

III.1- Introduction :

Les méthodes d'optimisation des équations différentielles ont été réalisées par les contributions de Newton et Leibnitz Cauchy fut le premier à mettre en œuvre une méthode d'optimisation méthode du pas de descente, pour la résolution de problème sans contraintes, depuis ces considérable contribution, il y peu d'avance .Il faut dire qu'à l'époque les mathématiciens et les ingénieurs calculaient à la main.

Il faut attendre le milieu du vingtième siècle, avec l'émergence des calculateurs et surtout à la fin de la seconde guerre mondiale pour voir paraître des avances spectaculaires en termes de technique d'optimisation. En mille neuf cent quarante sept, l'américain Dantzig propose un algorithme pour résoudre des problèmes linéaire avec contraintes .En mille neuf cent cinquante sept, Bellman dit le prince d'optimisation des problèmes de programmation dynamique.

Dans ce chapitre, nous allons présenté un modèle d'optimisation multi-critère pour une opération de rectification cylindrique.

III.2- Optimisation :

L'optimisation est exprimée comme une fonction-objectif à une ou plusieurs variables, pour être maximisée ou minimisée sous un certain nombre de contraintes.

III.2.1-Problème d'optimisation:

Un problème d'optimisation est défini par un espace d'état (espace de recherche des solutions), une ou plusieurs fonction-objectif(s) et un ensemble des contraintes.

-Les variables :

Les variables du problème peuvent être de natures diverses (réelle, entière,.. etc.) et expriment des données qualitatives ou quantitatives.

-Une fonction-objectif :

Une fonction-objectif représente le but à atteindre pour le décideur. Elle définit un espace de solutions potentielles au problème.

-L'ensemble de contraintes :

L'ensemble de contraintes définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont souvent des équations d'inégalité ou d'égalité et permettent en général de limiter l'espace de recherche.

La séparation entre la fonction-objectif et les contraintes peut paraître artificielles car nous considérer qu'une contrainte est un objectif à atteindre. Mais elle se justifie de deux manières différentes : d'une part, les contraintes sont appliquées sur l'espace de recherche alors que les

objectifs définissent l'espace des solutions. D'autre part, dans de nombreuses méthodes les contraintes et les objectifs sont traités par des procédures différentes.

-L'espace de recherche :

L'espace de recherche est le domaine limité des variables d'optimisation défini à partir des données technologiques de référence. Cette limitation n'est pas le seul problème car lorsqu'un problème est posé, les décideurs précisent un domaine de valeur envisageable à chacun des variables. De plus, pour des raisons opératoires et de temps de calcul, il est préférable de travailler sur des domaines finis [8].

- Formulation mathématique:

Un problème d'optimisation est exprimé comme une fonction-objectif à une ou plusieurs variables, pour être maximisée ou minimisée sous un certain nombre des contraintes. Les fonctions des contraintes définissent le domaine acceptable des variables pour le processus d'optimisation, de telles contraintes, permettent la limitation des domaines de variables dans la recherche de la solution optimale.

Le système suivant exprime la forme mathématique générale d'un problème d'optimisation. Dans cette équation $f(x)$ est l'expression mathématique de la fonction-objectif (ou critère d'optimisation ou fonction économique) avec le vecteur $X \in R^n$ a pour composantes (x_1, x_2, \dots, x_n) qui sont les variables de problème.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{minimiser } f(x) \text{ tel que } X \in R^n \\ \text{sous les fonctions des contraintes} \\ X_{pmin} \leq X_p \leq X_{pmax} \text{ pour } p = 1, \dots, n \\ h_i(x) = 0 \text{ pour } i = 1, \dots, l \\ c_j(x) \leq 0 \text{ pour } j = 1, \dots, m \end{array} \right. \quad (17)$$

Nous supposons ici que l'ensemble des contraintes $C_j(X)$ sont de type inégalité et l'ensemble des contraintes $h_i(X)$ sont de type égalité [9].

III.2.2- Classification de problème d'optimisation:

L'optimisation est basée sur trois paramètres principaux : la nature du problème, l'existence des contraintes et le nombre des critères d'optimisation. De ce fait, on peut classer les problèmes d'optimisations suivant ces trois paramètres.

Problème linéaire ou non linéaire:

Un problème d'optimisation linéaire est considéré comme un problème de résolution d'un système d'équations linéaires.

