



Fabrication additive et moulage par injection

Analogies, différences et possibilités



L'impression 3D, également appelée fabrication additive, est souvent considérée comme un processus de fabrication qui se pose ou tente de se poser en concurrent du moulage par injection, mieux établi, pour la production de pièces en plastique. Ce discours en soi n'est pas dénué de fondement, dans la mesure où, pour certaines applications, la fabrication additive peut s'avérer très compétitive. Les technologies et les matériaux d'impression 3D de qualité industrielle ont en effet évolué, et continuent de le faire, vers des processus de production qui permettent de fabriquer des volumes de pièces plus importants de manière plus efficace et plus rentable. Et jusqu'à un certain point, cette concurrence est bénéfique, mais tout ne doit pas se résumer à cela : les deux processus présentent en réalité un certain nombre de complémentarités. Et, soyons réalistes, pour les très gros volumes de pièces en plastique (plusieurs centaines de milliers), la fabrication additive est encore loin de pouvoir rivaliser avec le moulage par injection.

L'impression 3D est depuis longtemps considérée comme un outil essentiel dans les phases de développement d'un produit : elle permet des itérations de conception rapides et la prise de décisions éclairées en matière d'ingénierie. Or, la plupart des équipes de fabrication se contentent d'utiliser cette technologie pendant la phase de développement, et uniquement comme outil de prototypage.

Et lorsque c'est le cas, cela signifie qu'elles passent très certainement à côté d'une occasion unique. Les technologies d'impression 3D ont progressé à la fois en termes de capacité et de rendement, de sorte que pour les applications à faible ou moyen volume, ou alliant complexité et faible volume, elles sont capables de concurrencer directement le moulage par injection, ou d'en améliorer l'efficacité par la production des moules.

Ce document vise à examiner le champ d'application de ces deux processus, leurs avantages (et inconvénients) pour la production et leur complémentarité.

Le contexte général

Tout d'abord, il convient de jeter un rapide coup d'œil sur le paysage de chacun de ces processus de fabrication dans le contexte plus large du secteur manufacturier mondial. Pour ce dernier, une source estime la valeur de la production manufacturière mondiale à 44,5 billions de dollars en 2022 et prévoit une baisse à 44,3 billions de dollars en 2023 (en raison des conséquences bien documentées de la pandémie et des effets de la guerre en Ukraine). Il est sans doute prudent de ne pas considérer ces chiffres en valeur absolue, mais ils constituent, à titre d'illustration et d'estimation, une base de référence suffisante pour les sous-secteurs spécifiques du moulage par injection et de la fabrication additive.

Ces deux sous-secteurs de l'industrie manufacturière font l'objet d'estimations très variables. GM Insights indique que le « marché des plastiques moulés par injection a atteint plus de 300 milliards de dollars en 2022 (...) [et] le secteur devrait connaître un taux de croissance annuel moyen de 3,5 % entre 2023 et 2032 ». Ces chiffres sont conformes à l'analyse de Grand View Research qui affirme que « le marché mondial des plastiques moulés par injection a été évalué à 284,7 milliards de dollars, et devrait croître à un taux annuel composé (TCAC) de 4,2 % au

