



OPTIMISATION DE FORME MULTI-OBJECTIF D'UNE TRAVEE DE PIVOT D'IRRIGATION

MULTI-OBJECTIF SHAPE OPTIMIZATION OF A SPAN OF IRRIGATION PIVOT

**GUERRAH A.^{1,2}, DERFOUF S.¹, GUERRIRA B.¹, HADID M.¹,
MANSOURI K.², SAADALLAH Y.¹**

¹Laboratoire de Génie Mécanique « LGM », Université de Biskra, Algérie.

²Université d'El-Oued, Algérie.

ayoub.meca@gmail.com

RÉSUMÉ

Les pivots d'irrigation ou les rampes pivotantes d'irrigation sont des appareils métalliques mobiles de grandes dimensions, destinés à l'irrigation automatique de grandes surfaces cultivées, ces dernières sont composées d'une tour centrale fixe, de tours mobiles et d'un ensemble de travées.

Dans notre pays, ces appareils sont fabriqués par une entreprise nationale disposant d'une ligne complète de production avec un très haut niveau d'intégration de matière première locale entrant dans sa production. Cependant, ces appareils ne répondent pas exactement aux besoins du marché local, en effet, la forme et les dimensions du modèle produit et proposé sont uniquement ceux acquits avec l'unité de production. Ce travail consiste à dégager des outils permettant de modifier et de développer d'autres modèles de pivots plus adaptés. Pour atteindre cet objectif, on procède d'abord à la vérification de l'optimalité de la forme de la travée actuelle, puis, on propose la possibilité de réduction du poids de la travée actuelle par la technique de la variation des éléments géométriques définissant la structure tout en assurant la qualité au produit.

Les résultats obtenus constituent des outils efficaces au développement de nouveaux pivots d'irrigation, ceux-ci montrent aussi la possibilité de la

modification de la configuration géométrique actuelle et mettent en valeur l'importance relative de choix des variables géométriques et des fonctions objectifs, en conclusion nous avons pu proposer trois types de modèles qui en théorie répondent à notre objectif.

Mots Clés : Pivot d'irrigation– Optimisation de forme – Multi-Objectif.

ABSTRACT

The pivots of irrigation or the swiveling banisters of irrigation are metallic mobile devices with an important size intended for automatic irrigation of cultivated wide fields, they are composed by a central tower, mobile tower and a set of spans.

In our country, these devices are made by a company having a complete line of production with a good level of integration of local raw materials including its production. However these devices do not really answer in global needs of a local market, indeed, the shape and the size of the produced and proposed model how is only the once receipts with the production unit.

This work consists in clearing tools to modify and develop other models of more adapted pivots to reach this goal we proceed at first to checking the optimality of the shape of the current span, then, we propose the possibility of the weight reduction of this span by using the technique of the variation of geometrical form of the element defining the structure while assuring the quality of the product.

The obtained results establish effective tools in the development of new pivots of irrigation; this also show the possibility of modification of the current geometrical configuration and gives relative importance of the choice of the geometrical variables and objectifs functions. In conclusion we were able to propose three models how in theory answer our aims.

Keywords: irrigation pivot, shape optimization, multi-objective.

INTRODUCTION

L'optimisation est une activité importante dans de nombreux domaines de l'ingénierie. Un grand nombre de problèmes de modélisation, de conception, de contrôle et de prise de décision peut être formulé en termes d'optimisation mathématique. Le cadre classique de l'optimisation est la minimisation (ou

maximisation) des objectifs, compte tenu des contraintes des problèmes à résoudre. Cependant pour de nombreux problèmes de conception, spécialement ceux caractérisés par des objectifs multiples. La première remarque à prendre en considération sur le multicritère d'optimisation a été donnée par Pareto, puisque, alors la détermination du compromis établi d'un problème multi-objectif est appelée optimisation de Pareto (Koski, 1981).

Dans cette étude, on s'intéresse à la conception d'un système de pivot d'irrigation qui comporte deux fonctions objectives à la fois : la minimisation de poids propres de la structure considérée donc la minimisation du cout, et la minimisation de la contrainte de Von Mises qui se traduit par l'amélioration de la qualité du système.

DESCRIPTION DU SYSTEME

Les pivots d'irrigation aussi appelés les rampes d'irrigation sont des appareils métalliques mobiles de grandes dimensions, principalement destinés à l'irrigation automatique des cultures. Tous les pivots se composent essentiellement de : travées, tours, le porte-à-faux et unité centrale.