Dans ce cas, toutes les équations soit la fonction-objectif ou les contraintes sont linéaires.

La modélisation de problème est telle que :

$$\left\{ \begin{array}{l} f(\vec{x}) \quad \text{fonction objectif} \\ A \cdot \vec{x} - b^* \leq 0 \quad (1) \\ A \cdot \vec{x} - b^* = 0 \quad (2) \\ \vec{x}_{min} \leq \vec{x} \leq \vec{x}_{max} \end{array} \right. \quad (18)$$

(1) Contrainte linéaire (inégalité)

(2) Contrainte linéaire (égalité)

Tandis que la grande difficulté d'un problème de conception provient du fait qu'il s'agit d'un problème d'optimisation non linéaire et d'implicite dans les variables de conception. Les méthodes d'approximation les plus populaires pour résoudre les problèmes non linéaire étant la méthode de gradient, méthode de pénalité intérieure et méthodes de Newton-Raghsou... etc.

La forme générale d'un problème d'optimisation est la suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{minimisation } f(\vec{x}) \\ x \in R^n \\ \text{sous des contraintes} \\ g(x) \leq 0 \\ h(x) = 0 \end{array} \right. \quad (19)$$

Où les fonctions f, g et h sont typiquement non-linéaires.

Problème avec ou sans contraintes :

Il est fréquent que l'on puisse parfois proposer un modèle mathématique exacte d'un phénomène physique et que les données expérimentales se révèlent insuffisant rendant la détermination des variables par les méthodes classique impossible. De ce fait, nous avons souvent recours à des méthodes d'approximation de donnée numérique par des fonctions analytiques dans le cas de système linéaire.

Nous recherchons la résolution du système pour la détermination de la matrice A d'un système de type : $A.x = B$ nous recherchons des solutions approchées pour des systèmes impossibles en résolvant un problème d'approximation des moindres carrés.

L'existence des contraintes crée une difficulté additionnelle à des problèmes d'optimisation car elle impose des limitations sur le domaine recherche. Le traitement de cette difficulté, se faire généralement d'une manière séparé.

Problème mono ou multi-objectif :

Le problème d'optimisation mono-objectif comporte un seul critère d'optimisation sous l'ensemble des contraintes.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser ou Maximiser } f(\vec{x}) \\ \vec{C}(\vec{x}) \leq 0 \Leftrightarrow \vec{C}(\vec{x}) = C_j(\vec{x}) \\ \vec{h}(\vec{x}) = 0 \Leftrightarrow \vec{h}(\vec{x}) = h_i(\vec{x}) \\ x_{pmin} \leq \vec{x}_p \leq x_{pmax} \text{ avec } \vec{x} = x_p \\ \text{ansi que } x \in R^p, C(x) \in R^j, h(x) \in R^i \end{array} \right. \quad (20)$$

$f(\vec{x})$: Fonction objectif ou critère d'optimisation.

$C_j(\vec{x})$: Contrainte d'inégalité, (j) : c'est le nombre d'inégalité.

$h_i(\vec{x})$: Contrainte d'égalité (i): c'est le nombre d'égalité.

\vec{x} : La valeur de variable (p): c'est le nombre de variable.

Tous les énoncés et définitions seront donnés dans le cadre de problèmes de minimisation [3].

En effet un problème de maximisation peut être aisément transformé en problèmes, minimisation en considérant l'équivalence suivante:

$$\text{Maximiser } f(x) \Leftrightarrow \text{Minimiser } -f(x) \quad (21)$$

Un problème multi-objectif ou multicritère peut être défini comme un problème dont on recherche l'action qui satisfait un ensemble de contraintes et optimise un vecteur de fonction-objectif.

Par la suite, nous allons voir que les problèmes d'optimisation multi-objectifs ont en général plusieurs solutions car la définition d'un optimum ne peut pas être établie dans ces problèmes De la manière classique.

Une action (ou un vecteur de décisions) sera notée :

$$X = (x_1, x_2, x_3 \dots \dots x_n) \quad (22)$$

Avec xi les variables du problèmes et n le nombre de variables.

Le vecteur de fonctions objectif sera noté F :

$$F(X) = (f_1(X), f_2(X), f_3(X), \dots \dots f_k(X)) \quad (23)$$

Avec f_i les objectifs ou critères de décision et k le nombre d'objectifs. Nous considérons que les objectifs sont des fonctions de minimisation (dans le cas de la fonction F de minimisation, il suffit de minimiser $-F$).