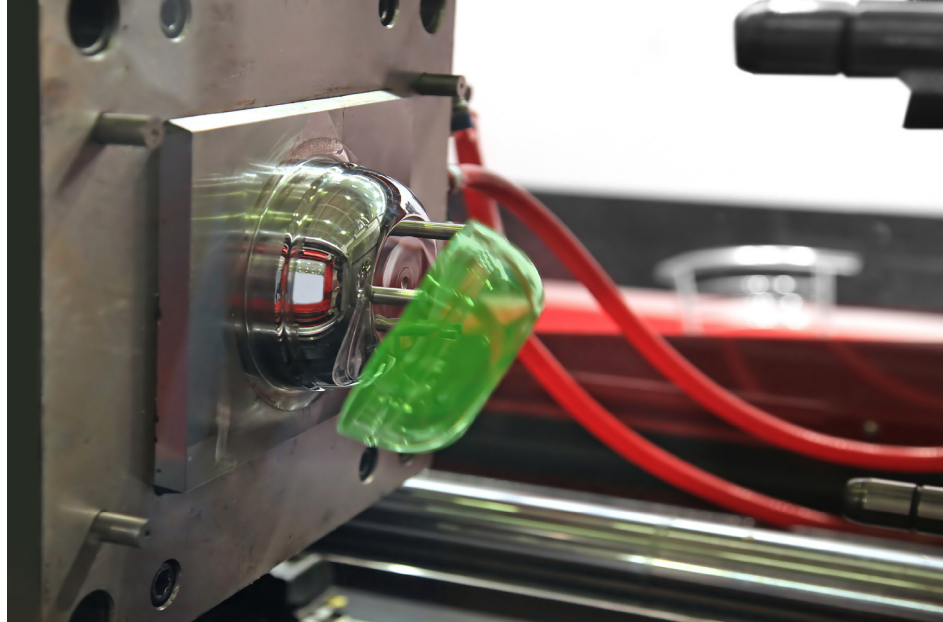
cours de la période de prévision [jusqu'en 2030]. » Un récent rapport de Research & Markets présente quant à lui une analyse plus conservatrice en déclarant : « Le marché mondial du moulage par injection a été estimé à 187,7 milliards de dollars. » Une affirmation qui a au moins le mérite de préciser qu'il s'agit d'une estimation !

Selon les sources, on observe des variations similaires dans la valeur du secteur de la fabrication additive. Cette fois-ci, Research & Markets n'est pas si conservateur et affirme que : « le marché mondial de la fabrication additive et des matériaux [est] estimé à 40,4 milliards de dollars [et] devrait atteindre 196,6 milliards de dollars d'ici 2030, à raison d'un taux de croissance annuel moyen de 21,9 % sur la période d'analyse. Le plastique... devrait enregistrer un TCAC de 22,3 % et atteindre 118,2 milliards de dollars à la fin de la période considérée. Un rapport plus récent de Market Watch indique quant à lui que « [l]e marché mondial de la fabrication additive et des matériaux était évalué à 16,07 milliards de dollars... et devrait enregistrer un TCAC de 25,7 % sur la période analysée. » Dans un rapport récemment publié, SmarTech Analysis affirme de manière encore plus conservatrice que l'industrie de la fabrication additive a augmenté

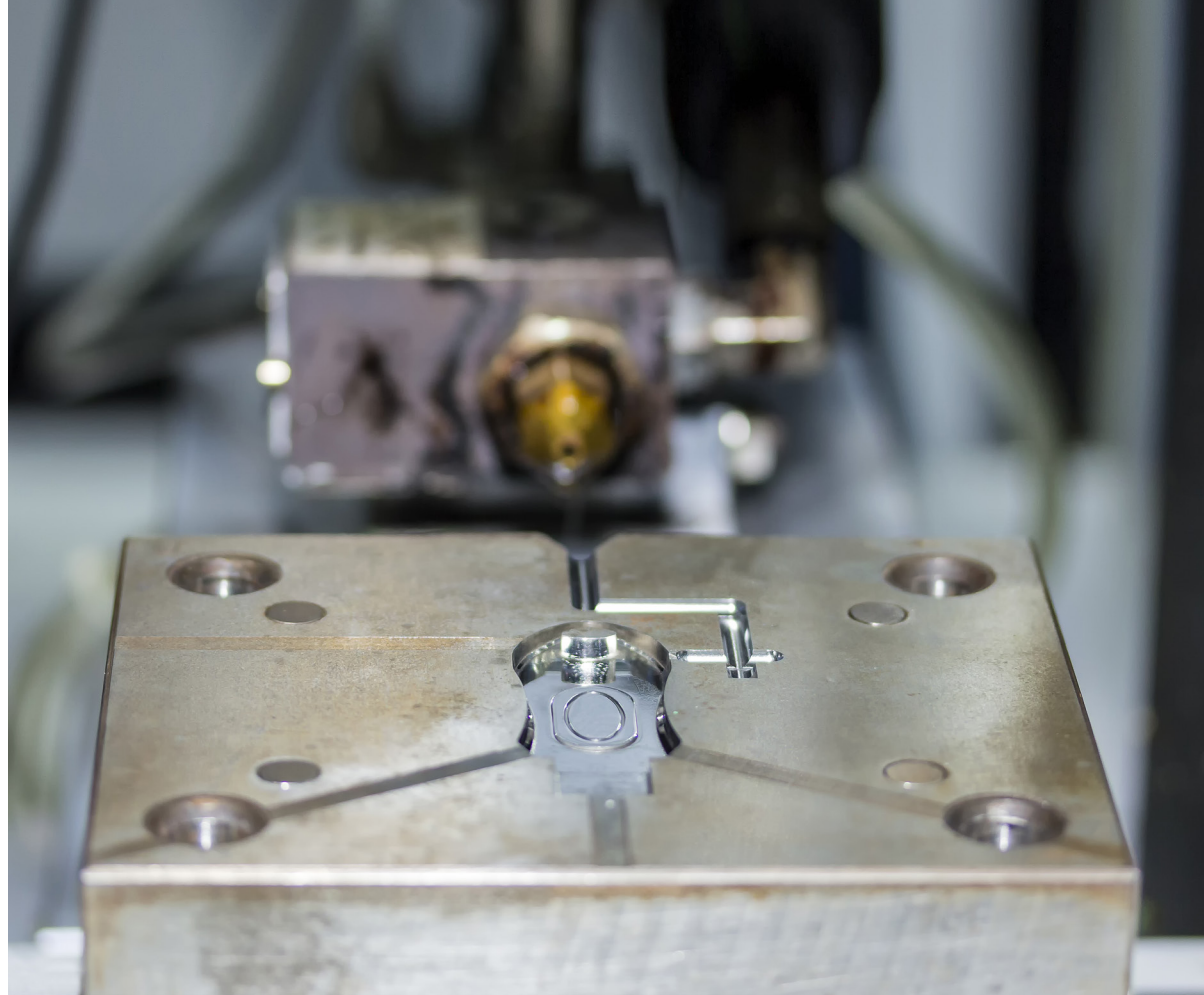
de 23 % jusqu'à 13,5 milliards USD, mais prévoit qu'elle atteindra 25 milliards USD à l'horizon 2025.

