

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université Ferhat Abbas- Sétif**  
**Institut d'optique et de Mécanique de Précision**  
**Département : d'optique et mécanique de précision**  
**Domaine : Sciences et Technologies**  
**Filière : Optique et Mécanique de Précision**  
**Spécialité : Mécanique fine**

## Mémoire de Master

# **Simulation et optimisation d'une gamme d'usinage par CAMWorks**

**Étudié par :** KAOULA Aymen

**Dirigé Par :** Dr. BOUSSOUAR Layachi  
Dr. FIZI Yazid

Devant le jury :

|                  |             |
|------------------|-------------|
| Dr. F. Bettine   | (Président) |
| Dr. D .Benmahdi  | (Examineur) |
| Dr. L .Boussouar | (Examineur) |
| Dr. Y. Fizi      | (Examineur) |

Soutenu le : 04/03/ 2023

## Résumé

Tout d'abord, l'importance des machines-outils est soulignée, en mettant en avant les différents procédés. Les machines-outils à commande numérique sont également abordées. Ensuite, la conception assistée par ordinateur (CAO) est présentée comme un moyen efficace de modéliser et visualiser des pièces en utilisant des logiciels tels que SolidWorks et CAMWorks.

Enfin, le travail se concentre sur la simulation et l'optimisation d'une gamme d'usinage. L'optimisation des paramètres est considérée comme essentielle pour améliorer l'efficacité et la qualité du processus d'usinage, ainsi que pour réduire le temps d'usinage. Une application pratique est présentée pour illustrer ces concepts, en démontrant la construction de deux pièces et la modélisation 3D d'un moule fer forgé à l'aide du logiciel CAMWorks.

## Abstract

First, the importance of machine tools is underlined, highlighting the different processes. CNC machine tools are also discussed. Next, computer-aided design (CAD) is presented as an effective way to model and visualize parts using software such as SolidWorks and CAMWorks. Finally, the work focuses on the simulation and optimization of a machining range. Parameter optimization is considered essential to improve the efficiency and quality of the machining process, as well as to reduce machining time. A practical application is presented to illustrate these concepts, demonstrating the construction of two parts and the 3D modelling of a wrought iron mould using CAMWorks software.

## ملخص

آلة أدوات مناقشة تتم كما. المختلفة العمليات على التركيز مع الآلية، الأدوات أهمية على التأكيد يتم أولاً،

CNC.

مثل برامج باستخدام الأجزاء وتصور لنمذجة فعالة كطريقة الكمبيوتر بمساعدة التصميم تقديم يتم ذلك، بعد

SolidWorks و CAMWorks

عملية وجودة كفاءة لتحسين ضرورياً المعلومات تحسين يعتبر. الآلات نطاق وتحسين محاكاة على العمل يركز أخيراً،

الآلي التشغيل وقت لتقليل وكذلك الآلي، التشغيل

باستخدام المطاوع الحديد لقالب الأبعاد ثلاثية والنمذجة جزأين بناء يوضح مما المفاهيم، هذه لتوضيح عملي تطبيق تقديم يتم

برنامج Camworks

# Table des matières

|                                |          |
|--------------------------------|----------|
| <b>Introduction générale :</b> | <b>1</b> |
|--------------------------------|----------|