Les Contraintes (Contraintes d'égalité ou d'inégalité) seront notées :

$$h_j(X) = 0 \text{ avec } j = (1, \dots, l), \text{ et } C_i(X) \leq 0 \text{ avec } i = 1, \dots, m \quad (24)$$

Ce type de problème est donné sous la forme suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{minimiser } F(X) = (f_1(X), f_2(X), f_3(X), \dots, f_k(X)) \\ \text{avec} \\ X_{p\min} \leq X_p \leq X_{p\max} \text{ pour } p = 1, \dots, n \\ h_i(X) = 0 \text{ pour } i = 1, \dots, l \\ C_j(X) \leq 0 \text{ pour } j = 1, \dots, m \end{array} \right. \quad (25)$$

III.3-Formulation mathématique du problème de rectification cylindrique :

Le problème d'optimisation du procédé de rectification cylindrique est basé sur la minimisation du paramètre d'enlèvement de matière de la meule, et la maximisation de celui de la pièce. La formulation mathématique du problème est basée sur l'écriture de ces critères en fonction des variables de problème permettant ainsi la sélection des conditions satisfaisants les préférences du décideur.

III.3.1- Les variables d'optimisation:

D'une manière générale, la détermination des paramètres de coupe par abrasion nécessite une bonne connaissance des facteurs d'incidence relatifs au couple outil-matière, à l'opération d'usinage et à l'environnement.

Les variables définissant les conditions de coupe en rectification sont des grandeurs géométriques et cinématiques intervenant dans la dynamique de coupe et la nature du milieu dans lequel est effectuée (lubrification). Les variables retenues pour une opération de rectification cylindrique sont :

Pour les grandeurs géométriques :

La profondeur de dressage c (mm).

Pour la grandeur cinématiques

Avance du dresseur par tour de meule L (mm/tr).

La vitesse de la pièce v_w (m/s). v_w (m/s)

La vitesse de la meule v_s (m/s).

III.3.2-critères d'optimisation :

Les deux paramètres technologiques liés à l'enlèvement de matière de la pièce et de l'outil constituent les objectifs (critères) d'optimisation.

Le paramètre d'enlèvement de matière de la pièce donné par l'équation (5) doit être maximisé et le paramètre d'enlèvement de matière de la meule donné par l'équation (6) doit être minimisé.

III.3.3-Les contraintes:

Le processus d'optimisation est souvent limité par l'espace de recherche.

$$v_{wmin} \leq v_w \leq v_{wmax} \quad (26)$$

$$v_{smin} \leq v_s \leq v_{smax} \quad (27)$$

$$c_{min} \leq c \leq c_{max} \quad (28)$$

$$L_{min} \leq L \leq L_{max} \quad (29)$$

Des limitations additionnelles sont nécessaires pour la stabilité et la sécurité du processus de coupe.

L'énergie spécifique doit être inférieure ou égale à l'énergie spécifique critique

$$U \leq U^* \quad (30)$$

$$7.6 + \frac{9.64 \times 10^{-4} v_s}{a_p v_w} + \left(\frac{14.5 v_w}{d_s v_s} \right) \left(A_0 + \frac{k_u v_s L_w a_w}{v_w d_s^{1/2} a_p^{1/2}} \right) \frac{v_s d_s^{1/2}}{v_w a_p^{1/2}} - \left(1.76 \frac{d_s^{1/4}}{a_p^{3/4}} \right) v_w^{-1/2} \leq 0 \quad (31)$$

La rugosité de surface doit être inférieure ou égale à la rugosité imposée par le constructeur :

$$R_a \leq R_a^* \quad (32)$$

$$7.7732 \frac{d_g^{0.854}}{d_e^{0.694}} \left(1 + \frac{c}{L} \right)^{0.3} L^{0.854} \left(\frac{v_w}{v_s} \right)^{0.854} \leq R_a^* \quad (33)$$

III .3.4- Modèle d'optimisation retenu:

Notre problème peut être résumé dans le modèle d'optimisation suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{minimisation } \lambda_s \text{ et } -\lambda_w \\ \text{tel que} \\ v_w \min \leq v_w \leq v_w \max \\ c \min \leq c \leq c \max \\ L \min \leq L \leq L \max \\ v_s \min \leq v_s \leq v_s \max \\ \text{sous les contraintes} \\ 7.6 + \frac{9.64 \times 10^{-4} v_s}{a_p v_w} + \left(\frac{14.5 \times v_w}{d_s v_s} \right) \left(A_0 + \frac{k_u v_s L_w a_w}{v_w d_s^{1/2} a_p^{1/2}} \right) \frac{v_s d_s^{1/2}}{v_w a_p^{1/2}} - \left(1.76 \frac{d_s^{1/4}}{a_p^{3/4}} \right) v_w^{-1/2} \leq 0 \\ 7.7732 \frac{d_g^{0.854}}{d_e^{0.694}} \left(1 + \frac{c}{L} \right)^{0.3} L^{0.854} \left(\frac{v_w}{v_s} \right)^{0.854} \leq R_a^* \end{array} \right. \quad (34)$$

III .4- Cas d'application:

Dans ce cas d'application, nous avons comme tâche la détermination des conditions de coupe pour une opération de rectification cylindrique, dont les paramètres sont donnés sur le tableau III .1

Tableau. III .1-paramètres d'usinage

Paramètre	valeur	paramètre	Valeur
$V_s \min$ (m/s)	1000	A_0	0
$V_s \max$ (m/s)	2023	A_1	94.4
$V_w \min$ (m/s)	10	d_s (mm)	355
$V_w \max$ (m/s)	22.7	R	58
c_{\min} (mm)	0.01	vol	6.99
c_{\max} (mm)	0.137	d_g (mm)	0.3
L_{\min} (mm)	0.01	K_a	0.0869
L_{\max} (mm)	0.137	a_p (mm)	0.01
a_w (mm)	0.01	R_a^* (μm)	0.8
L_w (mm)	300	K_a (mm^{-1})	3.937×10^{-7}

En posant :

$$x_1 = v_s, x_2 = v_w, x_3 = c, x_4 = L$$

Et en remplaçant les différents paramètres du modèle par leurs valeurs du tableau III.1, le problème s'écrit :

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \min \quad f_1(x) = -0.060 \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^{3/19} \left(1 + \frac{2x_3}{3x_4}\right) x_4^{11/19} \\
 \min \quad f_2(x) = 2.71 \times 10^{-4} \frac{\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^{3/19} \left(1 + \frac{x_3}{x_4}\right) x_4^{27/19} x_2}{\left(1 + \frac{2x_3}{3x_4}\right)} \\
 \text{sous les contraintes} \\
 \quad 1000 \leq x_1 \leq 2023 \\
 \quad 10 \leq x_2 \leq 22.7 \\
 \quad 0.01 \leq x_3 \leq 0.137 \\
 \quad 0.01 \leq x_4 \leq 0.137 \\
 \\
 \quad 0.0964x_2^{-1}x_1 - 241.58x_2^{-0.5} + 7.6 \leq 0 \\
 \\
 \quad 0.4587(131.25 \left(1 + \frac{x_3}{x_4}\right) x_4^{0.592} \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^{0.592})^{0.3} - 0.8 \leq 0
 \end{array} \right. \quad (35)$$

III .4.1- Résolution :

Un problème d'optimisation multi-objectif est souvent résolu de deux manières : la première consiste à le transformer en un problème mono-objectif en agrégeant les objectifs dans une seule fonction. Ce type de méthodes est appelé « méthode agrégée ». La deuxième traite les objectifs de problème séparément en cherchant le meilleur compromis. Cette dernière est appelée « méthode compromis ».

Dans notre situation, nous avons choisi, pour la méthode agrégée, d'utiliser la somme pondérée. Cette méthode nécessite la détermination du poids de chaque critère en pose la fonction-objectif sous la forme :

On suppose : $f_1(x) = \lambda_s$, $f_2(x) = \lambda_w$

$$f(x) = w_1 f_1(x) + w_2 f_2(x) \quad (36)$$

$$\text{Avec } w_1 + w_2 = 1 \quad \text{et} \quad \begin{cases} 0 \leq w_1 \leq 1 \\ 0 \leq w_2 \leq 1 \end{cases} \quad (37)$$

De cette manière, nous pouvons obtenir plusieurs solutions optimales en variant les poids des objectifs.