Le dernier rapport Wohlers fait lui aussi état d'une « croissance soutenue du secteur de la fabrication additive de 19,5 % » et chiffre aujourd'hui ce dernier à 18 milliards de dollars, avec des prévisions de croissance élevées.

Si nous retenons les valeurs moyennes, à savoir 243 milliards de dollars pour le moulage par injection et 26,95 milliards de dollars pour la fabrication additive, il apparaît clairement qu'à l'heure actuelle, le secteur du moulage par injection est presque 10 fois plus important que celui de la fabrication additive. Toutefois, si les prévisions (étonnamment convergentes) concernant les taux de croissance de chaque sous-secteur se confirment, le secteur de la fabrication additive réduira considérablement l'écart au cours de la prochaine décennie. Il convient également de souligner que les chiffres relatifs au moulage par injection ne concernent que les matières plastiques, tandis que ceux concernant la fabrication additive englobent tous les types de matériaux. Ainsi, l'écart est en réalité plus important qu'il n'y paraît à première vue, eu égard à la portée du présent document.



Gros plan Moulage par injection ou fabrication additive



Le moulage par injection est l'un des principaux procédés de fabrication de produits et de composants en plastique. Il est largement utilisé pour la production en série de pièces identiques soumises à des tolérances particulièrement strictes (généralement de 50 à 100 microns) et des états de surface de qualité supérieure. Pour les volumes importants, il s'agit d'un processus rentable, précis et répétable qui permet d'obtenir des pièces de qualité élevée pour la production de grandes séries dans une large gamme de matériaux.

Les technologies d'impression 3D de qualité industrielle mettent de plus en plus de solutions de production viables à la disposition des fabricants de produits en plastique, certaines d'entre elles particulièrement compétitives en termes d'état de surface et de tolérances (généralement comprises entre 50 et 300 microns). L'impression 3D présente en outre un certain nombre d'avantages clés par rapport au moulage par injection, dans la mesure où il s'agit d'un processus totalement dépourvu d'outils qui offre une souplesse sans précédent, que ce

soit pour la conception de géométries complexes ou la consolidation de pièces. Une telle liberté facilite également les itérations de conception à faible coût avant ou pendant la production, ou encore pour la mise au point de nouvelles générations de produits.