## **Chapitre 1 : Généralités sur les machines-outils**

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Introduction :                                         | 3  |
| 1.2. Les procédés d'usinage :                               | 3  |
| 1.2.1. Le tournage :                                        | 3  |
| 1.2.2. Le perçage :                                         | 4  |
| 1.2.3. Le fraisage :                                        | 5  |
| 1.2.4. L'alésage :                                          | 5  |
| 1.3. La machine-outil à commande numérique :                | 5  |
| 1.3.1. Schéma de la MOCN :                                  | 6  |
| 1.3.2. Domaine d'utilisation :                              | 7  |
| 1.4. Les différents types des machines CNC :                | 7  |
| 1.4.1. Fraiseuses :                                         | 7  |
| 1.4.2. Tours :                                              | 8  |
| 1.4.3. Tour 4 axes :                                        | 8  |
| 1.4.4. Machine CNC a 3 axes (gravure sur bois) :            | 9  |
| 1.4.5. Machine CNC Coupe-plasma :                           | 9  |
| 1.4.6. Usinage par décharge électrique :                    | 9  |
| 1.4.7. Machine CNC de découpe laser :                       | 10 |
| 1.4.8. L'impression 3D :                                    | 10 |
| 1.5. Les origines des systèmes de coordonnées :             | 11 |
| 1.6. Programmation des MOCN :                               | 12 |
| 1.6.1. Nature des instructions programmées :                | 12 |
| 1.6.2. Modes d'introduction de l'information à la machine : | 13 |
| 1.6.3. Principaux modes de la programmation :               | 13 |
| 1.6.4. Organisation et structure d'un programme CNC :       | 14 |

## **Chapitre 2 : Conception assistée par ordinateur (CAO)**

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 2.1. Définition de la CAO :              | 15 |
| 2.1.1. Le modelleur géométrique :        | 15 |
| 2.1.2. L'outil de visualisation :        | 15 |
| 2.1.3. Un certain nombre d'application : | 15 |
| 2.1.4. Un contrôleur :                   | 15 |
| 2.2. Modélisation géométrique en CAO :   | 16 |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1. La modélisation surfacique :                         | 16 |
| 2.2.2. La modélisation solide (la modélisation volumique) : | 17 |
| 2.2.3. Modèles NURBS :                                      | 18 |
| 2.3. Domaine d'utilisation :                                | 19 |
| 2.4. Le logiciel SolidWorks :                               | 20 |
| 2.4.1. Définition :                                         | 20 |
| 2.4.2. Les différentes utilisations de SolidWorks :         | 21 |
| 2.4.3. Fonctionnement :                                     | 21 |
| 2.4.4. Les avantages de SOLIDWORKS :                        | 22 |
| 2.5. Le logiciel Camworks :                                 | 22 |
| 2.5.1. Définition :                                         | 22 |
| 2.5.2. CAMWorks pour SolidWorks CAO 3D :                    | 23 |
| 2.5.3. Interface utilisateur :                              | 23 |
| 2.5.4. Les avantages de Camworks :                          | 24 |
| 2.5.5. Différentes stratégies d'usinage par CamWorks :      | 25 |
| 2.5.6. Le code G :                                          | 25 |

### **Chapitre 3 : Simulation et optimisation des paramètres d'usinage**

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 3.1. Introduction :                           | 28 |
| 3.2. Optimisation :                           | 28 |
| 3.3. Les paramètres de coupe :                | 28 |
| 3.3.1. La vitesse de coupe ( $V_c$ ) :        | 28 |
| 3.3.2. La vitesse de rotation de la broche :  | 29 |
| 3.3.3. La vitesse d'avance $V_f$ :            | 29 |
| 3.3.4. La profondeur de passe ( $a_p$ ) :     | 29 |
| 3.4. Application pratique :                   | 30 |
| 3.4.1. La construction de la première pièce : | 30 |
| 3.4.2. La construction de la deuxième pièce : | 46 |
| 3.4.3. Modélisation 3D d'un moule fer forgé : | 63 |
| 3.4. Conclusion :                             | 74 |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>Conclusion générale :</b> | <b>75</b> |
|------------------------------|-----------|

