

# SolidWorks Plastics en STS

FRÉDÉRIC BRUYÈRE, YANN LESPINAS<sup>[1]</sup>

*La version 2014 de SolidWorks inclut un module complet de simulation d'injection plastique, dont nous vous avons présenté une utilisation possible en STI2D dans le précédent numéro. En voici une plus avancée pour des STS.*

## Les sections concernées

En tant qu'enseignant, la première question que l'on peut se poser est : « Avec quelles classes vais-je pouvoir utiliser ce complément, dans quel cadre, avec quel objectif ? » Nous allons donc voir dans quelle mesure on peut exploiter les possibilités de SolidWorks Plastics après le baccalauréat. À ce niveau, il existe différentes formations permettant d'en tirer parti : les BTS CPI (Conception de produit industriel), ERO (Étude et réalisation d'outillages), IPE (Industries plastiques EuroPlastic) et CIM (Conception et industrialisation en microtechniques), et on pourrait également citer les DUT GMP et SGM, ainsi que toutes les formations supérieures, niveaux licence, master ou école d'ingénieurs, qui comprennent un module de conception, généraliste ou de pièces plastiques, en lien avec la fabrication.

## BTS CPI

En BTS CPI, l'étudiant doit être capable de mener une étude de préindustrialisation. Puis, en lien avec un spécialiste, il pourrait optimiser la relation produit (fonction et géométrie) - matériau - procédé - coût. Cette notion de travail collaboratif est importante, et ce sera l'un des socles de compétences et de savoirs de la future réforme des BTS.

Le référentiel distingue deux types de logiciels : ceux qui sont accessibles par le concepteur en toute autonomie, et les outils métier que seuls des spécialistes peuvent exploiter. L'énorme avantage de SW Plastics est qu'il intègre ces deux types. En fonction des calculs demandés, on a différents niveaux d'expertise dans l'utilisation du logiciel et dans les connaissances associées : Flow (injection) ou Flow + Pack (injection + compactage) ou Flow + Pack + Warp (injection + compactage + déformation). SolidWorks Plastics peut donc faciliter la collaboration des étudiants avec les spécialistes métier que sont les outilleurs d'une part et les plasturgistes d'autre part.

## mots-clés

logiciel, procédé, simulation

## BTS CIM

En BTS CIM, l'étudiant doit être capable de mener une étude de conception de moule de validation. Une fois la moulée sur une empreinte optimisée, il pourrait, en lien avec un spécialiste, affiner la relation produit-matériau-procédé. Ce BTS utilise depuis sa rénovation en 2005 les logiciels d'optimisation du triptyque matériau-procédé-outillage. SW Plastics a dans le cadre de cette formation un intérêt particulier : sa totale intégration à SolidWorks permet une interaction directe de la modélisation et de la simulation.

Cette notion de travail collaboratif avec des spécialistes est importante, et même fondamentale dans le cadre de ce BTS.

## BTS ERO

Pour le BTS ERO, le référentiel date de 1990... Il va sans dire que la notion de simulation métier est absente du programme, même si elle s'est imposée par la force des choses. Ce BTS fusionnera probablement avec le BTS IPM dans le cadre de la future réforme. Ce futur diplôme intégrera-t-il la conception et la réalisation d'outillages destinés entre autres à la filière plasturgie ? On peut l'espérer, car cela répond à une vraie problématique industrielle.

En attendant, l'étudiant en STS ERO peut jouer le rôle de l'expert outilleur vis-à-vis du BTS CPI – optimisation de l'outillage, directions de démoulage, refroidissement, point d'injection... –, dans une optique de minimisation des coûts de fabrication.

Le rôle de SW Plastics pour le BTS ERO est donc de valider les choix de l'outilleur en matière de conception d'outillage. L'idéal est que la CAO intègre aussi des outils de conception de moules, ce qui est le cas pour SolidWorks.

## BTS IPE

L'étudiant en STS IPE est celui qui profitera le plus du module. Que ce soit en conception de pièce, en conception d'outillage ou en mise au point d'outillage, il pourra en utiliser toutes les possibilités.

