

Application des algorithmes génétiques à l'optimisation des structures du génie civil

A.Benanane¹, S.Benanane², A.Ouazir¹, S.M. Bourdim¹, L. Amamra¹

¹Laboratory of Materials and Processes of Construction, University of Mostaganem, Algeria, abdelkaderbenanane@yahoo.fr, abderouazir@yahoo.fr, bourdim80@yahoo.fr, sir_laid_m@hotmail.fr

²Laboratory of Materials and Design of Structures, University of Oran, Algeria, benanane.sofiane@yahoo.fr

RÉSUMÉ. La conception assistée par ordinateur se concrétise de nos jours par le développement important d'outils de calcul informatique. Ces codes de calcul sont souvent destinés à une phase de conception avancée des projets. En revanche, il n'existe à notre connaissance que très peu d'outils d'aide à la conception en phase d'avant-projet. En effet, dans le cycle de vie d'un projet de construction, la phase de conception est souvent le lieu de situations contradictoires puisque différents traitements techniques devraient avoir lieu pour vérifier la faisabilité des ouvrages au regard des contraintes structurelles, de voisinage, de mise en œuvre, etc... Dans ce travail, nous proposons une méthodologie de résolution du problème de la conception globale d'une structure métallique simple basée sur l'approche des Algorithmes Génétiques. Le but recherché est de minimiser le coût global de réalisation. En conclusion, L'objectif final de cette recherche est l'élaboration d'un outil informatique basé sur l'approche des Algorithmes Génétiques qui pourrait aider les Ingénieurs des bureaux d'études, à prendre les décisions adéquates dès la phase de conception d'avant-projet pour minimiser au mieux le coût des projets.

MOTS-CLÉS : conception multicritère, programmation numérique, conception assistée par ordinateur, algorithmes génétiques, conception optimale.

ABSTRACT. The computer aided design is realized today by the significant development of computational tools. These computer codes are often intended for advanced design phase of projects. However, there is to our knowledge very few design support tools in preliminary design phase. Indeed, in the life cycle of a construction project, the design phase is often the place of conflicting situations that prevent the overall optimization of the said projects production costs. During this phase, various technical treatments should be held to verify the feasibility of the works in relation to the structural constraints, neighbourhood, implementation, etc ... In this work, we propose a formulation of the optimization problem of the overall design of a simple metal structure and a methodology of resolution based on the approach of Genetic Algorithms. The aim is to minimize the overall execution cost. In conclusion, The ultimate goal of this research is the development of a software tool based on the approach of Genetic Algorithms that could help engineers of design offices to make the right decisions from the early design phases to best minimize the cost of projects.

KEY WORDS: multidisciplinary design, numerical programming, computer aided design, genetic algorithms, optimal design.

L'approche traditionnelle d'optimisation des structures métalliques est basée sur la minimisation du poids de la structure. Cependant, les assemblages dépassent rarement les 5 % du poids total d'une ossature. Ce faible pourcentage cache en réalité un coût élevé pouvant aller jusqu'à 30 % du coût total de fabrication de la structure [HAM 97]. En effet, le prix d'une ossature est constitué majoritairement par le coût de la main d'œuvre qui dépend essentiellement de la complexité des assemblages. Une définition optimisée de la structure, effectuée à la base du seul critère poids, peut donc donner lieu à des dispositions constructives loin d'être optimales en termes de coût de réalisation. Pour cela nous avons élaboré une méthodologie d'optimisation basée sur la minimisation du coût global de réalisation de la structure. Ce coût intègre les coûts matière, fabrication et montage de la superstructure métallique ainsi que les coûts matière et réalisation des systèmes de fondation. Cette approche d'optimisation globale, basée sur l'application des Algorithmes Génétiques, tient compte en plus des caractéristiques dimensionnelles des éléments [GAL 98], de la nature des appuis [COL 96], et de la conception des assemblages [JAS 94].

2. Les méthodes de conception optimales

Il existe de nombreuses méthodes qui permettent de résoudre un problème d'optimisation. Ces méthodes peuvent se scinder en deux groupes : les méthodes dites déterministes et les méthodes stochastiques ou dites non-déterministes. Les méthodes déterministes, comme celle du gradient, sont propices à une recherche d'optimum local mais ne permettent pas de sortir du puits pour rechercher un optimum global. Les méthodes non-déterministes, comme celle de Monte-Carlo, permettent d'éviter une convergence vers un optimum local. Cependant, elles ne permettent pas une recherche locale efficace. De surcroît, la plupart de ces méthodes ne permettent pas une optimisation de problèmes dépendant de variables discrètes. De ce fait, les algorithmes génétiques offrent de nombreux avantages par rapport aux méthodes classiques d'optimisation.

