

Étude de cas : prévision de la simulation par rapport à la réalité

Par Jeremy Williams, RJG® Consultant/formateur

Grâce à la technologie actuelle, il y a très peu de raisons qui pourraient expliquer que nous ne soyons pas en mesure de prédire avec précision le résultat de quasiment tout. En ce qui concerne les pièces moulées par injection, nous souhaitons avoir un aperçu complet avant même d'avoir commencé à usiner le moule. Pourquoi ? Regardons les choses en face, une fois que l'usinage du moule a débuté, nous hésitons souvent à opérer des modifications, en raison des coûts et du temps que cela nécessite. Mais qui ne voudrait pas au fond améliorer la conception et la sélection des matériaux pour éviter les problèmes de dimensions et d'esthétique tout en économisant de l'argent au fil du temps ?

Les techniques de simulation ont connu beaucoup de progrès au cours des trois dernières décennies, mais si nous voulons éviter les variations dimensionnelles, nous devons comprendre ce qui offre le plus haut niveau de précision afin de pouvoir prendre de bonnes décisions techniques.

La précision d'une simulation repose sur 7 facteurs :

1. Le maillage
2. Les algorithmes
3. La caractérisation des matériaux
4. La conception de moules
5. La presse à injecter
6. Le traitement et l'utilisateur
7. Le type d'analyse

Examinons chacun de ces 7 facteurs et voyons dans quelle mesure nous pouvons rapprocher la réalité de la simulation.

Le maillage

Premièrement, il convient de définir le maillage et son fonctionnement. Un moyen simple de le décrire consiste à lancer un cube de $1 \times 1 \times 1$ dans le logiciel et à exécuter les algorithmes sur une seule entité.

Le problème inhérent qui se présente alors est que le cube n'aura pas suffisamment été scindé en petits éléments pour garantir un niveau de précision élevé. Pour améliorer la précision, le cube doit être morcelé en éléments plus petits. Lorsque le cube est scindé en éléments plus petits (voir la figure 1), la précision en sera considérablement augmentée, car le logiciel effectuera dorénavant des calculs sur 27 composants individuels plutôt que sur une seule entité.

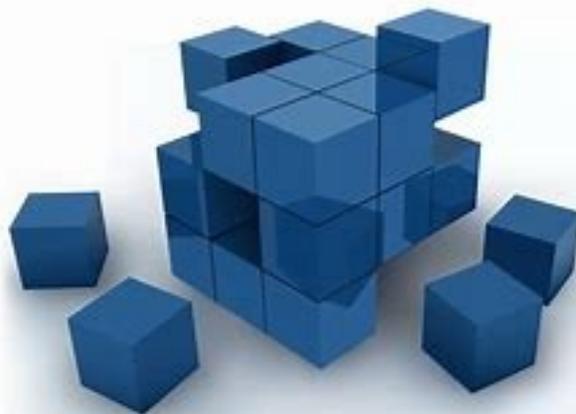


Figure 1 : Exemple d'un nombre de mailles plus élevé

Lors de la création d'un maillage, un équilibre existe entre la précision et le temps nécessaire à l'ordinateur pour effectuer les calculs. Dans la plupart des cas, 500 000 éléments maillés peuvent fournir des résultats en plusieurs heures, tandis que 12 000 000 d'éléments peuvent nécessiter près de 36 heures.

Dans la figure 2 ci-dessous, l'itération de simulation du module de conception a nécessité 6 heures. Il suffit de garder à l'esprit que le temps de calcul est basé sur les processeurs disponibles et que, grâce au cloud computing, ces valeurs peuvent être considérablement réduites.

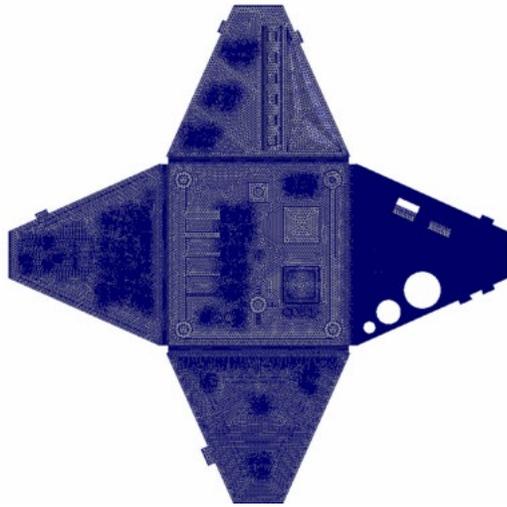


Figure 2 : simulation du Design Pod avec 1,5 million d'éléments. Vous pouvez omettre de petits rayons ou congés, mais il est essentiel de modéliser toutes les fonctions de la pièce pour vous assurer que des incomplets n'apparaîtront pas sur les clips ou les filetages.