Au niveau de l'optimisation du produit, il est l'interlocuteur privilégié du BTS CPI. Il doit être capable de proposer les modifications du produit en utilisant les savoirs spécifiques du plasturgiste.

Au niveau de l'optimisation de l'outillage, il est l'interlocuteur privilégié du BTS ERO. Il doit émettre, en dialoguant avec l'outilleur, des propositions de conception ou de modification d'outillage.

[1] Professeurs agrégés de sciences industrielles de l'ingénieur option ingénierie mécanique au lycée Arbez-Carme de Bellignat (01).



**1 Les cadres permettent de réaliser des moules en silicone et des pièces en polyuréthane**

Au niveau de l'optimisation de process, il doit proposer, argumenter et valider des solutions adaptées à la réalisation correcte du produit en faisant le lien entre l'outillage, la machine et le processus.

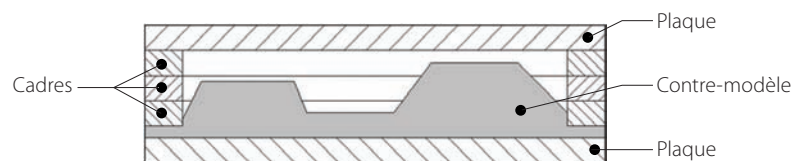
Chaque fois, le référentiel précise que l'étudiant doit s'appuyer notamment sur des résultats de simulations.

Cependant, le nouveau BTS IPE qui se profile est incertain. Deux visions de ce qu'il pourrait devenir sont proposées : une sorte de super bac pro formant des monteurs-régleurs, ou un BTS de conception en plasturgie (pièce, outillage et procédé). Ce qui ne revient pas au même quant à l'utilisation d'un logiciel de simulation d'injection. Malgré tout, dans le cadre d'une collaboration entre différents BTS (que semble privilégier la future réforme), l'utilisation d'un outil de simulation intégré à la CAO et partagé entre tous les acteurs, avec différents niveaux d'expertise afin de s'adapter au profil de chaque type d'étudiant, est un véritable atout pédagogique.

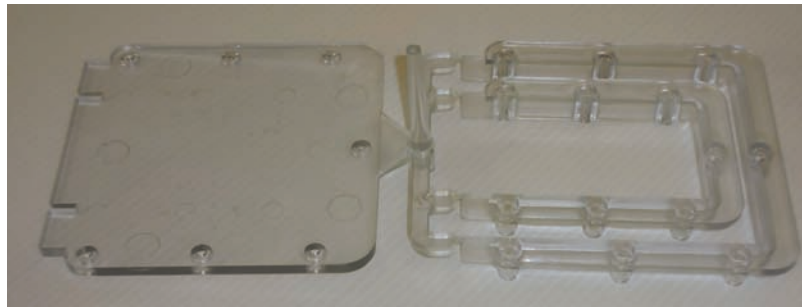
### Le support

Le produit qui va servir de support à cette présentation est un système de cadres modulaire en PMMA (polyméthacrylate de méthyle) qui doit permettre à l'utilisateur de produire et reproduire des pièces « bonne matière » dans un moule silicone à des cotes dimensionnelles stables et conformes au cahier des charges. Ce moule silicone sera réalisé à partir d'éléments modulaires réels, et ce, depuis le contre-modèle de la pièce. Les pièces sont fabriquées dans notre lycée et commercialisées par la société Technocast **1**.

