



HAL
open science

Conception, optimisation et réalisation d'un insert pour moule d'injection plastique par procédé MJM pour la réalisation de petite série de pièces.

Alexandre Schneider, Julien Gardan, Nicolas Gardan

► To cite this version:

Alexandre Schneider, Julien Gardan, Nicolas Gardan. Conception, optimisation et réalisation d'un insert pour moule d'injection plastique par procédé MJM pour la réalisation de petite série de pièces.. AEPR'13, 18th European Forum on Rapid Prototyping and Manufacturing, Jun 2013, Paris (Châtenay Mallabry), France. pp.6. hal-00917148

HAL Id: hal-00917148

<https://hal.science/hal-00917148>

Submitted on 14 Dec 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONCEPTION, OPTIMISATION ET REALISATION D'UN INSERT POUR MOULE D'INJECTION PLASTIQUE PAR PROCEDE MJM POUR LA REALISATION DE PETITE SERIE DE PIECES.

Alexandre Schneider
NUM3D / CReSTIC-URCA
alexandre.schneider@univ-reims.fr

Julien Gardan
Société AZTECH
julien.gardan@aztech-innovation.com

Nicolas Gardan
Centre technique DINCCS de MICADO
nicolas.gardan@dinccs.com

RESUME

Le prototypage rapide permet la réalisation de pièces en très petites séries qui ne sont pas systématiquement « bonnes matières ». A l'opposé, l'injection plastique pallie ce défaut mais en augmentant considérablement les investissements, et de ce fait, implique une production en grande série. Cette étude vise à cibler un marché de personne cherchant à obtenir des pièces bonnes matières en quantité de type petite série à moindre coût. Afin de répondre à cette problématique nous nous appuyons sur l'intégration des règles métiers liées aux outilleurs de la plasturgie (retrait volumique, aspects thermiques, ...) ainsi qu'aux règles liées au procédé de fabrication additive choisi (ici le procédé MJM) que nous implémentons dans un processus d'optimisation topologique. L'insert optimisé est fabriqué puis monté dans une presse industrielle afin d'effectuer un nombre maximal de moulée. Afin de quantifier l'altération de l'insert, nous avons procédé à la numérisation 3D par un système à triangulation laser de la géométrie avant et après les cycles d'injection. Par comparaison de type cartographie d'écart dimensionnelle, nous mettrons en évidence la pertinence et les limites de nos résultats. Nous montrerons également la possibilité d'adapter cette méthodologie à tous les types de fabrication additive.

MOTS-CLEFS

Prototypage rapide, Procédés additifs, Optimisation topologique, Numérisation 3D, Règles métier, Plasturgie

1. INTRODUCTION

Face à une situation économique et industrielle complexe, la chaîne numérique est une source de gains directs et indirects importants. Il est cependant difficile pour les entreprises, notamment les PME, de disposer de toutes les compétences et outils en interne. La plate-forme de prototypage rapide et de numérisation 3D *NUM3D*¹ a ainsi été créée pour traiter les problématiques liées à l'ingénierie numérique et au reverse-engineering (reconstruction).

La problématique est basée sur le constat suivant ; il existe deux procédés de fabrication de pièces « plastiques » au sens large du terme :

- L'injection plastique, privilégiée pour la réalisation de pièces en très grandes séries tout en garantissant de très bonnes qualités dimensionnelles ainsi que l'utilisation de « bonnes matières » ;
- Le prototypage rapide de type additif qui, quant à lui, ne propose que des matières spécifiques à la technologie employée et qui, bien sûr, est réservé à la production de pièces unitaires voir dans quelques cas très particulier des très petites séries.

Quid des besoins de certains industriels cherchant la production de pièces bonnes matières en unitaire ou en petite/moyenne série. Certes, le besoin est partiellement comblé par la fabrication rapide avec des procédés de type frittage de poudre métallique (SLS) ou de type DMLS mais à des coûts rédhibitoires [8].

