

Optimisation structurelle des gridshells

L. Bouhaya¹, O. Baverel^{1,2}, J.F. Caron¹

¹ Université Paris-Est, Laboratoire Navier (ENPC/LCPC/CNRS), France {lina.bouhaya, baverel, caron}@enpc.fr

² Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, France, baverel@enpc.fr

Résumé — Les gridshells sont des structures à double courbure obtenues par déformation élastique d'une grille plane sans rigidité en cisaillement. Une méthode, dite méthode du compas, permet de mailler un gridshell sur une surface à contours et forme imposés. Cette méthode est mise en œuvre et appuyée par des exemples de maillage de formes. Elle est couplée à des algorithmes métaheuristiques types algorithmes génétiques dans le but de minimiser la courbure et donc les contraintes dans la structure lors de la mise en forme. Des exemples d'application sont montrés.

Mots clefs — Gridshell, recherche de forme, méthode du compas, algorithmes génétiques.

1 Gridshells et recherche de forme

Sous le nom de gridshell, on entend le plus souvent une structure qui a la forme et la rigidité d'une coque à double courbure mais qui est constituée d'une grille et non d'une surface continue. Un gridshell est obtenu par déformation élastique d'une grille bidirectionnelle continue plane sans rigidité en cisaillement puis rigidifiée par une troisième direction de barres. Ces structures peuvent franchir de grandes portées tout en utilisant peu de matière. Ainsi, un gridshell a un potentiel structural intéressant et peut répondre à des exigences architecturales complexes. La recherche de forme de ces structures a été menée à travers l'histoire principalement par deux méthodes, la méthode du filet inversé [1] et la relaxation dynamique [2]. Ces deux méthodes permettent d'obtenir une forme approchée de celle proposée par l'architecte, dérivant d'une grille à plat et de conditions aux limites partiellement ou complètement imposées.

On s'intéresse dans cet article à générer un gridshell sur une surface à forme et contours imposés. Une méthode dite méthode du compas, introduite dans IL10 Gitterschalen [1], permet ce genre de recherche de forme. Un outil numérique se basant sur cette méthode a été développé. Des exemples de maillage de plusieurs formes de surface sont montrés. La méthode du compas permet de créer un réseau de parallélogrammes gauches sur une surface quelconque et cela, comme son nom l'indique, en utilisant uniquement un compas. La première étape consiste à tracer deux directrices qui se croisent en un seul point sur la surface. Ses deux directrices sont ensuite subdivisées à l'aide d'un compas et suivant un pas de maillage choisi. La surface est ainsi divisée en quatre régions. On en choisit une et, à partir des deux points les plus proches de l'intersection des directrices, on construit au compas un nouveau point à égale distance de ces deux points. Ces trois points et l'intersection des directrices forment un parallélogramme. Puis, de proche en proche, on construit de nouveaux points à l'aide de deux points existants et d'un compas dont l'écartement reste constant.

2 Optimisation de la grille : méthode du compas et algorithmes génétiques

L'idée développée ici est d'essayer de minimiser les courbures et donc les contraintes dans la structure afin de ne pas rompre les barres lors de la mise en forme. Pour ce faire, une méthode permettant l'optimisation de l'orientation des barres et du maillage d'un gridshell pour une forme donnée est mise en œuvre. L'optimisation est faite sur les courbures dans les barres en couplant la méthode du compas et une méthode stochastique de type algorithme génétique. Les algorithmes génétiques (AGs) sont des algorithmes d'optimisation stochastiques basés sur les mécanismes de la génétique et de l'évolution naturelle comme la sélection, le croisement et la mutation. Ils ont été développés par John Holland depuis 1970 [3].

Un chromosome est choisi comme étant un groupe de gènes permettant de définir le maillage. Ces gènes présentent le point A, point d'intersection des deux directrices et tous les angles permettant de définir les deux directrices. La fonction fitness représente le maximum de courbure obtenu à la suite de maillage de la surface à l'aide de la méthode du compas par le chromosome considéré.