Les cadres, d'une épaisseur standard de 10 mm, peuvent s'empiler pour l'obtention d'une épaisseur de moule adaptée à la pièce à produire. En assemblant la



**2 Le système de cadres modulaire permettant la réalisation d'un demi-moule**



**3 Une moulée complète : les pièces, les seuils, le canal d'alimentation et la carotte**

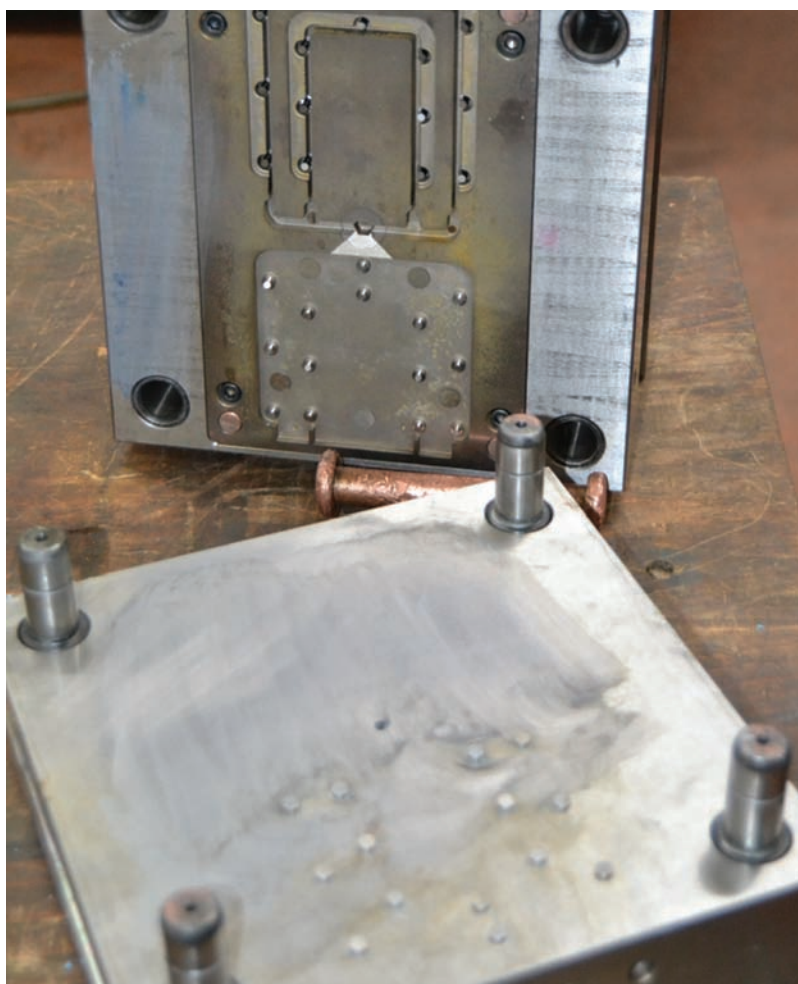
quantité nécessaire de cadres avec deux plaques ainsi qu'une plaque modèle obtenue par prototypage, il est possible de réaliser un demi-moule si l'on effectue une coulée de silicone **2**.

Ensuite, les parties du moule sont assemblées entre les cadres, et le tout est placé sous vide pour que soit remplie l'empreinte de polyuréthane (il en existe une multitude de grades pour des applications diverses).

Afin de réduire les coûts d'outillage et de simplifier la production, assurée par nos élèves de bac pro Plasturgie, le moule présente les empreintes des trois types de pièces **3**. Il est modulaire, et, en fonction de son assemblage, il est possible de réaliser des plaques pour les petits ou pour les grands cadres. La présence d'un robinet à la jonction entre la carotte et le canal d'alimentation permet de réaliser soit une moulée complète soit des cadres. L'étude qui va suivre s'intéresse à la réalisation d'une moulée avec les cadres seuls.

### L'exploitation pédagogique

Il est difficile de concevoir une pièce en plastique injecté sans anticiper les problèmes liés à la réalisation de l'outillage ou à l'injection elle-même. La démarche qui va suivre est une première approche donnée dans un module commun à nos classes de BTS ERO, IPE et CPI. Au-delà de ses capacités de prédiction, un logiciel de simulation d'écoulement permet de manière rapide et



**4** Le moule permettant la réalisation des pièces. La carotte est en partie fixe, et les canaux sont creusés dans la partie mobile

