



LIVRE BLANC

# Le moulage par injection avec des moules imprimés en 3D

Une étude sur la production de faibles volumes de petites pièces en plastique

## Table des matières

Résumé .....	3
Production de petites séries à partir de moules imprimés en 3D .....	4
Méthode .....	5
Résultats avec Clear Resin .....	7
Essais complémentaires avec High Temp Resin .....	8
Traiter des problèmes courants .....	10
Instructions de conception .....	11
Résumé du procédé .....	11
Conclusion .....	12



*Sélection de pièces en PEBD produites par Galomb, Inc.*

## Résumé

Ce livre blanc décrit la production de petites pièces thermoplastiques moulées par injection. Les moules ont été réalisés avec une imprimante 3D SLA Formlabs et l'injection avec une [presse à injection Galomb modèle B100](#). Deux moules en Clear Resin ont été testés, l'un permettant de mouler le grand papillon et l'autre quatre papillons plus petits en une seule opération. Un troisième moule d'une coque de clé USB a été testé en High Temp Resin. Ces moules ont été imprimés en 3D par Formlabs et les pièces ont été fabriquées par Galomb Inc. et Formlabs, par injection de divers matériaux dans ces moules.

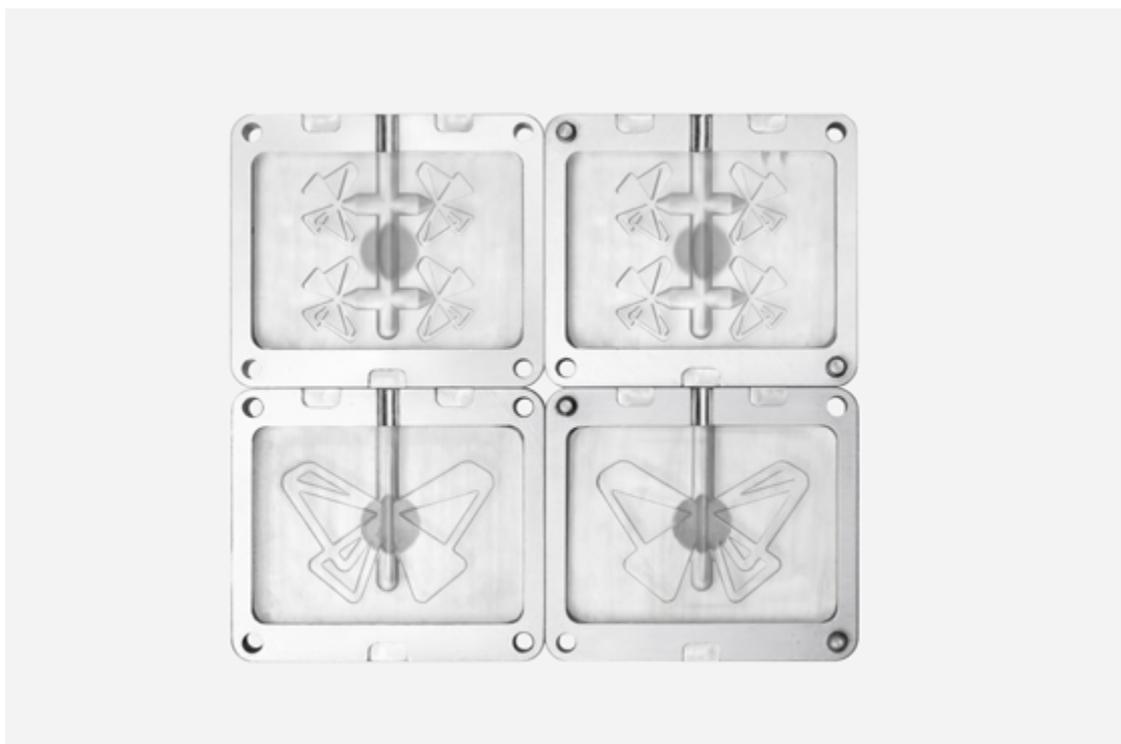
## Production de petites séries avec des moules imprimés en 3D

La majeure partie des produits en plastique dans le monde est aujourd'hui fabriquée par le procédé de moulage par injection. Des presses à injection et des imprimantes 3D de bureau, disponibles à des prix abordables, permettent de réaliser des moules en interne pour produire de petites pièces fonctionnelles en plastique.

