



LIVRE BLANC FORMLABS:

# Impression 3D en Joaillerie: Paramètres de Conception de Base, Supports et Orientation

Octobre 2017 | [formlabs.com](http://formlabs.com)

**formlabs** 

# Table des Matières

Introduction . . . . .	<b>3</b>
Mécaniques de l'impression. . . . .	<b>4</b>
Bases de la conception numérique pour l'impression et le moulage . . . . .	<b>6</b>
Orientation et supports . . . . .	<b>18</b>
Conclusion . . . . .	<b>23</b>

## Introduction

Afin de mieux comprendre les techniques et les paramètres de conception numérique pour l'impression 3D, il est important de comprendre comment fonctionne votre imprimante stéréolithographique de bureau Form 2. Parallèlement au processus de durcissement et de création des couches de résine avec un laser, ces couches subissent des forces de décollement pendant l'impression lorsque l'imprimante se réinitialise et prépare chaque couche suivante. Comprendre les forces impliquées lors de l'impression aide à la compréhension des paramètres de conception et de préparation de l'impression.

Cet article suppose une connaissance pratique d'un programme de modélisation CAO qui permet de convertir les fichiers au format STL ou OBJ. Nous avons utilisé Rhino5, mais les mêmes principes s'appliquent à tous les logiciels de CAO avec lesquels vous vous sentez à l'aise. Les modèles présentés en exemple ne prétendent pas avoir une valeur esthétique, ils servent surtout à démontrer les principes décrits.

Un autre processus technique, le moulage, influence également la façon dont le modèle est conçu. Savoir imprimer un modèle sur la Form 2 ne suffit pas à réussir le moulage.

# Aspects mécaniques de l'impression 3D

## PRÉSENTATION

Les pièces sont imprimées sur la plateforme de fabrication de la Form 2, par couches très minces successives. Après l'impression de chaque couche, la plateforme se réinitialise pour imprimer la couche suivante. PreForm est le logiciel de préparation à l'impression gratuit de Formlabs. Il vous permet de charger plusieurs fichiers 3D, puis d'orienter, de positionner et de prendre en charge vos fichiers de conception avant de les envoyer à l'imprimante. Ce n'est pas un outil de conception et il ne remplace pas un logiciel de CAO.

## PROCESSUS D'IMPRESSIION

La Form 2 utilise un laser pour durcir une couche de résine entre deux surfaces immergées dans le réservoir de résine par processus appelé durcissement. Le laser trace un chemin dans une couche de résine, déterminée par la section transversale de votre pièce à de nombreuses hauteurs différentes, et commence au « bas » de votre pièce tel qu'elle apparaît dans le logiciel PreForm. PreForm facilite ce processus en découpant votre pièce en couches déterminées par l'épaisseur que vous avez choisie. Pour des modèles de bijoux avec des détails fins, la hauteur de couche recommandée est de 25 microns. Plus la couche est mince, plus le nombre de couches générées par PreForm est important. Les détails sont plus fins mais la durée d'impression est plus longue.

L'écran de positionnement des pièces dans PreForm (Fig. 1) indique comment la pièce sera imprimée à partir du plan où elle est posée, et de bas en haut. La vue dans PreForm est inversée par rapport à la façon dont l'impression sera réalisée dans l'imprimante (Fig. 2). PreForm présente le bas de la plateforme de fabrication face vers le haut, alors que, dans l'imprimante, cette surface descend dans le bac à résine, et la pièce est imprimée de haut en bas.

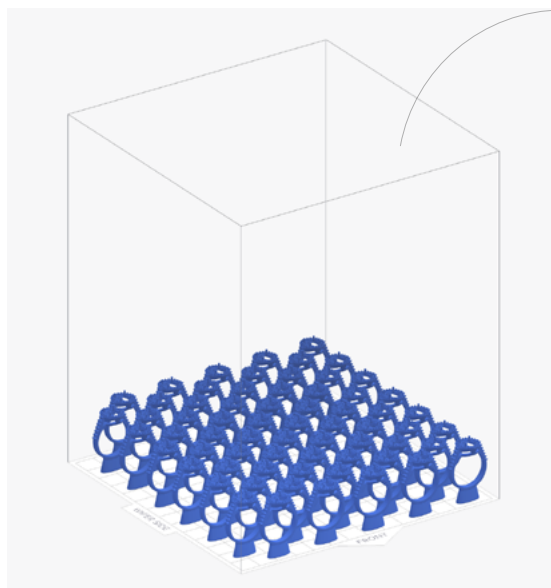


Fig. 1 : Affichage dans PreForm

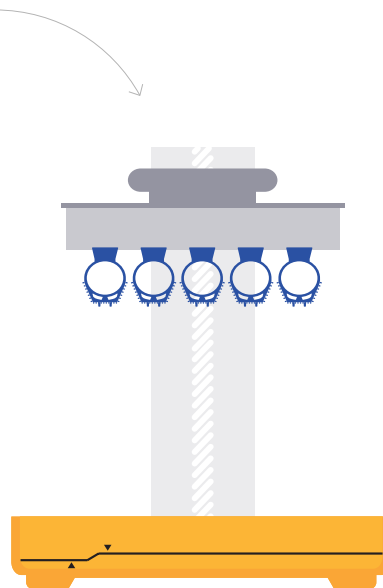


Fig. 2 : Orientation dans l'imprimante

Pendant le processus de durcissement au laser, la résine adhère fortement à la plateforme de fabrication et aux couches successives de résine, et adhère faiblement à la surface de silicone optiquement transparente du réservoir de résine. L'épaisseur de chaque couche est déterminée par la distance entre les deux surfaces. Par exemple, lorsque vous définissez une épaisseur de couche de 50 microns dans PreForm, l'appareil utilise cette épaisseur pour définir la distance entre les surfaces pour chaque couche suivante (Fig. 3.1).

Après durcissement de chaque couche, la plateforme et les couches imprimées doivent se décoller de la surface en silicone du bac à résine. Pour cela, le bac se déplace latéralement par rapport à la plateforme et doit vaincre les forces d'adhérence et d'aspiration retenant la couche de résine à la surface en silicone. Bien qu'elles soient nécessairement plus faibles que les forces qui maintiennent la pièce sur la plateforme, ces forces latérales, si elles ne sont pas compensées, peuvent provoquer une déformation ou une erreur d'impression de la pièce.

Le flux de résine dans le bac, généré par le mouvement latéral de décollement, est une autre force agissant sur la pièce. La plateforme s'élève au-dessus de la surface de la résine dans le bac pour permettre au racleur de dégager la zone de fabrication de tout débris ou particule pouvant interférer avec le durcissement de la couche suivante, et de faire circuler la résine dans le réservoir (Fig 3.2).

Les différentes résines utilisées pour l'impression sont d'abord durcies par un faisceau laser. Ce processus initial ne durcit pas complètement la résine. Les impressions sortant de l'appareil sont généralement qualifiées de « pièces brutes ».

Une fois l'impression terminée, la résine doit être entièrement polymérisée par une combinaison de chaleur et de lumière. Les résines standard, Grey, White et Black, peuvent être utilisés pour les modèles de présentation à l'état brut, sans durcissement supplémentaire. Les résines techniques, et en particulier la résine Castable, nécessitent un durcissement supplémentaire, car elles sont assez molles à l'état brut. Une pièce complètement photopolymérisée améliorera le procédé de moulage. Les pièces minces durcissent plus facilement que les pièces épaisses. L'avantage des pièces minces et légères est qu'elles opposent moins de masse au décollement.

Pour plus d'informations sur le processus de durcissement, voir notre [Livre Blanc « Cuisson UV et propriétés mécaniques des impressions 3D par stéréolithographie »](#).

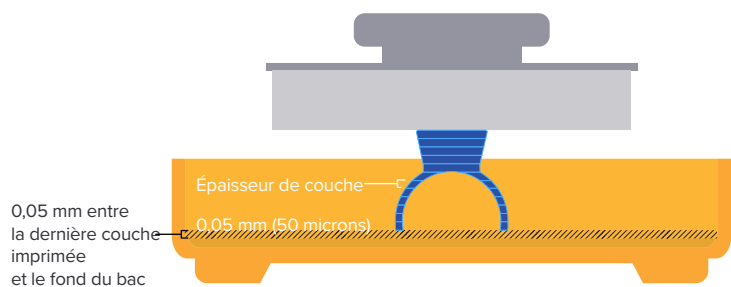


Fig. 3.1 : l'épaisseur de couche est agrandie pour distinguer les détails.