Des exemples d'application de la méthode proposée ont été réalisés, une demi-sphère et deux formes présentant une double courbure inverse, une surface à équation cartésienne sinusoïdale et un parabolôïde hyperbolique. Le graphe de la figure 1 représente la fonction fitness moyenne et celle la plus petite de chaque génération ainsi que le maillage de la demi-sphère par le chromosome retenu à la suite de l'optimisation. Le calcul est réalisé pour une génération initiale de 100 chromosomes, une probabilité de croisement de 0,5 et une probabilité de mutation de 0,01. Plusieurs calculs ont été faits en changeant le nombre de chromosomes. Il a été remarquable que plus on augmente le nombre de chromosome, plus la fonction fitness devient petite. En partant par exemple d'une génération de 900 chromosomes, on réussit à obtenir un résultat qui est 16,5% meilleur que par tirage au sort sur 10 000 chromosomes, et 12% que par un calcul essai-erreur.

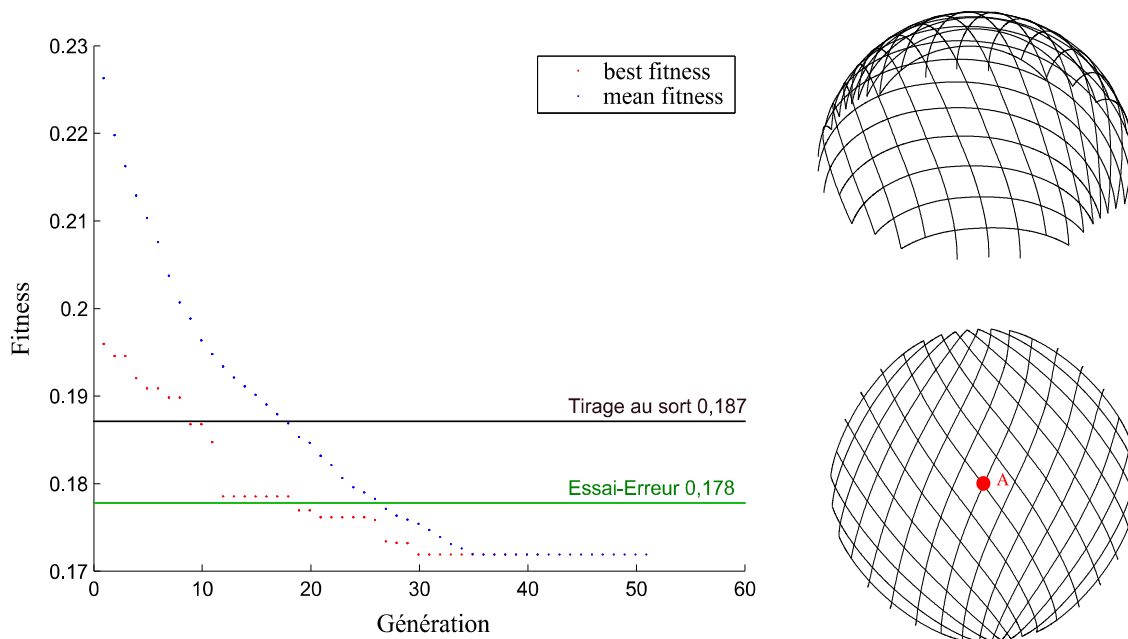


FIG. 1 – Fonction fitness en fonction du nombre de génération et maillage de la demi-sphère par le chromosome retenu

3 Conclusions

Une méthodologie d'aide à la conception de structures dites gridshells a été proposée. Elle permet de trouver le maillage d'un gridshell sur une forme proposée par un architecte ainsi que d'optimiser les orientations des barres dans le but de minimiser la courbure et donc les contraintes dans la structure lors de la mise en forme. Des exemples d'application, une demi-sphère et des surfaces à double courbure inverse, sont montrés.

Références

- [1] F. Otto, IL10 Gitterschalen, Institut für leichte Flächentragwerke (IL), 1974.
- [2] C. Douthe, J.F.Caron, O. Baverel, *Gridshell structures in glass fibre reinforced polymers*, Construction and building materials, 24: 1580-1589, 2010.
- [3] J.H. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems*, The university of Michigan press, 1975.