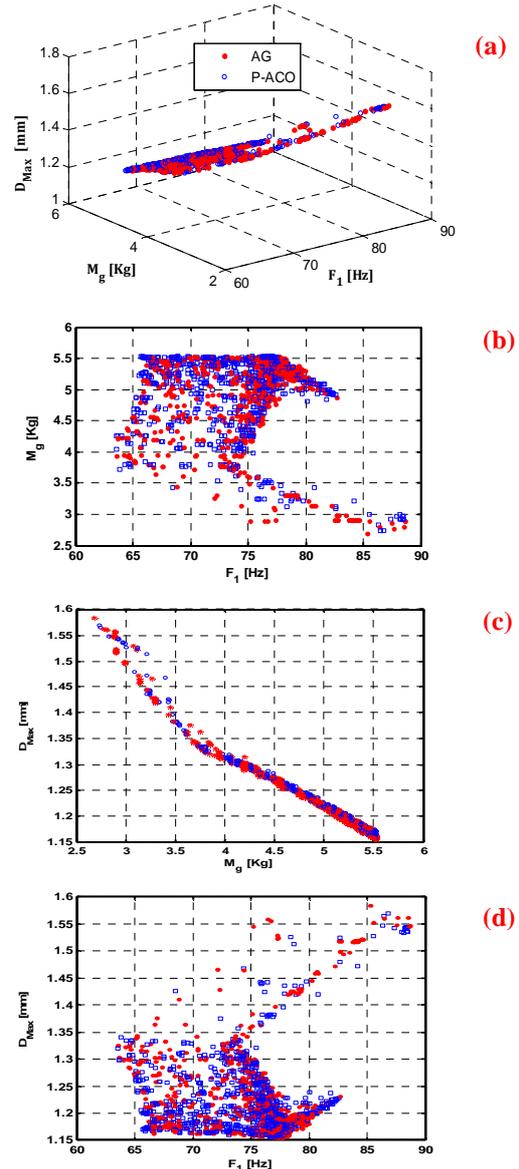


Figure 4 : Ensembles des solutions Pareto optimales issus de l'application d'un AG (NSGA-1) et un P-ACO: (a) : dans l'espace (F_1, D_{Max}, M_g), (b) : dans le plan (F_1, M_g), (c) : dans le plan (M_g, D_{Max}), (d) : dans le plan (F_1, D_{Max}).

	CPU (%)	D_M^2	Nombre de solutions optimales
NSGA-1	100		671
P-ACO	96	0.13	780

Tableau 1 : Performances du P-ACO/NSGA-1.