

Hoëlig Le Clainche
Emmanuel Berquez

USINAGE À COMMANDE NUMÉRIQUE

Du dessin 3D à la pièce physique
avec Fusion 360

DUNOD

Illustrations de couverture : Captures d'écran Autodesk Fusion 360

© Dunod, 2019

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-080503-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Introduction	1
À qui s'adresse cet ouvrage ?	1
Prérequis	2
Comment utiliser cet ouvrage ?	2
Quels types de réalisations sont envisageables ?	3
Sécurité	5
Quelques recommandations	5
Protéger la machine	6
Autodesk Fusion 360	7
Comprendre les projets	7
Comprendre les formats de fichier	7
Le .stl	8
Le .obj	9
Le .igs (IGES)	9
Le .stp (STEP)	10
Importer des fichiers dans Fusion 360	11
.obj et .stl	11
.igs et .stp	14
Fichiers natifs Catia, SolidWorks, Fusion, Inventor	15
Free form sculpt ou la rectification de modèle 3D	15
Chapitre 1 ■ Configuration et création de l'usinage	17
1.1 Configuration de l'usinage	17
1.1.1 Définition de la configuration	17
1.1.2 Notion d'axes : 3 axes ? 3 + 2 ? 5 axes ?	18
Géométrie générale	18
1 axe	18
2 axes	18
2 axes ½	19
3 axes	20
Limitation des fraiseuses 3 axes	21
4 axes	21
5 axes	23
1.1.3 Origine pièce-origine machine	26
Notion de G-Code	28

1.1.4 Les bonnes raisons de choisir une zéro pièce	28
Usinage dans un étau	28
Usinage avec bride	29
Zéro sur ou sous la pièce ?	29
<i>Cas d'une fraiseuse à changement d'outils manuel</i>	
<i>(Shapeoko, X-Carve, Shopbot...)</i>	29
<i>Cas d'une pièce avec tolérance en hauteur</i>	31
<i>Cas du retournement avec palpeur</i>	32
Nouvelle configuration (New Setup)	34
1.1.5 Machine type	35
1.1.6 Origine pièce	35
1.1.7 Modification des axes usinage par rapport aux axes fichier	37
1.1.8 Model	38
1.1.9 Fixture	39
1.1.10 Dimensions du brut (stock)	39
1.1.11 Round up to nearest	41
1.1.12 Cube à taille fixe (Fixed Size Box)	42
1.1.13 From solid	43
1.1.14 Dossier (New Folder)	43
1.1.15 Motif de répétition (New Pattern)	44
1.1.16 Commande manuelle (Manual NC)	46
1.1.17 Contrôle (Probe) et palpape	47
1.2 Créer son premier usinage	47
1.2.1 Module CAM	47
1.2.2 Exemple à partir d'usinages 3D – ébauches et finitions	48
Différences logicielles	48
1.2.3 Fenêtre d'usinage	49
Outil (Tool)	49
Géométrie (Geometry)	50
Hauteurs (Heights)	54
Passes	56
Liaison (Linking)	64
Chapitre 2 ■ Outils	71
2.1 Outils coupants	71
2.1.1 Stockage de sa bibliothèque d'outils	72
Les outils génériques et standard	72
La bibliothèque d'outils du document ouvert (Document)	73
Transférer sa bibliothèque d'outils sur le cloud	74
Bibliothèque locale	75
Partager sa bibliothèque	75