Nous proposons d'adapter la topologie interne d'un insert pour moule de plasturgie en vue de l'adapter aux contraintes d'utilisations d'une presse d'injection plastique industrielle tout en diminuant son volume. L'objectif est de réaliser une série de pièces bonne matière en garantissant le dimensionnel. Nous utilisons la simulation numérique pour optimiser le cœur de l'insert et évaluer sa résistance mécanique pour présenter des solutions de conception prenant en compte la mise en place d'un système de régulation thermique tout en réduisant les coûts de réalisation. La réalisation de l'insert est réalisée par prototypage rapide avec la technologie Polyjet©, nous montrerons que cette approche est adaptable à tous les procédés de fabrication additive mais également soustractive (stratoconception par exemple). L'approche Design For Manufacturing (DFM) est utilisée à travers différents essais mécaniques nous permettant d'intégrer en amont des données nécessaires à l'analyse numérique. Plusieurs caractéristiques de fabrication ont été prises en compte pour interpréter le comportement mécanique de la structure.

¹ <http://www.univ-reims.fr/recherche/plateformes-technologiques/num3d,14908.html>

2. PROCESSUS

Nous proposons dans cet article une méthodologie répondant à l'attente de fabrication de petite ou moyenne série « bonne matière » à moindre coût basée sur nos précédents travaux [12]. Le modèle numérique optimisé tient compte des règles métiers implémentées dans un logiciel d'optimisation topologique. Le processus général explicité sur la figure 1 selon la méthodologie P4LM [4] permet de surcroît de modéliser la connaissance nécessaire à une bonne fabricabilité.

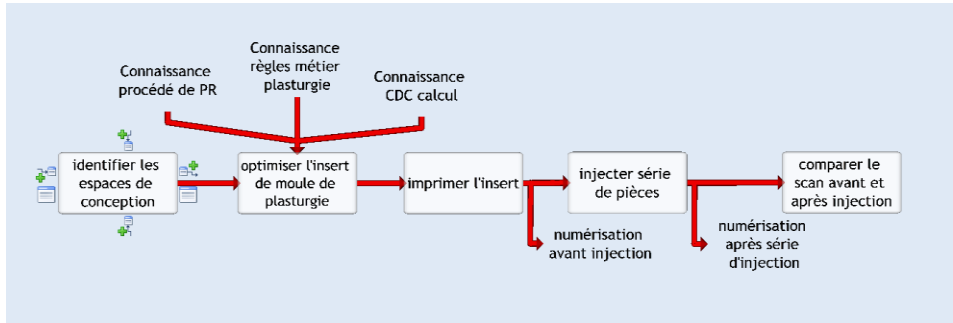


Figure 1 : Processus insert moule plasturgie optimisé

Après un état de l'art qui présente les travaux existants sur les inserts de plasturgie, l'optimisation numérique en général et la technique de comparaisons dimensionnelles 3D, nous présentons les aspects méthodologiques de nos travaux avant de montrer un exemple d'utilisation du processus général (figure 1) sur l'application de l'insert de moule de plasturgie.

3. ETAT DE L'ART

3.1. INSERTS DE PLASTURGIE PAR FABRICATION ADDITIVE

Nous remarquons que la réalisation d'insert pour moule de plasturgie par fabrication additive a déjà fait l'objet de nombreuses études. Certaines purement comparative de procédé [3], [11], [14] visant à aider le concepteur à faire un choix. D'autres utilisent pleinement les possibilités de la fabrication additive pour intégrer au moule (ou insert) directement le système de refroidissement [10].

Cependant ces dernières études cherchent à obtenir des moules pour de grandes séries de pièce. Notre optique est de s'appuyer sur le relatif faible coût de revient de la fabrication additive type résine par rapport aux technologies SLS ou EBM.

Les travaux de Ferreira et Mateus [5], relatif à l'utilisation de moule « souple » type résine à partir de maître modèle obtenu par fabrication additive (SL par exemple) et à leur matrice de décision ([5] figure 1 page 309), nous conforte quant à la faisabilité de notre processus. De plus, les recherches de Harris [7] démontrent

que, sur une petite série, des pièces injectées dans un moule « dur » (aluminium) ou « souple » (résine de SL) ont des propriétés structurelles et thermomécaniques quasi identiques.