Considérations

Toute équipe de fabrication sait que dans tout projet de développement d'un nouveau produit, il y a des questions fondamentales à se poser, auxquelles il faut répondre. En dehors de la phase de développement, les questions suivantes concernent la production et la sélection du processus. Les équipes de fabrication les plus expérimentées ont probablement déjà une idée de la voie qu'elles vont emprunter, et sont peut-être même prédisposées à suivre un processus existant. Mais ne devraient-elles pas se pencher aussi sur ces questions et remettre en cause le statu quo ?

Comme toujours, le point de départ pour déterminer le processus de fabrication le mieux adapté à un produit ou à un composant est l'application qui va en être faite.

1. La pièce est-elle simple ou complexe ?

La réponse à cette question peut directement éclairer le choix du processus de fabrication. Pourtant, vous vous rendez probablement déjà compte que les critères suivants sont loin d'être toujours évidents :

- moulage par injection pour les pièces simples
- impression 3D pour les pièces complexes.

Les choses sont-elles réellement aussi simples ?

Il est vrai que le moulage par injection est particulièrement adapté aux conceptions simples et aux pièces présentant des épaisseurs de paroi constantes. Cela dit, ce processus n'exclut pas la difficulté et peut s'adapter à des pièces présentant des contre-dépouilles

et des géométries complexes. Son coût est néanmoins élevé, car plus la pièce est complexe, plus l'outillage nécessaire pour la mouler par injection l'est également. Les coûts de production initiaux sont donc importants, mais une fois l'outil préparé et prêt à être utilisé, la production peut commencer immédiatement sur le site de fabrication.

Le moulage par injection présente cependant un certain gradient de complexité dont il faut tenir compte : au-delà d'un certain seuil, les coûts peuvent devenir prohibitifs. Plus loin encore, un plafond est atteint et la tâche devient impossible.

Ce n'est un secret pour personne que l'impression 3D permet de produire des pièces qui seraient trop chères ou impossibles à fabriquer avec le moulage par injection, et c'est d'ailleurs l'un des nombreux avantages largement documentés de la technologie additive. C'est aussi l'argument souvent invoqué pour faire de l'impression 3D une technologie de fabrication « compétitive ». Et il n'est pas dénué de fondement : on peut facilement trouver des cas de géométries complexes telles que des treillis, des canaux internes, des saillies, des parois épaisses ou renforcées et des sections creuses que les systèmes d'impression 3D industriels sont capables de produire alors que le moulage par injection peine à le faire.

Cette capacité offre aux concepteurs une infinité de possibilités pour réduire le poids, intégrer des fonctions ergonomiques, ajouter des logos ou identifier les pièces, pour ne citer que quelques avantages.

En outre, la taille d'une pièce est également essentielle pour déterminer la manière dont elle sera produite. Curieusement, le moulage par injection et l'impression 3D fonctionnent de manière optimale dans la gamme des pièces de petite et moyenne taille. Dans le cas de l'impression 3D, la limite est imposée par le volume des plateaux de fabrication. Il est cependant possible de fabriquer de grandes pièces en les divisant en plusieurs sections qui sont ensuite assemblées après impression. Pour le moulage par injection, encore une fois, les dimensions de la machine peuvent limiter la taille des pièces, mais les moules peuvent être fabriqués en plusieurs parties utilisées pour produire des pièces qui seront assemblées ultérieurement. Ainsi, les deux processus peuvent s'adapter à la fabrication de produits de plus grande taille, mais au prix de la nécessité d'un assemblage supplémentaire en aval et d'une augmentation considérable des délais et des coûts.

2. De combien de pièces a-t-on besoin au total ?

C'est là que les choses deviennent intéressantes. Au fil des ans, le moulage par injection s'est avéré très rentable pour des volumes élevés et très élevés de produits.

Le fait est que l'impression 3D n'est pas en mesure de le concurrencer à ce niveau.

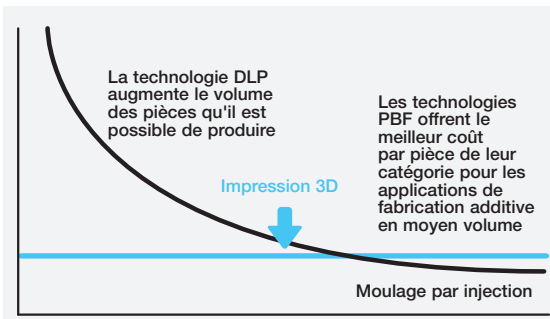
Mais à quoi correspond précisément « ce niveau » ? L'expérience montre qu'il est facile de se perdre dans les chiffres lorsqu'on essaie de quantifier ce que sont des volumes réduits, moyens ou élevés de pièces produites. Il existe des variations considérables selon le contexte et les différentes sources consultées (le secteur industriel, les applications au sein de ce secteur, le processus de fabrication, etc. ; et même entre les prestataires de services proposant des processus de fabrication différents).

