

La simulation d'injection avec SolidWorks Plastics

FRÉDÉRIC BRUYÈRE, YANN LESPINAS^[1]

Voici un exemple de l'utilisation en STI2D spécialité Itec du nouveau module de SolidWorks dédié à la simulation d'injection plastique. Il est issu d'un projet réalisé par des enseignants dans le cadre d'une plate-forme de partenariat école-recherche-entreprise dans le domaine de la plasturgie.

Le projet autour du jeu des 10 Chiffres

Hébergée au sein de notre lycée, la plate-forme Plastétude est spécialisée dans la plasturgie et les domaines connexes (outillage et conception de produits). Elle accompagne depuis plusieurs années les échanges industriels entre les établissements de formation, les laboratoires de recherche et les entreprises. Par ce biais, nous nous voyons souvent proposer par des entrepreneurs ou industriels l'étude de projets composés de pièces plastiques. Les projets que nous choisissons nous servent ensuite comme ressources pédagogiques dans nos enseignements.

Celui que nous vous présentons ici répondait à une demande de la société Marbotic, une start-up incubée à l'École centrale Paris qui développe des jeux interactifs pour enfants, quant à son jeu des 10 Chiffres. Il est composé de dix chiffres en bois que l'on pose sur une tablette tactile ; celle-ci les reconnaît, puis propose du contenu éducatif approprié (additions...). **1** La détection fonctionne grâce à la position relative de trois plots qui forment un encodage. Pour que la détection se fasse, il faut que le courant électrique circule entre la main de l'enfant et l'écran via les plots.

La demande ne concernait évidemment pas la partie bois, mais la conception des pièces relatives à cette partie détection : les contacts des trois plots avec la tablette devaient se faire convenablement et de façon suffisamment précise, afin d'éviter des erreurs de décodage.

La version 2014 de SolidWorks inclut un module complet de simulation d'injection plastique, Plastics, dont l'intérêt est de pouvoir limiter au maximum les prototypes. Le projet, ne comportant pas de grandes contraintes techniques liées au procédé d'injection, ne nécessitait pas d'en utiliser toutes les potentialités.

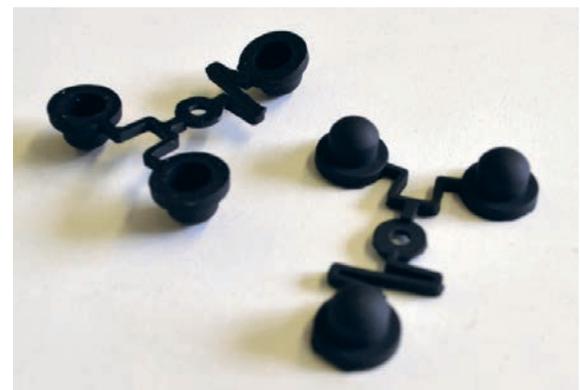
[1] Professeurs agrégés de sciences industrielles de l'ingénieur option ingénierie mécanique au lycée Arbez-Carme de Bellignat (01).

mots-clés

logiciel, procédé, simulation



1 Le jeu des 10 Chiffres



2 Des tripodes de détection du chiffre par la tablette



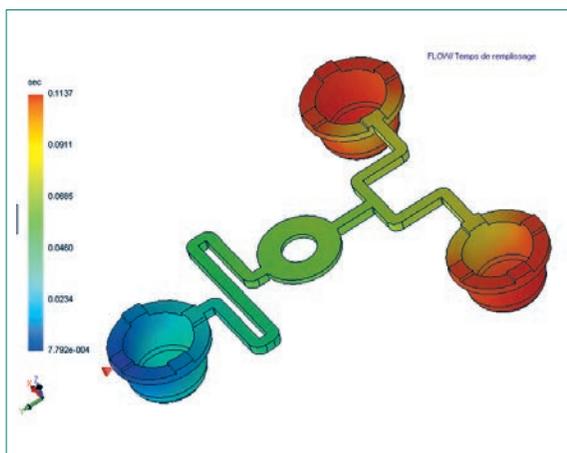
3 Un 6 et un 9 encodés différemment grâce à l'élasticité des tripodes

La conception des plots

Au départ, Marbotic pensait faire dix pièces, une pour chaque chiffre, chacune étant composée d'une plaque rigide comportant les trois plots réalisant le codage, le tout moulé d'une seule pièce. Cela faisait donc dix



4 L'analyse d'épaisseur permet de repérer avant toute simulation les zones à retassures potentielles



5 En plaçant le seuil sur un plot, le remplissage du modèle s'équilibre bien

empreintes d'injection. Mais, après essais, afin de limiter les coûts d'outillage, le choix s'est porté sur l'utilisation d'un seul moule. La pièce plastique, réalisée en TPE conducteur (élastomère thermoplastique), est identique quel que soit le chiffre **2**. Les différentes configurations sont obtenues par déformation des liaisons entre les plots **3**.