Ce faisceau d'information tente à valider l'idée que fabriquer des pièces conformes dimensionnellement et thermo-mécaniquement dans un moule en résine optimisé obtenu directement par impression 3D est une solution possible.

3.2. OPTIMISATION TOPOLOGIQUE

L'optimisation d'un produit consiste à proposer la forme qui répond le mieux possible au triptyque coût, délai, qualité. Madux [9] et Sharpe [13] montrent que les phases en amont de la conception occupent 5% du processus de conception, mais engagent plus de 75% des coûts globaux du produit ; ainsi l'optimisation des structures en phase de conception se révèle capitale dans le cycle de vie du produit. L'optimisation de formes topologique où l'on cherche, sans aucune restriction explicite ou implicite, la meilleure forme possible quitte à changer de topologie. Cette catégorie d'optimisation est une méthode appropriée pour la phase de conception d'une nouvelle pièce car elle permet d'explorer de nouveaux concepts et de trouver des solutions dans les zones de « non confort » pour les ingénieurs.

4. ASPECTS METHODOLOGIQUES

4.1. OPTIMISATION TOPOLOGIQUE EN PROTOTYPAGE RAPIDE

Nous nous intéressons dans un premier temps à l'optimisation topologique dans le cadre de son utilisation en PR. Les autres technologies seront étudiées plus tard. L'optimisation topologique répond en effet au problème d'optimisation de la matière dans le cadre de formes 3D innovantes soumises à un chargement donné.

L'emploi de l'optimisation en PR [6] est généralement utilisé dans le cadre de l'optimisation de la direction de construction, l'optimisation des paramètres métiers, l'optimisation des algorithmes de construction des couches. L'optimisation de la matière utilisée est un objectif important dans le cadre du gain sur le développement d'un produit. Cette optimisation peut correspondre à la fois à la matière du produit mais également à la matière du support. La figure suivante présente le cas de l'utilisation d'une optimisation topologique à la fois sur la pièce et le support utilisé (les 2 optimisations sont réalisées séparément. En optimisation la zone « design » correspond à la zone qui peut être optimisée, c'est l'espace de conception à l'inverse de la zone « non design » qui ne peut être modifiée. Dans le cadre du PR, elle correspond à la peau de l'objet qui doit être visible (figure 2).

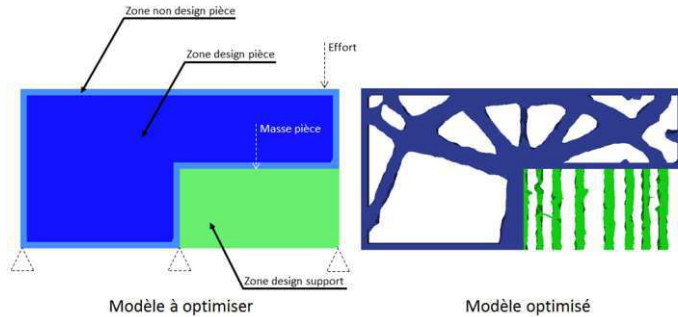


Figure 2 : Exemple d'une optimisation pièce et support

4.2. GESTION DE LA CONNAISSANCE

L'utilisation de l'optimisation numérique repose sur une bonne intégration de la connaissance liée au procédé de PR. Il est ainsi nécessaire d'intégrer les connaissances liées au matériau (caractérisation), au procédé d'obtention de l'insert en lui-même (contraintes géométriques) ainsi que son champ d'utilisation (injection plastique).

La capitalisation et la modélisation de la connaissance s'appuie ici sur des travaux réalisés par le centre technique DINCCS de MICADO sur la méthodologie P4LM [4]. Elle permet d'organiser un projet ou une connaissance en centralisant les informations sous forme de processus permettant de structurer le vocabulaire métier.

