

# **USINAGE À COMMANDE NUMÉRIQUE**

**Du dessin 3D à la pièce physique  
avec Fusion 360**



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

<p>Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements</p>	<p>d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.</p> <p>Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).</p>
--	--



**DANGER**  
LE PHOTOCOPIAGE  
TUE LE LIVRE

© Dunod, 2019

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-079095-1

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> 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

<b>Introduction</b>	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
<b>Chapitre 1 ■ Configuration et création de l'usinage</b>	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 palpage	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
<b>Chapitre 2 ■ Outils</b>	<b>71</b>
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	<b>Outils coupants de fraisage</b>	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
<b>Chapitre 3</b>	<b>■ Fraisage et perçage</b>	<b>105</b>
3.1	<b>Fraisage – Stratégies d'usinage 2D</b>	<b>105</b>
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
<b>3.2 Fraisage – Stratégies d’usinage 3D</b>	<b>126</b>
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
<b>3.3 Perçage (Drilling)</b>	<b>141</b>
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
<b>3.4 Fraisage multi-axes (Multi-Axis)</b>	<b>150</b>
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
<b>Chapitre 4 ■ Paramétrage de l'usinage</b>	<b>153</b>
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
<b>Chapitre 5 ■ Conclure un parcours d'usinage</b>	<b>243</b>
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
<b>Index</b>	<b>255</b>

# 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.

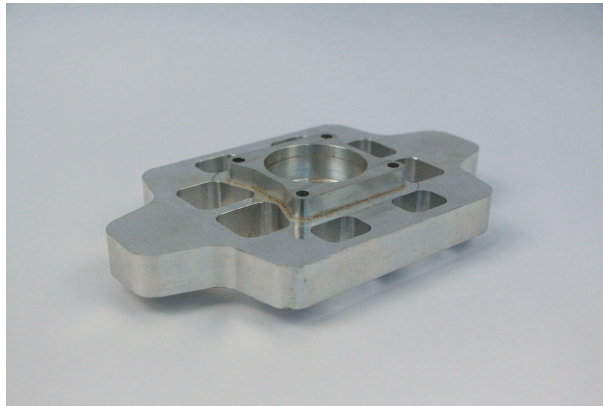
La plus grande partie de cet ouvrage concerne l'usinage CNC et toutes les opérations pourront être simulées sur Fusion 360. La mise en pratique sur une fraiseuse à commande numérique représente un certain avantage pour l'assimilation des informations, mais une machine trois axes suffira pour appréhender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

glissait. Votre main ou votre bras heurteraient-ils un outil ? Un tas de copeaux coupants ?

- Soyez toujours conscient de ce qui pourrait arriver si vous glissiez. Tomberiez-vous sur un outil tranchant ou un autre danger ?
- Aucune plaisanterie n'est autorisée dans l'atelier.
- Soyez concentré. Ne vous engagez pas dans une conversation bruyante ou inutile.
- N'interrompez pas quelqu'un qui travaille sur la machine. Cela pourrait l'amener à se tromper.
- N'empruntez jamais d'outils d'une boîte à outils privée sans en avoir préalablement informé le propriétaire. S'il refuse de vous les prêter, acceptez-le de bonne grâce.
- Respectez les machinistes professionnels. Vous pouvez apprendre beaucoup d'eux.
- Ne faites pas de demandes déraisonnables (comme : « Il me faut cette pièce immédiatement ! »).
- Nettoyez votre machine et laissez la zone environnante au moins aussi propre que vous l'avez trouvée.
- Remplacez toujours les outils et l'équipement à l'endroit où vous les avez pris.
- Attachez vos cheveux et ne portez pas d'écharpe, de bijoux ou de vêtements munis de cordons (ex : cordons de capuche). Si ceux-là se prenaient dans un moteur ou outil tournant, votre tête se retrouverait tirée vers l'outil coupant.