2.1.2	Modifier un outil	76
2.1.3	Propriétés d'un outil	77
	Général	77
	Outil de coupe (Cutter)	77
	Queue (Shaft)	79
	Porte-outil (Holder)	80
	Avance et Vitesse (Feed & Speed)	80
	Post processor	84
2.2	Outils coupants de fraisage	85
2.2.1	Fraise plate (Flat End Mill)	86
2.2.2	Fraise hémisphérique (Ball End Mill)	87
2.2.3	Fraise torique (Bull Nose End Mill)	89
2.2.4	Fraise conique torique (Tapered Mill)	90
2.2.5	Fraise conique à queue d'aronde (Dovetail Mill)	91
2.2.6	Fraise boule (Lollipop Mill)	92
2.2.7	Fraise à chanfreiner (Chamfer Mill)	93
2.2.8	Fraise à rayonner (Radius Mill)	94
2.2.9	Fraise de surfaçage (Face Mill)	95
2.2.10	Fraise de rainure (Slot Mill)	96
2.2.11	Foret (Drill)	96
2.2.12	Perçage de centrage (Center Drill)	97
2.2.13	Foret à pointer (Spot Drill)	98
2.2.14	Taraudage, pas à droite standard (Tap Right Hand)	98
2.2.15	Taraudage, pas à gauche (Tap Left Hand)	99
2.2.16	Fraisure (Counter Sink)	100
2.2.17	Lamage (Counter Bore)	100
2.2.18	Alésoir (Reamer)	101
2.2.19	Barre d'alésage (Boring Bar)	102
2.2.20	Fraise de forme (Form Mill)	102
2.2.21	Contrôle (Probe)	103
2.2.22	Taraud machine (Thread Mill)	103
Chapitre 3 ■	Fraisage et perçage	105
3.1	Fraisage – Stratégies d'usinage 2D	105
3.1.1	Face (Face)	106
3.1.2	Traçage de contour (2D Contour)	110
3.1.3	Poche 2D (2D Pocket)	113
3.1.4	Ébauche 2D adaptative (2D Adaptive Clearing)	114
3.1.5	Alésage (Bore)	116
3.1.6	Poche circulaire (Circular)	118

3.1.7 Filetage (Thread)	119
3.1.8 Rainure (Slot)	122
3.1.9 Trace	124
3.1.10 Chanfrein 2D (2D Chamfer)	125
3.1.11 Gravure (Engrave)	126
3.2 Fraisage – Stratégies d’usinage 3D	126
3.2.1 Les stratégies d’ébauche	128
Ébauche adaptative (Adaptive Clearing)	128
Poche d’ébauche (Pocket Clearing)	130
3.2.2 Les stratégies de finition	131
Parallèle (Parallel)	132
Contour	133
Rampe (Ramp)	134
Travail horizontal (Horizontal)	135
Bi-tangent (Pencil)	136
Crête/Pas constant (Scallop)	137
Spirale (Spiral)	138
Radial (Radial)	139
Spirale variable (Morphed Spiral)	139
Adaptif finition (Morph)	140
Usinage 3 + 2	140
3.3 Perçage (Drilling)	141
3.3.1 Perçage (Drill)	141
3.3.2 Onglet Outil	142
3.3.3 Onglet Géométrie	142
Mode de perçage	142
Faces de perçage	143
Sélectionner diamètre identique	143
Même profondeur de perçage uniquement	144
Même hauteur supérieure Z uniquement	144
Diamètre minimal	145
Diamètre maximal	145
Limite de confinement	145
Fusionner automatiquement les segments de perçage	146
Onglet Hauteurs	147
3.3.4 Cycles de perçage	147
3.3.5 Type de cycle	147
Réglage des paramètres avancés de perçage	149
3.4 Fraisage multi-axes (Multi-Axis)	150
3.4.1 Wrap Toolpath	151
3.4.2 Roulant 5 axes (Swarf)	151