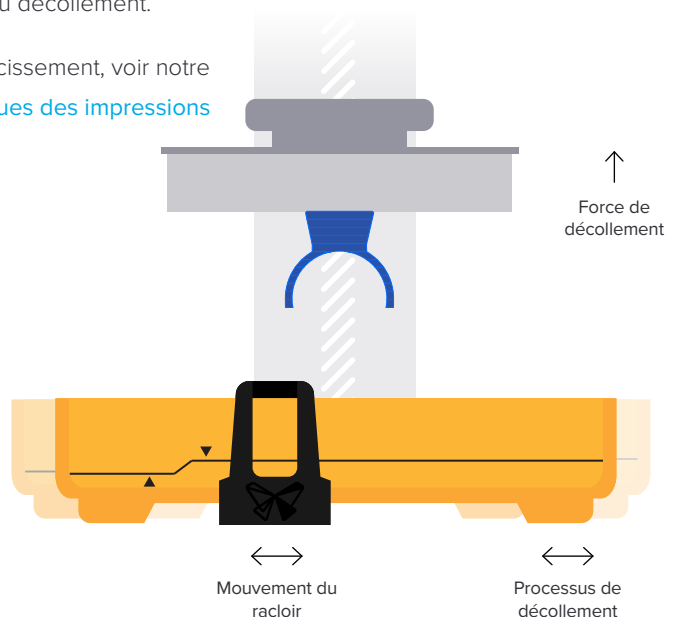


Fig. 3.2 : le bac se déplace horizontalement, la plateforme s'élève, le racleur se déplace horizontalement. L'épaisseur de couche est agrandie pour distinguer les détails.

# Bases de la conception numérique pour l'impression et le moulage

## PRÉSENTATION

Les concepteurs de bijoux cherchent à créer des modèles esthétiques, mais ils doivent aussi prendre en compte les paramètres de coût et des processus en accordant une attention particulière aux épaisseurs de paroi et au poids. Les bijoux sont généralement conçus de façon à réduire leur poids, vu le coût des matériaux (métaux précieux), et à augmenter leur résistance à l'usure, tout en gardant un volume rassurant. Ces contraintes de poids et d'épaisseur favorisent le succès des impressions et en réduisent la durée et la quantité de résine nécessaire. Le document Formlabs [des spécifications de conception donne des indications techniques utiles à ce sujet.](#)

Le processus de moulage a ses propres paramètres qui en conditionnent la réussite. Ils seront abordés dans cette section. ***Ce n'est pas parce que vous pouvez imprimer correctement une pièce que la fonte sera réussie.***

Cet article présente un large aperçu de quelques bases de la conception numérique pour l'impression et le moulage de bijoux, et n'abordera que les principes et explications de base. Les informations suivantes couvrent l'une des approches possibles des aspects techniques de la modélisation numérique et nous apprécierons vos retours sur les méthodes exposées, ainsi que vos propositions d'autres méthodes de modélisation de bijoux.

## POIDS ET ÉPAISSEUR DE PAROI

Il a déjà été signalé que des forces importantes s'exercent sur la pièce imprimée lors de sa fabrication couche par couche. Si une pièce est très lourde, elle nécessite plus de supports pendant l'impression qu'une pièce plus légère. Si une pièce est très légère, il faut considérer d'autres paramètres pour réussir l'impression et le moulage.

Lorsque vous concevez des pièces petites et légères, il faut bien respecter les épaisseurs minimales de paroi recommandées pour obtenir les meilleurs résultats. La bague sur la photo ci-dessous (Fig. 4.1 - 4.3) a été modélisée pour démontrer les résultats obtenus avec un même modèle et trois épaisseurs de paroi différentes : 0,3 mm, 0,5 mm et 0,75 mm.

Une épaisseur de paroi de 0,3 mm (Fig. 4.1) présente deux problèmes majeurs : les parois des impressions ne sont pas droites, mais nettement concaves. En effet, ces parois très minces subissent non seulement les forces de décollement et d'écoulement de la résine pendant le processus d'impression, mais également une légère contraction de la résine pendant le processus de polymérisation et de durcissement après impression.

Le moulage est incomplet d'un côté en raison de la faiblesse de l'épaisseur de la paroi. Si le moulage est refait plusieurs fois, la pièce peut éventuellement se remplir complètement, mais il n'y a aucun moyen de compenser la déformation de la pièce imprimée.

Avec une épaisseur de paroi de 0,5 mm (Fig. 4.2), nous observons un remplissage complet et fiable, mais une certaine déformation et concavité des parois latérales. Nous avons utilisé une lime pour couper le long de la surface et montrer que la surface est effectivement concave. Il serait possible de continuer à limer pour rendre cette surface parfaitement lisse, mais les parois seraient alors beaucoup trop minces pour résister à l'usure, lorsque la bague sera portée par le client.

Une épaisseur de paroi de 0,75 mm (Fig. 4.3) fonctionne bien à cette échelle, et sa déformation est faible. Les mêmes coupes multiples avec une lime sur la surface montrent des dépressions de surface très mineures, qui peuvent facilement être limées à plat sans perdre beaucoup d'épaisseur de paroi. Cette bague est structurellement résistante et résistera à l'usure quotidienne.



Fig. 4.1 : Section centrale creuse modélisée avec une épaisseur de paroi de 0,3 mm. Notez la déformation des surfaces et un remplissage incomplet.

Fig. 4.2 : Section centrale creuse modélisée avec une épaisseur de paroi de 0,5 mm. Limer à plat la surface montre une différence de concavité au centre de la paroi.

Fig. 4.3 : Section centrale creuse modélisée avec une épaisseur de paroi de 0,75 mm. Limer à plat la surface montre qu'elle est bien plane.

Les pièces plus grandes doivent être conçues pour présenter un poids qui facilite l'impression et la fabrication. Si une pièce est trop lourde, elle nécessitera un réseau de supports plus dense pendant l'impression, afin qu'elle ne se détache pas de ses supports pendant le processus de décollage.

D'un point de vue pratique, les pièces lourdes augmentent les coûts de matériaux, à la fois la quantité de métal moulé final et de résine pour l'impression. Elles sont aussi lourdes à porter et peuvent incommoder le client. Si une pièce est trop légère, elle risque d'être déformée par les forces de décollage et de durcissement. Une pièce trop légère peut ne pas convenir au moulage parce que ses parois ou certains éléments sont trop fins pour se remplir correctement pendant le processus de coulée, comme dans le cas des pièces trop légères.

La pratique courante en fabrication manuelle de bijoux est de concevoir les grandes pièces comme des formes creuses, avec une épaisseur de paroi minimale qui maintient son intégrité structurelle et permettra un usage quotidien. Le bracelet de la photo présente une largeur de 18 mm et une épaisseur de paroi de 0,9 mm.

Trois versions sont présentées sur les deux pages suivantes (Fig: 5.1 - 5.3). La première (Fig. 5.1) est imprimée avec une surface continue tout autour, à l'exception d'un petit trou de 3,5 mm pour permettre le nettoyage interne avec de l'alcool isopropylique (IPA) et le remplissage du bracelet creux avec un produit de moulage.

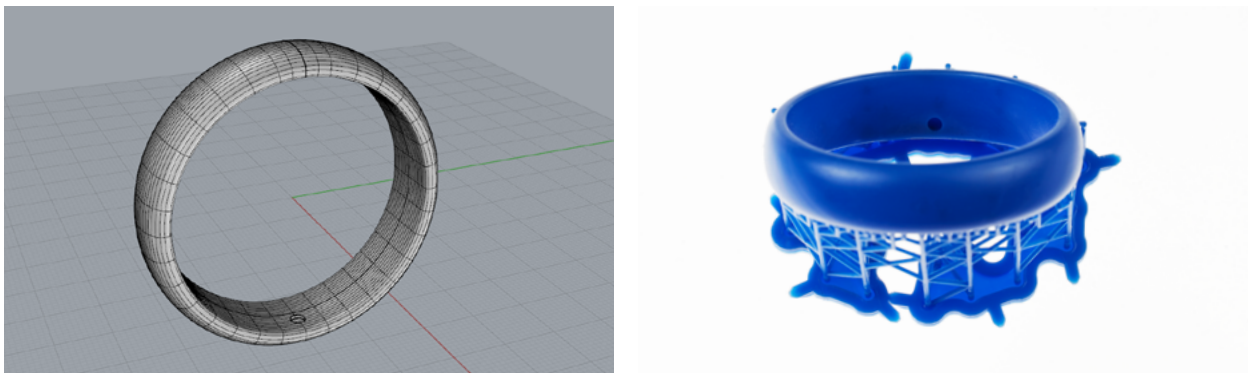


Fig. 5.1 : Modèle numérique et imprimé d'un bracelet creux, avec un petit trou pour le produit de moulage. Notez la structure de support nécessaire à la fabrication de cette pièce (voir Orientation et supports ci-dessous).

La surface produite par la Form 2 est lisse et uniforme, prête pour le soudage d'une petite plaque pour boucher le trou et pour l'opération de finition. Malheureusement, cette pièce ne peut pas être moulée.