## Protéger la machine

Dans le cadre d'un usinage métal, vous travaillez avec une machine en acier, elle-même capable d'usiner de l'acier. Vous êtes donc dans une situation où, en cas d'erreur, vous pourriez demander à la machine de s'usiner elle-même (cela peut arriver si vous entrez des valeurs fausses dans la machine, tous les cas de figures ne sont pas sécurisés). Les machines-outils à commande numérique peuvent être particulièrement onéreuses, et les pannes très gênantes pour un atelier de production (temps de machine cassée = pas de production = pas de revenus).

Les erreurs qui mènent à casser une machine peuvent venir de la façon dont vous y avez saisi les informations (longueurs ou numéros d'outils), dont vous avez assemblé des éléments mécaniques (position des brides, serrage de brut), ou encore dont vous avez généré le programme avec Fusion 360/HSM (type de post-production, position de l'origine...).

Nous ne pouvons ici vous éviter que le dernier type d'erreur, mais nous décrivons des méthodes pour vous garder, vous et votre machine, le plus en sécurité possible. En ce sens, nous avons introduit des mises en garde à certains points des



chapitres pour vous rappeler que, quoi que vous fassiez, il faut faire attention si vous tenez à vos équipements. Voici un premier conseil à suivre :

### Remarque

Les machines industrielles possèdent des potentiomètres qui permettent de régler la vitesse de la machine (pour qu'elle aille moins vite que ce qui est décrit dans le programme). Lorsque vous testez un programme pour la première fois, le(s) potentiomètre(s) doi(ven)t être à 0 %, puis à 5 %, etc. Mais vous devez rester proche de 0 % quand la fraise commence à approcher de la matière ou de la table. Ainsi, si vous vous êtes trompé par exemple dans les profondeurs de passe (épaisseur de matière enlevée à chaque passage), vous pouvez le voir et arrêter le programme tout de suite.

Si vous travaillez sur une machine de MakerSpace, sans potentiomètre, gardez la main au-dessus du bouton d'arrêt d'urgence de la machine durant tout le début et à chaque changement de phase (passage d'une fonction à une autre, par exemple d'un contournage à un surfaçage).

## Autodesk Fusion 360

### Comprendre les projets

Vous pouvez ouvrir votre projet dans Autodesk 360 pour gérer davantage les fichiers et les membres du projet.

Le logiciel Autodesk Fusion 360 utilise des projets pour gérer et organiser les données. Au niveau supérieur, vous pouvez sélectionner Nouveau projet pour en créer un, puis y ajouter des dossiers. Comme pour les dossiers, chaque projet ne contient que des données qui lui sont spécifiques. Quand vous en créez un, vous en êtes le propriétaire, l'administrateur et le modérateur.

Les projets incluent des autorisations qui limitent l'accès aux données et leur utilisation.

Les projets peuvent être utilisés pour la communication et la collaboration. Dans le vôtre, vous pouvez poster des commentaires, utiliser un calendrier partagé, publier des documents sur un wiki spécifique au projet et générer des sondages pour recueillir les commentaires de ses membres.

### Comprendre les formats de fichier

Pour une image, vous pouvez exporter/ouvrir un JPEG, un BMP, un GIF, un AI, un PSD, etc. Il en est de même pour les fichiers 3D, chaque format ayant ses propres attributs et informations.

Les fichiers 3D ne sont pas utilisés que pour de l'ingénierie. Ils peuvent contenir :

- la forme extérieure ;
- une couleur sur les surfaces ;

- une texture (= un JPEG par surface avec une « photo » de l'objet, comme une photo de bois) ;
- un mouvement (notamment pour les fichiers destinés au cinéma d'animation) ;
- une ambiance, c'est à dire un éclairage avec un réglage d'appareil photo virtuel ;
- une matière, dans le sens des propriétés mécaniques, pour une pièce.