La modélisation de la connaissance a été développée selon deux axes :

- La modélisation du procédé d'injection plastique avec la prise en compte de résultats de logiciel de simulation rhéologique préconisant des contraintes d'utilisations (pressions, températures d'injection) et des systèmes de refroidissement (localisation et dimensionnement de la régulation).
- La modélisation du procédé/matériau de l'Eden et son intégration en optimisation numérique puisque la qualité de réponse de la simulation numérique dépend fortement de la caractérisation du matériau.

4.2.1 MODELISATION PROCEDE INJECTION PLASTIQUE

Afin d'implémenter l'outil d'optimisation topologique, une étude de simulation rhéologique a été menée afin de faire apparaître les paramètres de températures du moule et de la pièce (image 1 et 4 de la figure 3), de pression d'injection (image 2 de la figure 3) ainsi que de localisation du système de refroidissement (image 3 de la figure 3). Un soin tout particulier a été porté à la qualité du maillage de l'empreinte dans l'objectif d'avoir une simulation au plus proche du réel mais

également dans l'idée de conserver cette qualité de maillage dans la suite du processus d'optimisation.

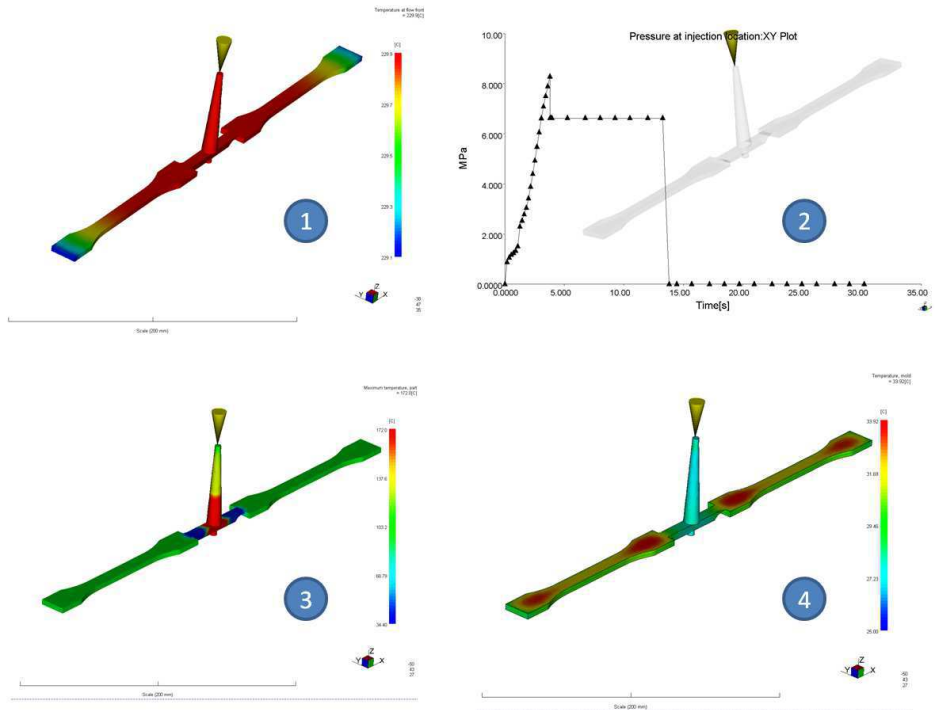


Figure 3 : Simulation Rhéologique de l'insert d'éprouvette

La figure 4 présente sur l'image de gauche la première proposition de localisation du circuit de refroidissement. Pour, au final, et après cinq itérations obtenir un circuit garantissant un refroidissement acceptable en lien avec les courbes PVT du matériau injecté (dans notre cas un Polyéthylène). Après un export du profil sous format igs, nous avons procédé à sa reconstruction 3D sous modèle volumique (Catia V5R20).