3.4.3 Contour multi-axial (Multi-Axis Contour)	152
3.4.4 Flux (Flow)	152
Chapitre 4 ■ Paramétrage de l'usinage	153
4.1 Paramètres de l'onglet Outil	153
4.1.1 Section outil (Tool)	153
4.1.2 Section Avance et vitesse (Feed & Speed)	154
4.1.3 Section Queue & porte-outil (Shaft & Holder)	154
4.2 Paramètres de l'onglet Géométrie	156
4.2.1 Section Géométrie (Geometry)	156
4.2.2 Section Onglets (Tabs)	171
4.2.3 Section Inclinaison (Slope)	173
4.2.4 Section Usinage de matière restante (Rest Machining)	175
4.2.5 Section Envelopper la trajectoire d'outil (Wrap Toolpath)	177
4.2.6 Section Orientation d'outil (Tool Orientation)	177
4.2.7 Section Modèle (Model)	181
4.2.8 Section Surfaces à éviter/toucher (Avoid/Touch Surfaces)	181
4.3 Paramètres de l'onglet Hauteurs	182
4.4 Paramètres de l'onglet Passes	187
4.4.1 Section Passes (Passes)	187
Comparaison du fraisage en avalant et du fraisage en opposition	195
4.4.2 Section Inclinaison multi-axes (Multi-axis Tilting)	223
4.4.3 Section Brut à conserver (Stock to Leave)	224
4.4.4 Section Congés (Fillet)	226
4.4.5 Section Lissage (Smoothing)	226
4.4.6 Section Optimisation d'avance (Feed Optimization)	227
4.5 Paramètres de l'onglet Liens	227
4.5.1 Section Liaison (Linking)	227
4.5.2 Section Entrées/sorties et transitions (Leads & Transitions)	231
4.5.3 Section Rampes (Ramp)	236
4.5.4 Section Positions (Positions)	240
Chapitre 5 ■ Conclure un parcours d'usinage	243
5.1 Simulation	243
5.1.1 Timeline	245
5.1.2 Affichage (Display)	245
5.1.3 Info	247
5.1.4 Statistiques (Statistics)	248
5.1.5 Contrôle d'interférence	248

5.2 Post-process	248
5.2.1 Création de code NC pour la machine	248
5.2.2 L'écran de post-process	249
5.2.3 Autres Post-processeurs	251
Lecture du G-Code	253
Setup Sheet	253
Generate Toolpath	253
5.2.4 Send to Fusion Production	253
5.3 Outils complémentaires	253
5.3.1 Mesure	253
5.3.2 Revue du process d'usinage	254
5.3.3 Add In	254
Index	255

Introduction

Vers la fin des années 2000, nous avons vu en France l'essor de l'« impression 3D ». La révolution était en marche et on voyait des petites bêtes cracher du plastique dans les entrées de supermarchés. Le grand public découvrait ainsi la « manufacture additive ». À tel point qu'à une MakerFair, j'ai entendu un enfant montrer une fraiseuse CNC métal à son propriétaire et lui dire « elle est grande ton imprimante 3D ».

Nous rencontrons de plus en plus de client nous parlant de cette nouvelle technologie comme du Graal pour leur projet, avant que nous ne les rappelions aux contraintes mécaniques de leur projet, puis aux contraintes financières. Non, l'usinage n'est pas mort, et cela n'arrivera pas de sitôt.

Cette technologie produit chaque jour des millions de pièces, partout dans le monde, sans compter ses produits dérivés tel que les moules à injecter. Le fraisage a de l'avenir, et d'autant plus grâce aux Tormach, aux Shapeokos, PocketNC et autres micro-machines qui rendent ce procédé abordable. Les logiciels tels que Fusion CAM, Autodesk HSM, qui ont également drastiquement simplifié la création des chemins d'usinage, leur appréhension et leur export. Nous animons tous deux des formations fraisage, et une personne étrangère au domaine, bien guidée, peut être autonome sur du fraisage bois en une journée, et au métal en trois jours.

Dans les procédés de fabrication d'objets, la fabrication numérique joue aujourd'hui un rôle majeur, quel que soit le domaine d'application : industrie, artisanat, design... Pour le pilotage à l'aide d'un ordinateur des machines telles que fraiseuses, tours ou découpeuses, par exemple, on emploie le terme de CNC (*Computer Numerical Control*).