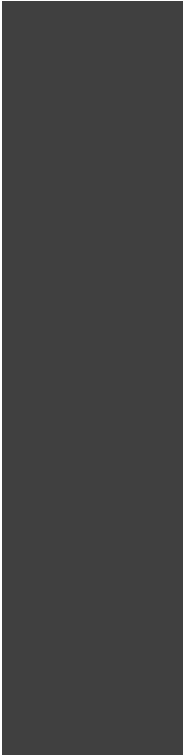
## Liste des figures

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1.1 : Procédure de tournage.....                                                          | 4  |
| Figure 1.2 : Le perçage .....                                                                    | 4  |
| Figure 1.3 : L'alésage.....                                                                      | 5  |
| Figure 1.4 : Machine-outil à commande numérique .....                                            | 5  |
| Figure 1.5 : La structure de la MOCN .....                                                       | 6  |
| Figure 1.6 : Fraiseuse CNC .....                                                                 | 8  |
| Figure 1.7 : Tour CNC .....                                                                      | 8  |
| Figure 1.8 : Tour 4 axes.....                                                                    | 8  |
| Figure 1.9 : Machine CNC Coupe-plasma .....                                                      | 9  |
| Figure 1.10 : Usinage par décharge électrique .....                                              | 10 |
| Figure 1.11 : Machine CNC de découpe laser.....                                                  | 10 |
| Figure 1.12 : L'imprimante 3D.....                                                               | 11 |
| Figure 1.13 : Cas du tournage et du fraisage .....                                               | 12 |
| Figure 1.14 : Syntaxe .....                                                                      | 14 |
| Figure 2.1 : Le diagramme représentant les cinq générations de systèmes de CAO .....             | 16 |
| Figure 2.2 : Surface a pôles (Bézier) .....                                                      | 17 |
| Figure 2.3 : Les primitives employées pour la création d'un solide via la technique CSG.....     | 18 |
| Figure 2.4 : Surface NURBS et ses composants : points de contrôle et polygones de contrôle. .... | 18 |
| Figure 2.5 : Le logiciel SolidWorks.....                                                         | 20 |
| Figure 2.6 : Processus CAO .....                                                                 | 22 |
| Figure 2.7 : Processus CAO .....                                                                 | 23 |
| Figure 2.8 : Interface utilisateur CamWorks .....                                                | 24 |
| Figure 3.1 : Dessin technique de la première pièce .....                                         | 31 |
| Figure 3.2 : Le dessin de la pièce sur SOLIDWORKS .....                                          | 36 |
| Figure 3.3 : Image de la pièce sur CAMWORKS .....                                                | 37 |
| Figure 3.4 : Choix de la machine.....                                                            | 38 |
| Figure 3.5 : Choix du brut.....                                                                  | 38 |
| Figure 3.6 : Le point origine de la première opération .....                                     | 39 |
| Figure 3.7 : La première face à usiner .....                                                     | 39 |
| Figure 3.8 : Les tableaux de choix de l'outil et des paramètres A/V .....                        | 40 |
| Figure 3.9 : Simulation de la première opération .....                                           | 40 |
| Figure 3.10 : La 2ème face à usiné avec l'emplacement de l'origine.....                          | 41 |
| Figure 3.11 : Les opérations à faire dans la 2ème configuration .....                            | 41 |
| Figure 3.12 : Simulation de la deuxième configuration .....                                      | 42 |
| Figure 3.13 : La 3ème face à usinée avec le nouveau repère .....                                 | 42 |
| Figure 3.14 : Tableaux de choix de l'outil d'alésage et les paramètres de coupe .....            | 43 |
| Figure 3.15 : Simulation de la 3ème configuration.....                                           | 43 |
| Figure 3.16 : La 4ème face à usiné avec le nouveau repère .....                                  | 44 |
| Figure 3.17 : Tableaux de choix de l'outil de taraudage et des paramètres de coupe .....         | 44 |
| Figure 3.18 : Simulation de la 4ème configuration.....                                           | 45 |
| Figure 3.19 : La pièce finale.....                                                               | 45 |