Pour de petites séries, de l'ordre de 10 à 100 pièces environ, les moules imprimés en 3D sont économiques et permettent de gagner du temps. Ils rendent également plus souple la démarche de fabrication, en permettant aux ingénieurs et aux concepteurs de modifier facilement les moules et de réaliser plus d'itérations de conception grâce à des délais de réalisation plus courts et des coûts plus faibles.

L'imprimante 3D stéréolithographique (SLA) Form 3 permet de réaliser des pièces solides et lisses, qui supportent la température et la pression d'une presse à injection de bureau. Les liaisons chimiques existant dans les impressions 3D produites par stéréolithographie les rendent denses et isotropes. Les moules fonctionnels sont d'une qualité impossible à obtenir avec le procédé par dépôt de fil fondu.

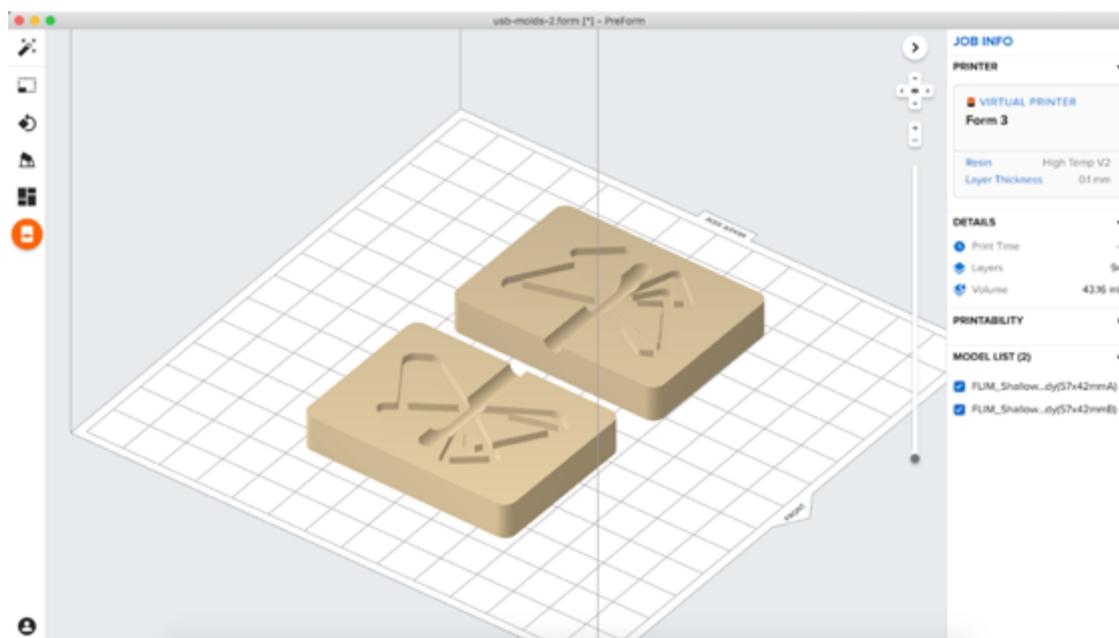
Formlabs s'est associé à Galomb, un fabricant de presses à injection de prix abordable, pour tester et démontrer la viabilité des moules à injection réalisés par impression 3D SLA.