La figure 3 montre différentes couches d'épaisseur du Design Pod. Elles sont essentielles pour obtenir une plus grande précision lors de la simulation, empêchant ainsi les variations dimensionnelles pendant le refroidissement. Les températures du plastique baissent rapidement en raison du contact direct avec un moule froid pendant la production. Les couches supérieures de la pièce moulée se forment très rapidement et les taux de transfert de chaleur changent considérablement avec l'épaisseur de la couche supérieure, impactant directement les gradients de pression, les taux de retrait et les dimensions, pour n'en nommer que quelques-uns.

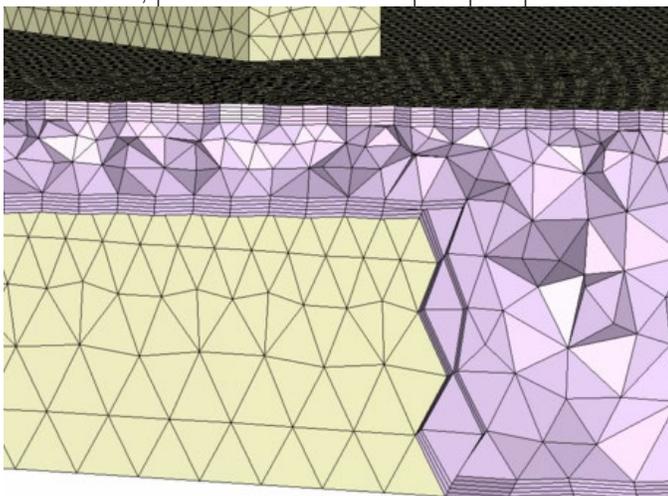


Figure 3 : Module de conception avec 10 couches limites (5 par côté)

Les algorithmes

Dans le logiciel, de nombreux calculs sont effectués en parallèle pour fournir des résultats précis. Ceux-ci incluent (sans s'y limiter) la pression, la température et la vitesse. La figure 4 est un calcul relativement simple pour le refroidissement qui ne prend pas en compte toutes les variables requises pour une simulation de qualité.

Avant d'examiner les équations, nous devons d'abord clarifier les variables :

C_p : chaleur nécessaire pour augmenter la température de l'unité de masse d'une substance donnée d'une quantité donnée.

λ : capacité du matériau à conduire la chaleur

ρ : compacité d'une substance

h : épaisseur de la paroi

t : temps

T : température

$$t_{\text{refroidissement}} = \frac{h^2}{2\pi \times \alpha} \times \ln \left[\frac{4}{\pi} \times \left(\frac{T^\circ \text{ matière} - T^\circ \text{ moule}}{T^\circ \text{ à l'éjection} - T^\circ \text{ moule}} \right) \right]$$

Diffusibilité thermique (α) = $\frac{\text{conductivité thermique } (\lambda)}{\text{Densité } (\rho) \times \text{Chaleur spécifique } (C_p)}$

Figure 4 : Équations de refroidissement et de diffusibilité thermique

Il faut se rappeler que plusieurs équations sont effectuées sur le même élément plusieurs fois au cours de l'analyse. Au fur et à mesure que la pièce refroidit, la couche supérieure devient plus épaisse et la capacité de transfert de chaleur devient de plus en plus difficile.

La caractérisation des matériaux

Plus on en sait sur le comportement du matériau sous différentes pressions, vitesses et températures, meilleurs seront les résultats. Des centaines de propriétés de matériaux sont susceptibles d'affecter la précision et il existe des centaines de milliers de matériaux sur le marché. Ainsi, il peut donc arriver que la matière que vous souhaitez mouler ne soit pas disponible dans le logiciel de simulation. De manière générale, lorsque notre groupe T ZERO® travaille sur un projet, le logiciel que nous utilisons dépend largement de la disponibilité du matériau sélectionné.

Un matériau entièrement caractérisé est un matériau qui a été testé pour toutes les entrées de données requises par le progiciel avec **tous les** additifs inclus. En l'absence d'additifs tels que la couleur, les agents démoulants, les stabilisants thermiques, etc., la précision peut être diminuée. Parfois, tous les tests requis ne seront pas effectués et les éditeurs de logiciels ajouteront des valeurs génériques de la famille de base des résines. Ce n'est pas nécessairement une mauvaise pratique, mais il y a une chance que les résultats soient asymétriques.