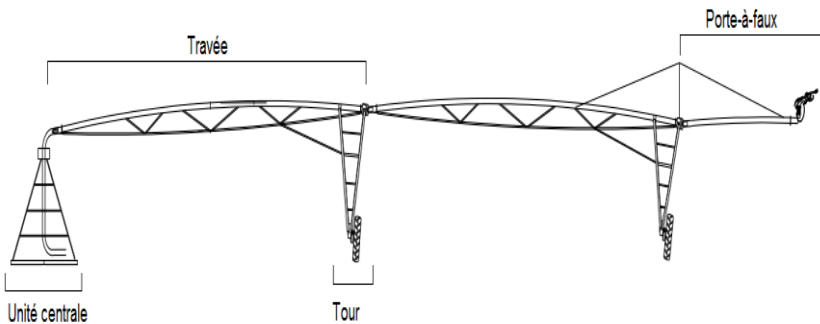


Figure 1 : Schéma d'une rampe pivotante.

Les travées sont constituées d'une canalisation dans laquelle circule de l'eau d'arrosage sous-tendue par deux lignes de tirants auxquels elle est reliée par un treillis destiné à consolider l'ensemble.

MODELISATION DES CHARGES

Poids propre de la structure

Le code de calcul ANSYS prend en compte le poids propre de la structure (Ahmed, 2009). Nous définissons seulement les valeurs de la masse volumique de la matière [7850 kg. m^{-3}] et l'accélération de gravité [9.8 m.s^{-2}].

Poids de l'eau contenue dans la canalisation

En service, l'eau servant à l'irrigation circule dans le tube. Nous modélisons le poids de l'eau par une charge linéairement répartie sur le tube, dirigée verticalement, orientée vers le sol. L'intensité q de cette charge est calculée grâce à la densité de l'eau (ρ_e), la constante de gravitation g et le diamètre intérieur D_i du tube :

$$q = \rho_e g \frac{\pi D_i}{4} \quad (1)$$

Action du vent

La troisième action pouvant s'exercer sur les pivots est celle du vent. Pour déterminer ses différentes caractéristiques, nous appliquons le règlement Algérien RNV 99 (CNERIB, 2000). Les règles définissent ainsi le vent comme toujours dirigé horizontalement (la direction la plus défavorable).

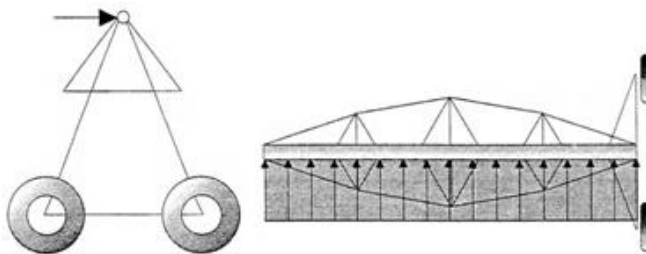


Figure 2 : Représentation de la modélisation de l'action du vent.

Le calcul de la charge du vent U sur le tube fait intervenir le diamètre extérieur du tube D , la pression dynamique P_d et le coefficient de traînée C_d (Smith, 1987) :

$$U = C_d P_d D \quad (2)$$

Après le calcul des paramètres P_d et C_d selon le règlement Algérien RNV 99, on obtient la valeur de la charge du vent, qui vaut 118 N/m . Le treillis est pris en compte par la multiplication de l'intensité statique par un coefficient de majoration de 10% (Peyvieux, 1997).

Efforts de ripage

Le déplacement des travées engendre, au niveau des points de contact entre les roues et le sol l'apparition de réactions horizontales du sol et que l'on désigne sous le nom d'efforts de ripage ou encore d'effort de sillon, spécifiques aux rampes pivotantes (Peyvieux, 1997).

Ils sont considérés comme deux actions semblables, s'exerçant de façon ponctuelle sur les roues, dirigées parallèlement au tube de la rampe et horizontalement par rapport au sol, ces efforts sont en situation normale dirigés vers l'extérieur de la travée, leurs intensités respectives sont de 2500 Newtons (Peyvieux, 1997).

CRITERES DE VERIFICATION

Le règlement de construction métallique en vigueur prescrit de s'assurer qu'aucun chargement n'empêche l'utilisation normale de la structure étudiée, mais n'impose pas de critère de vérification. Il est donc nécessaire de commencer par se donner un critère spécifique à la structure qui nous concerne.