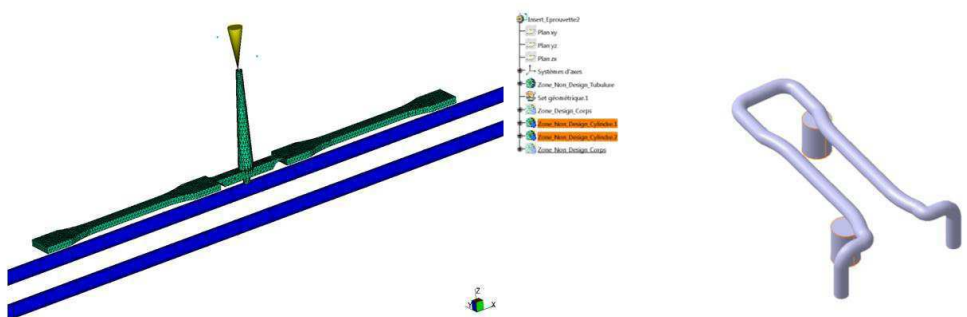


Figure 4 : Optimisation du circuit de refroidissement

4.2.2 MODELISATION PROCEDE/MATERIAU

Pour répondre aux contraintes d'utilisation d'une pièce, nous avons débuté une série d'essais permettant de caractériser mécaniquement et dimensionnellement notre matériau (pour notre cas, nous utilisons un VeroBlack™). Cette étape va nous permettre d'identifier les limites mécaniques du matériau en vue de proposer des solutions de conception et de fixer un domaine d'utilisation.

La démarche expérimentale repose sur l'utilisation d'éprouvettes normalisées fabriquées par PR et d'outils de mesures spécifiques à l'obtention de données comportementales du matériau soumis à un effort de traction. Pour ce faire nous avons réalisé une série d'essais sur banc de traction couplé à un système d'extensomètres bidimensionnel (Caméra de déformation 3D) en nous inspirant de la mise en œuvre de l'essai de traction des travaux de F. Abbassi [1]. Les essais de traction sont utilisés pour déterminer la loi de comportement du matériau nécessaire à la mise en données en optimisation topologique.

Les essais de traction ont abouti à des données exploitables, nous permettant de fixer un module de Young de 2045MPa. Ces essais nous ont permis d'avoir une valeur de référence pour nos calculs, spécifiques à notre protocole et bien plus précise que la plage fournie par le constructeur allant de 2000 à 3000 MPa.

Pour le coefficient de Poisson, nous avons privilégié une technique optique pour son caractère non intrusif, sa grande résolution spatiale ainsi que sa grande sensibilité. Les éprouvettes ont été disposées selon plusieurs orientations afin de quantifier l'influence du sens de fabrication sur les caractéristiques mécaniques. Les résultats de l'exploitation de la mesure par stéréo-corrélation d'image 3D (figure 5) pour l'obtention du coefficient de Poisson (basé sur le ratio « contraction transversale unitaire sur allongement axial unitaire ») ont permis de fixer un coefficient de Poisson à 0,423 pour la suite de nos simulations.

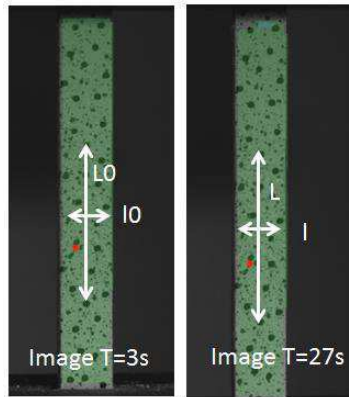


Figure 5 : Mise en place de cotes bi-limites sur deux captures images dans la zone élastique

4.2.3 INTEGRATION DES PARAMETRES

Après avoir fait un relevé de l'empreinte du porte-insert par MMT afin de modéliser avec précision l'englobant de notre insert d'éprouvette, nous avons intégré à notre modèle numérique 3D l'empreinte d'éprouvette ainsi que le profil du circuit de refroidissement (Figure 6 encadré 3).