En se basant sur des sources différentes et en faisant preuve d'un peu de bon sens, il est possible d'établir les limites générales suivantes, qui sont approximatives tout en restant raisonnables :

Volume réduit : < 1 000 pièces.

Volume moyen : entre 1 000 et 100 000 pièces.

Volume élevé : > 100 000 pièces



Le graphique ci-dessus présente une courbe générale des coûts de l'impression 3D par rapport à ceux du moulage par injection. L'axe des abscisses représente le nombre de pièces et celui des ordonnées, le coût par pièce. À l'intersection et au-delà le long de l'axe des abscisses, le moulage par injection est plus rentable. L'absence de chiffres sur ce graphique s'explique par le fait que les chiffres à l'intersection ont beaucoup changé au cours de la dernière décennie, et qu'ils continuent d'évoluer à mesure que l'intersection descend le long de la courbe. Encore une fois, cela dépend toujours de l'application, mais les capacités du processus et la capacité de l'impression 3D ne cessent de s'améliorer. Les passes de fabrication de plusieurs dizaines de milliers d'exemplaires pour de petites applications de pièces en plastique par impression 3D ne sont pas rares aujourd'hui.

Les exemples ne manquent pas dans les secteurs dentaire, médical et de la fabrication en général (boîtiers et fixations, etc.).

Cela conduit à des considérations supplémentaires en ce qui concerne les exigences de volume qui peuvent avoir un impact important sur les coûts et la logistique, mais aussi sur l'environnement :

2a. Les pièces doivent-elles être fabriquées en une seule fois ou sur plusieurs mois, voire des années ?

Prenons l'exemple générique d'une pièce de petite taille et de complexité moyenne. Si cette pièce est requise en grand volume (> 100 000) et en une seule passe de fabrication, il est établi que l'impression 3D ne peut pas rivaliser avec le moulage par injection. En revanche, si l'on a besoin d'une approche plus souple de la production, avec des volumes moyens d'un produit similaire, mais sur une période plus longue, l'impression 3D peut à nouveau constituer une option viable, dans la mesure où elle est capable de fournir une production à la demande et de réduire considérablement l'accumulation de stocks.

Par exemple, si 60 000 de ces pièces sont nécessaires sur une période de 12 mois, il est possible de les produire en une seule fois en utilisant le moulage par injection, ou en plusieurs séries de 5 000 pièces par mois (ou selon les besoins) par impression 3D.

Ce qui conduit à :

2b. Quand et où avez-vous besoin de vos pièces ? Une fois de plus, cette question se réfère à la souplesse de la production, tant en ce qui

concerne le lieu de fabrication des pièces que la manière dont elles sont distribuées. Plutôt que de produire 60 000 pièces en un seul endroit (ce qui est la règle pour le moulage par injection) et de les distribuer dans le monde entier, l'impression 3D est un processus numérique qui permet de produire exactement le nombre de pièces requis là où elles sont nécessaires. Les répercussions en termes de coûts sont importantes, dans la mesure où il est ainsi possible de réduire considérablement les frais d'expédition, et par là même d'avoir un impact positif sur l'environnement. Finalement, le fait de localiser ainsi la production et de la rapprocher des marchés et des clients contribue également à l'atténuation des risques liés à la chaîne d'approvisionnement.

3. Coût par pièce

Cet aspect est capital, probablement le plus important. Il faut toutefois le replacer dans le contexte des points précédents.

L'un des grands avantages des procédés d'impression 3D réside dans le fait qu'ils ne requièrent aucun outil. La production du moule pour le moulage par injection est coûteuse et prend du temps, et tout se passe en amont. Et c'est ici que se situe le point critique : le moulage par injection nécessite un important investissement initial en capital pour que la production puisse avoir lieu. Comme nous l'avons vu plus haut, l'impression 3D à des fins de production permet un modèle commercial de type paiement à l'utilisation, en particulier si l'on travaille avec un sous-traitant, mais également lorsque le processus est effectué en interne.