| Figure 3.20 : Dessin de la pièce sur le logiciel SolidWorks .....                                | 48 |
| Figure 3.21 : Image de la pièce sur CAMworks.....                                                | 48 |
| Figure 3.22 : Choix de la machine.....                                                           | 49 |
| Figure 3.23 : Le Brut.....                                                                       | 49 |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 3.24 : La première face à usiner.....                                         | 50 |
| Figure 3.25 : Tableaux de choix de l'outil et des paramètres de coupe.....           | 50 |
| Figure 3.26 : Simulation de la 1ère configuration .....                              | 51 |
| Figure 3.27 : Le surfacage de la 2ème face.....                                      | 51 |
| Figure 3.28 : Fraisage de contour par une fraise 2T .....                            | 51 |
| Figure 3.29 : Fraisage de contour par une fraise hémisphérique .....                 | 52 |
| Figure 3.30 : L'utilisation du foret à centrer.....                                  | 52 |
| Figure 3.31 : Tableaux de choix de l'outil et des paramètres de coupe.....           | 53 |
| Figure 3.32 : Simulation de l'opération d'alésage.....                               | 53 |
| Figure 3.33 : Tableaux de choix de l'outil et des paramètres de coupe.....           | 53 |
| Figure 3.34 : Simulation du perçage et fraisage .....                                | 54 |
| Figure 3.35 : La pièce finale.....                                                   | 54 |
| Figure 3.36 : Choix de la machine.....                                               | 57 |
| Figure 3.37 : Le brut .....                                                          | 57 |
| Figure 3.38 : Fixation de la pièce par le mandrin .....                              | 58 |
| Figure 3.39 : Simulation de la première configuration .....                          | 58 |
| Figure 3.40 : Fixation de la pièce .....                                             | 59 |
| Figure 3.41 : Ebauche de face .....                                                  | 59 |
| Figure 3.42 : Ebauche tournage.....                                                  | 60 |
| Figure 3.43 : Finition tournage.....                                                 | 60 |
| Figure 3.44 : L'alésage.....                                                         | 61 |
| Figure 3.45 : Le perçage des trous.....                                              | 61 |
| Figure 3.46 : Fraisage de contour .....                                              | 62 |
| Figure 3.47 : La pièce finale.....                                                   | 62 |
| Figure 3.48 : Le motif de décoration .....                                           | 63 |
| Figure 3.49 : Création de la forme d'empreinte .....                                 | 64 |
| Figure 3.50 : Le modèle final .....                                                  | 64 |
| Figure 3.51 : Choix du brut .....                                                    | 65 |
| Figure 3.52 : Choix de l'origine .....                                               | 65 |
| Figure 3.53 : Choix de la trajectoire d'outil et des paramètres de l'opération ..... | 67 |
| Figure 3.54 : Simulation de l'opération zone d'approche.....                         | 68 |
| Figure 3.55 : Choix de la trajectoire d'outil et des paramètres de l'opération ..... | 68 |
| Figure 3.56 : Simulation de l'opération pas constant.....                            | 68 |
| Figure 3.57 : La simulation du fraisage de contour et fraisage d'ébauche.....        | 69 |
| Figure 3.58 : La trajectoire de l'outil .....                                        | 70 |
| Figure 3.59 : La simulation de l'opération pas constant .....                        | 70 |
| Figure 3.60 : Le moule final.....                                                    | 70 |
| Figure 3.61 : La trajectoire de l'outil .....                                        | 72 |
| Figure 3.62 : La simulation de l'opération zone d'approche.....                      | 72 |
| Figure 3.63 : La simulation du parcours projeté.....                                 | 72 |
| Figure 3.64 : La trajectoire de l'outil .....                                        | 73 |
| Figure 3.65 : La simulation de l'opération Bitangence.....                           | 73 |
| Figure 3.66 : Le moule final.....                                                    | 73 |

