
Panneaux de porte de voiture 2018

Claes Fredriksson et Eliane Brechbühl
Granta Design, 300 Rustat House, 62 Clifton Rd, Cambridge, CB1 7EG UK

Mise à jour en mars 2018
© 2018 Granta Design Limited



Table des matières

1. Quel est le contexte ?	2
2. Comment aborder la problématique ?	2
3. Comment utiliser CES EduPack pour réaliser la sélection de matériaux ?	2
4. Compromis et étude comparative	4
5. L'outil Synthesizer	6
6. Analyse et vérification réelle	7
7. Qu'apporte CES EduPack à la compréhension ?	8
Références	8

Résumé

Granta Design développe des logiciels utilisés pour la sélection avancée des matériaux dans l'industrie. CES EduPack est la version éducative conçue spécifiquement pour identifier et guider les étapes du processus de décision dans un but pédagogique et de formation. CES EduPack propose une approche rationnelle et systématique pour la sélection des matériaux qui est inestimable pour l'ingénierie et la conception. Il permet le choix réaliste des matériaux tout en montrant clairement les étapes du processus à des fins d'enseignement et de formation. La participation active des étudiants peut être stimulée grâce à des études de cas, par exemple. Plus l'étude de cas est réaliste, plus cela favorise la compréhension et cela motive les étudiants. Ici, nous concentrons nos propos sur un exemple de sélection et une étude comparative de panneaux de porte en polymères dans les voitures modernes.

L'accent mis actuellement sur la réduction de l'impact environnemental et sur l'allègement du poids oblige de nombreuses entreprises à envisager de nouveaux matériaux. Il peut s'avérer difficile d'identifier des alternatives rentables avec une performance mécanique suffisante, car la plupart des modèles de coûts font appel à des informations détaillées sur le composant, qui ne sont pas encore disponibles dans les premières étapes de la conception.

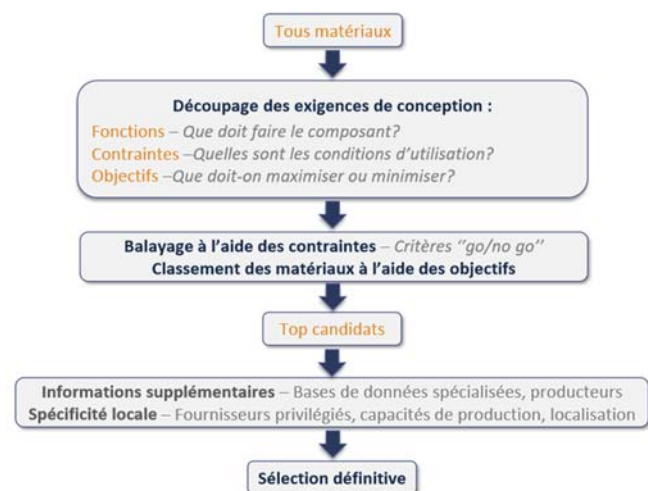
Dans cette étude de cas, nous avons abordé l'allègement d'un panneau de porte extérieur pour automobile. Inspirés par les panneaux en plastique dans la voiture **Smart ForTwo**, nous avons étudié l'aptitude de cette classe de matériau à remplacer l'acier. La procédure de sélection est décrite en détail et le matériau résultant est ensuite comparé avec celui qui est effectivement utilisé dans la voiture. En outre, nous avons utilisé l'outil Synthesizer pour créer un composite virtuel haute performance constitué de fibres naturelles que nous avons comparé avec l'acier, l'aluminium et des polymères à l'aide de l'estimateur de coût de pièces.

1. Quel est le contexte ?

L'utilisation d'oléfines thermoplastiques (TPO) telles que le polypropylène dans l'industrie automobile a considérablement augmenté au cours des 10 dernières années. En raison de leurs propriétés attrayantes, les TPO remplacent de plus en plus d'autres plastiques. En 1995, par exemple, seuls 9% des pare-chocs étaient fabriqués en TPO, mais en 2005, ce chiffre avait augmenté à 67%. Au cours de la même période, la consommation de polycarbonates et de polybutylène téréphtalates pour cette application est passée de 18% à 4%. Ces matériaux sont-ils adaptés aux panneaux de portes automobiles ? Si non, lesquels le sont ? Et comment performant-ils comparés à d'autres alternatives ? Ces questions sont examinées dans cette étude de cas industriel avancé pour CES EduPack. Nous emploierons la base de données de polymères.