Au même titre qu'il a fallu du temps au format d'image pour arriver à un semi-consensus sur le JPEG, il reste pour l'instant beaucoup de formats de fichiers encore sur le marché. Nous en listons ici quelques-uns pour que vous sachiez lesquels vous pouvez importer dans Fusion 360 lorsque quelqu'un vous fournit un fichier, et les formats que vous devriez éviter.

Lorsque vous modélisez, quel que soit le logiciel, vous obtenez un historique de construction, une *Timeline*, qui vous rappelle les opérations effectuées pour arriver à la forme finale modélisée. Cette *Timeline* vous permet de revenir en arrière, modifier une opération, et laisser le logiciel recalculer le reste de la modélisation (ex. : modifier le diamètre d'un trou). Quel que soit le format choisi, vous perdrez cet historique lors d'un export, au même titre que des lignes dessinées sous Adobe Photoshop ne sont plus modifiables après un export en JPEG car c'est devenu des pixels. Autant que possible, essayez donc de garder le fichier dans sa forme native en travaillant sur le même logiciel. Si ce n'est pas possible, voici les formats de fichier qui permettent de passer d'un logiciel à un autre :

## ■ Le .stl

Il s'agit d'un format datant des années 1980, au début des échanges de fichier 3D avec les imprimantes 3D. Il est donc très répandu et... à éviter.

Ce format est l'équivalent du Bitmap en image. Il transforme la forme 3D qui a été dessinée en une multitude de triangles. Que vous dessiniez un rond, un carré ou une ellipse, le format .stl transforme tout en triangles. Aussi, il est quasi impossible de retravailler le fichier *a posteriori* ; il faudrait pour cela reconstituer la face carrée à partir de ces triangles.

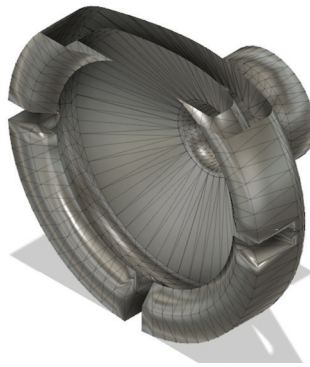
De plus, cela implique un fichier très volumineux. En effet, imaginez qu'il faut créer 200 ou 500 triangles, avec la position de chaque angle, à la place d'un carré. Le fichier devient donc lourd et difficile à échanger. Certains logiciels (comme Fusion 360 – 2019) ne fonctionnent qu'avec des fichiers de moins de 30 000 triangles. Il faut donc réduire le nombre de triangles avant d'importer (avec des outils comme MeshMixer, mais ce sera bientôt possible au sein même de Fusion 360), ce qui revient à « pixelliser » le fichier 3D : les triangles, moins nombreux, sont alors plus grands et le fichier présente plein de facettes qui se verront autant à l'impression qu'à l'usinage.

Enfin, par la nature du fichier (fichier « facette »), l'objet n'est que surface. Par défaut il s'agit d'une surface extérieure, vide. Les logiciels peuvent extrapoler si la surface extérieure est entièrement fermée (on dit *watertight*, ou étanche) ; ils consi-

dèrent alors que l'intérieur de la surface est plein, et que l'extérieur est vide. Mais cela implique qu'il n'est possible d'avoir, dans un .stl, qu'un seul objet par fichier. Si vous disposez d'un fichier avec deux pièces l'une à côté de l'autre, cela donnera deux fichiers, soit un .stl par pièce.

Le .stl est le format de sortie de la plupart des scanners 3D. Il est donc courant de le retrouver sur les banques de fichiers, ou chez des clients, en format natif .stl. Il n'est alors pas possible de demander l'export dans un autre format, mais nous verrons en fin de chapitre que Fusion accepte d'usiner une « peau », même sans matière.

En résumé, le .stl est un format exploitable mais peu pratique. Si vous avez la possibilité de l'éviter lors de vos échanges pour de l'usinage, faites-le et préférez-lui les .stp ou .igs (voir ci-après).