En deuxième lieu, nous utilisons la méthode compromis, Min-Max. Cette méthode consiste à minimiser, à chaque itération, le critère ayant la valeur maximale.

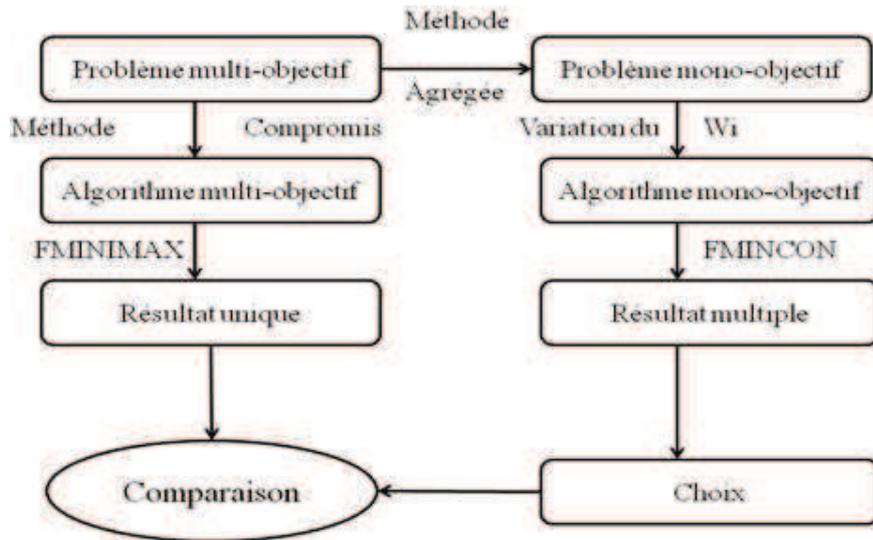


Figure III.1- Méthodologie de résolution.

La figure représente la procédure de comparaison des deux méthodes.

1. Méthode agrégée :

Pour l’optimisation mono-objectif, on a utilisé la fonction nécessite la déclaration de la fonction objectif ainsi que la fonction contrainte.

Dans notre situation, l'utilisation des chaînes de caractères devenue une tâche trop pénible et il faut s'en remettre aux fichiers « m ». En autre celle ci permet de présenter l'expression de la fonction-objectif dans un fichier séparé. Les fonctions contraintes seront présentées de la même manière. Cette présentation donne la possibilité d'appelle des critères et contraintes à chaque application dans la syntaxe de la fonction.

Fonction objectif .m:

$$f_1(x) = -0.060 \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^{3/19} \left(1 + \frac{2x_3}{3x_4}\right) x_4^{11/19} \tag{38}$$

$$f_2(x) = 2.71 \times 10^{-4} \frac{\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^{3/19} \left(1 + \frac{x_3}{x_4}\right) x_4^{27/19} x_2}{\left(1 + \frac{2x_3}{3x_4}\right)} \tag{39}$$

$$f(x) = w_1 2.71 \times 10^{-4} \frac{\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^{3/19} \left(1 + \frac{x_3}{x_4}\right) x_4^{27/19} x_2}{\left(1 + \frac{2x_3}{3x_4}\right)} + w_2 0.060 \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^{3/19} \left(1 + \frac{2x_3}{3x_4}\right) x_4^{11/19} \tag{40}$$

Contraintes .m :

Dans ce fichier, le vecteur contrainte est données par :

$$cont_1(x) = 0.0964x_2^{-1}x_1 - 241.58x_2^{-0.5} + 7.6 \quad (41)$$

$$cont_2(x) = 0.4587(131.25 \left(1 + \frac{x_3}{x_4}\right) x_4^{0.592} \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^{0.592})^{0.3} - 0.8 \quad (42)$$

La résolution du problème est réaliser à l'aide d'un programme implémenté sur Matlab en utilisant les données suivantes :

Une limitation supérieur sur x : $Ub = [2023, 22.7, 0.137, 0.137]$

Une limitation inférieur sur x : $Lb = [1000, 10, 0.01, 0.01]$

Un solution de départ : $x_0 = [1500, 10, 0.05, 0.05]$

Le programme utilisé est exécuté 11 fois en faisant varier les valeurs du poids (w_1) de 0 jusqu'à 1. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau III.2.