Pour anticiper les problèmes de retassure, la pièce a une épaisseur quasi constante. Ici, nous utilisons les outils habituels de SolidWorks qui permettent d'effectuer une analyse de l'épaisseur **4**.

Il faut ensuite choisir la position du point de remplissage de la pièce : le seuil. Le choix de la position du seuil est guidé par des contraintes de fabrication du moule et de limitation des défauts pièces (voir l'encadré

sur les défauts). Pour cela, il est important de veiller à l'équilibrage du remplissage du moule, en terminant le remplissage des différents plots au même moment. Deux solutions s'offrent à nous :

- le remplissage à partir du milieu évite une ligne de soudure prévue par la simulation sous SolidWorks Plastics. Par contre, la détermination exacte de la position qui permet un bon équilibrage n'est pas évidente à trouver, et ce choix complique un peu la réalisation du moule ;

- le remplissage à partir d'un plot, malgré la présence inévitable d'une ligne de soudure, permet un bon équilibrage des deux autres plots, et le moule reste simple à réaliser **5**.

Maintenant que nous avons déterminé les positions possibles pour les seuils, nous pouvons conduire des simulations.

La simulation de remplissage simple

Pour que la simulation se déroule bien, il faut :

- **Avoir le modèle de la pièce** qui sera traité comme une empreinte de moule (cavité) par le logiciel.
- **Sélectionner une matière**. Dans notre cas, la matière est un compound particulier qui n'est pas dans la base de données. Nous sélectionnons alors une matière qui a les caractéristiques d'écoulement le plus proches : un SEBS (styrène-éthylène-butylène-styrène).
- **Paramétrer le réglage du remplissage**. En première approche, nous ne touchons pas aux réglages, ce qui permettra au logiciel de faire les siens en automatique.
- **Mailler le modèle**. En première approche, un maillage moyen (donc automatique) est suffisant. Il faudra ensuite densifier manuellement le maillage à proximité des zones à défaut (après les avoir repérées avec une première simulation) afin d'éviter les erreurs d'interprétation (voir l'encadré sur le maillage).

La simulation fait apparaître sur chaque plot une inclusion d'air (voir l'encadré sur les défauts). C'est une zone où le front de la matière se referme sur lui-même, emprisonnant une bulle d'air. Cet air se charge de monomère, et, avec la température et la pression élevées, risque une combustion par effet Diesel : c'est une zone à défaut potentiel. Techniquement, il est possible de réaliser des événements dans les moules afin de chasser l'air, mais c'est plus difficilement réalisable en dehors de la ligne de joint. Il est donc souvent préférable de revoir la géométrie de la pièce afin de limiter ce défaut.

La simulation montre que l'on arrive en jouant sur les épaisseurs à accélérer le flux dans certaines directions

Les défauts

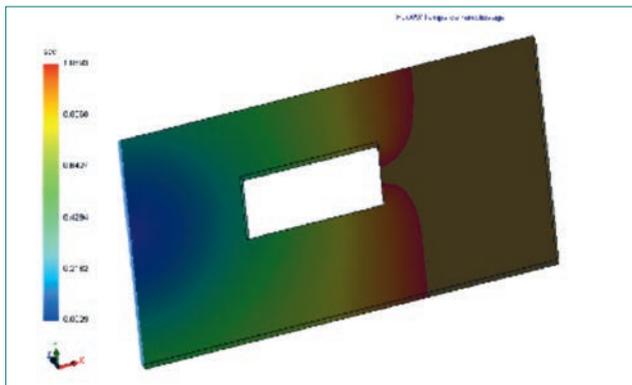
Certains défauts sur les pièces plastiques sont prévisibles à l'aide de la simulation.

Les lignes de soudure : ce sont des zones où le front de la matière fondue se recolle sur lui-même. Au-delà du défaut d'aspect, c'est aussi un défaut potentiel de tenue mécanique **a**.