#### Voici les principales raisons pour lesquelles toute tentative de mouler cette pièce échouera :

**Lavage et séchage :** il sera très difficile de laver et de durcir les surfaces internes de cette forme creuse, et la résine non durcie peut réagir avec le produit de moulage et provoquer une mauvaise coulée.

**Produit de moulage 1 :** il sera très difficile de remplir complètement l'intérieur du bracelet, et même s'il était complètement rempli, il serait tout aussi difficile de retirer le produit après coulée.



**Produit de moulage 2 :** lorsque la résine est brûlée, il y aura beaucoup de produit qui flottera à l'intérieur du bracelet, formant un noyau soutenu seulement par un cylindre de 3,5 mm de produit qui correspond au trou d'injection. Ce cylindre est trop petit pour supporter le noyau, surtout lorsque du métal fondu est coulé très rapidement dans le moule.

Dans la deuxième version (Fig. 5.2), des trous plus nombreux et plus larges sont ajoutés pour accéder à l'intérieur creux du bracelet. Ces trous peuvent être décoratifs et faire partie du design de la pièce.

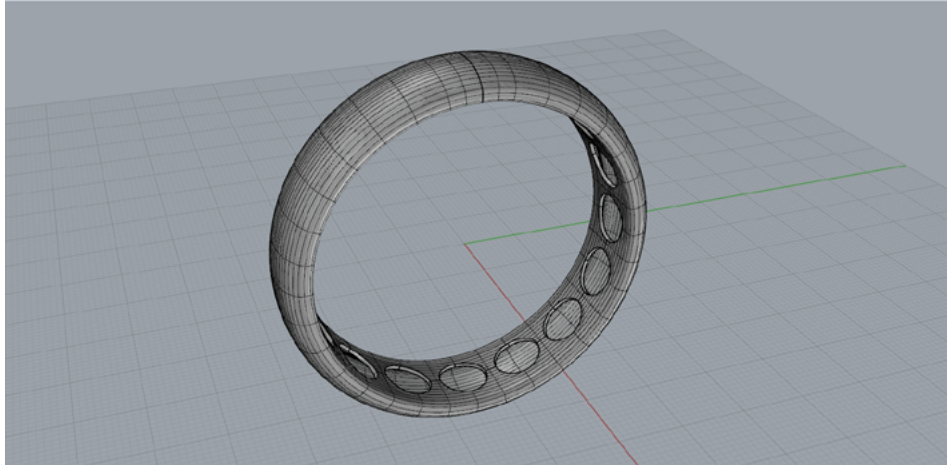


Fig. 5.2 : Modèle numérique de bracelet creux, avec plusieurs grandes ouvertures dans la surface interne pour faciliter l'introduction du produit de moulage et la coulée.

Dans la troisième version (Fig. 5.3), le bracelet est fabriqué en plusieurs parties. Cette approche est utile pour fermer toutes les surfaces, ou si vous voulez créer un orifice décoratif à l'intérieur d'un bracelet en une seule pièce, dont les trous pour le produit de moulage et la coulée sont trop petits. La construction de supports et de clés dans le modèle simplifie grandement l'assemblage.

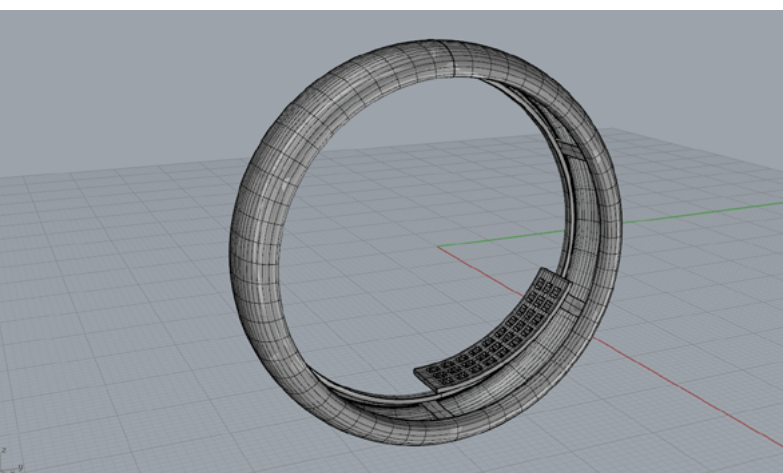


Fig. 5.3 : Modèle numérique et imprimé d'un bracelet creux avec surface intérieure décorative. Cet exemple montre l'une des six surfaces intérieures, gravée avec filigrane, qui empêcherait le moulage complet si le bracelet était imprimé d'une seule pièce.

## PARAMÈTRES DE SERTISSAGE DE GRIFFES POUR DE PETITES PIERRES

La plupart des bijoux peuvent être décomposés en éléments distincts. Tous ces composants doivent pouvoir être compatibles avec l'impression, mais aussi le moulage. Si nous examinons des bijoux traditionnels avec pierres serties, nous constatons qu'ils sont composés d'une structure qui maintient ensemble des éléments distincts de sertissage. Un anneau comportant plusieurs sertissages peut être décomposé en plusieurs chatons et griffes. La bague ci-dessous (Fig. 6) est composée d'une pierre centrale de 8 mm et de pierres latérales de 2,5 mm. Pour ces pierres latérales de 2,5 mm, l'épaisseur du chaton est de 0,4 mm et le diamètre de la griffe de 0,7 mm. Bien que pour des pièces si petites, l'épaisseur du chaton puisse être imprimée à 0,3 mm, une paroi si mince peut poser problème au moulage. Si le moulage est réussi, sa finition pourrait réduire cette épaisseur et la paroi risquerait d'être trop mince. La pierre centrale de 8 mm présente des épaisseurs de chaton et de griffes proportionnellement plus grandes, d'1 mm, ce qui ne pose aucun problème à la fois pour l'impression et le moulage.

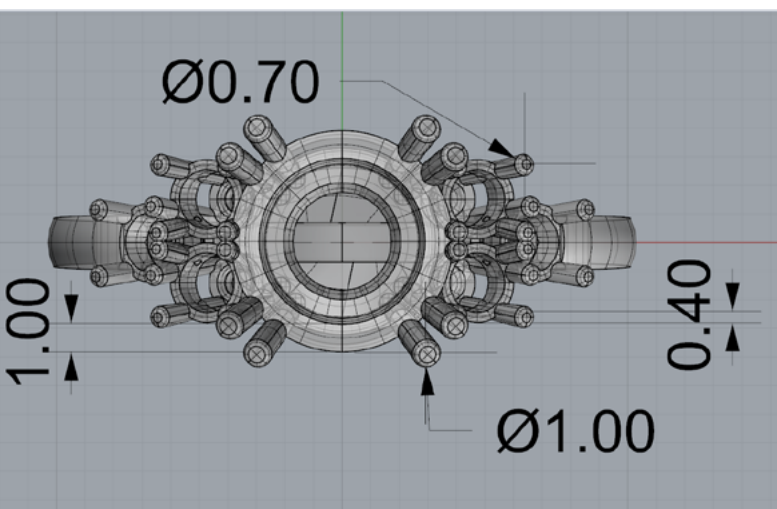


Fig. 6: Modèle numérique de bague, imprimée et moulée, avec pierre centrale de 8 mm et pierres latérales de 2,5 mm.

Lorsque des pierres plus petites sont placées à l'intérieur des parois, il faut considérer les épaisseurs de paroi de chaque côté des pierres et dans le diamètre des griffes. Dans ce type d'application structurelle et visuelle, l'épaisseur des parois doit être au minimum de 0,5 mm, avec des griffes d'au moins 0,5 mm.

Si vous créez votre modèle avec des parois et des griffes verticales, espacées de manière à remplir au maximum l'espace avec des pierres, alors pendant la procédure d'impression, la griffe peut fusionner avec la paroi latérale (Fig. 7.1). Même si cela ne se produit pas, il apparaîtra une rupture dans le produit de moulage et les griffes fusionneront avec le mur (Fig. 7.2 à 7.3).

**NOTES SUR LE MOULAGE ET LE PRODUIT DE MOULAGE :** la technique de fonte à la cire perdue (ou dans notre cas, à la résine perdue) repose sur l'enrobage de la pièce dans un matériau réfractaire, le produit de moulage, qui forme un moule de la pièce et permet au métal fondu de remplir la zone précise de la pièce après avoir enlevé cette pièce en la brûlant à haute température. Le produit de moulage est très dur, mais comme pour la plupart de ces matériaux très durs, il est également très fragile. La conception numérique pour le moulage à la cire perdue requiert la compréhension et la planification des espaces négatifs (produit de moulage) et des espaces positifs (résine ou métal).