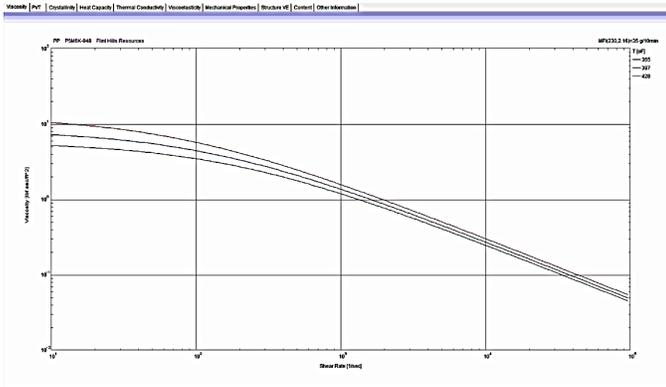


Figure 5 : Fichier de matériel du logiciel de simulation

La conception du moule

Généralement, les analystes utilisent des nœuds pour représenter l'emplacement du seuil, mais cela présente des inconvénients considérables. Il ne reproduit pas entièrement le parcours d'écoulement que prendra le matériau de la buse de la presse à l'extrémité de l'empreinte. Il est impératif, pour obtenir une précision optimale, d'utiliser un modèle tel que celui illustré ci-dessous à la figure 6, doté du système d'alimentation de la matière (canaux froids ou chauds), des circuits de refroidissement et du métal

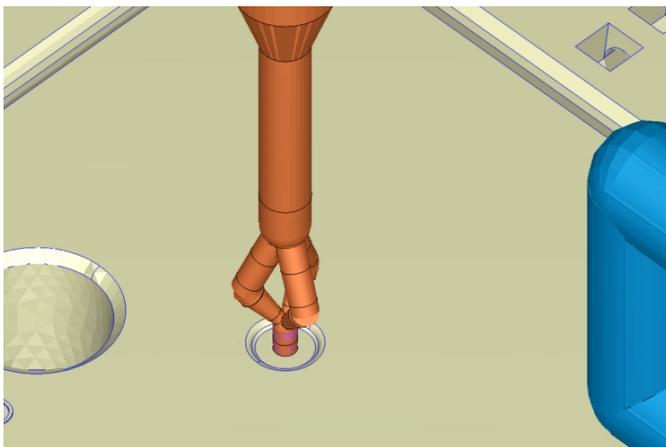


Figure 6 : design Pod avec détails d'alimentation bloc chaud

En l'absence du système d'alimentation, il est très difficile de prédire la perte de pression, ce qui peut engendrer un processus ayant une pression limitée et des pièces qui prendront beaucoup plus de retrait que le taux de retrait sélectionné dans les calculs. L'absence de petits détails dans la géométrie du bloc chaud peut avoir des effets négatifs importants sur les résultats.

Comme dans la plupart des autres domaines du moulage, il n'existe pas de règle unique applicable à tout. Il existe de nombreux cas où des simulations peuvent être nécessaires, mais cela est rendu impossible par l'absence de conception de moule adéquate. Dans ce cas de figure, l'utilisateur doit avoir une bonne compréhension de la conception et de la fabrication des moules.

La presse à injecter

La grande majorité des moules doivent fonctionner selon un certain nombre de paramètres à prendre en compte lors de l'exécution d'une simulation adéquate. Dans le cas du Design Pod, nous devons collecter les variables ayant une incidence sur l'adéquation moule / machine. Une fois que nous avons les données de chaque machine, nous devons concevoir le moule et le processus adaptés à la machine la moins performante. Le tableau I ci-dessous illustre le paramètre machine limitant surligné en jaune.

	Machine 1	Machine 2	Units
Injection Pressure	27,018	31,473	PSI _p
Injection Volume	3.8	3.8	oz
Injection Flow Rate	14.39	17.1	in ³ /sec
Tonnage	85	84	US Tons
Platen Size (V x H)	25.39 x 23.62	22.83 x 22.83	in.
Tie Bar Spacing (V x H)	18.11 x 16.14	16.14 x 16.14	in.
Ejector Pattern	Center, 7x7 V	Center, 7x7 V & H	
Ejector Stroke	3	3.15	in.
Minimum Mold Height	5.91	6.3	in.
Maximum Mold Height	21.65	16.4	in.
Maximum Open Stroke	13.78	11.81	in.