La première étape de la méthodologie est d'identifier et de définir des zones « design » (Figure 6 encadré 1) ou « non design » (Figure 6 encadré 2), ou, respectivement, « non modifiable » ou « modifiable ». Il faut une opération booléenne dans le logiciel de CAO pour délimiter les différentes zones. Par exemple, un paramètre identifié spécifique à notre procédé comme l'épaisseur de peau minimum permet de fixer la zone « design » (Figure 6 encadré 1).

Nous définissons ensuite deux réponses spécifiques:

- Réponse en compliance. Minimiser la compliance revient à maximiser la raideur totale en fonction d'un effort donné.
- Réponse en pourcentage de la masse. Elle correspond à une réponse globale avec des valeurs comprises entre 0 et 1 permettant à l'utilisateur de spécifier la question intuitive comme « j'ai envie de gagner 30 % de la masse », valeur transcrire comme 0,3 dans notre programme.

Lorsque la pièce est optimisée, nous obtenons un fichier STL imprimable.

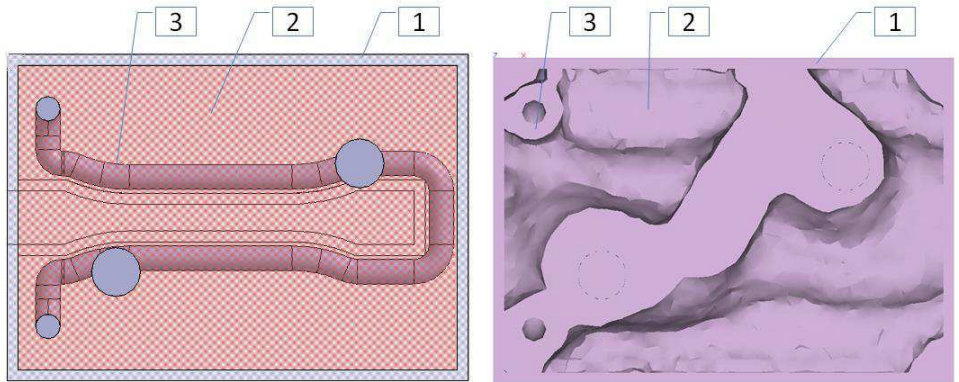


Figure 6 : CAO insert - Insert optimisé

5. APPLICATION INSERT DE MOULE

La technologie de fabrication additive permet d'exploiter toutes les possibilités d'optimisation topologique tout en associant les contraintes métiers de la plasturgie. Ainsi un fichier optimisé avec son circuit de refroidissement (figure 7 photo 1) est facilement réalisable (figure 7 photo 2), dans notre cas la technologie utilisée est de type Polyjet©. Nous pouvons voir sur les photos 3 et 4 de la figure ci-dessous l'insert réalisé en VeroBlack.

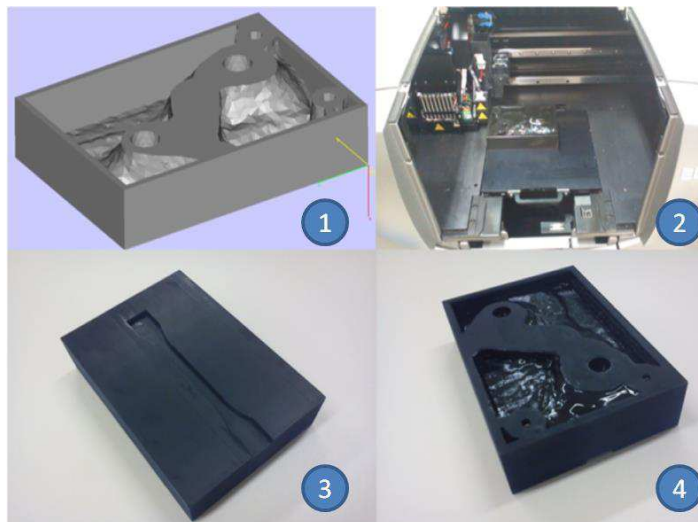


Figure 7 : Impression sur EDEN260V de l'insert d'éprouvette

Nous avons cherché à prouver qu'un insert optimisé à l'aide de notre méthodologie résisterait au minimum autant qu'un insert non optimisé. C'est pourquoi nous avons placé un insert optimisé et l'autre non dans un moule symétrique à deux empreintes.