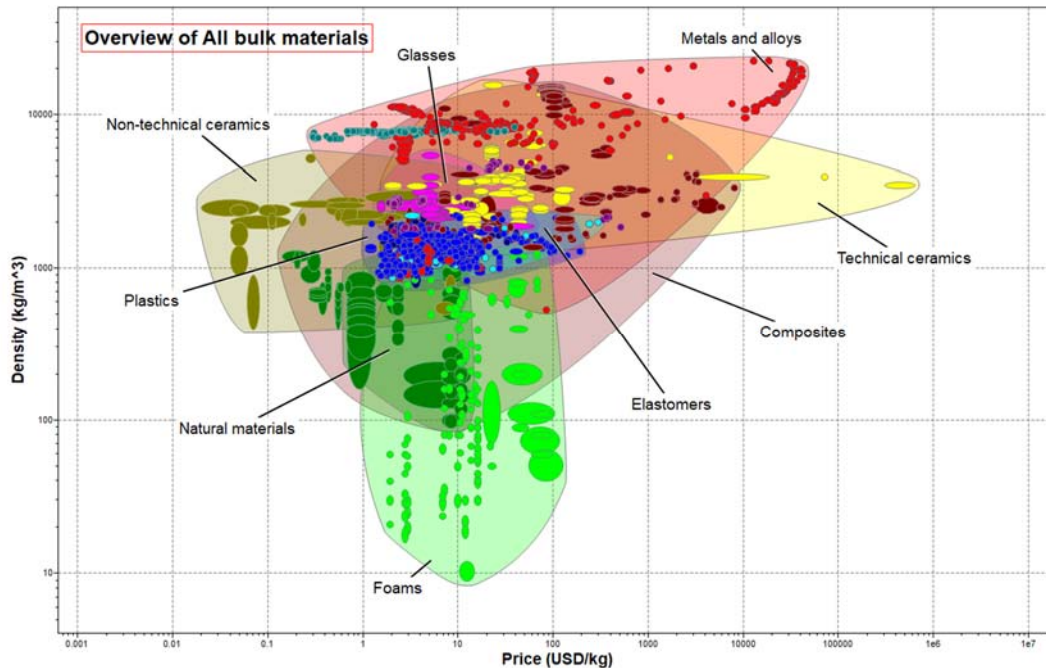
2. Comment aborder la problématique ?

CES EduPack propose une approche systématique basée sur le travail du professeur Mike Ashby [1]. Vous identifiez les matériaux qui répondent à vos besoins et étudiez les compromis entre différents objectifs. Cela permet un choix du matériau réfléchi en se basant sur la plus large gamme d'informations disponibles, tout en maintenant la traçabilité pour faciliter les discussions critiques sur les décisions. Ceci est particulièrement important pour l'éducation. Voici une description schématique d'un processus de conception typique.



3. Comment utiliser CES EduPack pour réaliser la sélection de matériaux ?

Le point de départ pour la sélection est une base de données constituée de près de 4000 fiches techniques pour des matériaux d'ingénierie, disponibles dans le niveau 3 du CES EduPack. Les prix et la densité des matériaux dans le sous-ensemble de sélection **All bulk materials** au niveau 3 sont présentés dans le graphique ci-dessous. Ce ne sont pas tous de bons candidats pour le panneau de porte. Par exemple, les matériaux céramiques sont trop fragiles alors que les mousses, les fibres et les particules sont structurellement inadaptées. Un meilleur point de départ pour une sélection plus réaliste serait de se focaliser sur tous les alliages du dossier ferreux (aciers), les alliages d'aluminium (métaux légers) du dossier des non-ferreux, ainsi que les plastiques et les composites à base polymère. Ceux-ci peuvent être inclus dans un sous-ensemble défini par l'utilisateur (*Définissez votre propre sous-ensemble*), comme indiqué ci-dessous. On supprime ainsi les matériaux inadaptés, identifiés précédemment.