*Des moules imprimés en 3D, dans leurs cadres en aluminium.*

## Méthode

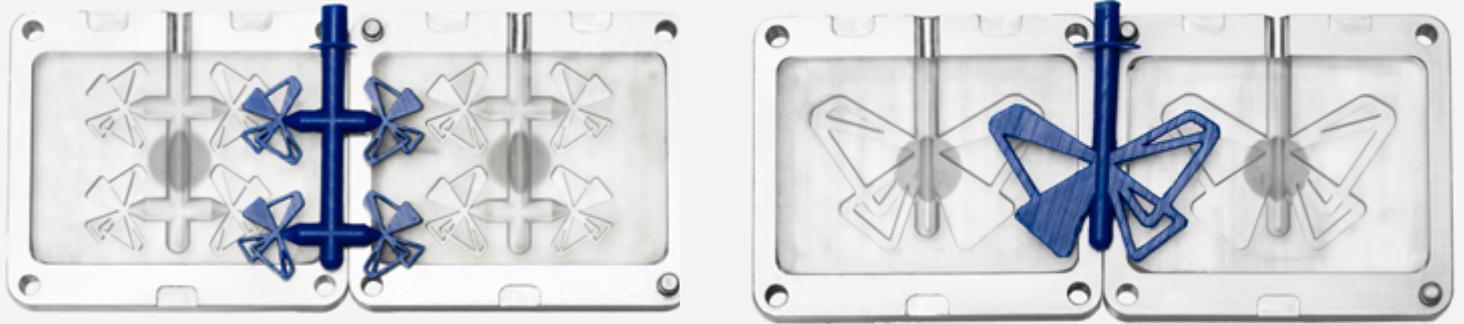
Il est possible d'utiliser Clear Resin et High Temp Resin pour imprimer des moules fonctionnels de petite taille, High Temp Resin étant compatible avec une gamme plus étendue de températures de fusion de thermoplastiques. Le matériau Clear Resin de Formlabs a été choisi pour sa solidité, le haut niveau de détail et la finition de surface lisse qu'il permet. Sa transparence facilite également l'inspection des moules pour vérifier qu'ils ont bien été remplis. Toutes les résines standard de Formlabs (Clear Resin, White Resin, Black Resin et Grey Resin) présentent les mêmes propriétés mécaniques et peuvent donc également être utilisées. Les moules ont été imprimés avec une épaisseur de couche de 100 microns et leur impression a pris environ 2 heures par moule. Il est possible d'imprimer plusieurs moules sur la même plateforme de fabrication selon leurs formes, ce qui accroît l'efficacité de l'impression.



*Configuration de l'impression dans PreForm, avec les cavités ouvertes vers le haut.*

Dans ce cas, deux moules ont été imprimés en Clear Resin. Les pièces et leurs moules ont été conçus pour correspondre aux dimensions de l'étau de la presse Galomb, à la capacité d'injection du barillet de 1 in<sup>3</sup> (environ 16,3 ml) et au volume de fabrication de l'imprimante Form 3. Après impression, les pièces ont été rincées pendant 20 minutes chacune dans un bain d'alcool isopropylique à 90 %, les supports retirés et les marques des supports poncées.

Enfin, les pièces ont été post-polymérisées dans une Form Cure pour qu'elles atteignent leur maximum de solidité mécanique et de rigidité.

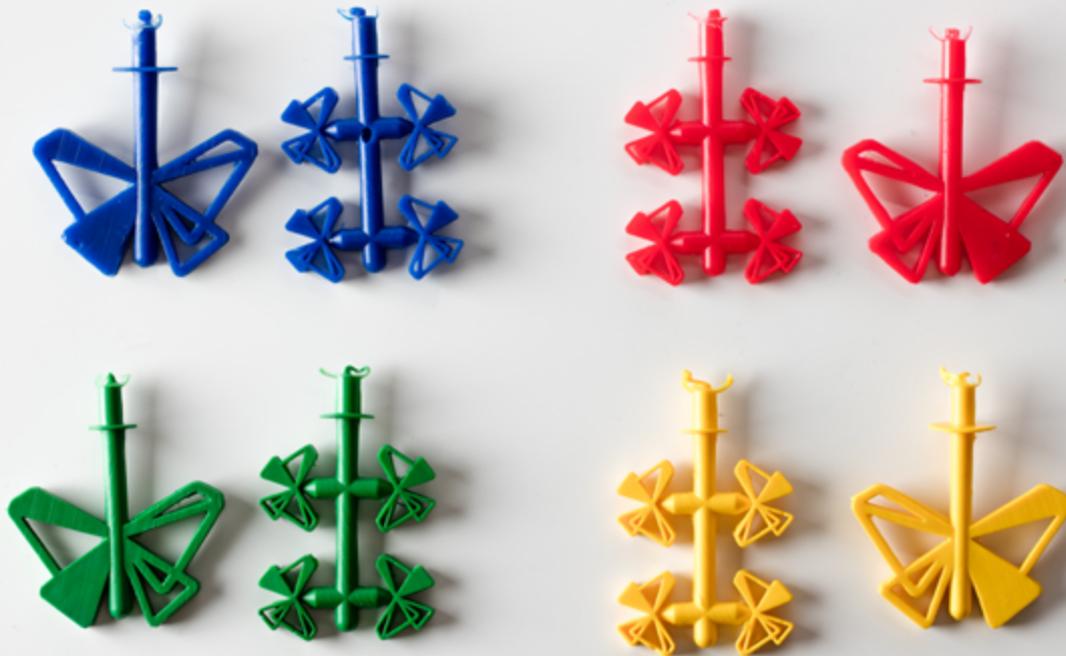


*Des moules imprimés en 3D dans leurs cadres en aluminium et des pièces moulées par injection.*