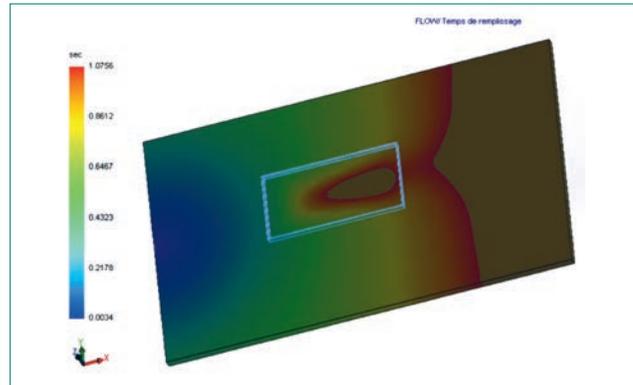
Les inclusions d'air : elles se produisent quand le front de la matière forme une zone fermée et va ainsi emprisonner l'air présent dans l'empreinte. Si dans cette zone il n'est pas possible de placer d'évent pour évacuer cet air (plans de joint ou broches rapportées du moule peuvent jouer ce rôle), cela posera des difficultés au remplissage ou créera des zones de brûlure sur la pièce (combustion de l'air chaud par effet Diesel) **b**.

Le gauchissement : il est dû aux différences de température et d'épaisseur sur la pièce durant le remplissage et le maintien. Ces différences créent des écarts de dilatation thermique dus aux dimensions, températures et coefficient de dilatation thermique du matériau. Comme l'empreinte est complète en fin de remplissage, au cours de son refroidissement apparaîtront des déformations de la pièce. Ce problème se règle à l'aide d'un remplissage qui contrebalance les retraits différentiels. La solution consiste à modifier la géométrie et à utiliser un refroidissement approprié **c**.

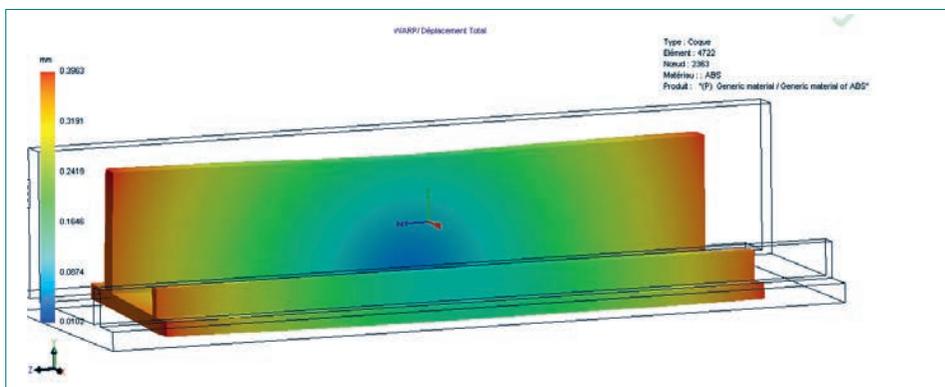
Les retassures : elles sont dues aux mêmes causes que le gauchissement. Il s'agit d'un affaissement local des surfaces des zones épaisses du modèle. On les retrouve souvent derrière les nervures et bossages **d**.



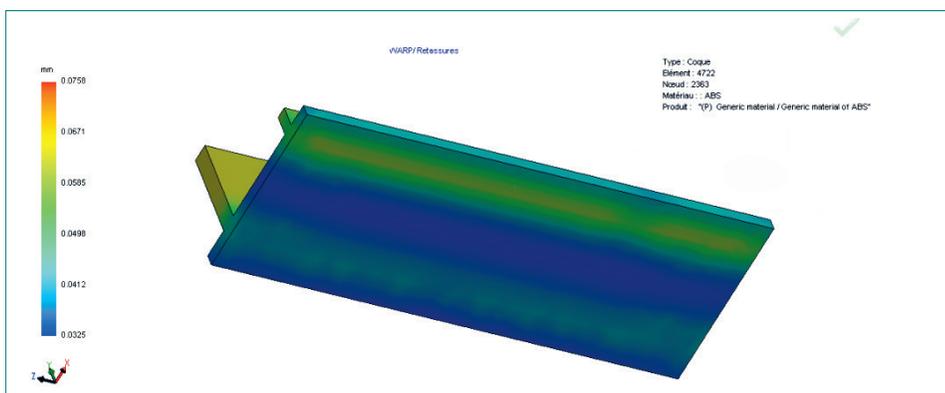
a Une ligne de soudure se forme quand deux fronts de matière se collent l'un à l'autre en contournant par exemple un trou



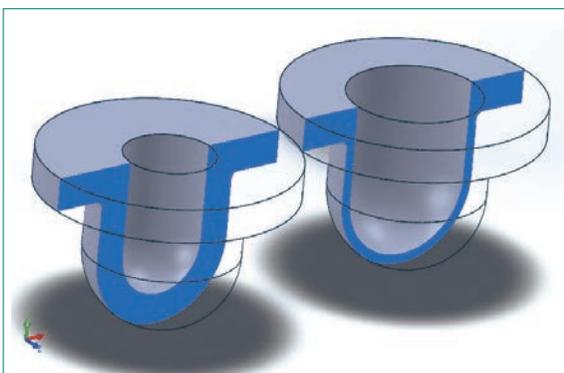
b Un front matière qui s'écoule plus vite par endroits risque de former une poche d'air