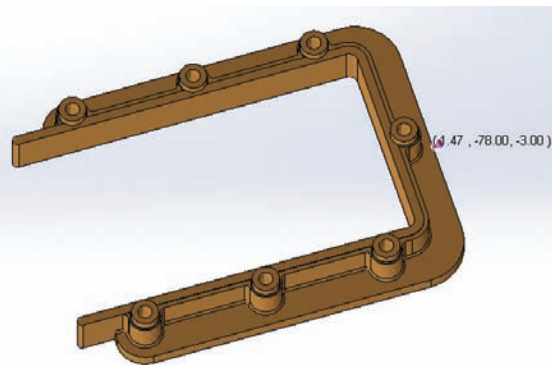
simple de comprendre certains problèmes complexes liés à la conception de pièces et de leur outillage.

Le prérequis ici est l'analyse de moulage, c'est-à-dire le choix des dépouilles, des lignes de joint et des directions de démoulage.

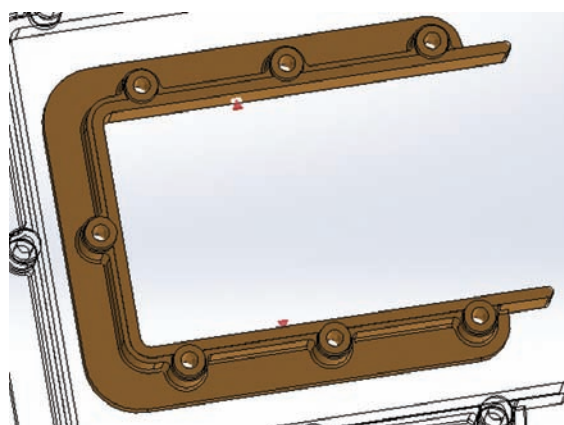
#### Le choix de la position du seuil

Après avoir déterminé les lignes de joint sur le modèle, on peut positionner le point d'alimentation des pièces en plastique, le seuil. Dans le cas de canaux froids (c'est-à-dire avec une moulée sous forme de grappe), il est souvent plus simple et moins coûteux de le réaliser au niveau d'une ligne de joint. Les canaux seront ainsi usinés au plan de joint (surfaces de contact entre les parties de l'outillage qui délimitent les lignes de joint) sur la partie mobile du moule ou sur les deux parties, de part et d'autre (cette solution est plus coûteuse, car sa fabrication est plus longue) **4**.

Pour un bon écoulement de la matière dans la cavité de la pièce, le seuil se place de manière à minimiser la longueur maximale d'écoulement en respectant la contrainte technique précédente et en faisant attention aux défauts générés (lignes de



**5** Ainsi placé, le seuil minimise la longueur maximale de l'écoulement



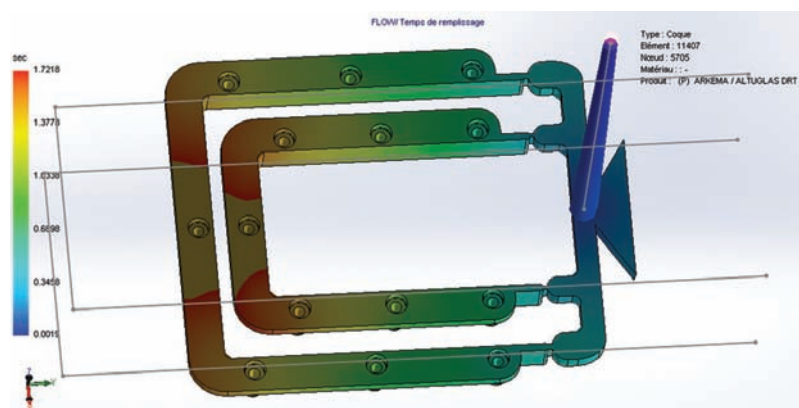
**6** Le positionnement automatique des seuils par SolidWorks ne prend pas en compte les contraintes de réalisation du moule

soudure et inclusions d'air). Les cadres étant symétriques, s'il ne fallait en placer qu'un, ce serait au plan de symétrie **5**.