Nous étudierons dans ce livre comment générer le programme permettant le pilotage des machines à partir du logiciel Autodesk Fusion 360.

À qui s'adresse cet ouvrage ?

Ce livre s'adresse aux personnes ayant une culture technique à propos des moyens de production CNC. Il est destiné aussi bien aux techniciens et ingénieurs industriels, artisans, entrepreneurs et *makers* qu'aux étudiants et aux passionnés.

Prérequis

Quelques prérequis sont nécessaires pour aborder ce livre. Le lecteur doit en effet :

- maîtriser les bases du vocabulaire technique ;
- avoir une expérience de modélisation 3D volumique ;
- savoir utiliser un outillage basique d'atelier ainsi que les principaux instruments de mesure ;
- disposer du logiciel Autodesk Fusion 360 ou Autodesk Inventor HSM sur un poste de travail.

Important

Cet ouvrage ne parle pas de modélisation 3D. Il est essentiellement axé sur les manipulations à effectuer à l'aide d'Autodesk Fusion 360/HSM pour l'obtention d'un programme d'usinage G-Code compatible avec votre machine.

Comment utiliser cet ouvrage ?

La fabrication CNC est un très vaste sujet. Nous vous exposerons notre vision dans ce livre, mais il existe une multitude de façons de réaliser des opérations d'usinage. Le but de cet ouvrage n'est pas de vous transformer en un technicien qualifié, mais de vous apporter la culture de l'usinage par programmation en utilisant Fusion 360.

Si les deux premiers chapitres sont à lire intégralement pour atteindre ce but, les descriptions détaillées des outils et des chemins d'usinage qui font l'objet des chapitres suivants sont plutôt à feuilleter, dans un premier temps. Vous viendrez à les étudier de plus près lorsque vous serez confronté, en cas réel, à un choix ou un paramétrage compliqué.

La technique de l'usinage, en fabrication CNC aussi bien que traditionnelle, dépend de la matière que vous travaillez. Un bon usineur pour acier ne saura pas nécessairement travailler le bois (et réciproquement), même s'il maîtrise parfaitement sa machine acier.

Chaque corps de métier possède un savoir-faire qui est propre à ses habitudes de travail, à sa/ses machines, et surtout à sa matière. Cet ouvrage ne traitera que peu des spécificités métier des usineurs (par exemple, la nécessité de couper le bois dans le sens des fibres, ou d'« ouvrir la matière » en métal avant une poche pour gagner en précision, etc.), mais vous donnera les outils pour savoir expliquer avec précision à Fusion 360/HSM ce que vous voulez faire.

La plus grande partie de cet ouvrage concerne l'usinage CNC et toutes les opérations pourront être simulées sur Fusion 360. La mise en pratique sur une fraiseuse à commande numérique représente un certain avantage pour l'assimilation des informations, mais une machine trois axes suffira pour appréhender la plus grande partie des notions évoquées.

Cet ouvrage et les captures d'écran qui l'illustrent concernent le logiciel Autodesk Fusion 360, en langue anglaise. Cependant, si vous utilisez le logiciel Autodesk Inventor avec le module complémentaire CAM-HSM, vous y retrouverez les mêmes fonctions (en français cette fois) et hiérarchies et pourrez suivre le propos du livre sans problème.

Quels types de réalisations sont envisageables ?

L'objet de cet ouvrage est de vous permettre d'usiner des pièces déjà modélisées en 2D (à plat) ou en 3D (en volume). Vous pourrez réaliser des pièces en métal (inox, aluminium, acier, etc.), en bois (contreplaqué, mdf, massif, etc.) ou en plastique (POM-C, Drelin, mousses haute densité, etc.).