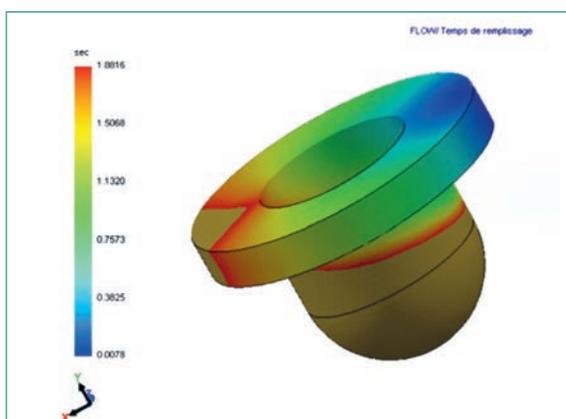
c Le gauchissement de la pièce dépend de beaucoup de facteurs et est difficile à prédire



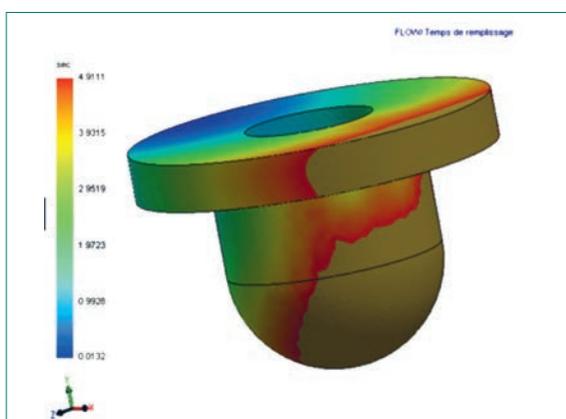
d On trouve les retassures derrière les nervures et zones massives



6 Jouer sur les variations d'épaisseur permet de contrôler les vitesses du front matière



7 Si le fond est trop mince, le flux fera d'abord le tour de la collerette



8 Si le fond est plus épais, le remplissage se déroulera mieux. Il restera cependant une petite bulle d'air

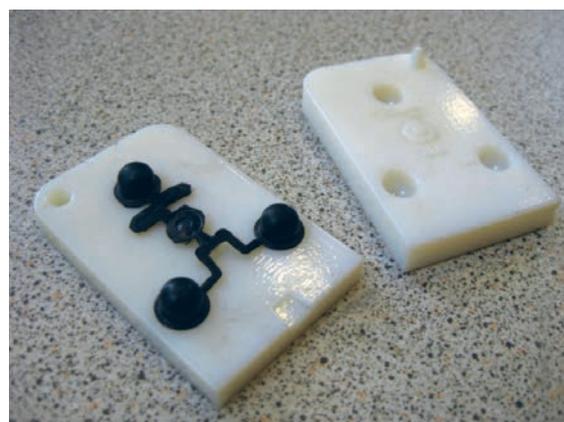
et le ralentir dans d'autres. On arrive ainsi à limiter la présence des inclusions d'air **6 7 8**.

La réalisation d'un moule prototype

Le but est d'avoir en main une pièce réalisée dans la vraie matière et avec le vrai procédé. Les formes moulantes sont réalisées à partir d'une imprimante 3D par procédé de photopolymérisation, et la carcasse métallique du moule s'ajuste au plus près afin d'éviter l'éclatement de l'empreinte. Le moule est



9 Les premiers essais se sont focalisés sur la géométrie des plots



10 Un tripode injecté dans un moule prototypé

simplifié au maximum : il n'y a ni éjection ni régulation thermique.

Pour débiter les essais, nous souhaitons valider la géométrie des plots avec un moule à quatre empreintes et différentes dimensions de plot **9**.

Malgré l'absence de notre matière dans la base de données, les résultats prévus par la simulation sont bien confirmés par l'essai réel : nous pouvons conclure que les choix de maillage et de matériau sont corrects. Nous passons ensuite à la réalisation d'une pièce complète. Nous choisissons de placer le seuil au centre de la pièce, car dans le cadre d'un moule prototype cela n'induit pas trop de complications techniques.