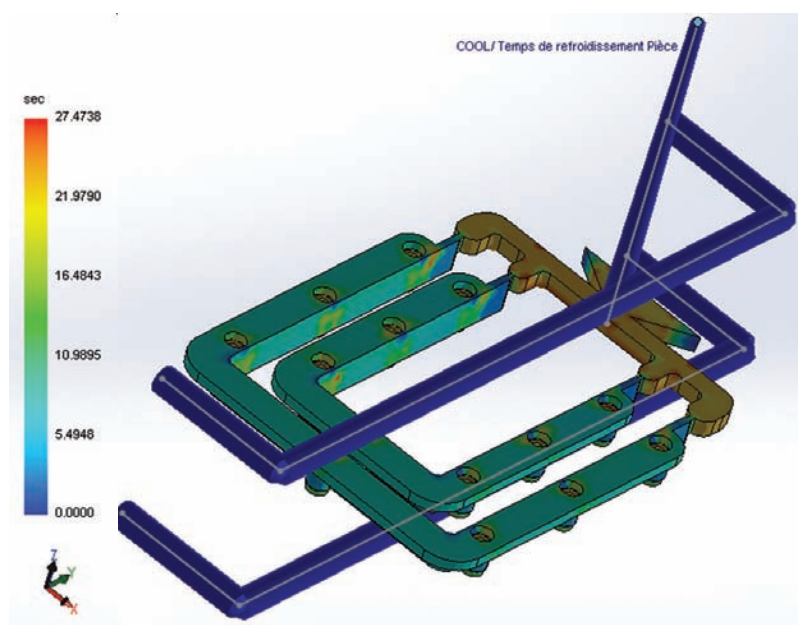
Si l'on souhaite réaliser deux seuils par cadre, la détermination des positions respectant le critère de minimisation de la longueur d'écoulement est moins triviale. SW Plastics dispose d'un assistant permettant, en fonction du nombre de seuils désirés, de les positionner automatiquement **6**.

Malheureusement, faire une moulée avec des cadres de tailles différentes et une plaque ne permet pas, dans les dimensions du moule et sans faire trop de déchets (avec les canaux et la carotte), de les positionner selon la recommandation de SolidWorks. En définitive, les seuils seront positionnés sur les extrémités des branches des cadres. À l'aide du logiciel de simulation, il est possible de quantifier l'influence de leur position sur la pièce produite. Avec les seuils positionnés de manière automatique, la valeur de la retassure maximale est divisée par deux, et le déplacement maximal (gauchissement) 20 % plus faible.

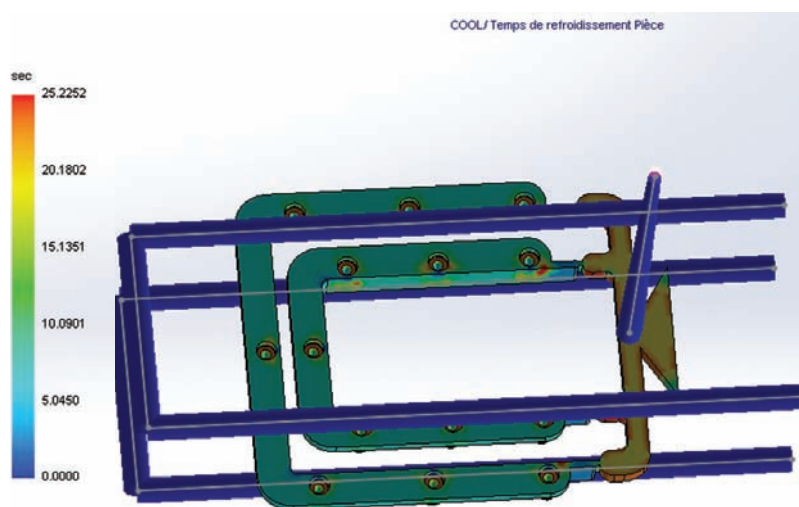
Il faut ensuite mettre en place dans SW Plastics la modélisation de la moulée complète. Pour ce faire,