Vous pouvez vous lancer avec cet ouvrage dans la réalisation de pièces mécaniques ; voici un exemple de pièce 2D. Comme elle est en deux dimensions, toutes les découpes sont plates et ne nécessitent de bouger que deux axes simultanément. Une pièce en trois dimensions présenterait des formes de type « montagne », dont les découpes nécessiteraient de bouger les trois axes (X, Y et Z) de la machine en même temps. Il s'agit ici d'une flèche pour une caisse à savon, usinée dans de l'aluminium à l'aide du mode 2D de Fusion 360/HSM.



Voici un exemple de pièce 2D en bois. On s'est ici servi d'un modèle 3D (forme finale), que l'on a passé dans un *slicer*, logiciel permettant de transformer une forme 3D en lamelles 2D empilées les unes sur les autres ou, comme ici, emboîtées les unes dans les autres. Les lamelles ont ensuite été usinées dans du contreplaqué par une fraiseuse à commande numérique bois (plus grande, moins puissante et moins précise qu'une fraiseuse métal) à l'aide du seul mode 2D de Fusion 360/HSM. Enfin, les morceaux de bois plats (2D) ont été assemblés pour reconstituer la forme d'origine en 3D.



Voici un exemple de pièce 3D réalisée dans du bois. Il s'agit d'un manche de guitare modélisé dans le module Patch de Fusion 360. On est parti d'un pavé en bois, que l'on a inséré dans une fraiseuse à commande numérique à plat trois axes (de type Shopbot), et on en a retiré de la matière avec des fraises (outils coupants, comparables au foret pour une perceuse) pour obtenir la forme ci-dessous. On parle ici de fraisage 3 axes car lors de l'usinage de la pièce, l'outil (la fraise) suivait la courbe du manche, il se déplaçait donc dans l'espace et non plus à plat. Techniquement, il se déplaçait simultanément suivant les axes X, Y (à plat) et Z (en hauteur).



Note technique

Au contraire de l'impression 3D, toutes les pièces dessinées en 3D ne sont pas usinables. Pour simplifier, imaginez qu'il n'est pas possible d'usiner, par exemple, une balle de tennis : comme elle est vide, comment ferions-nous rentrer l'outil à l'intérieur ?

Sécurité

Pour une meilleure assimilation des informations dispensées dans cet ouvrage, nous vous conseillons d'utiliser une machine d'usinage afin de mettre en pratique les chemins décrits ici. Une règle est indispensable et incontournable : la sécurité avant tout.

Vous allez évoluer dans un atelier. C'est par nature un endroit dangereux où l'on rencontre des outils coupants, des éléments en mouvement, en rotation, des objets lourds. Protégez-vous ! Un projet important, ou des échéances à respecter ne seront jamais plus impératifs que de se placer en sécurité.

Dans la plupart des ateliers d'usinage professionnels, les opérateurs ont reçu une formation leur permettant d'appréhender les dangers au sein d'un tel environnement. Ils sont entraînés, suivent des méthodologies et sont équipés de protections individuelles. Même si les machines à commande numérique disposent de carénages de protection, cela ne dispense pas de porter votre propre protection individuelle.

Quelques cas typiques d'incidents :

- Des copeaux coupants volent au-delà de la protection machine et vous atteignent.
- Vous vous coupez sur des copeaux tombés au sol parce que vous ne portez pas de chaussures fermées adaptés.
- Lors de manipulations au sein de l'environnement d'usinage, des éléments de la machine se mettent en mouvement.
- Quelqu'un vous distrait et une mauvaise manipulation survient.
- L'usinage provoquant de l'échauffement, vous vous brûlez en manipulant une pièce tout juste usinée.
- Une pièce est mal serrée dans la machine et s'envole au moment de l'usinage.

Quelques recommandations

Il est important de suivre quelques règles simples de sécurité quand vous vous trouvez dans un atelier, que ce soit pour y travailler ou en tant que simple visiteur.

- Sachez où sont vos mains à tout moment.
- Soyez toujours conscient de ce qui risque d'arriver si votre main glisse. Par exemple, lorsque vous serrez un boulon, pensez à ce qui se passerait si la clé