

# Sélection des paramètres de coupe optimaux pour une opération de tournage multi-passes

A. Jabri<sup>1</sup>, A. El Barkany<sup>2</sup>, A. El khalfi<sup>3</sup>

1. Laboratoire de Génie Mécanique, FST de Fès, [abdelouahhab.jabri@usmba.ac.ma](mailto:abdelouahhab.jabri@usmba.ac.ma)
2. Laboratoire de Génie Mécanique, FST de Fès, [a\\_elbarkany2002@yahoo.fr](mailto:a_elbarkany2002@yahoo.fr)
3. Laboratoire de Génie Mécanique, FST de Fès, [aekhalfi@gmail.com](mailto:aekhalfi@gmail.com)

## Résumé

Dans le présent article nous suggérons une méthode d'optimisation évolutionnaire permettant de minimiser le coût de fabrication par enlèvement des extractions de matière. Ce procédé est le plus utilisé dans l'industrie mécanique étant l'un des moyens le plus fiable pour l'obtention des pièces de précision. Par ailleurs, la sélection des paramètres de coupe optimaux s'avère décisive pour réduire le coût de production tout en respectant des contraintes de fabrication opérationnelles et techniques. Dans cette perspective, une approche d'optimisation hybride basée sur les algorithmes génétiques (GA) et le recuit simulé (SA) nommée (HSAGA) a été proposée. Les résultats obtenus par cette approche de résolution ont été comparés avec ceux fournis par les (GA) et ceux obtenus par différentes méthodes de résolution de problèmes d'optimisation notamment les algorithmes des essais particuliers (PSO) et autres.

**Mots clefs :** *Optimisation, Opération de tournage multi-passes, Algorithmes Génétiques, Recuit Simulé, coût de fabrication.*

## 1. Introduction

Le choix des paramètres de coupe demeure le souci constant est récurrent de tous les fabricants dans le dessein d'assurer une compétitivité en qualité du coût et du délai de production. En effet, un choix idéal de ces paramètres porte essentiellement sur la nature de la matière première, l'outil de coupe, la géométrie et la capacité de la machine, la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passe. Et ce, pour garantir une meilleure productivité, une longue durée de vie, une grande précision d'usinage et un état de surface substantiel.

En outre, de nombreux travaux de recherche ont été publiés ces dernières décennies concernant les techniques d'optimisation, allant des méthodes exactes notamment l'approche simplexe, aux méthodes stochastiques à savoir : le (SA), les (GA), les algorithmes de colonie de fourmis (ACO), Fuzzy Logic et les (PSO). Tout en sachant que certains travaux se sont focalisés sur les opérations mono-passe et d'autres se sont intéressés à l'opération de tournage multi-passes.

De surcroît, Shin et al. [2] ont proposé un modèle mathématique pour modéliser une opération de tournage multi-passes qui a été utilisé par de nombreux chercheurs plus tard. Gupta et al. [3] ont abordé par la suite une méthode de programmation en nombres entiers pour optimiser la profondeur de passe du modèle proposé par Shin [2]. Chen [4] a développé un programme de recuit simulé pour minimiser le coût de production d'une telle opération de tournage. Onwbolou [5] a étudié ce même modèle en s'appuyant sur la méthode des (GA) dans le

but de minimiser le coût d'une opération de tournage multi-passes. Ainsi, il a montré dans le même travail précité que le coût de fabrication obtenu est plus faible par rapport à celui obtenu par Chen [4]. Ce dernier [6] a prouvé plus tard que les résultats publiés par Onwbolou [5] sont invalides à cause d'une erreur commise au niveau de leur programmation, cette dernière est due au fait qu'une contrainte principale relative au problème considéré a été violée.

Vijja Kumar et al. [7] ont suggéré une technique basée sur les (ACO) en vue d'optimiser le même modèle que celui du [4] et [5]. En revanche, le travail présenté par Wang [8] a révélé par la suite que les résultats fournis précédemment sont aussi invalides. L'exemple suivant est l'étude de Rao [9], dans cette étude il s'est concentré sur une méthode qui repose sur Teaching-learning-based optimization (TLBO) pour une optimisation mono et multi-objectifs appliquées sur deux exemples différents. L'objectif de cet article est de développer dans un premier temps une méthode d'optimisation qui combine les (GA) et le (SA). Par la suite, une étude comparative sera établie permettant d'évaluer les résultats obtenus par rapport à ceux fournis par les références qui ont été publiées précédemment dans ce sens, et de montrer la performance de la technique proposée en termes de la convergence et la qualité de la solution optimale obtenue.