C'est là que les volumes entrent en jeu, car lorsqu'ils sont élevés, le retour sur investissement du moulage par injection en termes de coût par pièce peut s'avérer très important : le coût de l'outil de moulage étant statique, plus le nombre de pièces produites à partir du moule augmente,

plus le coût unitaire diminue. Avec l'impression 3D, les coûts restent les mêmes de la première à la dernière pièce, même s'il y en a plus de 20 000 (le tableau ci-dessus, dans la section sur les volumes, illustre également ce point).

Le tableau ci-dessous compare également les prix de certaines pièces spécifiques et indique quand et comment l'impression 3D, combinée à la technologie SAF, peut être compétitive.

Comparaison du coût des pièces : moulage par injection ou SAF

	Nom de la pièce	Dimensions [mm]	Inj. externe Coût du moulage par pièce en \$	SAF H350 Coût par pièce en \$	Économies	Volume total de production au seuil de rentabilité	Nb maximum de pièces par plateau de fabrication
	Pince guide-câble	15x17x49	2,35 USD 5 000 pièces/an	2,19 USD	7 %	19 900 pièces	1 020
	Support	60x55x55	9,40 USD 500 pièces/an	4,10 USD	56 %	6 536 pièces	171
	Connecteur électronique	80x80x52	119,48 USD 50 pièces/an	30,61 USD	74 %	820 pièces	30

De nombreux facteurs entrent en ligne de compte dans le calcul du coût par pièce. Il y a les activités de production proprement dites (machines, énergie, coûts des matériaux, main-d'œuvre, post-traitement, etc.), mais aussi un certain nombre d'autres considérations comme la distribution, l'expédition, le stockage et l'entreposage.

4. Itérations

Une autre question mérite d'être soulignée : est-ce qu'il y aura des itérations du produit, et donc des changements de conception ?

Dans ce domaine également, les technologies d'impression 3D offrent un avantage significatif pour une production continue, là où le moulage par injection peut s'avérer restrictif. La fabrication par des technologies d'impression 3D permet une approche itérative continue. Des modifications peuvent être apportées à tout moment, avec des répercussions minimales, voire nulles, en termes financiers. Une fois qu'un outil de moulage a été commandé pour la fabrication d'un produit ou d'une pièce spécifique, il est pratiquement gravé dans le marbre, ou du moins dans l'acier. Sa modification serait très coûteuse, voire pratiquement impossible.

5. Matériaux

Les technologies de production de qualité industrielle exigent que des matériaux polymères présentant des propriétés adaptées à l'application concernée soient disponibles. Les matériaux polymères les plus couramment utilisés sont également compatibles avec les procédés d'impression 3D : tel est le cas des thermoplastiques comme le PA11, le PA12 et le nylon renforcé de fibre de verre ou de carbone, mais aussi des photopolymères ou des thermodurcissables.

Cependant, malgré les progrès significatifs réalisés dans le domaine des matériaux de production spécialisés pour l'impression 3D, la palette d'options de matériaux pour cette dernière est encore réduite par rapport aux milliers d'options à la disposition du moulage par injection.

À mesure que les fabricants sont de plus en plus sensibles aux avantages de l'impression 3D pour leurs applications industrielles, des entreprises continuent d'investir massivement dans la mise

au point de matériaux plus « fonctionnels », qu'il s'agisse de thermodurcissables à base de photopolymères ou de thermoplastiques en poudre et en filaments. Même si nombre de matériaux haute performance sont principalement axés sur l'amélioration des propriétés mécaniques, nous commençons à voir apparaître de nouvelles caractéristiques : résistance aux intempéries, ESD (décharges électrostatiques), FR (retardateur de flamme), FST (flamme, fumée, toxicité), faibles pertes diélectriques, contact alimentaire ou qualité médicale. Ces matériaux de fabrication additive de dernière génération sont clairement

destinés à des pièces finales qui nécessitent des fonctionnalités adaptées à des applications particulières.

L'évolution de ces matériaux thermoplastiques et photopolymères pour la fabrication additive est comparable à celle des thermoplastiques pour le moulage par injection, qui ont connu une situation similaire à un moment donné, offrant ainsi une palette de matériaux de base qui s'est développée par la spécialisation, une application à la fois, jusqu'à la vaste gamme d'options disponibles aujourd'hui.