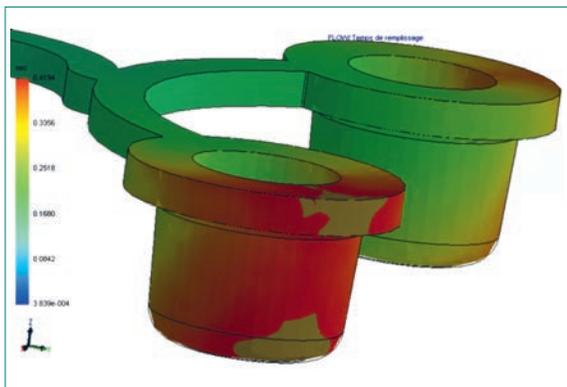
Cette fois, il reste tout de même une petite inclusion d'air, conformément aux résultats de la simulation. Sa taille, minime, nous fait conclure qu'il n'y en aura pas avec un moule métallique.

La pièce est essayée ensuite sur un écran tactile, mais ne donne pas de résultats de détection assez répétables et précis. Les plots sont trop rigides, et la surface de contact avec l'écran pas assez prononcée. De nouveaux essais sont alors menés avant de passer au modèle industrialisé **10**.

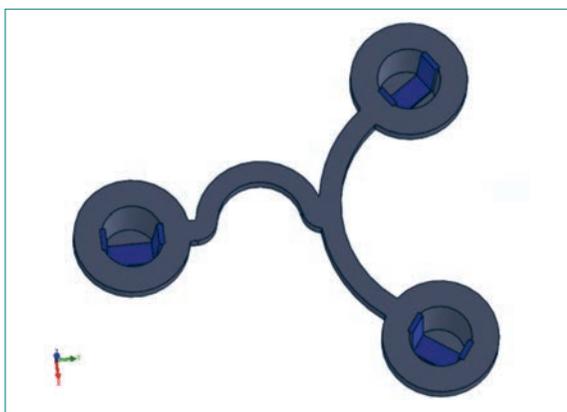
L'industriel chargé de la fabrication du tripode n'a pas tout à fait suivi la solution proposée. Dans le moule industriel final, il a placé le seuil sur un plot. Dans ce



11 Un tripode industriel défaillant : la ligne de soudure est de mauvaise qualité



12 La bulle en bas du plot peut générer des défauts de détection par la tablette tactile



13 Une forme de canal permet d'accélérer le flux pour éviter une ligne de soudure ou une bulle d'air

cas, la simulation avait prévu une ligne de soudure. Malheureusement, cette ligne de soudure est de mauvaise qualité, la matière se ressoude mal, et ce défaut se retrouve sur un petit pourcentage de la production **11**.

L'exploitation pédagogique

SolidWorks Plastics permet de découvrir de manière simple l'injection plastique, procédé de plus en plus incontournable. Nous allons voir dans quelle mesure on peut exploiter ses possibilités au niveau STI2D.

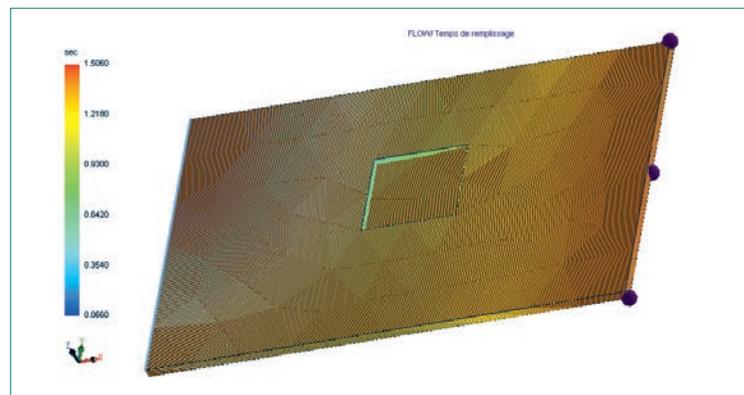
Le maillage

La qualité du maillage influence les résultats affichés par le logiciel.

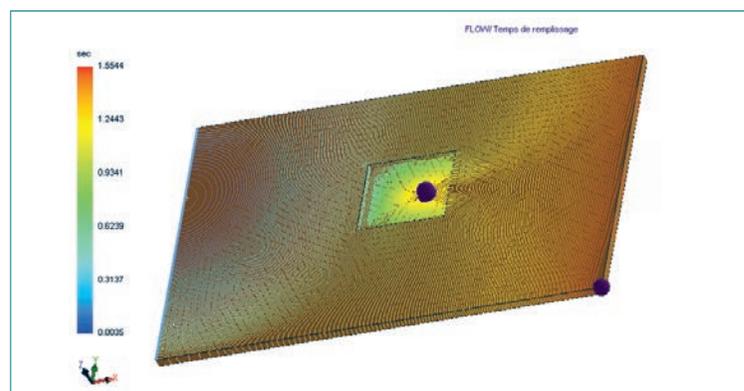
Dans le cadre de l'interprétation des bulles d'air, un maillage grossier risque de les situer de manière approximative et d'en sous-évaluer la dimension **a b**. Par contre, dans certains cas, trop affiner le maillage ne donne pas de meilleurs résultats et accroît considérablement le temps de calcul.