## ■ Le .obj

Le .obj est un fichier très proche du .stl. Il transforme l'objet 3D en surfaces extérieures en le « pixellisant ».

Il est cependant plus précis que le .stl. En effet, ce dernier transforme toutes les surfaces en triangles, alors que le .obj optimise en comprenant les formes (carrés, cercles, etc.). Le rendu reste cependant complexe à manipuler en *free-form* car la plupart des surfaces natives sont tout de même morcelées lors de l'export (si vous exportez un cube avec des chanfreins en .obj, vous aurez un objet à plusieurs centaines de surfaces, et aucun carré).

Comme avec le .stl, le fichier rendu est une peau, vide. Les logiciels doivent donc extrapoler pour savoir de quel côté de la peau est la matière. Cela implique aussi qu'il ne puisse y avoir qu'un seul objet par fichier.

## ■ Le .igs (IGES)

L'IGES est un format de fichier datant des années 1970, conçu par et pour l'US Air Force. Il a beaucoup évolué depuis et la plupart des logiciels de 3D le com-

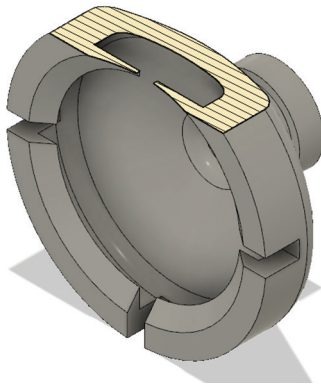
prennent. Il n'inclue aucune animation, ni texture ni lumière, et est donc plutôt axé sur les métiers de l'ingénierie.

L'IGES est un format de fichier volumique, ce qui implique que le fichier contient bien de la matière et non pas une simple peau vide à extrapoler, comme les .stl et .obj. Cela implique qu'il est possible d'avoir plusieurs objets dans un même fichier, ce qui vous sera utile par exemple pour exporter les pièces dans l'étau que vous avez modélisé, ou avec la table d'usinage et la position des brides.

L'IGES comprime le moins possible les formes. Un cube dessiné en 3D avec des chanfreins, exporté en IGES, restera un cube avec des chanfreins. Pas de conversion en triangles. Le fichier reste donc relativement petit en taille (quelques mégaoctets par fichier), et donc facile à échanger par serveur ou par e-mail.

Certains modes de calcul sont spécifiques aux fabricants de logiciels. Ce sont leurs « secrets », leur algorithme de modélisation. Cela est particulièrement vrai pour les courbes complexes (T-spline, courbes de Bézier), qui ne sont ni circulaires ni elliptiques. Dans ces cas particuliers, l'IGES modifie le dessin pour le transformer en morceaux de courbes successives, chaque morceau étant un arc de cercle (en simplifiant) compréhensible par tous les logiciels. Cela permet à l'IGES de passer des formes d'un logiciel à un autre. La perte de précision induite par cette normalisation est souvent négligeable.

En résumé, l'IGES est un excellent format de fichier pour de l'usinage, à privilégier dans vos échanges entre logiciels.

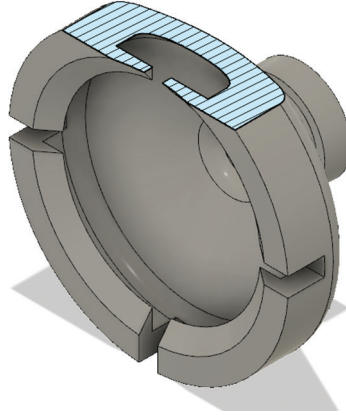


## ■ Le .stp (STEP)

Le format STEP est une variante du format IGES. Il est porté par l'association ISO (STEP = ISO10303) comme une tentative d'instaurer un format d'échange 3D universel.

Le format est aussi bien accepté que l'IGES par la plupart des logiciels, d'ailleurs ses caractéristiques techniques sont très analogues à celles de ce dernier. On y retrouve un volume fermé au lieu d'une peau, la possibilité d'avoir plusieurs objets dans un même fichier, une compression des formes réduite au minimum.