Tableau. III .2- Résultats de la méthode agrégée

N^0	W_1	W_2	V_s (m/s)	V_w (m/s)	c (mm)	L (mm/tr)	$\lambda_s \times 10^{-5}$ (mm ³ /min)	$\lambda_w \times 10^{-5}$ (mm ³ /min)	N^{br} d'itérations
01	0	1	1499.91	22.70	0.137	0.137	728.22	997.30	16
02	0.1	0.9	1499.89	22.70	0.010	0.137	393.59	985.88	16
03	0.2	0.8	1499.89	22.70	0.010	0.137	393.59	985.88	15
04	0.3	0.7	1499.89	22.70	0.010	0.137	393.59	985.88	17
05	0.4	0.6	1000.00	16.06	0.010	0.137	276.04	995.16	33
06	0.5	0.5	1499.99	10.00	0.010	0.137	196.23	866.81	4
07	0.6	0.4	1499.99	10.00	0.010	0.137	196.23	866.81	4
08	0.7	0.3	1499.99	10.00	0.010	0.137	196.23	866.81	5
09	0.8	0.2	1499.99	10.00	0.010	0.137	196.23	866.81	6
10	0.9	0.1	1499.99	10.00	0.010	0.015	85.36	244.94	13
11	1	0	1499.99	10.00	0.010	0.010	80.64	190.78	5

D'après ces résultats, on peut voir l'influence des poids sur la solution obtenue. Par exemple, la variation du w_1 de 0.1 à 0.3 ne change rien dans le problème ainsi que dans l'intervalle de 0.5 à 0.8. De ce fait, on obtient réellement six solutions optimales différentes.

La figure III.2 illustre la position des solutions obtenues dans l'espace de solutions. Il est clair que ces positions sont équivalentes car l'amélioration d'un critère résulte la détermination de l'autre. Ce qui montre la contradiction des critères utilisés.

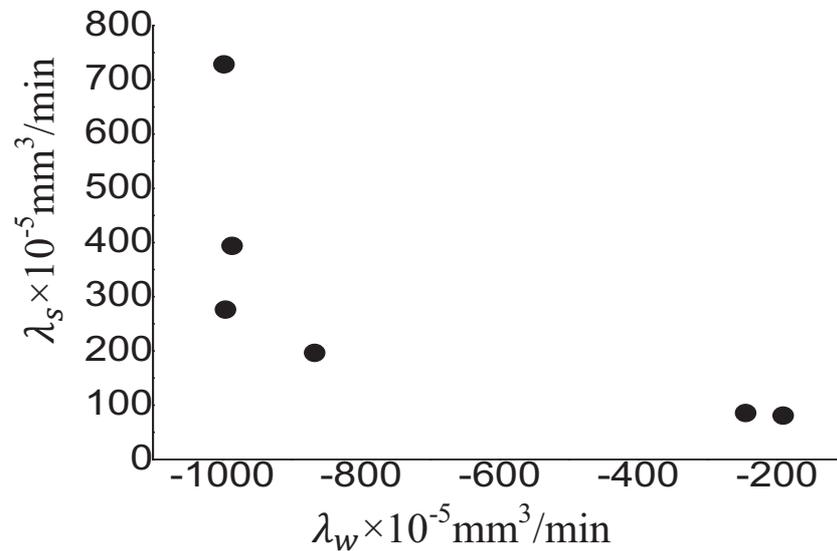


Figure III.2 : démonstration graphique des solutions

Dans cette situation, on peut considérer un critère de jugement supplémentaire. En introduisant le G-ratio. C'est le rapport du critère d'enlèvement de matière de la pièce sur celui de la meule. Il est formulé comme suit :

$$G = \frac{\lambda_w}{\lambda_s} \quad (43)$$

En utilisant cette relation, l'histogramme de G-ratio des solutions obtenues est donnée dans la figure III.3.