## 2. Méthode HSAGA proposée

Les (GA) et le (SA) sont tous les deux des méthodes indépendantes de résolution des problèmes d'optimisation complexes. Pourvue que les (GA) peuvent commencer par une population de solutions faisables, elle connaît une mauvaise convergence contrairement à la méthode (SA) qui possède une convergence meilleure si la température initiale est assez élevée et le taux de refroidissement est faible. Néanmoins, Comme une telle configuration réduit la performance du (SA). Une implémentation des (GA) appuyée sur un processus de diversification de la population par le (SA) s'avère nécessaire afin d'intégrer plus de performance et d'éliminer les faiblesses de ses deux approches.

Divers efforts ont été menés dans la littérature concernant la combinaison précitée. Chen et al. [10] ont prouvé que l'hybridation des (GA) et du (SA) permet d'améliorer dix différents problèmes d'optimisation. Kunlai et al. [11] ont étudié l'approche (HSAGA) pour optimiser la génération des gammes d'usinage nécessaires pour la fabrication d'une pièce prismatique avec 13 opérations en impliquant 5 machines et une dizaine d'outils de coupe. Les résultats obtenus sont d'une importance considérable en comparaison avec les (GA) et le (SA) développés chacun séparément. Wang et al. [12] ont proposé une approche (GSA) afin de minimiser le temps d'usinage d'une pièce prismatique

avec opération multi-passes, les résultats obtenus ont été comparés avec ceux fournis par la programmation géométrique et les (GA). Pandian [13] a développé une approche (HSAGA) pour résoudre un problème d'optimisation de production dans une industrie agroalimentaire en vue de maximiser le profit et satisfaire la demande des clients. Yanhuli et al. [14] ont utilisé la (SAGA) dans le but d'optimiser le processus de récupération des articles défectueux dans une chaîne logistique, dans cette étude les auteurs ont affirmé que la (SAGA) permet de garantir des meilleurs résultats que les (GA) en termes du temps de calcul, de solution optimale et de stabilité du programme.

A l'égard d'améliorer la performance des (GA), la sélection des individus pour remplacer leurs parents suit un processus des chaînes de Markov. Les paramètres à prendre en considération dans cette étape sont la température  $T$ ,  $f\_best$  et  $f\_worst$  représentant les valeurs de fitness qui correspondent aux meilleurs et aux mauvais éléments de chaque génération dans la population, respectivement.

### 3. Modèle mathématique

Le modèle utilisé dans cette section est celui proposé par [2] et [4], ce dernier porte sur l'étude d'une opération de tournage multi-passes illustrée sur la figure 1.

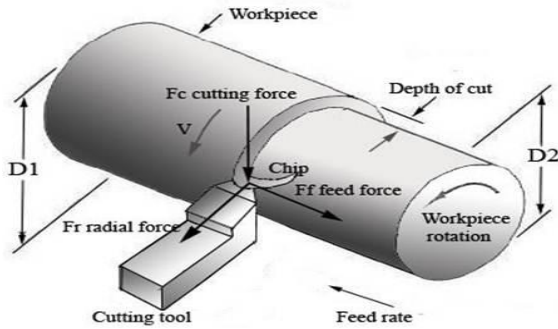


Figure 1. Paramètres de coupe d'une opération de tournage

Le coût associé à cette opération dépend de quatre composantes à savoir :

- Le coût dû au temps de coupe ;
- Le temps de repos de la machine dû au chargement et déchargement de l'outil ou déplacement de l'outil à vide ;
- Le coût de remplacement de l'outil ;
- Le prix de l'outil de coupe.

Le coût d'une telle opération peut être exprimé par la somme des quatre équations suivantes.

$$C_M = K_o \left[ \frac{\pi DL}{1000 V_r F_r} \left( \frac{d_t - d_f}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000 V_f F_f} \right] \quad (1)$$

$$C_l = K_o \left[ t_c + (h_1 L + h_2) \left( \frac{d_t - d_f}{d_r} + 1 \right) \right] \quad (2)$$

$$C_R = K_o \frac{t_e}{T_p} \left[ \frac{\pi DL}{1000 V_r F_r} \left( \frac{d_t - d_f}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000 V_f F_f} \right] \quad (3)$$

$$C_T = \frac{K_t}{T_p} \left[ \frac{\pi DL}{1000 V_r F_r} \left( \frac{d_t - d_f}{d_r} \right) + \frac{\pi DL}{1000 V_f F_f} \right] \quad (4)$$