En utilisant les valeurs spécifiées lors de la phase de simulation rhéologique (pression d'injection, température d'injection et du moule ainsi que les temps de cycle), nous avons pu injecter 50 éprouvettes avant de constater une dégradation du moule. Afin de suivre l'évolution de l'usure nous avons procédé à la numérisation des empreintes par un système d'acquisition 3D et cela toutes les 10 injections.

Le système d'acquisition utilisé dans notre cas propose une précision de $40\mu\text{m}$ et est cautionné pour ces dimensions dans une étude comparative de 6 systèmes d'acquisition différents [2].

La figure 8 correspond au dernier relevé effectué jugé « acceptable » (critère fixé à 0.1mm d'usure). La question se pose de savoir, au vue de la position des zones les plus endommagées, si l'usure est due au cycle lui-même ou à l'arrachement des pièces lors de l'éjection (éjection manuelle pour notre étude). Cette interrogation (entre autre) fait l'objet d'une nouvelle série d'essai.

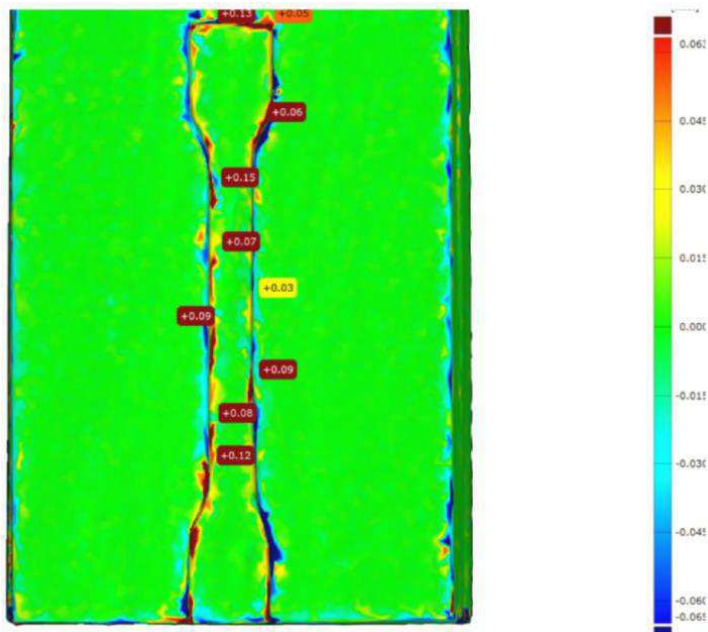


Figure 8 : Comparaison numérique sous forme de cartographie 3D

En termes de quantité de pièce ce moule optimisé permet parfaitement de cibler le marché souhaité (entre le prototype et la grande série) ;

En termes de gain de masse, il est évident que l'optimisation permet un gain non négligeable (ici supérieur à 30%) quasi proportionnel au gain financier avec un insert plein;

En termes de coût, nous avons mené une estimation du prix de revient pour un lot de 50 éprouvettes en prototypage rapide, en production grande série ainsi qu'avec notre solution de moule optimisé, le tableau 1 résume la démarche. Nous démontrons que pour une série inférieure à 50 pièces l'utilisation de la démarche proposée est pertinente qualitativement (figure 8) et économiquement (tableau 1 avec 50% d'économie).