L'un des moules permet d'obtenir un logo Formlabs de grande taille et l'autre, quatre logos de petite taille. Les deux moules comportent une cavité, un point d'injection étroit et une carotte de coulée au point d'injection. Ils ont été conçus dans SolidWorks. Les moules sont insérés dans des cadres en aluminium avant injection afin de supporter la pression verticale et la chaleur de la buse d'injection. Le cadre en aluminium évite également au moule de se déformer après une utilisation répétée. Les cadres présentés sur les Figures 2 et 4 ont été fabriqués sur demande par Whittaker Engineering en Écosse, mais les fabricants de presses à injection proposent des modèles standards.

Les billes de plastique sont disponibles chez les revendeurs en ligne ou les vendeurs de fournitures artistiques scolaires, tels que Galomb. Pour obtenir différentes couleurs, le plastique fondu a été mélangé à des colorants en poudre préalablement à l'injection.

Avec la presse à injection d'atelier modèle B100, Galomb a testé les moules imprimés en réalisant 25 injections de polyéthylène basse densité (PEBD). Ce matériau fond à 163 °C environ et a été choisi pour sa température de fusion basse. Il faut prendre en compte le fait que Clear Resin de Formlabs présente une température de fléchissement sous charge (TFC) de 73,1 °C à 0,45 MPa après post-polymérisation (voir la fiche technique de la résine). La TFC est une caractéristiques thermiques du matériau, mais cela n'exclut pas pour autant Clear Resin pour cette utilisation, malgré une température de fusion du PEBD supérieure. Le fait que le moule imprimé en 3D supporte ou non le moulage par injection dépend de la température de fusion du matériau injecté, de la géométrie de la pièce et de la durée de refroidissement et de cycle.



*Assortiment de pièces moulées par injection dans des moules imprimés en 3D.*

## Résultats avec Clear Resin

Après 25 injections de PEBD, aucune détérioration de la surface des moules (ébréchantures, fissures ou rayures) n'était à signaler. Pendant les essais, le PEBD n'a pas montré d'adhérence aux moules en résine, mais d'autres matières plastiques peuvent nécessiter un agent démoulant pour faciliter l'extraction de la pièce. L'adhérence d'une pièce au moule peut endommager celui-ci pendant la phase d'extraction. Il existe de nombreux agents démoulants dans le commerce. Ceux prévus pour le silicone sont compatibles avec les résines standard et High Temp Resin de Formlabs.