Hauteur libre sous travée

Les travées ne peuvent être utilisées si la taille des cultures à irriguer est supérieure à la hauteur libre sous travée [Haut]. On en déduit un critère de vérification très simple, qui consiste à s'assurer que [Haut] reste toujours supérieur à une hauteur minimum H_{\min} :

$$Haut \geq H_{\min} \quad (3)$$

Sauf cas exceptionnel des arbres fruitiers, H_{\min} est prise égale à 2.2m, ce qui correspond à la culture la plus commune pour les rampes pivotantes, cas du blé et de la pomme de terre.

Résistance des sections

Pour vérifier la résistance des sections, le règlement de construction métallique (Eurocode, 2000) prescrit de s'assurer, pour chaque chargement, qu'en tout point de la structure la contrainte de Von Mises est inférieure à la contrainte admissible du matériau concerné. Considérons un point quelconque de la structure. En désignant par σ_a ($\sigma_a=20 \text{ daN/mm}^2$) et σ_{VM} respectivement la contrainte admissible du matériau concerné et la contrainte de Von Mises en ce point, ce critère s'écrit :

$$\sigma_{VM} \leq \sigma_a \quad (4)$$

Critère de renversement

Les règlements n'imposant pas de méthode de vérification de la perte d'équilibre d'une structure, nous avons adopté un critère très simple, basé sur l'observation du phénomène (Peyvieux, 1997). Physiquement, le contact de la structure avec le sol se traduit par l'existence d'une réaction du sol sur la roue située au vent.

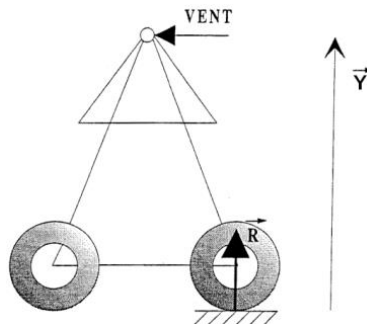


Figure 3 : Schéma de la réaction du sol sur la roue au vent.

En se fixant R initial positif, le critère de non-renversement prend la forme :

$$R \geq 0 \quad (5)$$

CAS DE CHARGEMENT LE PLUS DEFAVORABLE

Les cas de charge pouvant s'exercer sur la structure sont obtenus par combinaison des différentes actions de base pondérées. On distingue deux sortes de cas de charges, suivant que la travée est en service (c'est à dire se déplace ou arrose), ou bien hors service. Pour une travée hors service, seules deux actions interviennent: le poids propre de la structure et le vent. Après la mise en service, deux autres actions viennent s'y ajouter :

- le poids de l'eau
- et le ripage.

D'une part, les résultats de la simulation par le code de calcul ANSYS montrent que le degré de sécurité du système selon les critères précédents est vérifié.

D'autre part le cas de chargement le plus défavorable, qui correspond au cas où le système est sollicité par le poids propre de la structure et l'effet du vent pour le critère de renversement (5).

Où : $R = 1598.5$ N dans ce cas qui est le plus faible par rapport à d'autres cas des sollicitations.

Aussi, le cas du système sollicité par le poids propre de la structure, l'effet du vent, la charge de l'eau et l'effort de ripage est le cas le plus défavorable pour les critères de résistance des sections et la hauteur libre sous travée, où dans ce cas le rapport maximal existant dans les tubes entre la contrainte de Von Mises et la contrainte admissible vaut 0.856.

Et comme la hauteur libre sous travée finale vaut 2.43 m qui est supérieure à 2.2m, donc les critères (3) et (4) sont respectés.

MODELES POLYNOMIAUX DES REPNSES MECANIQUES

La géométrie de la travée étudiée peut être décrite par un certain nombre de variables principales. Nous ne laissons libres dans la suite que les facteurs géométriques susceptibles d'être modifiés lors de l'optimisation de la géométrie. Ces facteurs (la longueur de travée L et l'ouverture des cornières obliques de Figure 4) sont au nombre de deux et définissent l'enveloppe géométrique d'une travée de longueur de canalisation fixée.

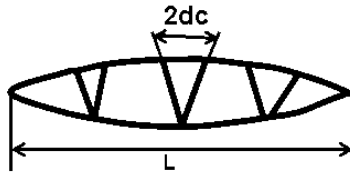


Figure 4 : Variables géométriques.

Le tableau 1 rassemble, pour chaque facteur libre, les valeurs extrêmes des modalités et le pas définissant l'incrément entre chaque niveau.