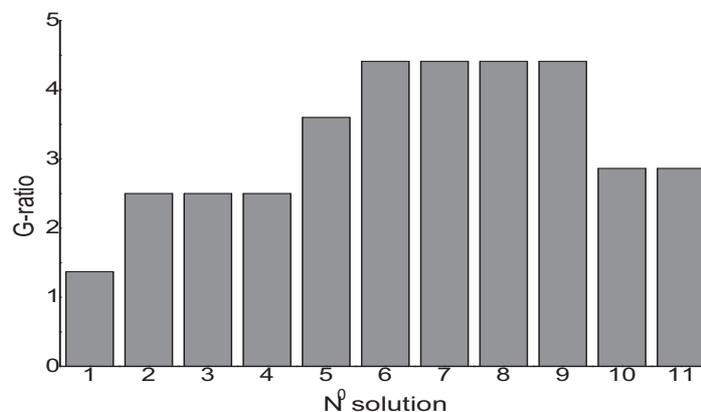


Figure III.3- Histogramme de (G-ratio-N⁰)

Afin d'améliorer le procédé de rectification cylindrique, le G-ratio doit être maximisé. Cette tâche est réalisée soit par la maximisation du λ_w ou par la minimisation de λ_s . Pour les solutions obtenues (figure III.3), ce paramètre a presque une valeur stable. La différence entre les valeurs maximale et minimale est de 3.04.

Supposons que nous devons choisir une solution à adapter.

Si nous n'avons pas intérêt à l'économisation de la meule ni à la productivité du procédé, la solution convenable est celle qui a la valeur maximale du G-ratio. C'est la solution qui donne $866.81 \text{ mm}^3 / \text{min}$ à λ_w , et $196.23 \text{ mm}^3 / \text{min}$ à λ_s .

Si nous sommes intéressés à la meule, nous devons adapter la solution qui assure une perte minimale de la meule. C'est la solution minimisant uniquement la perte en matière de la meule. C'est la solution basée sur les combinaisons de (w_1, w_2) : (0.5, 0.5), (0.6, 0.4), (0.7, 0.3), (0.8, 0.2). Pratiquement, on voit que cette solution résulte un débit de copeau de la pièce très faible. Tandis que la solution basée sur la combinaison des poids (0.9, 0.1) assure une perte de meule plus ou moins minimale avec un débit de copeau acceptable. Cette solution peut être la solution adaptée pour la réalisation.

D'autre part, et si nous visons la productivité, nous devons adapter le paramètre solution car elle assure le maximum de débit de copeau possible. Mais nous trouvons que la deuxième assure un débit moins du premier seulement $9 \times 10^{-5} \text{ mm}^3 / \text{min}$ avec une diminution de la moitié de la matière perdue de la meule. Par conséquent, cette solution est la plus convenable.

On trouve ainsi que les solutions ayant un poids nul pour l'un des critères d'optimisation sont défavorables.

D'après cette analyse, nous pouvons dire que l'optimisation multi-objectif est favorable à celle mono-objectif.

2. Méthode compromis :

La fonction « fminimax » de Matlab représente un algorithme multi-objectif basé sur la méthode Min-Max.

Pour cette fonction, la déclaration de la fonction-objectif est plus simple dans un fichier .m, la fonction-objectif est représentée par ces composantes.

Fonction-objectif .m

$$f_1(x) = \lambda_s(x_1, x_2, x_3, x_4) = 2.71 \times 10^{-4} \frac{\left(\frac{x_1}{x_2}\right)^{3/19} \left(1 + \frac{x_3}{x_4}\right) x_4^{27/19} x_2}{\left(1 + \frac{2x_3}{3x_4}\right)} \quad (44)$$

$$f_2(x) = \lambda_w(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0.060 \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^{3/19} \left(1 + \frac{2x_3}{3x_4} \right) x_4^{11/19} \quad (45)$$

Les contraintes, sont déclarées par le même fichier utilisé dans la première méthode.

Les résultats de la méthode Min-Max sont présentés dans le tableau. III.3.

Tableau. III .3-les résultats de la méthode compromis :

v_w mm ³ /tr	v_s mm ³ /tr	c mm	L mm/tr	$\lambda_s \times 10^{-5}$ mm ³ /min	$\lambda_w \times 10^{-5}$ mm ³ /min	G	N^0 d'itérations
1000	10	0.01	0.01	75.85	203.32	2.68	12

On trouve que le G-ration a une valeur intermédiaire par rapport à celles de la première méthode. Ainsi, cette solution assure une perte minimale en meule avec un débit acceptable.

On peut dire, à la fin, que cette solution représente le meilleur compromis.