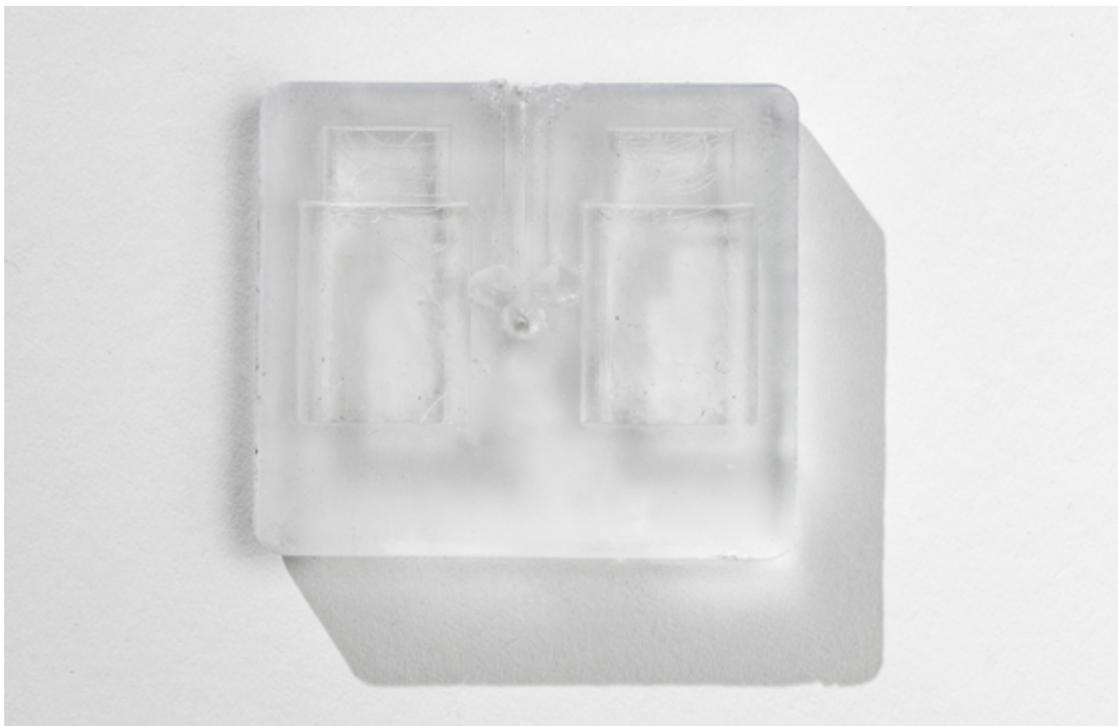
Le temps de cycle de chaque injection est d'environ trois minutes. Il a été réduit en refroidissant le moule à l'air comprimé. L'injection répétée dans des moules imprimés sur la Form 3 provoque le réchauffement du moule. Pour compenser cela, il faut augmenter la durée du refroidissement en gardant le moule ouvert entre les injections. Bien que le moule ne puisse pas se déformer, la chaleur en excès compromettra le moulage si le moule est ouvert trop tôt. Galomb a également amélioré le moulage en perçant des événements peu profonds de 0,05 mm (non représentés sur les figures) entre le bord de la cavité et le bord du moule, pour que l'air ne reste pas emprisonné dans la cavité pendant l'injection.

Certaines pièces présentent une bavure au plan de joint, due à la déformation du moule en résine pendant la phase de refroidissement après plusieurs injections. Augmenter la force de fermeture de la presse peut aider à atténuer cette bavure. Une autre solution est de polir le plan de joint du moule pour qu'il soit le plus plat possible. Galomb propose de ménager des canaux dans le moule pour y insérer des tubes métalliques et de remplir ceux-ci avec de l'époxy contenant de l'aluminium, afin de renforcer le moule, de réduire sa déformation et d'améliorer le temps de refroidissement.



## Essais complémentaires avec High Temp Resin

Les moules en Clear Resin ont été testés avec succès avec du PEBD, qui présente une température de fusion relativement faible. Des plastiques à température de fusion plus élevée peuvent provoquer un choc thermique pour des pièces en Clear Resin, se manifestant par une fracture de la surface du moule.



*Les moules en Clear Resin subissent un choc thermique lorsqu'ils sont exposés à des plastiques fondus de température plus élevée.*