Il en va de même pour les lignes de soudure. Des éléments trop gros risquent de masquer leur présence. Dans les logiciels de simulation d'injection, une ligne de soudure est toujours tracée à la frontière entre des éléments. Leurs orientation, position et taille influencent donc les résultats affichés **c d**.

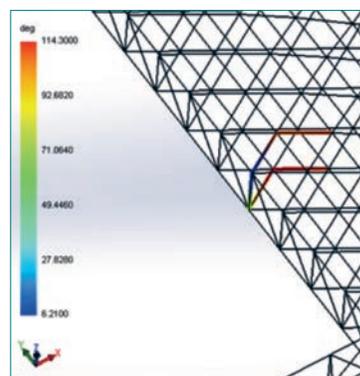
Pour interpréter les résultats de manière convenable, il faut enfin faire attention aux singularités du maillage. Typiquement, dans ce genre de simulation, il s'agit des angles vifs sortants. Les bulles d'air ou lignes de soudure données dans ces zones sont à prendre avec des pincettes.



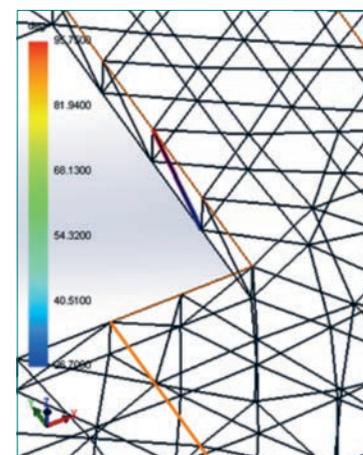
a Avec un maillage grossier, on ne voit pas la bulle d'air (sphère sur le modèle) du centre, et il apparaît une bulle fictive en bout



b Avec un maillage fin, les résultats sont plus proches de la réalité



c Avec le maillage moyen (celui généré par le mode automatique), la ligne de soudure (ligne multicolore) est visible, elle suit 2 arêtes successives d'éléments



d Avec des éléments plus grands, la ligne apparaît à peine

L'interface

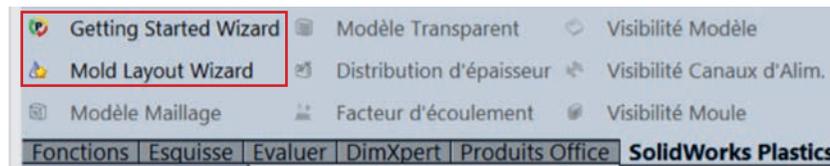
Au démarrage, le complément propose deux « Wizards », qui peuvent servir de guide pour l'élève en STI2D **a**

La démarche est linéaire, et propose souvent des réglages par défaut que l'on peut affiner. On peut sauter les menus plus techniques de l'arborescence **b**

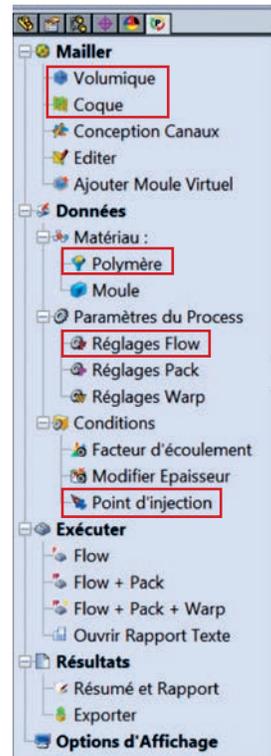
Après calcul, une fenêtre d'aide à l'analyse des résultats s'affiche. Le détail technique est trop ardu pour les élèves, mais les feux rouge, orange ou vert permettent de valider ou non les résultats **c**

Le menu de choix de matériau est complexe de prime abord, mais une bibliothèque permet de ne cibler que quelques matières standard **d**