Dans l'exemple ci-dessus, l'espace réduit entre la dent et la paroi ont un impact sur le produit de moulage. Après brûlage de la pièce en résine, cette très faible épaisseur de produit de moulage doit résister à la force du métal fondu injecté dans le moule à grande vitesse. Dans ce cas précis, il ne résistera pas.

Cela se traduit par deux résultats extrêmement importants :

- 1.) Le produit de moulage se casse et le métal s'installe librement entre la griffe et la paroi.
- 2.) De minuscules particules de produit flottent dans le mélange de métal fondu. Ces particules provoquent un vide et peuvent également apparaître dans le métal près de la surface. Rien n'est pire que des pièces avec des particules de produit de moulage.

Sur ces images, on voit la position des parois verticales et des griffes, ainsi qu'une très fine ligne de produit de moulage entre la griffe et la paroi.

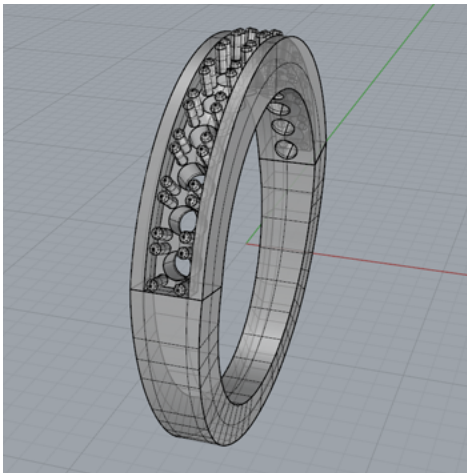


Fig. 7.1 : Modèle numérique de bague avec des parois droites de 0,5 mm et des griffes droites de 0,5 mm.

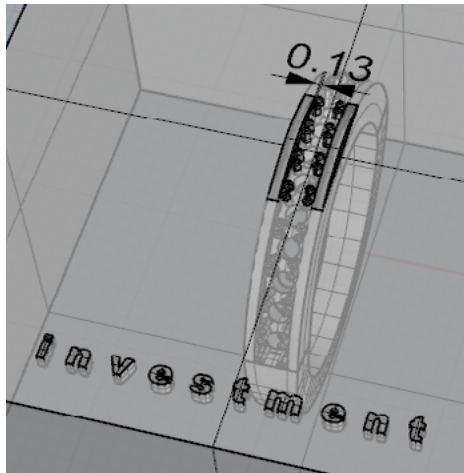


Fig. 7.2 : Bague conçue pour moulage à la cire perdue, avant brûlage du produit de moulage, montrant l'espacement entre les parois et les griffes.

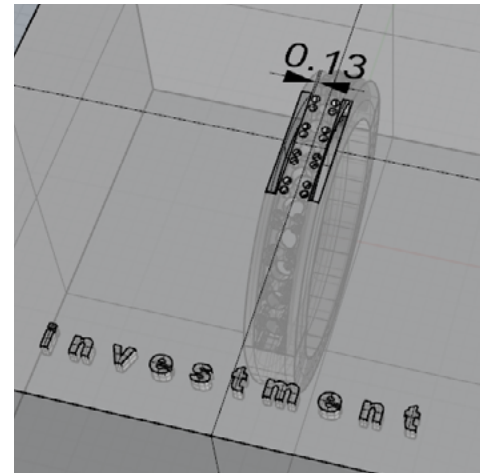


Fig. 7.3 : Produit de moulage après brûlage et avant injection du métal fondu, montrant les espaces négatifs entre la paroi et les griffes.

Une façon de résoudre ce problème consiste à augmenter l'angle de dépouille des parois latérales et des griffes (Fig. 7.4 à 7.6). La « dépouille » est l'angle d'inclinaison entre la base et le sommet d'une pièce effilée. Typiquement un angle de dépouille de 5 degrés est suffisant pour faciliter le démoulage sans être trop visible. Si la dépouille n'affecte pas trop le design de la pièce, elle est recommandée.

La dépouille renforce la pièce. Les bords sont visiblement plus fins et l'espace entre le haut de la paroi et la griffe est plus important, ce qui permet au produit de moulage de mieux supporter les forces de coulée du métal. Cet espace peut encore se fermer vers la base par l'apparition de déformations à l'impression ou au moulage, mais la partie haute sera mieux définie ce qui facilitera la fonte du métal.

Cet espace, qui n'existait auparavant que dans le fichier numérique parce qu'il était trop petit pour être moulé avant d'appliquer une dépouille, permet une fonte plus précise et fournit un guide pour le sertissage des pierres.

Bien que dépassant les objectifs de ce livre blanc, la dépouille appliquée aux détails d'un modèle améliore grandement la fabrication de moule et l'injection de cire perdue. Consultez notre article sur [la vulcanisation à partir de pièces imprimées en 3D](#) pour en savoir plus sur ces procédés.

En appliquant un angle de dépouille aux griffes, nous augmentons la ligne de produit de moulage entre les griffes et les parois pour améliorer la fonte du métal.

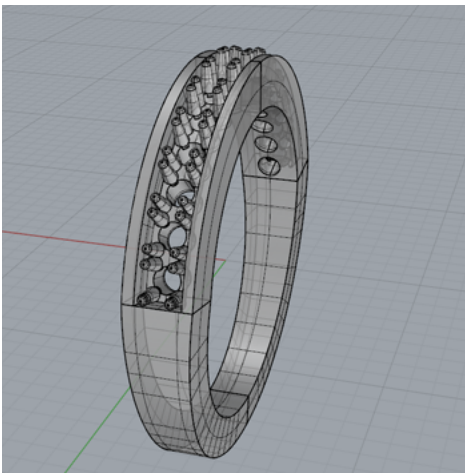


Fig. 7.4 : Modèle numérique de l'anneau précédent (Fig. 7.1) avec une dépouille de 5 degrés pour les parois latérales et les griffes.

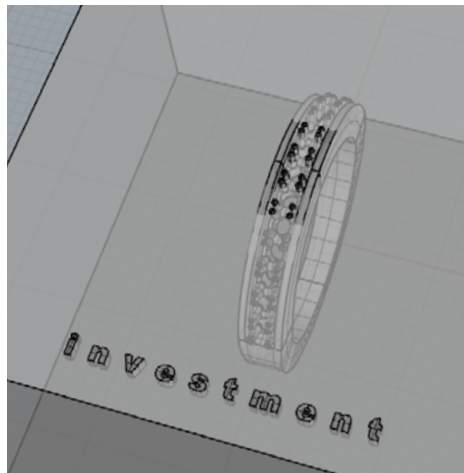


Fig. 7.5 : Comme dans la Fig. 7.2, la pièce revue avec un espace plus important entre la paroi et la griffe.

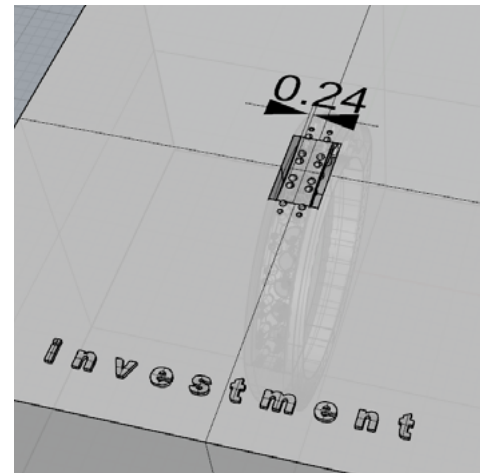


Fig. 7.6 : Comme dans la Fig. 7.3, après la révision de la pièce et brûlage du produit de moulage, on voit l'épaisseur accrue entre la paroi et la griffe.

## TROUS TRAVERSANTS

Les trous traversants doivent avoir un diamètre minimum de 0,5 mm, et ce diamètre exact pour des trous dans un matériau très mince. Il est possible d'obtenir des trous plus petits, mais les résultats peuvent ne pas être uniformes à la fois pour l'impression et le moulage. Dans l'anneau de la Fig. 8., un trou de 0.5 mm a été modélisé au centre du chaton de sertissage (un trou si petit n'est probablement pas nécessaire, mais c'est un bon exemple !). Un si petit trou dans un morceau de métal relativement épais risque de provoquer la rupture du produit de moulage et le trou sera bouché. Il est toujours possible de percer à nouveau un trou bouché, mais comme il a déjà été signalé, son apparition signifie que des particules de produit flottent dans le métal coulé et peuvent poser d'autres problèmes. Une solution simple consiste à marquer d'une sphère les deux extrémités du trou, ce qui servira de guide pour le perçage (Fig. 8.2).