Ce conduit d'air fait partie d'un système de CVC automobile, imprimé avec la technologie SAF™. Par les techniques traditionnelles, une pièce comme celle-ci aurait été moulée en deux moitiés, puis assemblée. Avec la technologie SAF, les moitiés peuvent être produites en une seule pièce, réduisant ainsi l'assemblage en post-traitement et les risques de défaillance.

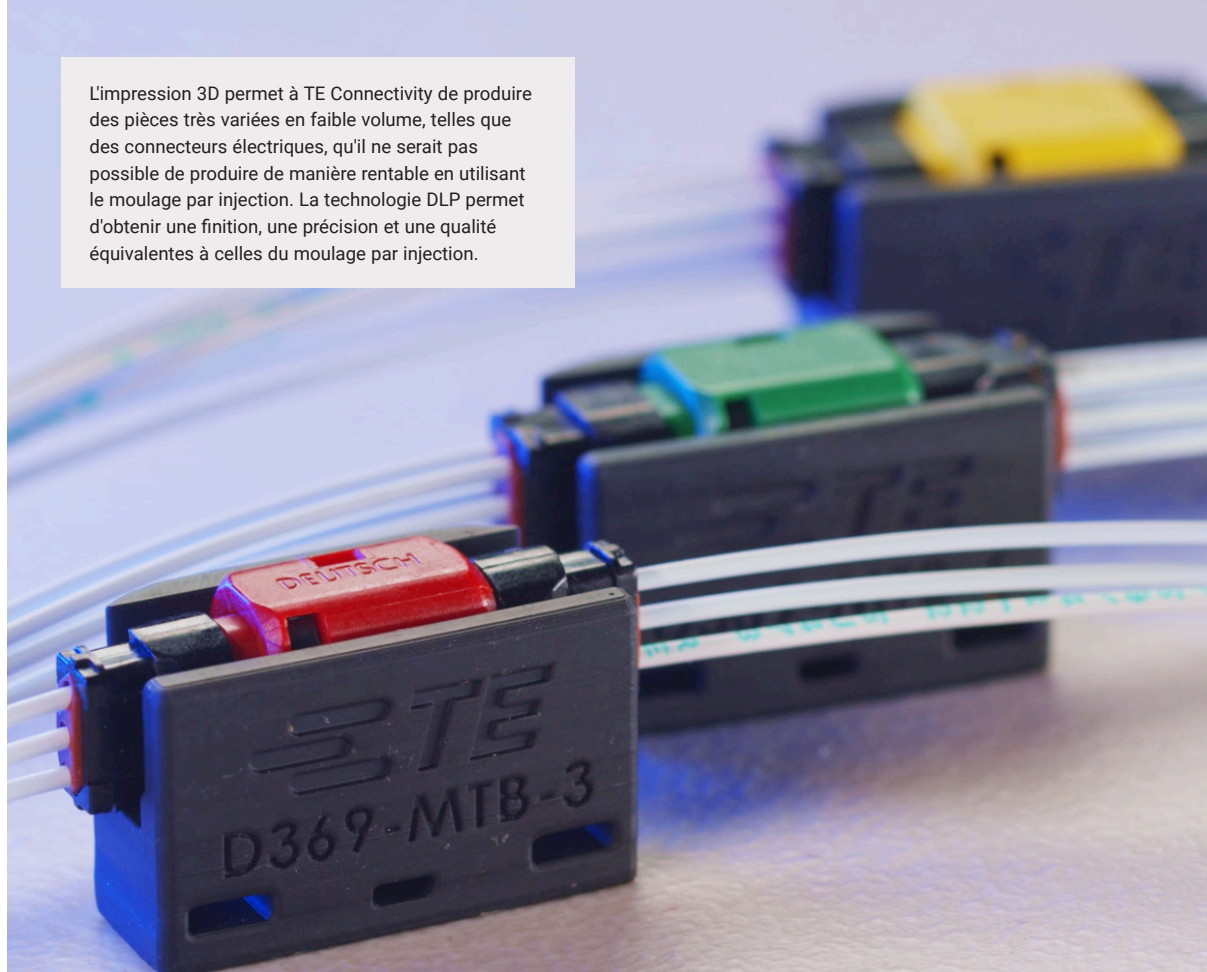
Pas nécessairement l'une ou l'autre

La question essentielle est donc : si l'impression 3D est en mesure de constituer une solution viable, efficace et rentable pour remplacer le moulage par injection dans certaines applications, elle peut également s'avérer utile dans un rôle simplement auxiliaire. Il est possible de combiner ces deux technologies de façon très efficace pour réduire considérablement les délais et les coûts.