Tableau 1 : Modalités des différents facteurs libres.

| | Valeur actuelle | Niveaux | | |
|--------|-----------------|-----------------|-------|-----------|
| | | Valeur extrêmes | | Incrément |
| L (m) | 51.50 | 51.35 | 51.79 | 0.11 |
| dc (m) | 0.543 | 0.243 | 0.843 | 0.15 |

Donc, il y a 25 simulations dans chacun des deux cas de charges les plus défavorables. Les résultats des simulations représentent les réponses mécaniques du système (critères de vérification).

Pour déterminer les polynômes des réponses mécaniques, on utilise l'outil (surface fitting tool) de Matlab (Math Works, 2011), qui est basé sur la méthode des plans d'expériences. Posons a comme un facteur ayant a_{max} et a_{min} pour modalités extrêmes.

Le facteur codé correspondant a_c est donné par la relation suivante :

$$a_c = \frac{2a - (a_{max} + a_{min})}{a_{max} - a_{min}} \tag{6}$$

Le polynome le plus général de degré p :

$$P = \sum_{m+n=0}^{m+n=p} \alpha_{m,n} x^m y^n \tag{7}$$

Le modèle polynomial de la hauteur libre sous travée s'écrit :

$$\begin{aligned} Haut(L, dc) = & (2.329) + (-0.09395)L + (-0.0003162)dc + (-0.05873)L^2 \\ & + (-9.278 \times 10^{-5})L dc + (-0.1224)L^3 + (-0.000133)L^2 dc \\ & + (-0.06746)L^4 + (-0.0001403)L^3 dc \end{aligned} \tag{8}$$

Aussi, le modèle polynomial de la contrainte de Von Mises s'écrit :

$$\begin{aligned} \sigma_{VM}(L, dc) = & (1.718 \times 10^8) + (3.271 \times 10^7)L + (-2.449 \times 10^5)dc \\ & + (6.31 \times 10^7)L^2 + (-2.901 \times 10^6)L dc \\ & + (2.551 \times 10^5)dc^2 + (3.835 \times 10^7)L^3 \\ & + (-1.924 \times 10^6)L^2 dc + (-1.924 \times 10^6)L dc^2 \\ & + (5.811 \times 10^6)L^4 + (-7.299 \times 10^4)L^3 dc \\ & + (-4.195 \times 10^5)L^2 dc^2 \end{aligned} \quad (9)$$

FORMULATION DE PROBLEME D'OPTIMISATION

Le volume et la complaisance sont les deux types de fonction-objectif habituellement considérées en optimisation de structures mécaniques (Sid, 2006).

Dans ce travail, on propose la minimisation du poids propre de la structure et la contrainte de Von Mises comme des fonctions objectifs.

Avant la formulation des problèmes d'optimisation, on définit une expression explicite du poids propre de la structure en fonction des paramètres définissant l'enveloppe géométrique de la travée, avec une hiérarchie de résolution semblable à celle des équations (8) et (9), le modèle polynomial s'écrit :

$$\begin{aligned} pp(L, dc) = & (1491) + (-22.93)L + (5.962)dc + (-2.509)L^2 + (1.354)L dc \\ & + (1.426)dc^2 + (-0.8799)L^3 + (0.4633)L^2 dc \\ & + (0.1493)L dc^2 + (-0.3281)L^4 + (0.07016)L^3 dc \\ & + (0.06443)L^2 dc^2 \end{aligned} \quad (10)$$

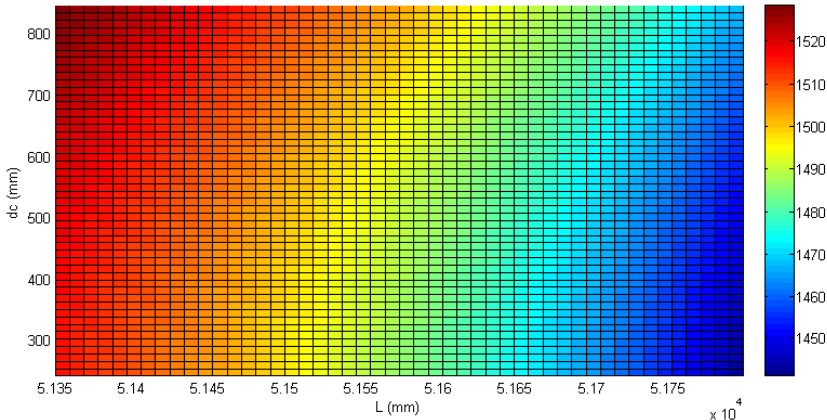


Figure 5 : Approximation polynomiale du poids propre de la structure pp [kg].