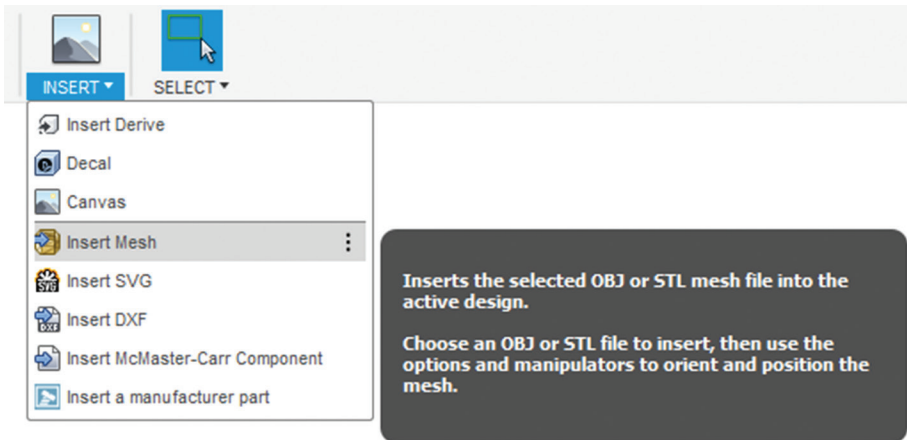
En résumé, pour de l'usinage, c'est un excellent format de fichier, à privilégier dans vos échanges entre logiciels.



## Importer des fichiers dans Fusion 360

### ■ .obj et .stl

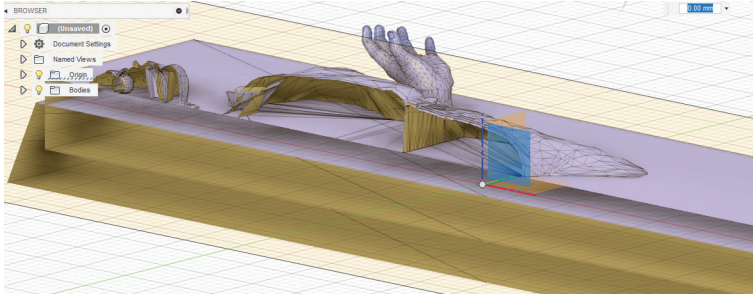
Pour importer un fichier .obj ou .stl dans Fusion 360, rendez-vous dans l'environnement MODEL, puis choisissez l'onglet INSERT et cliquez sur Insert Mesh.



#### Note

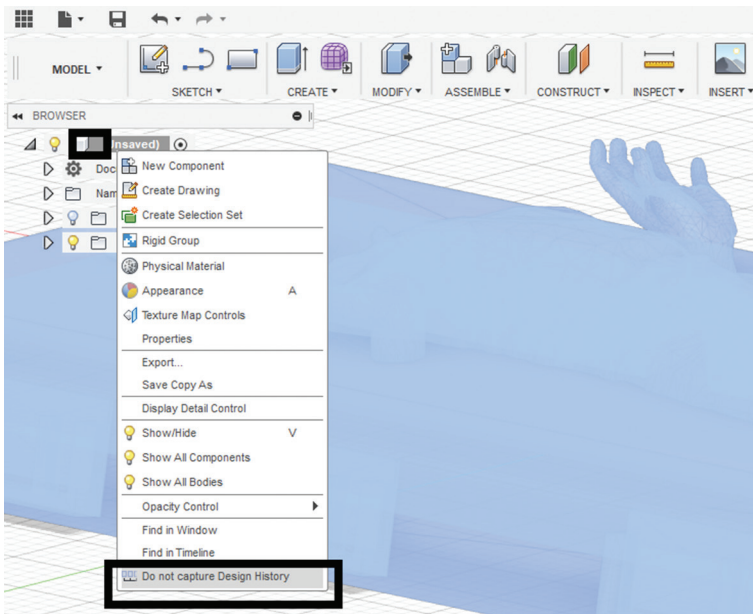
Lors de l'import, vérifiez bien le format dans lequel a été exporté le fichier. Nous vous conseillons d'utiliser l'outil Mesure et de mesurer une cote de l'objet importé pour vérifier sa taille avant d'aller plus loin.