Tableau I : machine virtuelle la moins performante

Si un analyste ne prend pas cela en compte, il est possible que l'unité de production ne soit pas en mesure de produire les pièces au moment défini du cycle, en fonction du taux de rebut ou en fonction des critères de qualité requis. Cela oblige ensuite la société à accepter des marges bénéficiaires plus faibles ou à déplacer le

moule vers une machine plus performante, s'il en existe une sur leur site qui soit disponible.

En plus des paramètres de la presse à injecter, l'utilisateur du simulateur doit fournir au mouleur les débits de chaque circuit afin de garantir la reproduction des environnements virtuels et réels.

Le traitement et l'utilisateur

Le logiciel de simulation fournit des valeurs à intégrer aux équations, mais certaines de ces entrées devront être générées par l'analyste. La plupart du temps, le logiciel utilisera le réglage moyen par défaut pour la température de fusion et de moulage, ce qui est excellent. Cependant, comment détermine-t-on la vitesse de remplissage, la pression de maintien, etc. ?

C'est la qualité de la pièce requise au final qui déterminera la vitesse avec laquelle l'empreinte doit être remplie. Dans certains cas, notamment avec des parois minces, le débit doit être extrêmement rapide pour que l'empreinte soit pleine avant que la paroi matière ne gèle. Dans d'autres cas, comme avec le moulage des lentilles optiques, le débit doit être complètement à l'inverse, pratiquement de telle sorte que la paroi gèle, mais pas entièrement.

Ceci est dû aux contraintes exercées sur la matière pendant la phase de remplissage. Avec une lentille, le stress doit être maintenu le plus bas possible pour que les caractéristiques optiques n'en soient pas affectées. Outre les faibles débits appliqués aux lentilles, les températures de fusion et de moulage sont généralement plus élevées, de même que les pressions de maintien. Ces paramètres permettent d'assurer que les performances de la lentille ne subissent pas d'effet négatif.

Parfois, le logiciel peut aider au choix du seuil. Le logiciel actuel ne prend pas en compte les éléments critiques pour le fonctionnement ou le traitement de dimensions sensibles qui doivent être étroitement contrôlés et / ou surveillés. Ainsi, l'analyste doit comprendre comment interpréter les dessins et travailler avec les services de marketing pour comprendre où placer le ou les seuils. En plus de cela, il faut des connaissances approfondies pour comprendre la façon dont le refroidissement peut être intégré au moule via des passages d'eau standards, des lames, des puits ou caloducs.

Dans le cas du Design Pod (figure 7), de très fines sections de paroi dictaient l'utilisation d'un débit élevé afin de garantir le remplissage de l'empreinte avant que la paroi ne gèle et ne crée des incomplets.

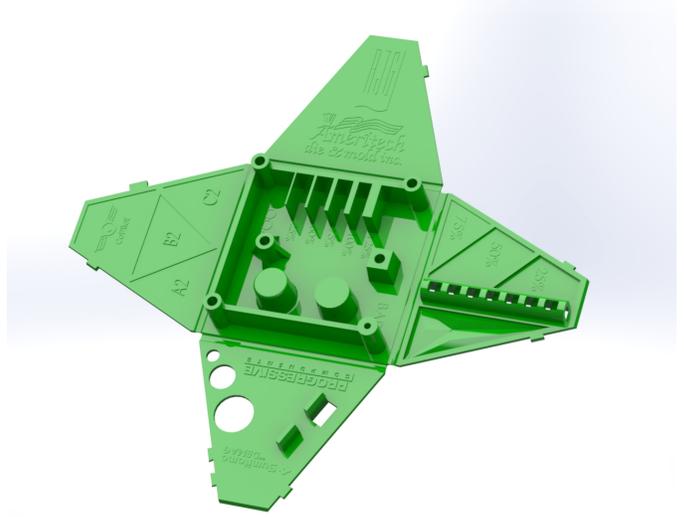


Figure 7 : Design Pod à géométrie complexe

Les types d'analyses

Il existe quatre types d'analyses à exécuter avec des centaines de résultats disponibles pour chacun. Ne vous inquiétez pas, nous ne les aborderons pas tous, mais juste les plus importants.