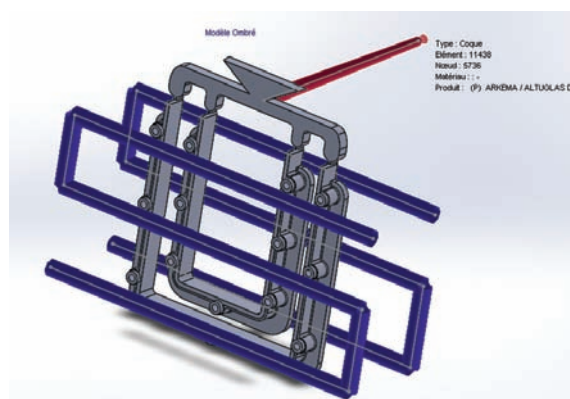
**7** Le bon dimensionnement des canaux et seuils permet un remplissage équilibré



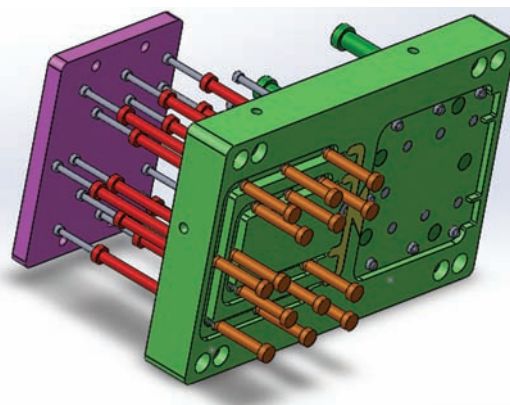
**8** Une régulation thermique simple du moule donne un temps de refroidissement de 27 secondes



**9** Avec des circuits à peine plus évolués, le temps de cycle est réduit de 2 secondes



**10** Ce circuit permet le refroidissement des zones épaisses, les bossages



**11** Les broches et éjecteurs présents dans le moule ne permettent pas n'importe quel passage de circuit de refroidissement

il faut, dans un fichier pièce de SolidWorks, imbriquer les cadres l'un dans l'autre, modéliser le canal ainsi que les seuils avec les outils habituels du modéleur, et représenter la carotte à l'aide d'une esquisse ou d'une esquisse 3D (qui sera créée ultérieurement à l'aide des menus de SW Plastics).

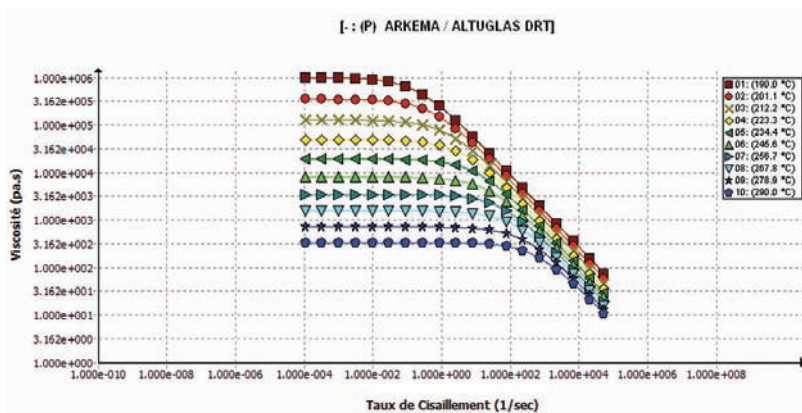
Afin de limiter les défauts dans le cas de moules multi-empreintes, il faut, si possible, que tous les remplissages d'empreinte se terminent au même moment. Par itération manuelle en lançant différentes simulations, on arrive assez rapidement à déterminer les dimensions à donner aux seuils et canaux pour équilibrer le remplissage **7**.

### La régulation thermique

Pour terminer la conception préliminaire du moule, il faut déterminer le choix des circuits de régulation thermique. Ces circuits servent au passage d'un fluide caloporteur proche de l'empreinte afin d'évacuer la chaleur jusqu'à la solidification de la pièce moulée. Leur tracé s'effectue à partir du complément en s'appuyant sur une esquisse 3D. La première incidence de cette régulation thermique porte sur le temps de cycle. La durée de remplissage est négligeable devant la durée de refroidissement **8 9**.