3. Présentation du problème de conception par les algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes de recherche inspirés des mécanismes de l'évolution naturelle des êtres vivants et de la génétique. Un tel algorithme ne nécessite aucune connaissance du problème : on peut représenter celui-ci par une boîte noire comportant des entrées (les variables) et des sorties (les fonctions objectif). L'algorithme ne fait que manipuler les entrées, lire les sorties, manipuler à nouveau les entrées de façon à améliorer les sorties, etc. [HOL 75]. C'est ainsi qu'ont procédé les éleveurs pendant des millénaires : ils ont réussi à modifier, selon leurs désirs, de nombreuses espèces animales sans connaissance en génétique ou biologie moléculaire. Il y a lieu de rappeler que trois types d'algorithmes évolutionnaires ont été développés isolément et à peu près simultanément par différents scientifiques : la programmation évolutionniste [WHI 95], les stratégies d'évolution [FOG 66] et les algorithmes génétiques [REC 71].

4. Formulation du problème de conception par les algorithmes génétiques

Le problème de la conception globale des structures métalliques peut, à notre avis, être posé globalement comme un problème d'optimisation consistant à minimiser l'objectif ou le critère du coût global (CG) de la structure en respectant des conditions ou contraintes.

Le CG est une fonction d'un certain nombre de variables telles que les trois variables : I, Xa et Xn comme on va l'expliquer de façon explicite dans les sections suivantes.

Ainsi, on peut formuler implicitement le problème d'optimisation de la façon suivante :

$$\text{Min CG (I, Xa, Xn)} \quad [1]$$

où CG : le coût global de production de la structure, I : vecteur des caractéristiques dimensionnelles des barres (sections, longueurs des barres,...), Xa : vecteur nature des appuis c'est-à-dire les liaisons de la structure avec le milieu extérieur, Xn : vecteur nature des nœuds (liaisons internes).

Le critère, que nous retenons pour la résolution du problème de la conception globale des structures métalliques, est unique, il s'agit de minimiser le coût global de la structure. Ce coût est composé des deux entités suivantes :

- le coût de réalisation de la superstructure métallique et le coût de réalisation des massifs de fondations.

Ces deux coûts ne sont pas élémentaires puisqu'ils sont, eux mêmes, composés de plusieurs coûts.

Par conséquent, le coût global (CG) d'une construction métallique (superstructure et fondations) peut alors s'écrire:

$$(CG) = (CS) + (CF) \quad [2]$$

où CS : coût de la superstructure en acier, CF : coût des fondations en béton armé.

$$(CS) = (Mat) + (Fab) + (Mon) \quad [3]$$

où Mat: coût des matériaux des profils et assemblages, Fab: coût de la fabrication en atelier, Mon: coût de montage des différents éléments sur site.

Par contre, le coût (CF) est composé des deux entités élémentaires suivantes :

$$(CF) = (Ter) + (PrF) \quad [4]$$

où Ter : coût des terrassements, PrF : coût de production des fondations. Il intègre les coûts des matériaux et les coûts d'exécution.

5. Application des algorithmes génétiques au cas d'une structure de génie civil

Chaque solution de conception possible est codée dans l'algorithme génétique par un chromosome constitué des trois parties correspondant aux trois types de variables d'optimisation. Chacune de ces trois parties est constituée d'autant de gènes que de variables de conception dans une structure. La figure 2 montre la structure d'un chromosome destiné au codage d'un portique à deux étages.

Pour pouvoir être utilisées dans l'algorithme génétique, les caractéristiques dimensionnelles de différents profilés standards sont stockées sous forme d'une base de données dans laquelle ils sont codés. Pour cela, nous proposons un codage entier permettant à la fois de distinguer le type du profilé (IPE, HEA, HEB, etc..) ainsi que son numéro (hauteur). Les informations concernant le type des liaisons et des appuis d'une solution de conception sont aussi codées dans l'algorithme génétique à travers une chaîne d'entiers.