Fonction :

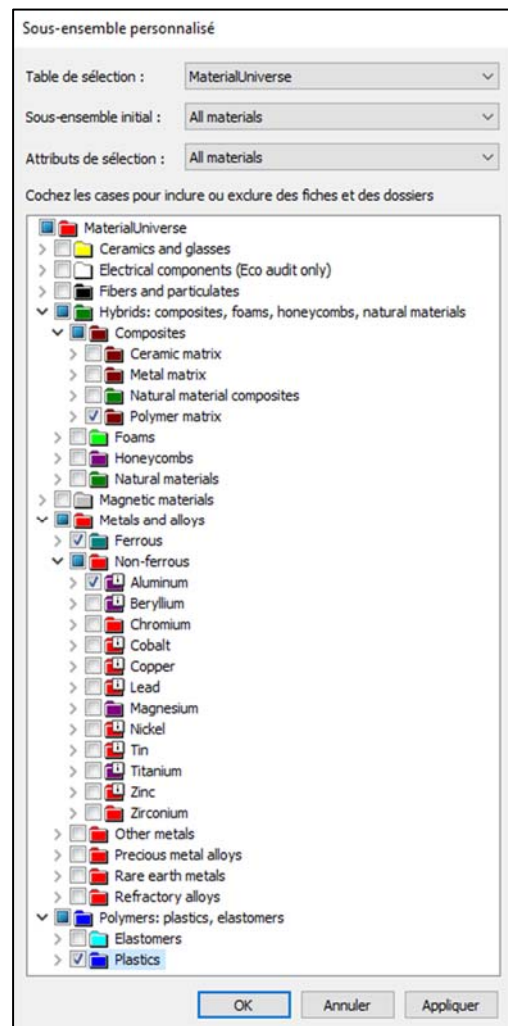
Exprimée simplement, l'application d'ingénierie ici est un **panneau en flexion** limité par la **raideur** (on ne veut pas que le panneau se déforme trop). Dans le logiciel, nous pouvons générer assez rapidement un graphique qui montre le compromis entre la masse et le coût. Le graphique peut être créé à l'aide d'un sous-ensemble **personnalisé** de l'ensemble de données MaterialUniverse (voir figure à droite), en utilisant "Définissez votre propre sous-ensemble ..." en évitant les matériaux inappropriés, comme indiqué ci-dessus.

Contraintes :

Dans le logiciel CES EduPack, nous commençons la sélection en filtrant les composites à base de polymères, les métaux et les plastiques par certaines des exigences-clés du panneau (par exemple, la limite élastique, les températures de service min et max, la durabilité en milieu aqueux, etc.). Les matériaux qui remplissent ces exigences, résumées ci-dessous, apparaissent de manière interactive sur le graphique des propriétés des matériaux, rendant le choix final plus facile. Les exigences considérées pour le panneau de porte automobile sont :

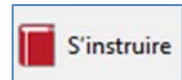
Liste de contraintes

- *Température maximale d'utilisation* > +90°C
- *Température minimale d'utilisation* < -20°C
- *Limite élastique* > 22.4MPa
- *Ténacité* > 1.17MPam^{0.5}
- *Durabilité (acceptable/excellente) : pluie (eau), essence (solvants organiques)*
- *Fabriqué par des processus de déformation de feuilles, de mise en forme de composites ou de moulage*

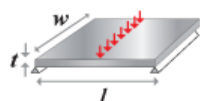


Objectifs :

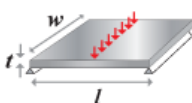
Un tableau des indices de performance couramment utilisés est accessible dans le menu *Material Selection* via le bouton **S'instruire**, intégré dans la barre d'outils principale du logiciel. Pour un **faible coût** et un **faible poids** dans une conception à raideur limitée, nous devons minimiser : $M1 = \rho / E^{1/3}$ (masse) et $M2 = C_m \rho / E^{1/3}$ (coût). Ceux-ci sont représentés respectivement sur l'axe Y et l'axe X (voir ci-dessous). Afin de rechercher des valeurs faibles, il est pratique de rechercher des matériaux proches de l'origine du graphique des propriétés, c'est pour cette raison que nous avons choisi de minimiser les indices de performance au lieu de les maximiser (voir les tableaux ci-dessous).