		Déplacement maximal en mm	Retassure en mm	Contrainte résiduelle en Mpa
Circuit en U	Diamètre 8 mm	0,7	0,096	45,67
	Diamètre 6 mm	0,71	0,101	45,34
Circuit en S	Diamètre 8 mm	0,56	0,153	39,79
	Diamètre 6 mm	0,55	0,147	39,8

12 Les résultats des simulations mettent en avant l'effet de la forme des circuits de refroidissement



13 Les matières plastiques ont une viscosité qui chute avec un taux de cisaillement élevé

Les autres incidences sont la diminution des retassures du déplacement et des contraintes résiduelles – des simulations permettent de le vérifier. Un circuit idéal serait basé sur un tracé qui passe près des bossages, zones à plus forte épaisseur. Mais la présence des éjecteurs et des broches dans le moule ne le permet pas 10 11.

Le choix du diamètre des canaux du circuit est déterminé de manière à minimiser les défauts sur la

pièce ; dans notre cas, le diamètre le plus approprié est de 8 mm 12.

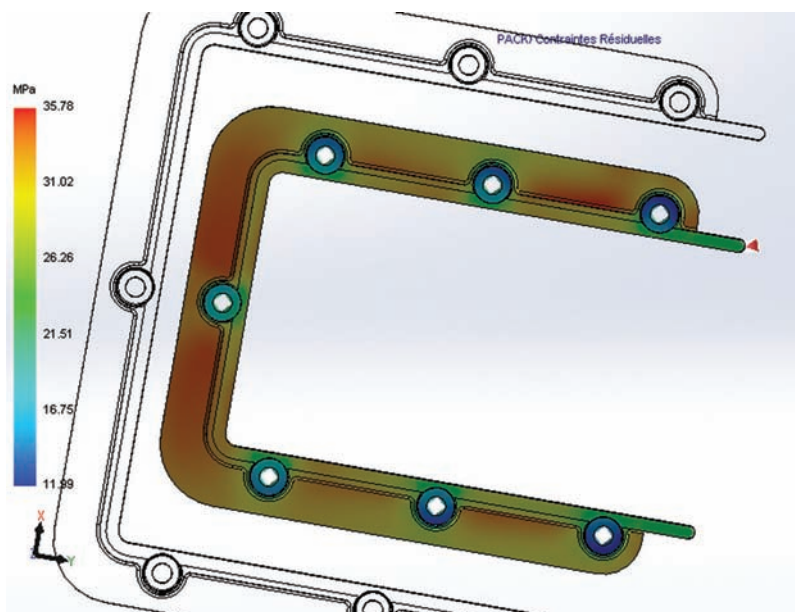
À ce stade, les valeurs données par le logiciel ne sont qu'indicatives. La géométrie extérieure du moule ainsi que les réglages de l'injection influencent les résultats de manière significative.

SolidWorks Plastics permet de représenter approximativement le volume enveloppe du moule et d'en tenir compte dans son analyse thermique. Par exemple, dans le cas de l'injection des cadres, une simulation avec ce moule virtuel modifie de 10 % à la baisse la valeur du déplacement maximal.

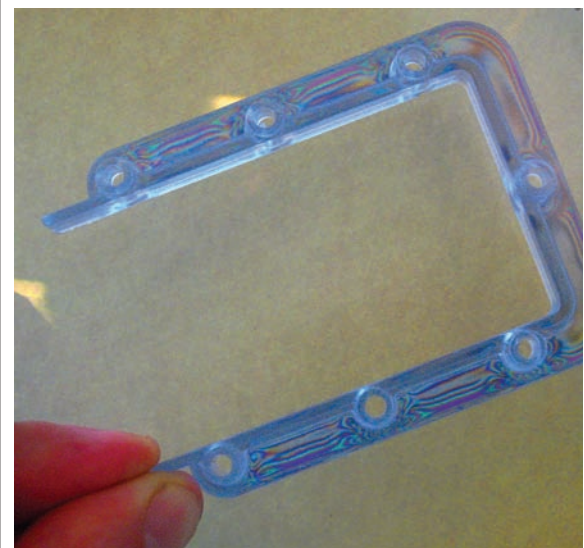
**Le paramétrage de l'injection**

En ce qui concerne le réglage de l'injection, afin de s'approcher au mieux de ce que va faire le régleur, deux phases sont à paramétrer :