Comme décrit ci-dessus, les fichiers .obj et .stl sont des « peaux vides ». En langage technique, on dit que ce sont des fichiers Mesh (voir l'exemple ci-dessous).



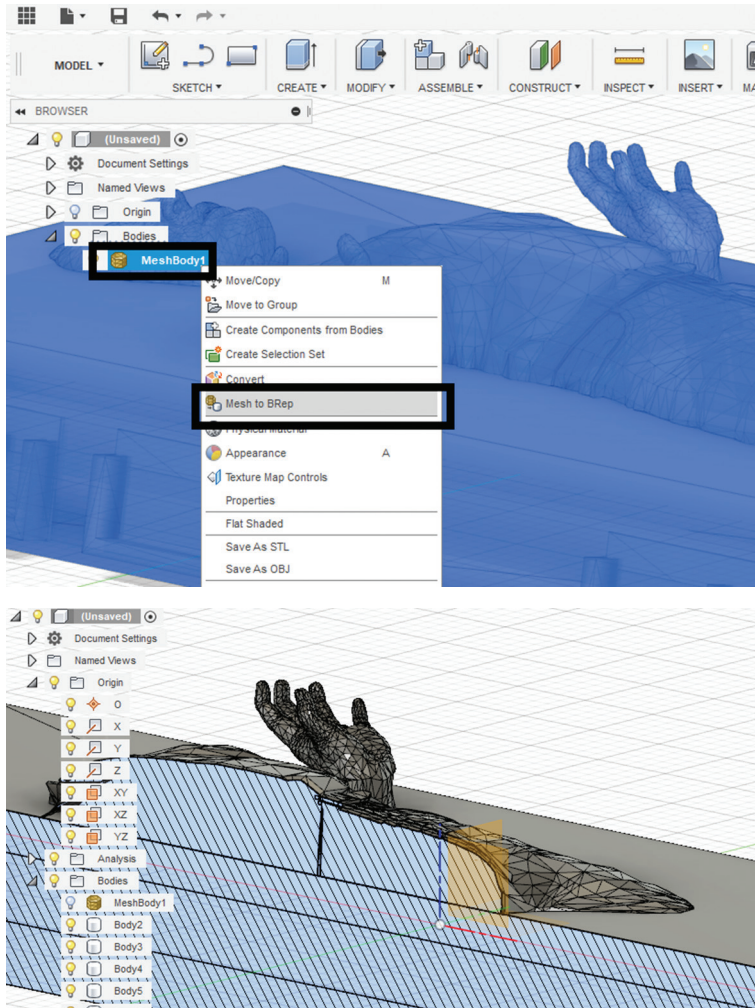
Fusion 360 et Autodesk HSM peuvent réussir à comprendre les peaux et à les usiner telles quelles. Lors du setup, il faudra bien indiquer le sens de la fraiseuse de manière pertinente. Définir les zones à éviter et les zones à travailler lors de la sélection des chemins d'usinage sera complexe. C'est pourquoi nous vous conseillons de préférer les fichiers natifs ou les fichiers volumiques (.igs et .stp) lors de vos échanges.

Si vous souhaitez transformer le fichier « peau » en fichier « plein » pour vous faciliter le travail (par exemple pour pouvoir ajouter un trou de perçage), la manipulation à faire est la suivante : dans l'environnement MODEL, faites un clic droit sur le browser et sélectionnez l'option Do not capture design history. Cela ordonne à Fusion 360 de ne plus enregistrer l'historique de vos actions et débloque certains menus, (correspondant à des calculs que Fusion ne saurait pas effectuer dans l'autre sens).