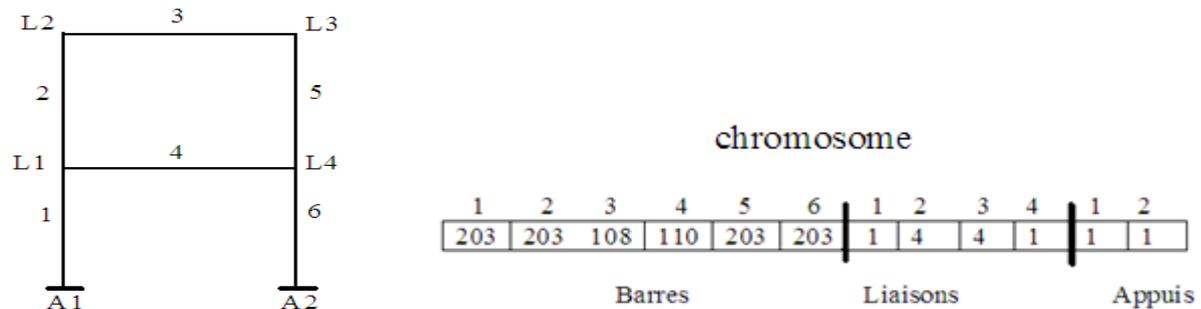


Figure 2. Modélisation d'une structure par un chromosome

6. Techniques d'application des différents opérateurs génétiques

6.1. Opérateur de sélection

La sélection joue un rôle très important dans les algorithmes génétiques d'une part, pour diriger les recherches vers les meilleurs individus et d'autre part, pour maintenir la diversité des individus dans la population. Elle est liée au compromis entre la vitesse de convergence élevée et une forte probabilité de trouver un optimum global dans le cas d'un problème d'optimisation. Si la sélection choisit seulement le meilleur individu, la population convergera rapidement vers cet individu. La sélection doit donc s'intéresser aux meilleurs individus tout en acceptant certains individus de moins bonne qualité.

6.2. Opérateur de croisement (cross-over)

Trois procédures de croisement ont été testées sur ce problème et peuvent être représentées à la figure 3 ci-dessous :

- Croisement à un point : tous les éléments se trouvant avant une position choisie aléatoirement sont copiés du premier parent et le reste est copié du second parent.
- Croisement à deux points : deux positions sont sélectionnées aléatoirement. Les éléments se trouvant à l'intérieur de ses positions sont copiés du premier parent et les autres éléments sont copiés du second parent.
- Croisement uniforme : chaque élément est copié d'une façon aléatoire soit du premier parent, soit du second parent.

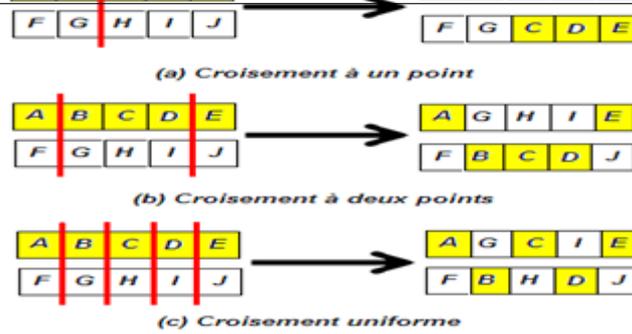


Figure 3. Opérateur de croisement

6.3. Opérateur de mutation

Permet à la nouvelle solution de subir une mutation génétique avec une certaine probabilité p_m . La mutation permet un léger changement de la solution et maintient la diversité des solutions. Cette procédure diminue la possibilité de convergence prématurée à un optimum local.

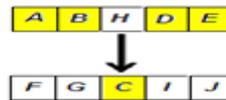


Figure 4. Opérateur de mutation

7. Conclusion

De cette manière, nous confirmerons que les algorithmes génétiques peuvent appréhender plus facilement les problèmes considérés comme difficiles ou nécessitant un temps de calcul important avec une approche algorithmique classique. Il est aussi aisé de montrer que les algorithmes génétiques améliorent la rapidité de résolution et permettent absolument une résolution qui n'aurait pas été possible autrement, vu la complexité des données des problèmes physiques ou réels.

8. Bibliographie

- [COL 96] HOTTIER J.M., MORICET A. << Modèle simplifié des assemblages semi-rigides. Analyse économique comparative >>, Revue de la Construction Métallique, Vol.4, 1996, p.55-67.
- [FOG 66], <<Evolutionary computation >>, IEEE Press,1966, p.26-34.
- [GAL 98] BUREAU A., PEPMicro - Analyse plastique au second ordre des structures planes à barres. Manuel d'utilisation, CTICM,1998, France.
- [HAM 97] , Conception économique des assemblages en construction métallique. Thèse de doctorat, Université de Savoie, France.1997.
- [HOL 75] Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to Biology, control, and artificial intelligence. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press,1975.
- [JAS 94], <<Steel moment connections according to Eurocode3, simple design aids for rigid and semi-rigid joints >> In: COST C1. Proceedings of the second state of the art workshop, Prague,1994, p.159-167.
- [REC 71], Evolutions strategie: Optimierung technischer systeme und prinzipien der biologischen evolution. PhD thesis, Frommann-Holzboog, 1971,Stuttgart.
- [WHI 95] DARRELL W., Genetic Algorithms in Engineering and Computer Science <<chapter modeling hybrid genetic algorithms >>, 1995, p. 191–201.