- La phase de remplissage, notamment le profil de vitesse d'acheminement de la matière dans le moule, et le temps de remplissage (nous ne parlerons pas ici du point de passage entre le contrôle de l'avance de la vis d'injection en vitesse et le contrôle du maintien en pression, appelé commutation) ;
- La phase de maintien sous pression de la moulée : une fois le moule plein de polymère fondu, la presse continue à appliquer une pression (réglable en profil)



15 Le logiciel donne une estimation des contraintes résiduelles



16 Un montage optique à base de filtres polarisants met en évidence des franges de couleur représentant les gradients de contraintes résiduelles

	Temps de remplissage en s	Déplacement maximal en mm	Pression maximale de remplissage en MPa
Essai 1	1,6	0,69	120,7
Réglage automatique	1,92	0,69	117,8
Essai 2 : réglage choisi	2	0,67	115,7
Essai 3	2,2	0,71	133,08

**14 Le temps de remplissage automatique est proche du temps minimisant les défauts (ici le déplacement maximal)**

jusqu'au gel des seuils. Son effet principal est la diminution du retrait et des retassures.

Pour le réglage de la durée de remplissage, il faut garder à l'esprit que la viscosité des plastiques fondus est fonction de leur taux de cisaillement. Ainsi, une injection lente ne permet pas toujours une réduction de la pression **13**, qui permet de limiter les défauts. Il y a donc une valeur optimale pour le temps d'injection, que des itérations sur le logiciel permettront de trouver **14**.

En ce qui concerne le maintien sous pression, la simulation permet d'en régler les paliers (en pourcentage de la pression de fin de remplissage). La durée par défaut est celle de gel du seuil, et n'est donc pas à modifier. Par itération, on arrive aussi à minimiser les défauts. Les résultats obtenus seront alors plus proches de ce qui sera effectivement produit.

Les cadres étant réalisés en PMMA, on peut comparer les résultats de contraintes résiduelles de la simulation avec la réalité (le PMMA étant biréfringent, il permet de faire une étude de photoélasticimétrie), et constater de manière qualitative que les variations de contraintes réelles sont situées aux endroits prédits par le logiciel **15 16**.

Une mesure des cadres permet aussi de vérifier la pertinence des résultats en déplacement.

### En ligne

Des ressources à télécharger sur Éduscol STI :

[http://eduscol.education.fr/sti/ressources\\_pedagogiques/coulee-sous-vide-standard-pour-moule-silicone](http://eduscol.education.fr/sti/ressources_pedagogiques/coulee-sous-vide-standard-pour-moule-silicone)

Accès au TP en ligne « Modéliser un moule silicone avec le standard Technocast » :

<http://mondesk.fr/jump7696e2D131F1a>

Le site de Technocast, qui commercialise la mallette du système de cadres modulaire sujet de cette étude :

[www.technocast.fr](http://www.technocast.fr)

De multiples ressources téléchargeables et des maquettes didactiques sur le site de Proto Labs, ainsi qu'un glossaire :

[www.protolabs.fr/ressources](http://www.protolabs.fr/ressources)  
[www.protolabs.fr/ressources/glossary](http://www.protolabs.fr/ressources/glossary)

Retrouvez tous les liens sur <http://eduscol.education.fr/sti/revue-technologie>

### Conclusion

Les étudiants ont mené de manière virtuelle la démarche de conception d'outillage et d'injection. Bien qu'incomplète, elle a le mérite de les amener rapidement à envisager la conception de pièces plastiques dans sa globalité. ■