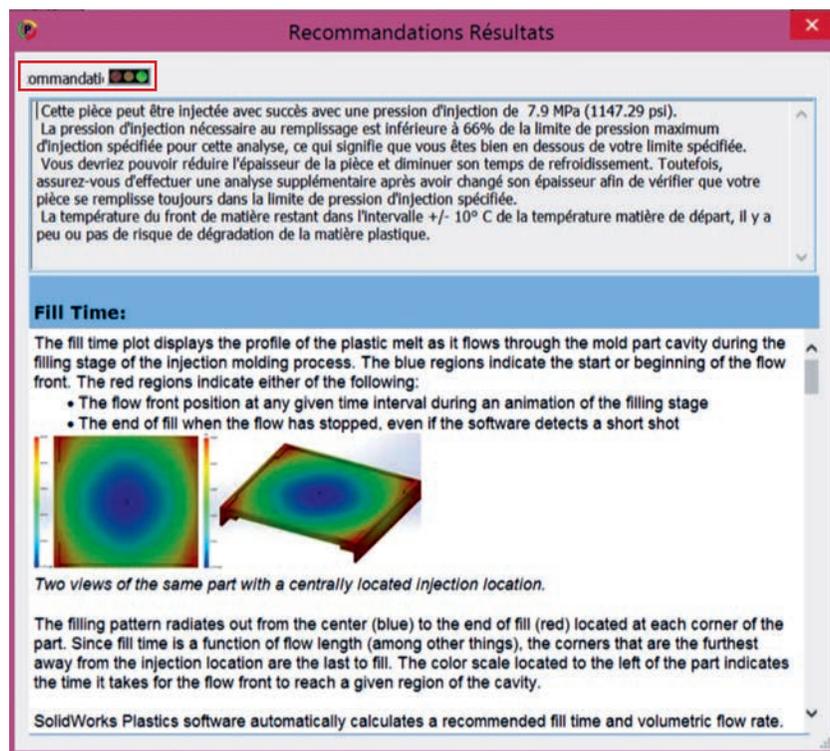
Le Wizard permet de filtrer les données (encadrées sur l'écran **e**) de façon à en entrer le minimum pour exécuter une simulation de remplissage. Cela suffit amplement au niveau STI2D. De fait, l'élève ne se perdra pas dans certains menus hors de portée à ce niveau de formation.



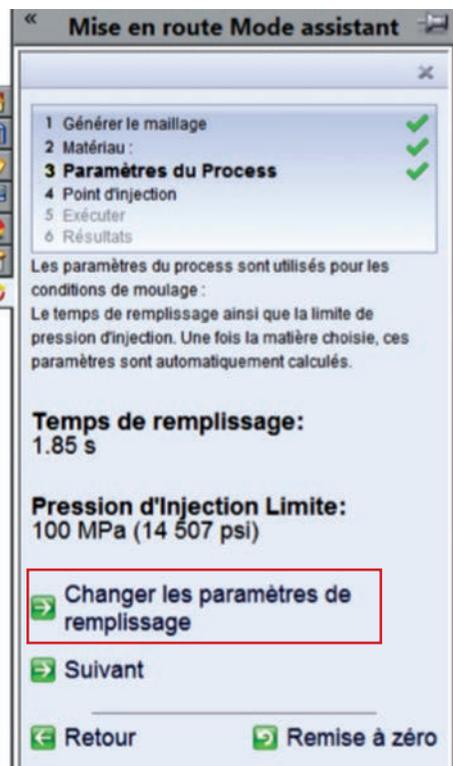
a Les Wizards



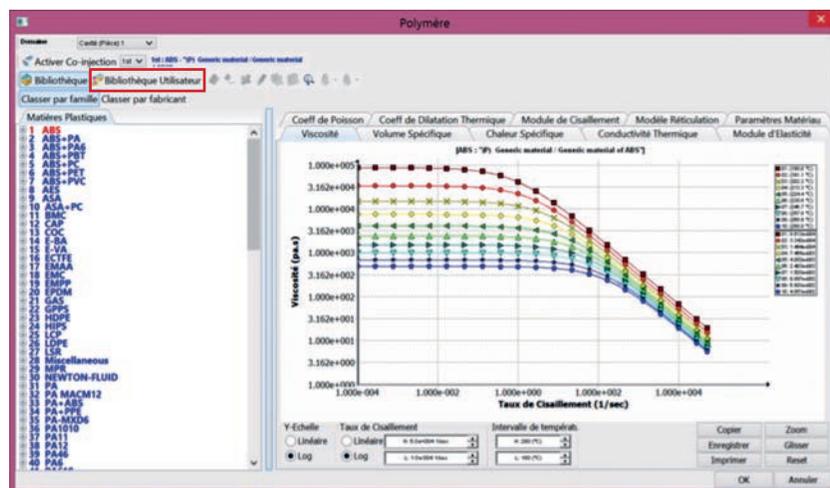
b L'arborescence de SolidWorks Plastics



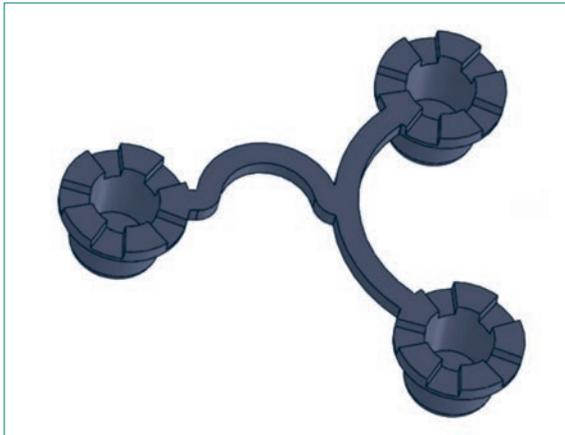
c L'aide à l'analyse des résultats



e Le mode « assistant »