## Liste des tableaux

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1. Points utilisés dans des MOCN .....                                               | 11 |
| Tableau 2. Les fonctions préparatoires, instructions G .....                                 | 26 |
| Tableau 3. Les fonctions auxiliaires logique M.....                                          | 27 |
| Tableau 4. Tableau de vitesse de coupe et d'avance par dent.....                             | 29 |
| Tableau 5. Tableau de détermination de la profondeur de passe .....                          | 30 |
| Tableau 6. Tableau de la gamme d'usinage de la première pièce .....                          | 35 |
| Tableau 7. Regroupement des paramètres de coupe .....                                        | 36 |
| Tableau 8. Tableau de la gamme d'usinage de la 2ème pièce (fraisage).....                    | 48 |
| Tableau 9. Tableau de la gamme d'usinage de la 2ème pièce (tournage).....                    | 57 |
| Tableau 10. Tableau qui montre les résultats du temps d'usinage entre les deux machines..... | 63 |
| Tableau 11. La gamme d'usinage du moule (1er cas).....                                       | 67 |
| Tableau 12. La gamme d'usinage du moule (2 <sup>ème</sup> cas).....                          | 71 |
| Tableau 13. Tableau de comparaison entre les deux cas d'usinage .....                        | 74 |



# **Introduction générale**

Pour des raisons de coût et de temps, il est de plus en plus difficile de réaliser divers produits et de les tester avant d'arriver au produit final. Pour cette raison, il faut remplacer au maximum le développement de prototypes par des séries de simulations sur ordinateur. Effectivement, la simulation et la modélisation sont des outils qui existent depuis de nombreuses années et qui ont connu un essor remarquable avec la généralisation des ordinateurs dans l'industrie. Ils offrent la possibilité de réduire les coûts et les délais d'étude d'un nouveau produit en repoussant autant que possible la phase de prototypage physique. Notre travail tente de présenter les performances d'un logiciel de simulation des gammes d'usinage afin de faciliter son utilisation, pour cela on a subdivisé notre travail en trois chapitres.

Dans le premier chapitre on va parler des machines-outils, Nous commencerons par l'importance de ces machines dans le domaine de l'usinage. Ensuite, nous aborderons les différents procédés d'usinage tels que le tournage, le perçage, le fraisage et l'alésage, en soulignant leurs caractéristiques et leurs utilisations. Nous parlerons après de la machine-outil à commande numérique en présentant son schéma de fonctionnement et son domaine d'utilisation, ensuite nous présenterons les différents types de ces machines à commande numérique, telles que les fraiseuses, les tours, les machines de gravure sur bois, l'impression 3D ...etc. Nous aborderons également les origines des systèmes de coordonnées utilisés dans les machines-outils à commande numériques. Enfin, nous nous intéresserons à la programmation des MOCN, en décrivant la nature des instructions programmées, les différents modes d'introduction de l'information à la machine, les principaux modes de programmation et l'organisation et la structure d'un programme CNC.

Le deuxième chapitre se concentre sur la conception assistée par ordinateur (CAO). Nous commencerons par définir la CAO et examinerons ses différents composants tels que le modelleur géométrique, l'outil de visualisation, les applications et le contrôleur. Ensuite, nous nous pencherons sur la modélisation géométrique en CAO, en abordant la modélisation surfacique, la modélisation solide (ou volumique) et les modèles NURBS. Ensuite, Nous discuterons du domaine d'utilisation de la CAO et présenterons en détail le logiciel SolidWorks. Nous expliquerons sa définition, ses différentes utilisations, son fonctionnement et les avantages qu'il offre.

Ensuite, nous présenterons le logiciel Camworks, en décrivant sa définition, son intégration avec SolidWorks, son interface utilisateur et les avantages qu'il offre. Nous aborderons également les différentes stratégies d'usinage disponibles dans Camworks et introduirons le code G utilisé dans la programmation des machines-outils à commande numérique.

Le troisième chapitre se concentre sur la simulation et l'optimisation d'une gamme d'usinage. Il introduit le concept d'optimisation et explore les différents paramètres de coupe tels que la vitesse de coupe, la vitesse de rotation de la broche, la vitesse d'avance et la profondeur de passe. Ce chapitre propose également des applications pratiques, notamment la construction de deux pièces, ainsi que la modélisation 3D d'un moule en fer forgé.