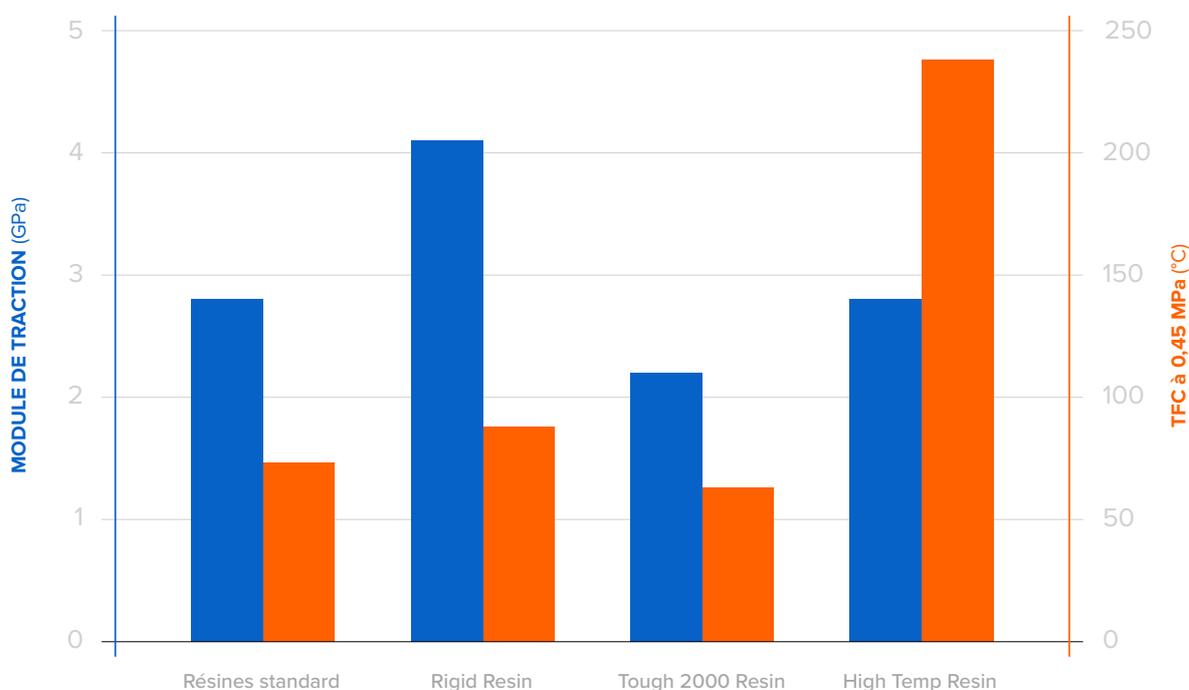
Formlabs a imprimé un moule de boîtier de clé USB en High Temp Resin pour tester le moulage par injection en atelier avec une gamme plus large de plastiques.

### COMPATIBILITÉ DES PLASTIQUES AVEC LES MOULES IMPRIMÉS PAR SLA

Plastique	Température de fusion <i>(Source : Plastic Troubleshooter)</i>	High Temp Resin (TFC à 0,45 MPa = 238 °C)	Clear Resin (TFC à 0,45 MPa = 73,1 °C)
PEBD	163 °C	✓	✓
POLYPROPYLÈNE	177 °C	✓	✗
TPE	177 °C	✓	✗
PLA	180 °C	✓	✗
ABS	204 °C	✓	✗
PEHD	204 °C	✓	✗
EVA	204 °C	✓	✗

Les moules en High Temp Resin ne présentent aucune dégradation due à la température sur leur surface, quel que soit le plastique testé.

### TFC À 0,45 MPA ET MODULE DE TRACTION



High Temp Resin, Rigid Resin et les résines standard sont les matériaux convenant le mieux au moulage par injection. De toutes les résines Formlabs, High Temp Resin est celle qui présente la plus haute TFC à 0,45 MPa et une dilatation thermique faible. C'est également la plus rigide, avec un module de traction élevé.

La rigidité relativement élevée de High Temp Resin assure que le moule ne se déformera pas à l'extraction de la pièce. Cette rigidité renforce l'importance d'utiliser un agent démoulant pour extraire les pièces injectées dans un plastique rigide tel que le polystyrène.