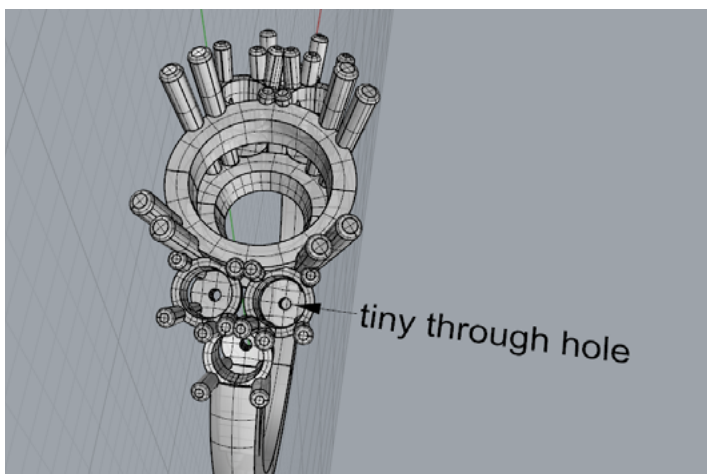


Fig. 8.1 : Modèle numérique d'un anneau avec trou traversant de 0,5 mm, susceptible de se remplir lors de la coulée du métal. Notez bien que cette taille de trou est uniquement donnée à titre d'illustration. S'il s'agissait d'un modèle « réel », il serait d'1,5 mm et ne poserait aucun problème lors de la coulée du métal. Texte dans l'image: petite perforation.

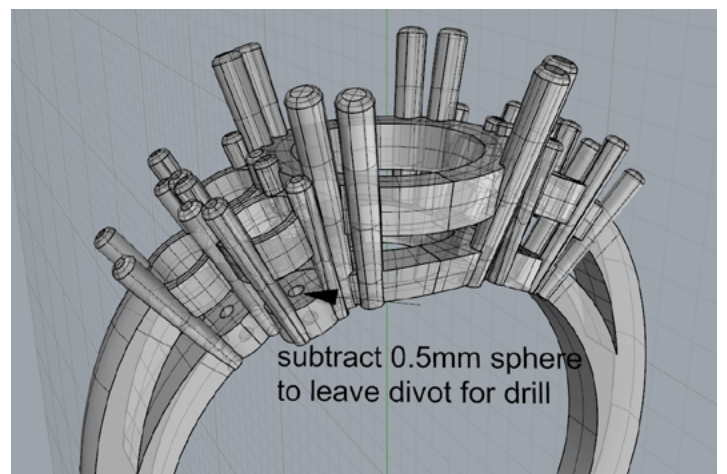


Fig. 8.2 : S'il faut des trous de petite taille, percez-les après que le métal ait été coulé. Générez un léger creux qui ne posera aucun problème au moulage et fournira un guide précis pour le perçage. Texte dans l'image: Soustraire une sphère de 0,5 mm pour le perçage.

Une autre solution pour imprimer et couler de petits trous traversants (Fig. 9.1) consiste à ajouter un ajour à l'arrière du trou (figure 9.2). Cela permet non seulement d'imprimer et de mouler, mais aussi d'économiser du poids et d'ajouter un élément décoratif.



Fig. 9.1 : Coulée du métal de l'anneau, laissant de petits trous circulaires à l'arrière des pierres.



Fig. 9.2 : Coulée du métal de l'anneau, modélisé avec des ajours rectangulaires derrière des pierres rondes pour améliorer le moulage et ajouter un effet visuel.

## ANGLES INTERNES

Comme nous l'avons vu précédemment, il est important de considérer les espaces négatifs pendant la conception, en particulier les angles internes qui génèrent des bords tranchants du produit de moulage, pouvant se briser pendant l'injection de métal. Prenez bien en compte le flux de métal dans le moule, et voyez comment rendre ce flux aussi régulier que possible. Les arêtes vives, les finitions rugueuses et même les bords tranchants ou en retrait des supports qui n'ont pas été bien enlevés, peuvent provoquer des turbulences dans le métal liquide. Dans le meilleur des cas, l'injection sera bonne. Dans le pire des cas, cette turbulence peut causer une porosité (imaginez l'effet de vagues qui arrivent). Dans la mesure du possible, atténuez le tranchant des bords internes (Fig. 10.1 - 10.2) et, si la conception le permet, des bords externes (Fig. 10.3 - 10.4). Passez du temps à la finition de la pièce imprimée, au lissage des surfaces et à l'élimination de toutes les déformations.

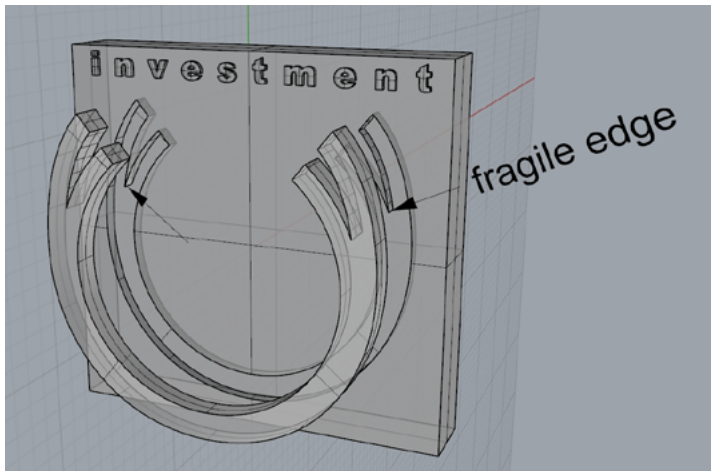


Fig. 10.1 : Angle aigu (espace négatif) dans le support de l'anneau, et risque de rupture du produit de moulage (espace positif) pendant la coulée du métal. Texte dans l'image: bord fragile.

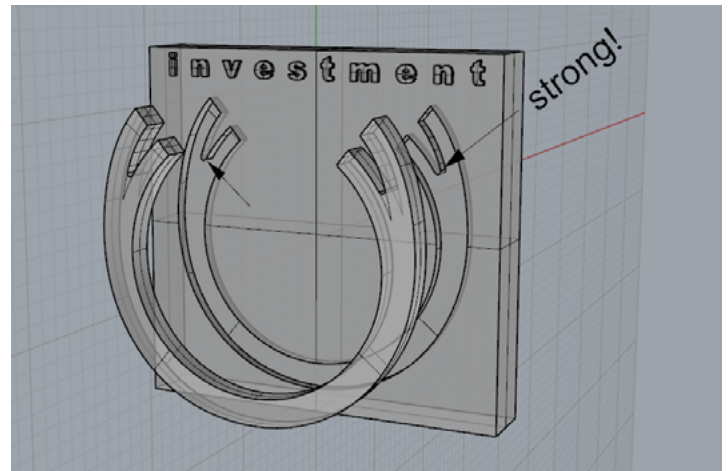


Fig. 10.2 : En arrondissant l'angle interne, l'espace positif du produit de moulage se renforce. Il est facile de redéfinir cet angle avec un burin après la coulée du métal. Texte dans l'image: bord solide.

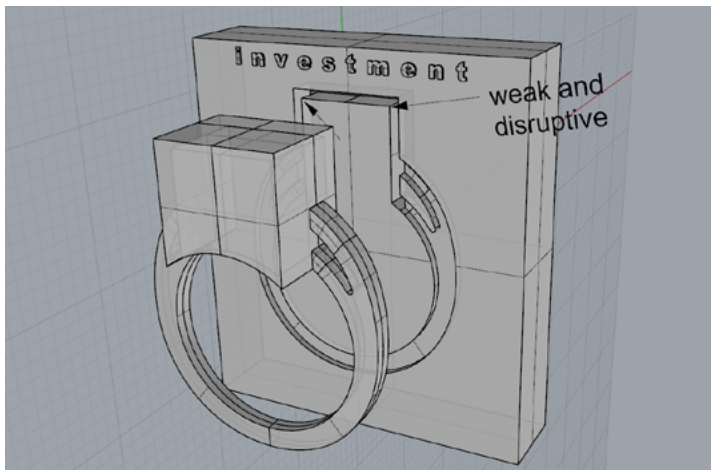


Fig. 10.3 : Les angles internes aigus dans cette forme creuse carrée provoquent des turbulences et présentent un risque de rupture du produit de moulage. Texte dans l'image: fragile et encombrant.