Un nouveau bouton apparaît si vous faites un clic droit sur Body Mesh. Vous pouvez alors lui demander transformer le Mesh (la peau vide) en BRep (un objet plein). Ce calcul peut prendre un peu de temps à votre ordinateur, et si le fichier

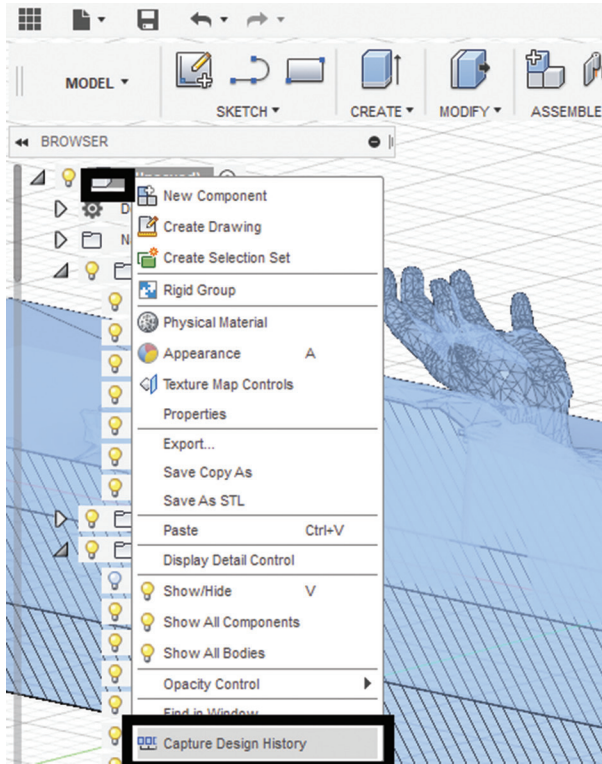
de base compte plus de 30 000 triangles, il est déconseillé de tenter la conversion. Dans ce cas, réduisez le nombre de triangles du fichier à 30 000 en passant par MeshMixer avant de l'importer dans Fusion 360.



### Note

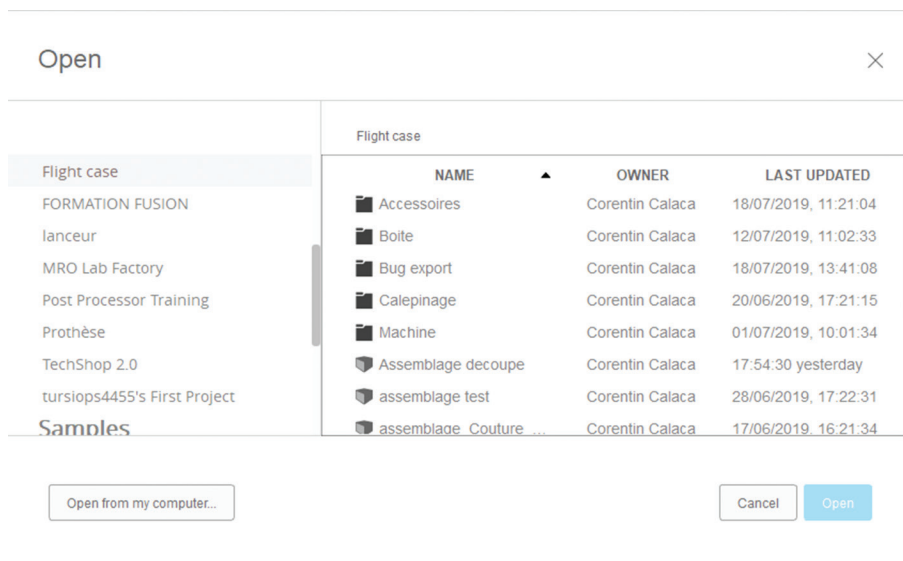
Si le rendu est un nouveau Mesh, vous pouvez tenter un Stitch dans l'environnement Patch. Cela soudera les surfaces qui ne se touchent pas tout à fait, pour refermer la peau et déterminer de quel côté est la matière. Mais cela révèle bien que nous n'avez pas reçu un fichier très approprié pour de l'usage.