Stiffness-limited design at minimum mass

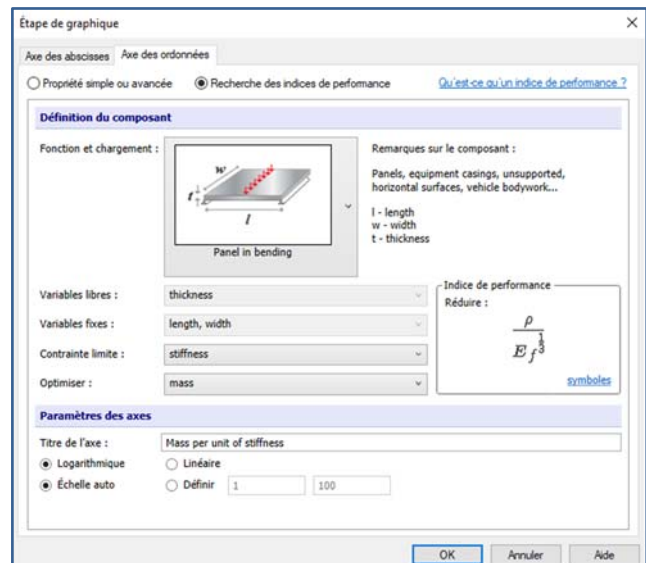
FUNCTION AND CONSTRAINTS ¹			MAXIMIZE ²	MINIMIZE ²
Panel in bending		length, width fixed; thickness free	$E_f^{1/3} / \rho$	$\rho / E_f^{1/3}$

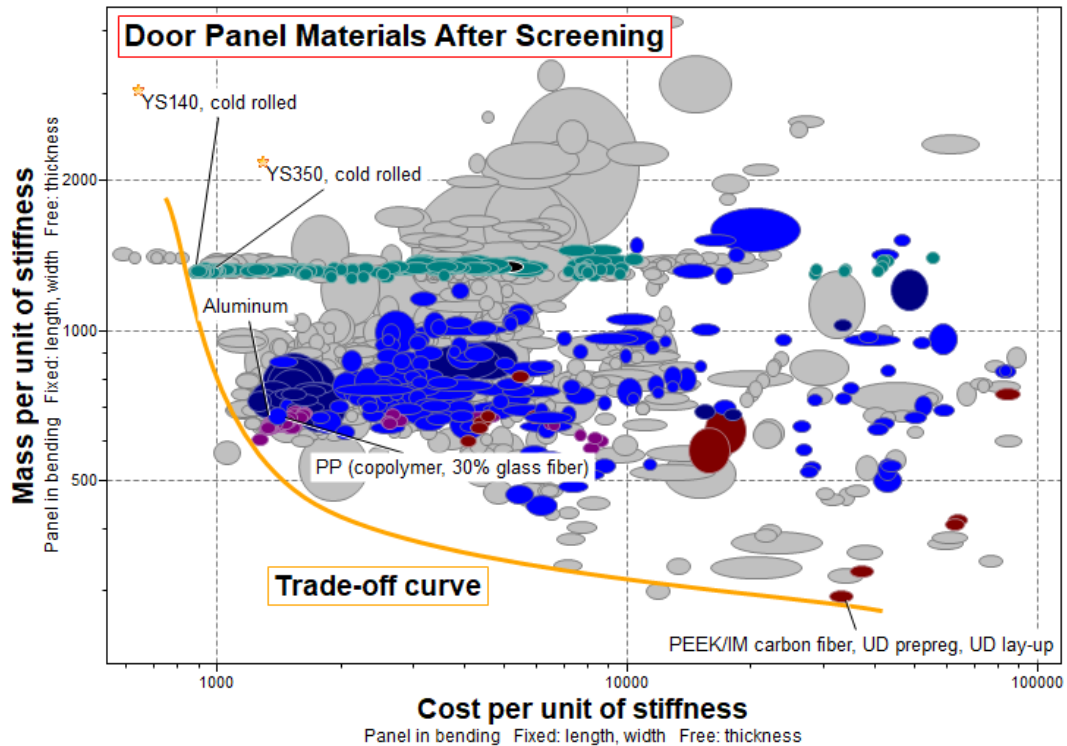
Stiffness-limited design at minimum cost