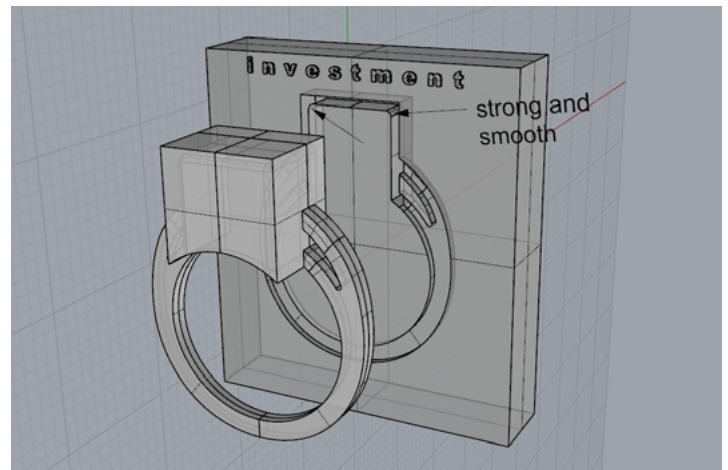


Fig. 10.4 : Arrondir les angles internes renforce les bords et facilite l'écoulement du métal fondu. Texte dans l'image: solide et lisse.

## DÉTAILS GRAVÉS

Tout le monde aime avoir des anneaux gravés sur la face interne ! Si les motifs et le texte sont assez grands, la gravure ne devrait pas poser de problèmes. En revanche, s'ils sont fins, la meilleure solution est de trouver un bon laser, une machine ou un graveur à la main. Les exemples des Fig. 11.1 à 11.4 montrent la lettre E dans diverses polices, du bloc au script. Un anneau porte les lettres gravées à une profondeur de 0,3 mm (Fig. 11.1), l'autre à une profondeur de 0,5 mm (Fig. 11.3). Comme pour les autres détails intégrés à la pièce et non à sa surface, ces espaces négatifs devront être créés avec le projet. La hauteur des plus petites lettres est de 1,5 mm, et les lettres les plus petites ont tendance à se trouver entre les deux profondeurs. C'est parce que le produit de moulage ne s'infiltre pas dans ces détails minces et complexes, mais aussi parce qu'on s'approche des limites de prise en compte des espaces négatifs par l'imprimante. Ces lettres les plus petites ressortent mieux à la profondeur de 0,3 mm, du fait que le produit de moulage étant plus court, il est plus solide. Lorsque le produit de moulage ne s'infiltre pas, les particules qui en résultent peuvent poser problème à la fonte. Pour les très petites gravures, faites-les faire et pour des lettres ou des motifs plus grands, réfléchissez à la façon dont ces détails seront imprimés et moulés.



Fig. 11.1 : Impression de la bague avec une profondeur de gravure de 0,3 mm.



Fig. 11.2 : Moulage avec une profondeur de gravure de 0,3 mm. Notez que, bien que le plus petit script E soit visible, il peut perdre sa définition à la finition et au polissage.



Fig. 11.3 : Impression de la bague avec une profondeur de gravure de 0,5 mm.



Fig. 11.4 : Moulage avec une profondeur de gravure de 0,5 mm. Notez que la plus petite lettre E a une meilleure définition et peut supporter la finition, mais sans certitude.

## MOTIF EN RELIEF

Lorsque vous ajoutez des détails fins à la surface, prenez bien en compte le processus de finition. Même le moulage le plus parfait sort avec une surface mate, et dans le cas des impressions avec résine, quelques déformations dues à la création de couches dans le processus d'impression.

Bien que la Form 2 donne une surface exceptionnellement lisse, ces couches microscopiques peuvent rester visibles au moulage. La surface d'une pièce coulée est généralement brunie puis polie (processus soustractif), pour terminer la finition. Le processus de polissage enlève du matériau et si les détails de la surface sont trop fins, ce détail sera amoindri et disparaîtra éventuellement au polissage.

Une solution simple et efficace est d'exagérer le relief. La Fig. 12 ci-dessous montre un « fil » de 0,3 mm de diamètre dans un anneau rainuré. Il disparaîtra ou sera diminué à la finition. En augmentant la profondeur de la rainure et la hauteur du « fil » tout en conservant la même largeur de 0,3 mm, l'effet désiré sera mieux respecté.

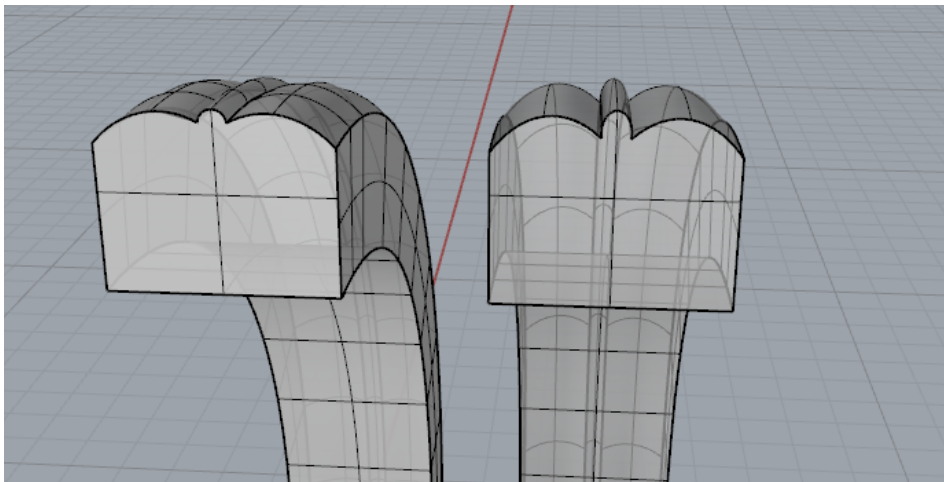


Fig. 12 : À gauche, image numérique du relief à la conception, et relief exagéré pour obtenir l'effet voulu après la finition.



## MODÈLES ÉTANCHES

Pour obtenir la meilleure impression possible, il est important de s'assurer que votre modèle numérique est « étanche », c'est-à-dire que toutes les surfaces de l'objet solide sont bien jointes. Vérifiez l'étanchéité des joints à l'aide de commandes d'analyse telles que « Afficher les arêtes » dans votre programme de CAO. La correction des modèles n'est pas toujours facile et dépasse le cadre de cet article.

Un autre détail important à noter est la différence entre les composants groupés et les composants booléens. Le regroupement rassemble un certain nombre de composants individuels et permet de les manipuler comme une seule pièce, tandis que le processus booléen crée un composant unique à partir d'un certain nombre de composants individuels. PreForm, le logiciel de préparation à l'impression sur la Form 2, est capable de corriger de nombreux problèmes, tels que des joints ouverts et les pièces groupées ou booléennes. Les pièces groupées et qui présentent des « fuites » (non étanches) seront parfois imprimées après avoir été corrigées par PreForm. Cependant, il arrive que PreForm ne puisse pas corriger toutes les erreurs dans le fichier et autorise malgré tout l'impression. La Fig. 13 présente la même pièce, l'une dans un fichier groupé avec des bords ouverts, et l'autre dans un fichier booléen et étanche. L'approche la plus fiable consiste à vérifier et à corriger vos modèles numériques avant de les envoyer à l'imprimante.



*Fig. 13 : La pièce du haut est le résultat de l'impression d'un fichier utilisant des composants groupés, sans avoir cherché à former un « solide étanche ». La pièce du bas est le résultat des mêmes composants assemblés correctement pour que l'ensemble forme un « solide étanche ».*

# Orientation et supports

## SUPPORTS

Comme expliqué précédemment, les pièces imprimées se construisent par superposition de couches successives de résine, polymérisée entre la plateforme de fabrication et le fond transparent du bac à résine. Les couches sont durcies à l'intérieur de la zone de fabrication en fonction de la géométrie du modèle. Les couches doivent être liées à la plateforme, sinon chaque couche durcie flottera simplement dans le bac.

Les supports vont de la surface de la plateforme à la pièce et l'y maintiennent fixée, afin que les couches progressives se superposent exactement les unes sur les autres, sans flotter. Le curseur, situé à droite de l'écran de PreForm, peut glisser vers le haut et vers le bas, pour examiner chaque couche individuellement.

Assurez-vous que chaque couche peut être tracée de la base aux extrémités de la pièce. Si une ligne ne peut pas être dessinée de haut en bas dans le cas de parties en surplomb, lorsque vous faites glisser l'outil de curseur, vous remarquerez peut-être l'apparition d'« îlots ». L'imprimante imprimera ces îlots de toute façon et des morceaux de résine durcie flotteront dans le bac, ce qui posera des problèmes ultérieurs. Une façon d'y remédier est de s'assurer que tous les îlots sont bien soutenus. De cette façon, vous pouvez dessiner une ligne depuis la base de la pièce, à travers le support imprimé et jusqu'à la pointe de votre pièce. Pour plus d'informations sur ce problème, consultez la section « Minima et îlots locaux » dans notre tutoriel [vidéo « Le rôle des supports »](#).