Tableau 1 : comparatif de procédé d'obtention d'un lot d'éprouvette

	Coût outillage	Coût machine	Coût matière	Coût total	Coût unitaire	Remarques
50 Éprouvettes en proto	0€	300€	400€	700€	14€	Eprouvettes non bonne matière
50 éprouvettes en injection	646€	30€	5€	681€	13.62€	Eprouvettes bonne matière mais insert en aluminium plein sans système de refroidissement optimisé
50 éprouvettes avec moule optimisé	292€	30€	5€	327€	6.54€	Eprouvettes bonne matière mais insert à durée de vie limitée avec système de refroidissement optimisé

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Des recherches de partenaires spécialisés dans les phénomènes thermiques des moules de plasturgie est en cours afin d'approfondir les possibilités de l'optimisation topologique avec intégration des règles métiers et des contraintes de mise en forme dans ce domaine d'application.

Nous allons maintenant chercher à valider ce processus à d'autres technologies de fabrication additive (FDM ou I3D par projection de liant) mais également par fabrication soustractive (Stratoconception©).

REMERCIEMENTS

Ce projet est en partie financé par la plate-forme NUM3D. Les principaux acteurs de la recherche et développement, l'UTT, l'ENSAM et l'ERT Gaspard Monge (groupe CReSTIC) pour l'URCA sont partenaires pour la plate-forme NUM3D, cœur des moyens mis en place dans la région Champagne-Ardenne, le conseil général des Ardennes, le FEDER, et l'état. Le centre technique DINCCS remercie également OSEO pour leur implication.

REFERENCES

- [1] Abbassi, F., Pantalé, O., Mistou, S., Zghal, A. and Rakotomalala, R. 2010. Effect of Ductile Damage Evolution in Sheet Metal Forming: Experimental and Numerical Investigations. *Key Engineering Materials*. 446, (Jul. 2010), 157–169.
- [2] Barbero, B.R. and Ureta, E.S. 2011. Comparative study of different digitization techniques and their accuracy. *Computer-Aided Design*. 43, 2 (Feb. 2011), 188–206.
- [3] Chua, C.K., Hong, K.H. and Ho, S.L. 1999. Rapid tooling technology. Part 1. A comparative study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 15, 8 (Jul. 1999), 604–608.
- [4] Danesi, F., Gardan, N., Gardan, Y. and Reimeringer, M. 2008. P4LM: A methodology for product lifecycle management. *Computers in Industry*. 59, 2-3 (Mar. 2008), 304–317.
- [5] Ferreira, J.C. and Mateus, A. 2003. Studies of rapid soft tooling with conformal cooling channels for plastic injection moulding. *Journal of Materials Processing Technology*. 142, 2 (Nov. 2003), 508–516.
- [6] Galantucci, L.M., Lavecchia, F. and Percoco, G. 2008. Study of compression properties of topologically optimized FDM made structured parts. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 57, 1 (2008), 243–246.
- [7] Harris, R.A., Hague, R.J.M. and Dickens, P.M. 2004. The structure of parts produced by stereolithography injection mould tools and the effect on part shrinkage. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 44, 1 (2004), 59–64.
- [8] Hejmadi, U. and McAlea, K. 1996. Selective laser sintering of metal molds: the RAPIDTOOLTM process. *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium (1996)*, 97–104.
- [9] Madux, K.C. 1986. CAE for the manufacturing engineer: the role of process simulation in concurrent engineering. *Manufacturing Simulation and Processes*. (1986), 1–15.
- [10] Mayer, S. 2005. Optimised mould temperature control procedure using DMLS. *EOS Whitepaper, EOS GmbH Ltd.* (2005), 1–10.
- [11] Nagahanumaiah, Subburaj, K. and Ravi, B. 2008. Computer aided rapid tooling process selection and manufacturability evaluation for injection mold development. *Computers in Industry*. 59, 2–3 (Mar. 2008), 262–276.
- [12] Schneider, A., Gardan, J. and Gardan, N. 2012. Optimisation numérique en prototypage rapide. *AEPR 2012*. (14June. 2012).
- [13] Sharpe, J.E.E. 1995. Computer Tools for Integrated Conceptual Design. *Design Studies*. 16(4), (1995), 471–488.
- [14] WOHLER, T. 2012. *Wohlers Report 2012*. Wohlers Associates. Inc.