Nous avons maintenant formulé le problème d'optimisation non-linéaire bi-objectif pour réduire la masse de la structure avec une bonne durée de vie du système.

En utilisant les relations (8), (9) et (10), le problème d'optimisation avec contraintes non linéaires visant un poids de la matière minimale et contrainte de Von Mises minimale peut être formulé comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } F(L, dc) = (pp(L, dc), \sigma_{VM}(L, dc)) \\ \text{Avec les contraintes : } H_{min} - \text{Haut}(L, dc) \leq 0 \\ \sigma_{VM}(L, dc) - \sigma_a \leq 0 \\ 51.35 \leq L \leq 51.79 \\ 0.243 \leq dc \leq 0.843 \end{array} \right. \quad (11)$$

RESULTATS D'OPTIMISATION ET DISCUSSION

L'application des AG à l'optimisation multi-objective est récente.

D'après Veldhuizen & Lamont dans Analyzing the State-of-the Art, publié en 2000 (Veldhuizen, 2000), le premier travail a été proposé par Schaffer en 1985 (Schaffer, 1985). On utilise cette méthode pour résoudre le problème d'optimisation.

Les paramètres de l'algorithme Nondominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) utilisé sont exposés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Données de l'algorithme NSGA II.

| Paramètres | Valeurs | Paramètres | Valeurs |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| Taille de la population | 200 Individus | N° de variable | 13 variables |
| Sous population | 8 | Pression de sélection | 1.9 |
| N° de générations | 700 générations | Type de mutation | mutation real |
| N° de fonctions obj | 2 fitness | Probabilité de mutation | 0.2 |
| N° de contraintes | 3 | Type de codage | Codage real |

D'après l'exécution du programme de l'algorithme génétique NSGA II dans l'environnement Matlab, on obtient les résultats graphiques qui sont présentées dans les figures :

Dimensionnement d'un canal ouvert à fond horizontal et a parois circulaires par la méthode du modèle rugueux

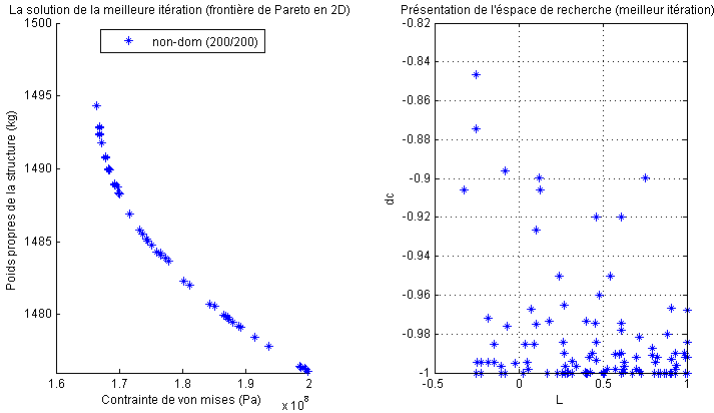


Figure 6 : Résultat graphique par l’algorithme génétique dans l’environnement Matlab.

La figure 6 est la solution de la meilleure itération, il est impossible de définir la valeur optimale d'un problème d'optimisation multi objectif en toute généralité. Il existe plutôt un ensemble de valeurs optimales, formant une frontière appelée frontière de Pareto qui permet d'accéder à de nombreuses espèces qui sont compatibles avec les clients sur le marché.

Dans la figure 7, on retrouve l’organigramme qui décrit les trois problèmes d’optimisation étudiées.

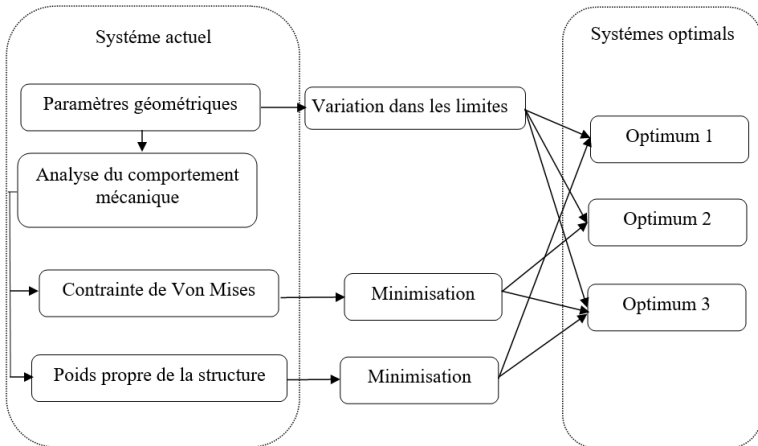


Figure 7 : Organigramme des trois problèmes d’optimisation étudiés.