d La matériauthèque



14 Le flux peut être ralenti grâce à des formes crénelées

On se tourne naturellement vers l'enseignement de spécialité Itec, Innovation technologique et écoconception. Il ne s'agit pas de former des spécialistes des procédés de transformation (la formation professionnelle n'a pas commencé...), mais simplement « d'expérimenter des procédés pour caractériser les paramètres de transformation de la matière et leurs conséquences sur la définition et l'obtention de pièces » (objectif 9, « gérer la vie du produit »).

La notion produit-procédé-matériau est au cœur du programme :

- la conception des mécanismes est en lien avec des expérimentations réelles sur des procédés utilisant des logiciels de simulation simples. Pour répondre à ce besoin, le mode « assistant » du logiciel est à la portée des élèves ;

- les procédés de transformation de la matière sont abordés par le biais d'expérimentations sur des systèmes didactiques simples (par exemple la Babyplast, presse à injection qui équipe de nombreux laboratoires Itec), puis par des activités de simulation numérique.

Il ne faut pas former les élèves à un nouveau logiciel de simulation ; le fait que SolidWorks Plastics soit intégré dans l'interface de SolidWorks est donc un plus (voir la présentation de l'interface en encadré).

La simulation permet aussi de découvrir l'injection plastique si ce procédé n'est pas présent dans l'établissement : identification des paramètres importants, expérimentations virtuelles sur leurs influences, définition de pièces en tenant compte des contraintes d'obtention.

Comment aborder la simulation d'injection plastique avec ce niveau de classe ? Il ne s'agit pas de créer une pièce ou un système ex nihilo, mais de modifier une conception existante, au vu d'une problématique technique. On peut par exemple mener une activité permettant de modifier les formes d'une pièce en fonction du procédé d'injection, à l'aide des résultats de la simulation : suppression de lignes de soudure, ajout de congé et de nervures pour faciliter le remplissage du moule... Les exemples sont nombreux.

Ne nécessitant pas une connaissance approfondie de SolidWorks Plastics ni de l'injection, le jeu des 10 Chiffres nous a semblé un cas d'étude intéressant à exploiter en STI2D Itec.

Afin que les élèves se concentrent sur les paramètres de conception qui influencent les défauts, nous décidons de fournir un modèle paramétré du tripode. Les paramètres permettent de modifier facilement la pièce tout en garantissant l'intégrité du modèle. Le but pour les élèves est de trouver une bonne combinaison de paramètres pour limiter les défauts prévisibles lors d'une phase de simulation de remplissage : les lignes de soudure et les inclusions d'air (voir l'encadré sur les défauts).

Sur le modèle proposé, une inclusion d'air est particulièrement critique **12** ; deux méthodes classiques sont proposées pour la chasser : accélérer le flux qui arrive par la partie galbée du plot en ajoutant un canal de plus forte épaisseur **13** ; ralentir le flux qui arrive trop vite avec des créneaux **14**.

Aux élèves de jouer sur ces deux méthodes pour résoudre le problème.

Le bilan

SolidWorks Plastics est à la portée des élèves de STI2D, et permet assez simplement d'aborder avec eux la relation produit-procédé-matériau, qui est au cœur du programme. On peut simuler l'effet de différentes formes, différents matériaux, différents réglages du procédé sur l'injection d'une pièce et en visualiser les résultats. Attention toutefois au temps de calcul, qui peut être assez long, notamment pour la déformée lors du refroidissement.

Le « Wizard » guidera avantageusement les élèves pour éviter qu'ils ne se perdent dans les menus. Une phase d'expérimentation réelle, sur une micropresse à injecter, la Babyplast par exemple, permettra en préambule de l'activité de faire connaissance avec le procédé injection. ■

En ligne

Vous pouvez télécharger le TP « STI2D : Simulation avec SolidWorks Plastics » sur Éduscol STI :

http://eduscol.education.fr/sti/ressources_pedagogiques/sti2d-simulation-avec-solidworks-plastic

De nombreuses ressources téléchargeables, des maquettes didactiques et un glossaire sont disponibles sur le site de Proto Labs :

www.protolabs.fr/ressources
www.protolabs.fr/ressources/glossary

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