Avec :

$$T_p = \theta T_r + (1 - \theta) T_f \quad (5)$$

$$T_r = \frac{C_o}{V_r^p F_r^q d_r^r} \quad (6)$$

$$T_f = \frac{C_o}{V_f^p F_f^q d_f^r} \quad (7)$$

$$t_r = t_e \frac{t_m}{T_p} \quad (8)$$

Les contraintes à satisfaire sont exprimées comme suit :

$$P = \frac{FV}{6120\eta} \quad (11)$$

$$K_1 F^\mu d^v \leq f_U \quad (12)$$

$$K_2 V^\tau F^\phi d^\delta \leq Q_U \quad (13)$$

$$\frac{F^2}{8 \times R} \leq S R_U \quad (14)$$

$$V^\lambda F d^v \geq S C \quad (15)$$

$$V_L \leq V \leq V_U \quad (16)$$

$$F_L \leq F \leq F_U \quad (17)$$

$$d_L \leq d \leq d_U \quad (18)$$

Relations :

$$V_f \geq k_3 V_r \quad (19)$$

$$F_r \geq k_4 F_f \quad (20)$$

$$d_r \geq k_5 d_f \quad (21)$$

$$d_r = \frac{d_t - d_f}{n} \quad (22)$$

Le tableau 1 présente l'ensemble des paramètres considérés au niveau du programme (HSAGA) établi.

Tableau 1. Paramètres du programme HSAGA

Paramètres	valeurs
Taille de la population ( <i>popsiz</i> )	50-200
Nombre d'itérations	300
Probabilité de croisement ( <i>Pc</i> )	70%
Probabilité de mutation ( <i>Pm</i> )	10%
Température initiale	500
Taux de refroidissement ( $\alpha$ )	75%

### 4. Résultats et discussion

L'évolution de la valeur de la fonction fitness (le coût de l'opération de tournage multi-passes) au cours de l'exécution du programme est illustrée sur La figure 2. Il est bien évident que l'approche développée a abouti à une convergence plus rapide par rapport aux (GA) traités séparément. L'intégration du (SA) dans l'algorithme des (GA) a permis au programme d'aller explorer différentes zones dans l'espace de solution, ce qui mène à accepter des coûts élevés lors des premières générations.

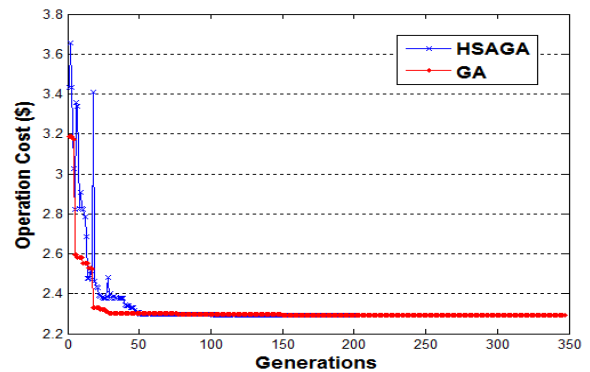


Figure 2. : Évolution de la fonction fitness

Le tableau 2 regroupe l'ensemble des résultats obtenus pour différentes tailles de population. En effet, le programme établi commence à converger vers une solution optimale satisfaisante à partir d'une taille de population de 200 individus.

Tableau 2. Résultats obtenus par notre HSAGA

		d (mm)	F (mm/rev)	V (m/min)	n	Coût (\$)
Popsiz=200	Rough	2.4882	0.8658	109.2721	2	2.3
	Finition	1.0236	0.3081	166.7478	1	
	<b>Rough</b>	<b>2.4886</b>	<b>0.8981</b>	<b>107.7775</b>	<b>2</b>	<b>2.286</b>
	<b>Finition</b>	<b>1.0228</b>	<b>0.3081</b>	<b>167.0005</b>	<b>1</b>	
Popsiz=100	Rough	2.498	0.8747	107.7799	2	2.294
	Finition	1.0023	0.3097	161.7097	1	
	Rough	2.4838	0.8749	107.8596	2	2.299
	Finition	1.0323	0.3076	164.4103	1	
Popsiz=100	Rough	2.5	0.8965	106.0985	2	2.288
	Finition	1	0.3093	178.4433	1	
	Rough	2.4932	0.8745	108.7155	2	2.293
	Finition	1.0135	0.3097	163.0017	1	

Le tableau suivant présente un comparatif relatif au coût obtenu par la (HSAGA) et ceux publiés par différents travaux.