Le tableau 3 rassemble les résultats des trois problèmes d'optimisation étudiés :

L'optimum 3 est des valeurs de problème d'optimisation pour la minimisation du poids propre de la structure et la contrainte de Von mises au même temps. Pour la comparaison, on est select une seule pointe dans la frontière de Pareto qui correspond à la moyenne des deux fonctions objectifs.

L'optimum 1 et optimum 2 correspondent aux deux problèmes mono-objectif : la minimisation du poids propres de la structure et la minimisation de contrainte de la Von Mises respectivement pour montrer et comparer avec le problème bi-objectifs.

Tableau 3 : Valeurs initiales et optimisées des problèmes d'optimisation.

| | pp (kg) | Paramètres géométriques | | Contraintes d'optimisation | |
|-----------|---------|-------------------------|--------|----------------------------|----------|
| | | L (m) | dc (m) | $\sigma_{VM}(\text{Pa})$ | Haut (m) |
| Actuel | 1501 | 51.50 | 0.543 | 1.69×10^8 | 2.42 |
| Optimum 1 | 1476 | 51.63 | 0.243 | 1.96×10^8 | 2.28 |
| Optimum 2 | 1515 | 51.35 | 0.243 | 1.66×10^8 | 2.42 |
| Optimum 3 | 1490 | 51.57 | 0.507 | 1.72×10^8 | 2.33 |

Les variables des problèmes d'optimisation sont influencées seulement par les éléments de treilles dont le poids est de 377kg dans le système actuel, donc le problème 1 d'optimisation a réduit le poids du système par 25 kg (6,62 % de poids des treilles) avec une mauvaise qualité, par contre le problème 3 d'optimisation bi-objectif a réduit le poids par 11 kg (2.91 % de poids des treilles) avec une bonne qualité de la structure qui se traduit par l'augmentation de la durée de vie.

CONCLUSION

Le présent travail a été consacré principalement à l'optimisation multi-objectif de certains paramètres de travées de pivots d'irrigation dans le but de prévoir une conception de nouveaux modèles plus adaptés aux besoins du marché local. Une modélisation géométrique et mécanique a d'abord eu lieu. Ensuite nous nous sommes intéressés à la formulation mathématique du problème d'optimisation où deux objectifs ont été considérés

- La minimisation de la contrainte de Von Mises et
- La minimisation du poids propre de la structure.

Après les calculs numériques et la résolution des équations, les résultats obtenus dans les tableaux suscités constituent des normes nouvelles pour le développement de nouveaux pivots d'irrigation. Elles montrent également la possibilité de la modification de la configuration géométrique actuelle sans diminuer la qualité du produit. Par conséquent le développement de nouveaux modèles aussi bien plus performant et même plus économique.

REFERENCES

- AHMAD, S., IRONS, B. M., ZIENKIEWICZ, O. C. (2009), Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical Applications, SAS IP.
- CNERIB (2000).Règlement Neige et Vent 1999. Le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, Algérie.
- Eurocode3 (2000). Calcul des structures en acier et document d'application nationale Partie 1-4 : Règles générales - Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables. AFNOR.
- KOSKI, J. (1981). Multicriteria optimization in structural design. Proceedings of the international symposium on optimum structural design 11th ONR naval structural mechanics symposium, Tucson.
- MathWorks (2011). Curve Fitting Toolbox User's Guide.
- PEYVIEUX, E. (1997).Analyse du comportement mécanique & optimisation de forme d'une travée de pivot d'irrigation. Thèse de doctorat. Université Bordeaux I.
- SCHAFFER, J. D. (1985).Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms. Proceedings of the 1st international Conference on Genetic Algorithms, 93-100, L. Erlbaum Associates Inc.
- SID, B. (2006). Optimisation topologique de structures par algorithmes génétiques. Thèse de doctorat. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.
- SMITH, P. R. & VAN LAAN, T. J. (1987). Piping and pipe support systems: design and engineering. McGraw-Hill, New York.
- VELDHUIZEN, D. A. V. & LAMONT, G. B. (2000). Multiobjective evolutionary algorithms.Analyzing the state-of-the-art. Evolutionary computation 8(2), 125-147.