Il y a trois options pour soutenir votre pièce :

1. PreForm crée automatiquement une structure de support basée sur les paramètres sélectionnés pour la densité et la taille du point de contact.
2. PreForm crée automatiquement une structure de support et vous pouvez modifier l'emplacement, la taille et le nombre de points de contact avec le bouton « Modifier » sur l'écran. PreForm génère des points de contact aussi petits que 0,3 mm. Les points de petites tailles ont l'avantage de supporter de petits détails sans les masquer, mais elles offrent moins de soutien structurel.
3. Vous pouvez créer votre propre structure de support dans votre modèle. La structure des bijoux est de petite taille et légère et permet des supports simplifiés, comme dans certains des exemples montrés précédemment, avec seulement un grand support au bas de l'anneau lui-même.

L'élimination des supports supplémentaires facilite le nettoyage et permet une finition de surface plus propre, mais cela peut mener à une pièce insuffisamment soutenue. Expérimentez, essayez différentes configurations pour mieux connaître votre imprimante.

Mise en garde : quand les impressions échouent, elles laissent des résidus dans le bac à résine. La résine doit être filtrée et le bac nettoyé pour enlever ces résidus et pour éviter tout problème lors de la prochaine impression. [Consultez la documentation « Nettoyage du bac à résine » pour plus d'informations](#)). Après l'avoir fait plusieurs fois, le nettoyage est relativement rapide, alors ne l'utilisez pas comme prétexte pour ne pas faire plusieurs essais !



Fig. 14.1 : Erreur d'impression d'une bague avec tête sphérique avec l'orientation suggérée par PreForm.



Fig. 14.2 : Bague avec tête sphérique et ouverture face en haut (ou face en bas pour la fabrication afin de ne pas se remplir de résine). La surface en bas de la sphère présente une légère déformation.



Fig. 14.3 : Bague avec tête sphérique et supports et base générés par CAO. L'orientation qui a donné le meilleur résultat est « incorrecte » en raison du risque de remplissage de la sphère par la résine.

## EFFET DE L'ORIENTATION SUR L'IMPRESSON

Le succès de l'impression dépend de l'orientation des pièces lors de l'impression. Pour les pièces les plus simples, l'orientation est moins critique, mais à mesure que la complexité des pièces augmente, c'est l'orientation qui fait la différence. Rappelez-vous des forces qui agissent sur chaque couche lors d'une impression : le décollement et l'écoulement de la résine. Lorsqu'une pièce est visualisée dans PreForm, elle s'affiche au-dessus de la surface de la plateforme. Sur la Form 2, elle s'imprime à l'envers par rapport à l'image affichée dans PreForm.

Il faut prendre en compte deux contraintes principales. Premièrement, l'impression de grandes surfaces planes parallèles à la plateforme de fabrication soumet ces surfaces à des forces de décollement et d'écoulement importantes, qui nécessitent d'être bien soutenues pour réussir leur impression. La solution la plus simple consiste à incliner ces surfaces de sorte que seules certaines parties de la surface soient soumises à ces deux forces à la fois. Deuxièmement, des objets creux peuvent piéger la résine si l'ouverture de l'objet est orientée face au bac à résine. Si la partie creuse se ferme, de la résine peut être piégée à l'intérieur, déformant la surface finale et alourdissant la pièce au décollement et pendant l'écoulement de la résine. La solution la plus simple consiste à orienter votre pièce de façon à ce que l'ouverture de l'objet creux soit orientée vers le bas dans le bac à résine.

Les exemples suivants (Fig. 14.1 - 14.6) montrent différentes orientations de la même pièce, la plupart en dépit des règles. La bague à tête sphérique inclinée automatiquement dans PreForm (Fig. 14.1) a été la seule à échouer, mais pour l'anneau carré, l'inclinaison automatique de PreForm (Fig. 14.5) a donné les meilleurs résultats en précision et finition de surface. L'impression de l'anneau carré avec le sommet plat parallèle et proche de la surface de fabrication s'est faite de manière prévisible et a échoué (Fig. 14.4), et des résidus dus à cette erreur ont adhéré à la surface de la pièce. L'anneau carré avec support unique intégré au fichier (Fig. 14.6) s'imprime presque aussi bien que ce que suggère PreForm et serait plus facile à nettoyer. La chose la plus importante à apprendre de ces exemples est l'importance de l'expérimentation dans l'apprentissage de l'utilisation de votre imprimante.



Fig. 14.4 : Anneau carré à tête plane, parallèle à la plateforme de fabrication. La surface plane a échoué.

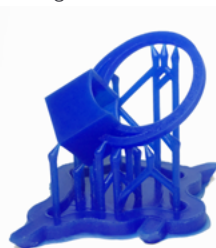


Fig. 14.5 : Anneau carré à tête plane, orienté automatiquement dans PreForm : meilleur résultat.



Fig. 14.6 : Anneau carré à tête plane, orienté contrairement aux règles : très bien imprimé, avec contenant fermé et ouverture vers le haut.

L'orientation de la pièce peut influencer le nombre de supports nécessaires. Utilisez le curseur de vue en coupe dans PreForm pour vous assurer que toutes les parties du modèle sont prises en compte. Dans ces premiers exemples (Fig. 15.1 à 15.3) où la bague a été inclinée et la densité de supports est faible, quatre des griffes non soutenues n'ont pas été imprimées. Le sertissage a été positionné intuitivement verticalement (Fig. 15.4), et vous constatez que le coin interne de la partie très mince du motif en forme de cœur est absent (Fig. 15.5 et 15.6). Lorsqu'un détail est si petit, il est pratiquement impossible d'ajouter un support, car le nettoyage ne pourrait jamais être réalisé proprement. Cela aurait pu être évité en utilisant l'outil vue en coupe. Une fois le sertissage retourné, de façon à ce que les points du motif en cœur soient soutenus par les couches précédentes, ce motif s'imprime parfaitement (Fig. 15.7).

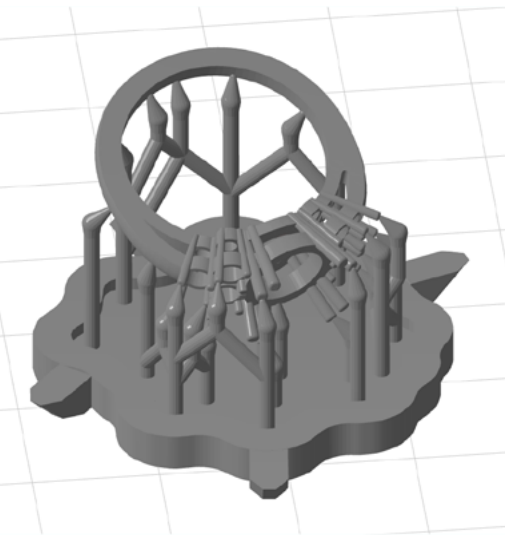


Fig. 15.1: Bague orientée avec une inclinaison.

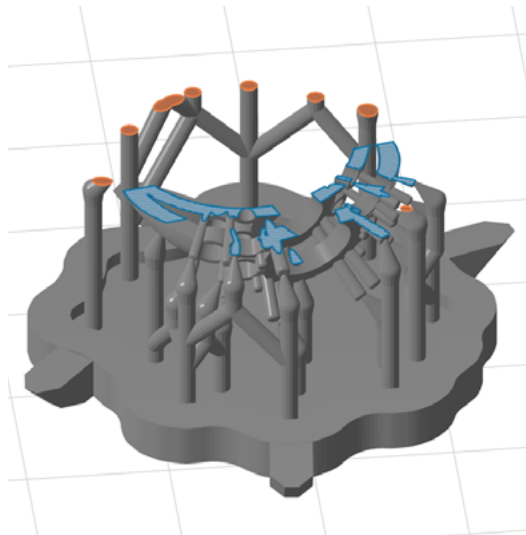


Fig. 15.2 : Utilisation du curseur de vue en coupe dans PreForm pour distinguer les îlots non soutenus qui vont flotter pendant l'impression.

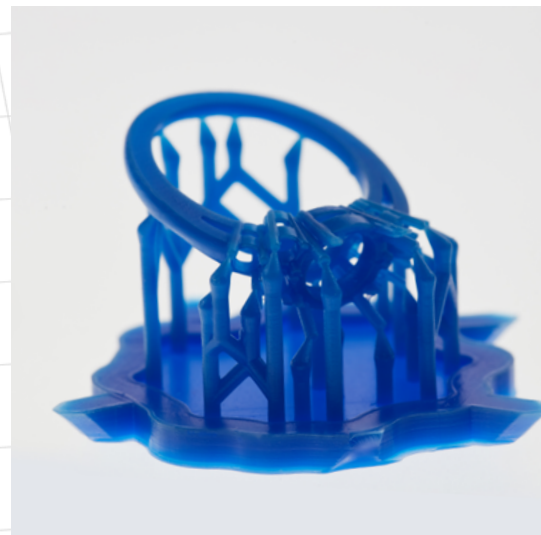


Fig. 15.3 : Bague imprimé, montrant la fabrication incomplète des grandes griffes supérieures en raison d'îlots non soutenus.