D'emblée, nous avons établi que l'impression 3D restait un outil essentiel pour le prototypage. Or, elle peut également jouer un rôle essentiel dans le procédé de moulage par injection de bout en bout, et ce, à plusieurs autres égards. Les prototypes sont indispensables pour perfectionner la forme et la fonctionnalité des pièces, mais aussi assurer leur faisabilité. Au-delà du prototypage, l'impression 3D peut également jouer un rôle de transition pour le moulage par injection, en produisant rapidement et à peu de frais un outillage intermédiaire permettant

d'adapter, d'optimiser et de tester le processus avant de passer à l'outil final, beaucoup plus onéreux. En outre, les possibilités offertes par les systèmes de fabrication additive métallique permettent à l'impression 3D d'être utilisée également pour produire les outils de moulage eux-mêmes, surtout lorsque ceux-ci sont complexes et comportent de nombreuses cavités. Des matériaux en acier à outils et même certains matériaux métalliques plus avancés peuvent désormais être utilisés par un certain nombre de systèmes de fabrication additive.

L'impression 3D permet à TE Connectivity de produire des pièces très variées en faible volume, telles que des connecteurs électriques, qu'il ne serait pas possible de produire de manière rentable en utilisant le moulage par injection. La technologie DLP permet d'obtenir une finition, une précision et une qualité équivalentes à celles du moulage par injection.



Ce couvercle de capteur de pluie automobile standard a été imprimé en 3D sur une H350™ et créé par la technologie SAF™. Sur la base d'une série de 1 000 pièces, son coût unitaire est faible par rapport à celui du moulage par injection.



Conclusion

Les technologies d'impression 3D, tant en termes de capacités que de rendement, ont prouvé qu'elles avaient réussi à franchir le cap du prototypage vers les processus de fabrication. Il s'agit d'un tournant essentiel pour les applications manufacturières où l'impression 3D peut être plus efficace et plus rentable. Cependant, il est tout aussi important de rappeler que l'impression 3D demeure un processus très utile pour les applications de prototypage et d'outillage.

Les fabricants cherchent constamment à gérer leurs coûts, car ils sont confrontés à des pressions et à une concurrence de plus en plus fortes. L'objectif de ce document est de leur donner des éléments de réflexion sur la manière dont ils peuvent y parvenir à travers un certain nombre d'options possibles.



Sièges de Stratasy

7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344
+1 800 801 6491 (numéro gratuit
aux États-Unis)
+1 952 937-3000 (International)
+1 952 937-0070 (Fax)

1 Holtzman St., Science Park,
PO Box 2496
Rehovot 76124, Israël
+972 74 745 4000
+972 74 745 5000 (Fax)

stratasy.com/fr

Certification ISO 9001:2015

© 2024 Stratasy. Tous droits réservés. Stratasy, le logo Stratasy, Stratasy Direct Manufacturing, Origin et P3, H350, H Series, SAF, Selective Absorption Fusion, Big Wave et HAF sont des marques commerciales ou des marques déposées de Stratasy Inc. et/ou de ses sociétés affiliées. L'imprimante H350 fait l'objet d'une licence accordée par Loughborough University Enterprises Limited et Evonik IP GmbH en vertu des brevets et demandes de brevets suivants et membres de la même famille : EP2739457, EP3539752, EP1648686, EP 1740367, EP1737646, EP1459871. De plus amples informations, notamment sur l'actualité et la validité des membres de cette famille de brevets, sont disponibles sur : <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/>. Toutes les autres marques enregistrées appartiennent à leurs propriétaires respectifs, et Stratasy décline toute responsabilité concernant le choix, la performance ou l'utilisation de ces produits d'autres marques. Les spécifications des produits sont modifiables sans préavis. eB_P3_SAF_Injection Molding_FR_0923a