Le premier type est une analyse de remplissage qui montrera notamment le réchauffement dû au cisaillement, les taux de cisaillement, la contrainte de cisaillement, les pièges à air, les lignes de soudure, les forces de fermeture et la pression d'injection.

Nous avons ensuite l'étude du compactage qui déterminera la force de fermeture, l'étanchéité au seuil, les dénivelés potentiels et les vides.

Le refroidissement aide à déterminer le temps de cycle global en fonction de l'épaisseur de la paroi et de la section du matériau (métal et plastique), ainsi que la localisation de la ligne de soudure.

La déformation est inhérente à la plupart des pièces moulées en plastique, sinon à toutes. C'est juste une question d'échelle.

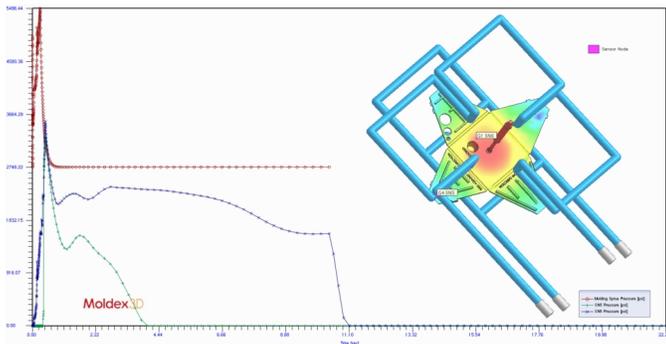


Figure 8 : Prévissions de la pression dans l'empreinte du Design Pod

Transfert de modèle et résultats

Maintenant que nous avons fait nos devoirs et que nous comprenons tout ce qui détermine la précision, examinons les résultats.

Grâce aux solutions de simulation, RJG a la possibilité de créer un modèle basé sur l'emplacement correct du capteur et de générer une courbe de pression dans l'empreinte au sein du système eDART®.

Nous avons pris des entrées du logiciel de simulation et les avons directement insérées dans la machine de moulage pour évaluer les prévisions par rapport à la réalité. La figure 9 ci-dessous montre que la ligne en pointillés correspond au modèle de simulation, tandis que la ligne continue représente les courbes de pressions dans la cavité en temps réel.

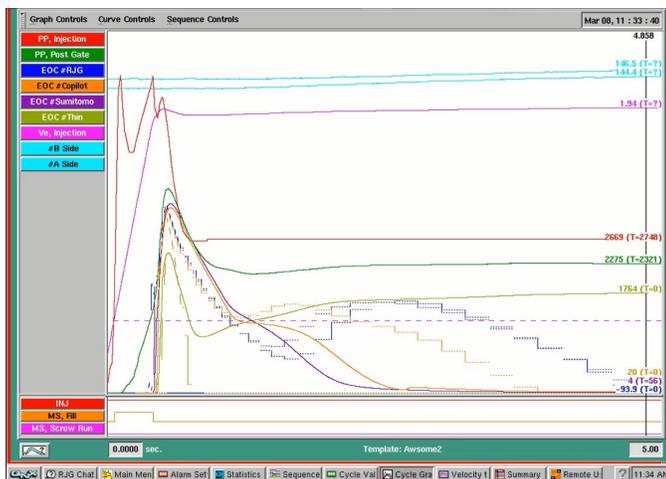


Figure 9 : Prévission vs réalité

Le temps de remplissage était inférieur à 0,05 seconde par rapport aux valeurs prédites et la pression maximale dans l'empreinte en fin d'empreinte était plus basse de seulement 300 psi. Le taux de refroidissement réel par rapport à la prévision est la partie où la simulation peine

encore. Cela renforce l'importance de garantir la précision de vos algorithmes.

Conclusion

Avoir une compréhension profonde de la manière dont ces 7 variables interagissent entre elles peut augmenter considérablement l'efficacité et la valeur d'une simulation. Veillez toutefois à ne rien oublier, sinon le rapport de simulation ne sera probablement plus jamais consulté.



Jeremy Williams jouit de plus de 19 ans d'expérience dans l'industrie des plastiques au service des industries médicales, automobiles, de l'ameublement et de l'électroménager. Il était précédemment ingénieur principal,

passant de la conception à la vente de produits. Jeremy a obtenu sa certification Master Molder II en 2011, est devenu formateur certifié RJG en 2012 et a débuté chez RJG en 2015. En plus de sa vaste expérience en fabrication, il est diplômé en plasturgie et en commerce. Actuellement, Jeremy est consultant / formateur chez TZERO®.