Tableau 3. Comparatif des coûts

Références	Méthode d'optimisation	Coût (\$)	Remarques
présent	HSAGA	2.283	-
[15]	PSO	2.27	-
[9]	TALBO	2.2885	-
[7]	ACO	1.8450	Contrainte exprimée par l'équation 22 violée
[5]	GA	1.7	
[16]	GA-AIS	1.7	
	PSO	1.6	
[2]	SA-PS	2.29	-

## 5. Conclusion

Cet article gravite autour d'une technique de combinaison des performances de deux méthodes approchées d'optimisation notamment le (SA) et les (GA), cette technique est nommée la (HSAGA), elle a été inspirée des travaux menés dans la littérature avec des modifications apportées au niveau de la structure du programme. Les résultats obtenus sont comparés d'une part avec une technique basée sur les algorithmes génétiques et d'autre part, avec les différents travaux publiés dans ce domaine. Tandis que, la technique développée a permis de garantir une stabilité du programme, une convergence plus rapide, ainsi qu'une solution optimale du problème considéré.

## Références

- [1] Yusup, N., Azlan M. Z., and Siti Z. M. H., Evolutionary techniques in optimizing machining parameters: Review and recent applications (2007–2011), *Expert Systems with Applications* 39.10 (2012): 9909-9927.
- [2] Shin, Y. C. and Joo, Y. S., Optimization of machining conditions with practical constraints, *International Journal of Production Research*, Vol. 30, 1992, pp. 2907-2919.
- [3] Gupta, R., Baaa, I.L. and Lal, G.K., Determination of optimal subdivision of depth of cut in multi-pass turning with constrains, *International Journal Production Research*, Vol. 33, N° 9, 1995, pp. 2555–2565.
- [4] Chen, M.C. and Tsai, D.M., A simulated annealing approach for optimization of multi-pass turning operations, *International Journal Production Research*, Vol. 34, n° 10, 1996, pp. 2803–2825.
- [5] Onwubolu, G.C. and Kumalo, T., Optimization of multi-pass turning operations with genetic algorithm, *International Journal Production Research*, Vol. 39N° 16, 2001, pp. 3727–3745.
- [6] Chen, M., and Chen K., Optimization of multipass turning operations with genetic algorithms: a note, 2003, pp.3385-3388.
- [7] Vijayakumar, K., Prabhakaran, G., Asokan, P., & Saravanan, R., Optimization of multi-pass turning operations using ant colony system, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 43.15 (2003): 1633-1639.
- [8] Wang, Yi-Chi. "A note on 'optimization of multi-pass turning operations using ant colony system'." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 47, no. 12 (2007): 2057-2059.
- [9] Rao, R. Venkata, and V. D. Kalyankar. "Parameter optimization of modern machining processes using teaching-learning-based optimization algorithm." *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 26, no. 1 (2013): 524-531.
- [10] Chen, Hao, and Nicholas S. Flann. "Parallel simulated annealing and genetic algorithms: a space of hybrid methods." In *International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, pp. 428-438. Springer Berlin Heidelberg, 1994.
- [11] Lian, Kunlei, Chaoyong Zhang, Xinyu Li, and Liang Gao. "An effective hybrid genetic simulated annealing algorithm for process planning problem." In *2009 Fifth International Conference on Natural Computation*, vol. 5, pp. 367-373. IEEE, 2009.
- [12] Wang, Z. G., Y. S. Wong, and M. Rahman. "Optimisation of multi-pass milling using genetic algorithm and genetic simulated annealing." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 24, no. 9-10 (2004): 727-732.
- [13] Vasant, Pandian. "Hybrid simulated annealing and genetic algorithms for industrial production management problems." *International Journal of Computational Methods* 7, no. 02 (2010): 279-297.
- [14] Li, Yanhui, Hao Guo, Lin Wang, and Jing Fu. "A hybrid genetic-simulated annealing algorithm for the location-inventory-routing problem considering returns under E-supply chain environment." *The Scientific World Journal* 2013 (2013).
- [15] Srinivas, J., R. Giri, and Seung-Han Yang. "Optimization of multi-pass turning using particle swarm intelligence." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 40, no. 1-2 (2009): 56-66.
- [16] Lee, Yi Zheng, and S. G. Ponnambalam. "Optimisation of multipass turning operations using PSO and GA-AIS algorithms." *International Journal of Production Research* 50.22 (2012): 6499-6518.