Une fois l'opération effectuée, n'oubliez pas de réactiver l'option Capture Design History pour que Fusion 360 reprenne l'historique et vous permette de revenir en arrière si besoin.



## ■ .igs et .stp

Ces fichiers sont considérés comme des fichiers volumiques normaux. Ils s'ouvrent donc avec le menu File, option Open. Cliquez ensuite sur Open From My Computer.



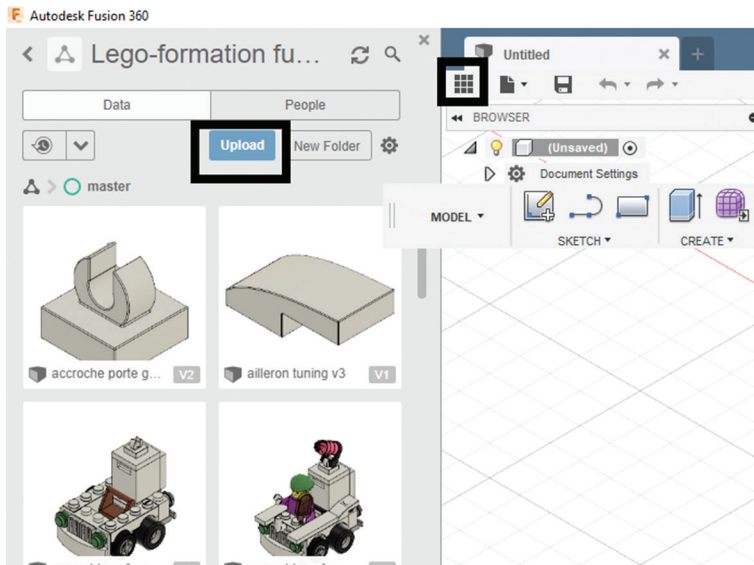


## ■ Fichiers natifs Catia, SolidWorks, Fusion, Inventor

Il est possible d'importer directement des fichiers natifs Catia, SolidWorks, Inventor, etc. La liste des fichiers acceptés est mise à jour régulièrement (.ipt, .iasm, .CATpart, .CATproduct, .3dm, .asm, .g, .f3d, .fbx...).

L'importation de ces fichiers passe par le cloud ; les serveurs Autodesk font l'import, la « traduction », et remettent dans votre dossier le fichier converti en 1 minute environ, associé à un rapport en PDF détaillant la conversion et précisant le cas échéant les problèmes rencontrés.

L'import ne se fait donc pas selon un schéma standard. Ouvrez le Data Panel à gauche de l'écran et cliquez sur un de vos dossiers, à l'endroit où vous voulez importer votre fichier. En haut de l'écran, choisissez Upload.



Choisissez les fichiers sur votre ordinateur, puis laissez Fusion 360 les convertir.

Pour travailler, privilégiez si possible les fichiers natifs (c'est-à-dire au format dans lequel ils ont été dessinés, par exemple le .iam pour Inventor ou .CATpart pour Catia). Cela réduit les pertes d'information et vous garantit le plus de chances d'obtenir exactement ce que votre client a dessiné.

## Free form sculpt ou la rectification de modèle 3D

Il vous arrivera d'avoir à usiner des pièces, des formes que vous n'avez pas modélisées vous-même. Éventuellement des formes téléchargées ou issues d'un autre logiciel. Fusion 360 – Model vous permet de modifier librement les formes d'un fichier importé, même sans avoir eu accès à l'historique, et de travailler les surfaces de vos volumes. Vous pouvez donc sélectionner un élément (par exemple un alé-