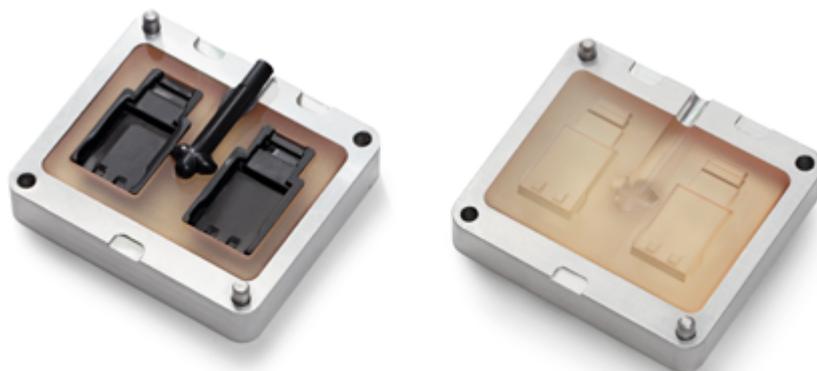
## Traiter les problèmes courants



*Bavure due au remplissage du moule en excès.*

Les bavures apparaissent lorsque le plastique injecté ressort entre les deux parties du moule. Cela arrive lorsque le moule est trop rempli ou si le plan de joint n'est pas parfaitement plat. Ajouter des évènements au moule peut atténuer les bavures dues à la surpression à l'intérieur du moule, aider au démoulage et supprimer l'air emprisonné qui créerait des bulles dans la pièce moulée. Les moules imprimés ont été testés sans cadre en aluminium (non représentés ici). L'inconvénient de cette méthode est qu'elle requiert plus de matériau pour les pièces, ce qui augmente le coût et la durée d'impression. D'autre part, les moules pourraient être plus déformables. Dans cette méthode, une rondelle en acier est placée entre le moule et la buse d'injection, ce qui empêche le contact direct avec la pièce et répartit les forces au point d'injection. D'autre part, pour éviter que des poches d'air interrompent le flux de plastique, il est possible de pré-remplir le barillet de la machine d'injection en le pressant contre un bloc de métal de façon à comprimer le flux de plastique.

Des lignes d'impression apparaissent sur certaines pièces. Il est possible de les atténuer en imprimant le moule avec une épaisseur de couche plus faible. Les moules utilisés pour cette étude ont été imprimés avec une épaisseur de couche de 100 microns, mais il est possible de les imprimer à 25 ou 50 microns. Cela peut améliorer la finition de surface du moule, mais va augmenter la durée d'impression et réduire la durée de vie du bac.



*Boîtier USB fabriqué avec un moule en High Temp Resin.*

## Instructions de conception

Lorsque vous concevez votre moule, il faut garder en tête les exigences pour l'impression mais aussi le moulage.

- Ajouter un angle d'un à trois degrés aux surfaces perpendiculaires à la direction d'extraction permettra aux pièces de sortir plus facilement et minimisera l'usure du moule. Il est également possible d'ajouter des filets aux angles intérieurs pour atténuer la déformation due aux contraintes internes au plastique et faciliter l'extraction de la pièce. Les détails en creux ou en relief doivent dépasser de la surface d'au moins 1 mm.



*angle de 90°*



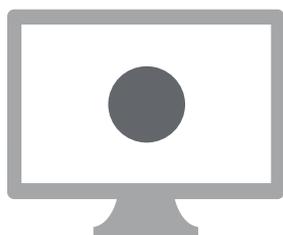
*inclinaison de 2°*



*Conditions optimales,  
inclinaison de 2° et filet*

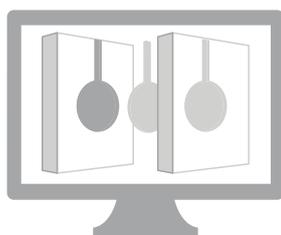
- Les surfaces du plan de joint peuvent être polies avec du papier de verre à grain fin pour réduire les bavures.
- Lorsque vous travaillez avec des cadres en aluminium, ajoutez 0,125 mm d'épaisseur supplémentaire à l'arrière des parois du moule, pour prendre en compte les forces de compression et assurer l'étanchéité.
- Assurez-vous d'orienter les deux moitiés du moule dans PreForm de façon à ce que leurs cavités soient ouvertes vers le haut. Cela évitera d'avoir des traces de support dans la cavité et facilitera le post-traitement.

## Résumé du procédé



### ÉTAPE 1

Dessiner la pièce en CAO.



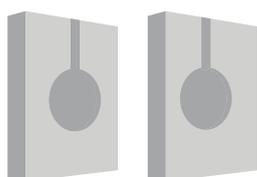
### ÉTAPE 2

Dessiner le moule en CAO.



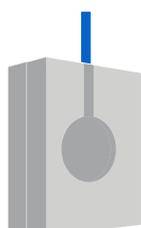
### ÉTAPE 3

Imprimer les moules en 3D sur la Form 3.



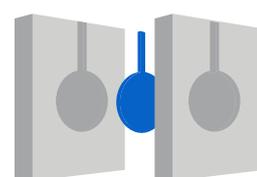
### ÉTAPE 4

Enlever les supports et les excès de matériau des moules.



### ÉTAPE 5

Injecter le plastique dans le moule.



### ÉTAPE 6

Enlever la pièce du moule.



## Conclusion

Souvent, lorsqu'on en parle, l'impression 3D semble opposée au moulage par injection, mais ce n'est pas toujours le cas. En imprimant directement des pièces en 3D ou en utilisant des moules imprimés en 3D pour le moulage par injection pour le prototypage et la production de petites séries, vous pouvez tirer avantage des deux technologies.