III .5-Discussion :

Cette application a démontré l'intérêt de l'optimisation multi-objectif. L'utilisation d'une méthode agrégée a permis de respecter les préférences du décideur dans la résolution du problème. Malgré sa complexité relative, cette méthode est préférable pour le concepteur. La deuxième méthode a démontré une simplicité particulière. Elle peut trouver le meilleur compromis pour le problème multi-objectif. Elle est donc convenable pour l'utilisateur.

Conclusion générale :

A travers ce mémoire, nous avons vu l'intérêt d'optimisation multicritère pour les problèmes de génie mécanique. Nous sommes intéressés dans ce travail particulièrement à l'optimisation multicritère de la rectification cylindrique.

Nous avons essayé d'apporter notre contribution en adaptant un modèle basé sur un critère multiple et un ensemble de contraintes spécifique à la rectification.

Pour la résolution du problème, nous avons élaboré deux programmes implémentés en MATLAB, permettant de trouver les conditions de coupe minimisant le débit d'enlèvement de matière de la meule et maximisant le débit d'enlèvement de matière de la pièce pour deux différents méthodes :

La première liée à l'utilisation de la méthode de la somme pondérée qui est l'une des méthodes agrégées. La deuxième utilisant la méthode Min-Max de la famille des méthodes compromis.

Nous trouvons ainsi que la première méthode présente l'avantage de trouver une solution optimale à partir des préférences du décideur. Cet acquis au prix d'une reformulation du problème à l'aide d'une somme pondérée.

La deuxième méthode présente une modélisation plus au moins simple car elle traite les critères séparément. Cette méthode est considérée comme une méthode compromis. Elle résulte une seule solution optimale présentant le meilleur compromis possible.

Bibliographique :

- [1] **Florea Florian.** Réalisation d'opérations de rectification.1998.
- [2] **Jean Louis Douzet.** Abrasif Technique de l'ingénieur. Traité Génie Mécanique. b7050.
- [3] **Farourou Zakaria.** Thème, Modélisation et Optimisation d'une Opération de Rectification, 2011/2012.
- [4] **R.Saravanan,P.Asokan,M.Sachidanandam.** International Journal of Machine Tools & Manufacture 42(2002) 1327-1334 (A multi-objective genetic algorithm (GA) approach for optimisation of surface grinding operations.2001.
- [5] **Erik Felder .**procédé d'usinage –présentation bm 7000.
- [6] **Mamadou Dieye** comportement dynamique de système pièce/outil/machine (POM) en rectification plan passe profonde.
- [7] **Hamdi Bilal.Thème.** Etude de revêtement dur est application de coupe.2006
- [8] **Azzaoui Ahmed** thème, optimisation multicritaire des condition de coupe en fraisage, 2011/2012.
- [9] **Khalfaoui Houcin. Gohmes Abderrazek.** Thème. Optimization multi-objectif des conduction de coupe en fraisage.2010/2011.

Résumé

Dans cette étude, on s'intéresse à la résolution du problème d'optimisation des conditions de coupe de rectification cylindrique par la proposition d'un modèle multicritère. Pour les opérations à passe simple, ce modèle permet la minimisation d'enlèvement de matière de la meule et maximisation d'enlèvement de matière de la pièce en tenue compte des limitations de la machine, l'outil et l'opération. L'utilisation de l'outil informatique MATLAB permet à résoudre le problème par de différentes méthodes l'une agrégée et l'autre compromise.

A partir des résultats obtenus pour l'exemple d'application, nous avons présenté une comparaison des deux méthodes, ainsi, l'intérêt de l'optimisation multicritère on usinage est démontré à l'aide d'une étude analytique des résultats.

ملخص:

في هذه الدراسة نهتم بحل المشاكل مثل شروط القطع للتحسين بواسطة اقتراح نموذج متعدد المعايير لعملية ذات تمريرة بسيطة واحدة وهذا النموذج يسمح بتقليل كمية المادة المنزوعة من حجر الطاحون مع الزيادة في كمية القطع المنزوعة من القطعة في آن واحد بحيث يتم احترام القيود الموضوعية على الدوال والمفروضة على الأداة والعمليات باستخدام برنامج (الماتلاب) الذي يسمح بحل المشكلة بطريقتين مختلفتين الأولى التجميع والثانية بحل تفريقي.

انطلاقاً من النتائج المحصل عليها نقدم مقارنة بين هاتين الطريقتين مع زيادة المعايير المتعددة التي تسمح لنا بتوضيح الدراسة التحليلية للنتائج.