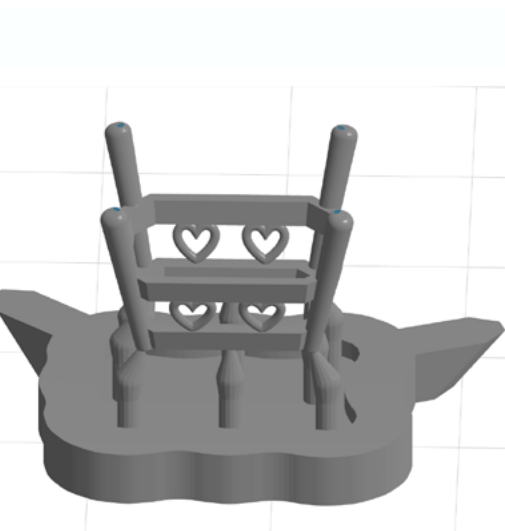


Fig. 15.4 : Sertissage d'une émeraude orientée verticalement.

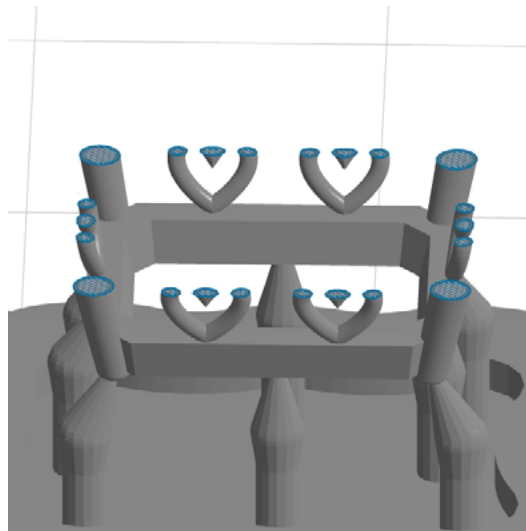


Fig. 15.5 : Utilisation du curseur pour voir que la partie interne du filigrane en forme de cœur ne sera pas bien imprimée.

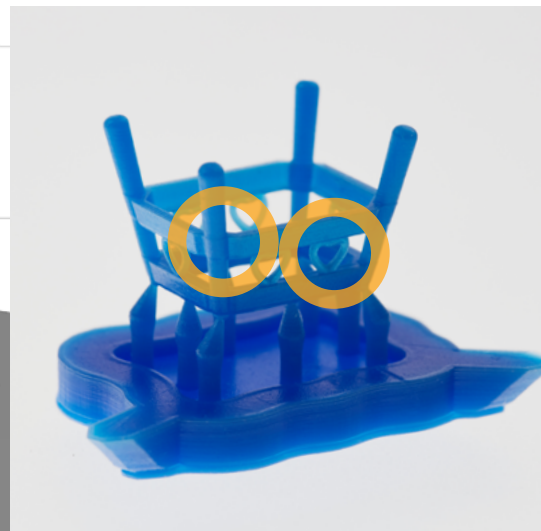


Figure 15.6: Impression du sertissage d'une émeraude montrant que les points internes des coeurs en filigrane ne s'impriment pas. Notez également que le rétrécissement se produit avant et après que les griffes se fixent au cadre supérieur.

Un autre problème peut se produire à l'impression dans cette orientation, lorsque les griffes de la pierre centrale sont fixées au chaton supérieur sur l'anneau et sur le sertissage. Lorsque la griffe n'est pas fixée au chaton, la résine se contracte parce qu'elle passe d'une partie relativement lourde à une partie beaucoup plus mince (Fig. 15.6 et 15.8).

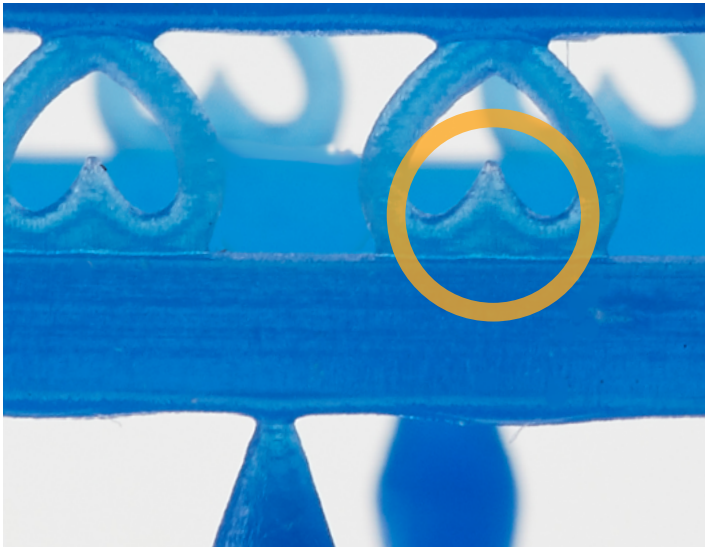


Fig. 15.7 : Le sertissage de la pierre à taille émeraude est inversé, de sorte que les motifs de filigrane internes sont soutenus par les couches précédentes.



Fig. 15.8 : Cette bague a été imprimée avec une orientation verticale et présente un rétrécissement des griffes avant fixation sur le chaton supérieur.

Une solution au problème de contraction de la résine lorsqu'elle passe d'une partie de faible épaisseur à une partie plus épaisse, consiste à orienter la pièce de manière à ce que le corps de la griffe se fabrique à l'endroit où elle touche le chaton supérieur (Fig 15.9 et 15.10).

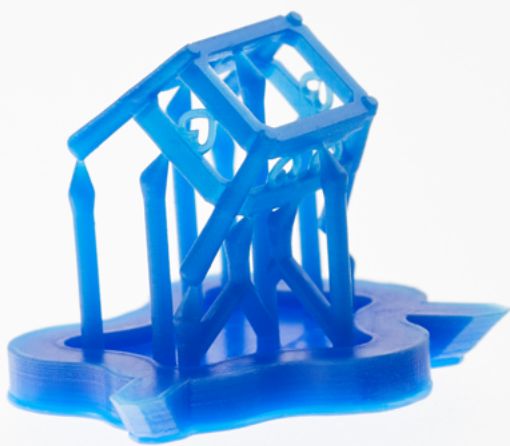


Fig. 15.9 : Sertissage d'une pierre taille émeraude orienté de manière à minimiser la différence d'épaisseur, ce qui améliore de manière significative le passage de la griffe dans le chaton.

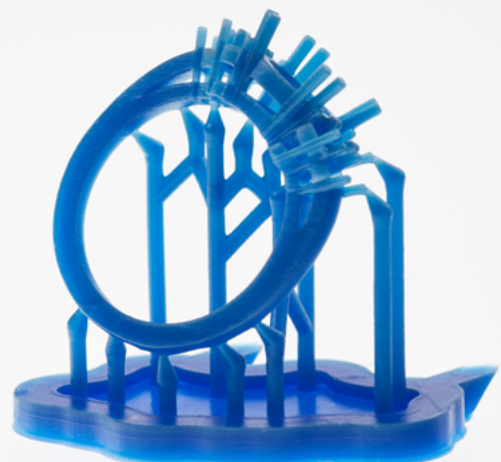


Fig. 15.9 : Bague orientée de manière à minimiser la transition d'épaisseur, ce qui améliore de manière significative le passage de la griffe dans le chaton.

## QUELQUES MOTS SUR LE PROCÉDÉ DE FONTE À MODÈLE PERDU

Nous avons déjà examiné certains des problèmes liés au moulage de pièces imprimées, mais d'autres éléments sont à considérer lorsque vous réalisez la fonte du métal ou la faites réaliser par un prestataire.

Où voulez-vous placer la carotte d'injection, ou encore mieux, où ne voulez-vous pas qu'elle soit ? La carotte doit être placée à l'endroit qui permet le meilleur écoulement de métal dans le moule, qui n'interfère pas avec les éléments de la conception et qui facilite le nettoyage de la pièce. Si vous ne savez pas où la placer, consultez votre prestataire et discutez avec lui.

Quel métal utilisez-vous ? L'or et l'argent ne posent pas de problèmes, mais le platine peut être difficile à couler même dans les meilleures conditions, et encore plus lorsqu'on utilise des résines. Dans ce cas, les prestataires en fonderie recommandent l'impression en résine dure, puis la fabrication d'un moule permettant l'emploi de cires (voir notre [Livre Blanc sur la vulcanisation](#)).

Même les meilleurs prestataires peuvent rencontrer des problèmes à la fonte. Si le modèle est extrêmement complexe, il est recommandé d'envoyer une impression supplémentaire juste au cas où le premier essai échoue.