FUNCTION AND CONSTRAINTS			MAXIMIZE ¹	MINIMIZE ¹
Panel in bending		length, width fixed; thickness free	$E_f^{1/3} / C_m \rho$	$C_m \rho / E_f^{1/3}$

4. Compromis et étude comparative

Dans CES EduPack 2018, il y a deux manières de visualiser les objectifs mentionnés plus haut sur un diagramme. La première est via le bouton avancé dans l'onglet *Propriété simple ou avancée* qui donne accès aux propriétés des matériaux et aux opérateurs arithmétiques pour créer les indices de performance sur chaque axe. La seconde manière est via le nouvel onglet *Recherche des indices de performance* dans lequel vous choisissez les conditions de sollicitation et les variables géométriques de la fonction à partir des menus déroulants. La description des axes varie légèrement si on choisit une manière ou l'autre mais le graphique résultant, après que des matériaux soient éliminés par l'application des contraintes (et deviennent gris), est montré ci-dessous :



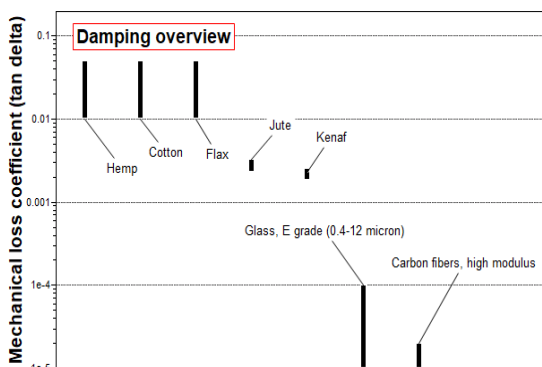
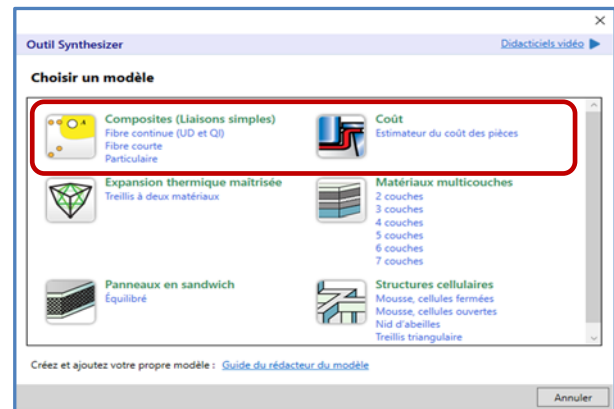


Parmi les matériaux restants sur le graphique, les “meilleurs” se situent proche de la courbe de compromis, une ligne frontière que l’on peut tracer à la limite en bas à gauche des bulles (ici en orange). Nous pouvons voir par le code couleur que tout type de matériaux, thermoplastiques, composites, alliages ferreux et non-ferreux sont proches de cette courbe (frontière de Pareto). Les alliages métalliques légers, c’est-à-dire les aluminiums, sont indiqués dans le graphique ci-dessus pour la comparaison (en violet). Les polymères (en bleu) sont des matériaux intéressants, similaires en performance à l’aluminium si l’allègement de la pièce est important. Les composites (en marron) sont favorables si le critère d’allègement est très important et que la minimisation du coût n’a pas priorité. Le polypropylène renforcé avec 30% de fibres de verre semble être la meilleure option pour les polymères mais beaucoup d’autres matériaux de la même famille sont proches. Nous pouvons aussi imaginer de nouveaux matériaux composites, par exemple une matrice de polypropylène renforcée par des fibres naturelles. De tels matériaux sont intéressants du point de vue environnemental et pourraient être plausibles pour un *concept car*. Nous allons examiner cette option à l’aide de l’outil Synthesizer dans la section suivante.

Afin de comparer les matériaux avec des panneaux en acier typiques, nous réalisons une recherche des mots-clés ‘*car door panel*’ en utilisant la fonction de recherche de CES EduPack. Le résultat de la recherche propose 8 fiches techniques du MaterialUniverse parmi lesquels se trouvent ***Drawing quality, YS140 (cold rolled)*** et le ***Dual phase, YS350 (cold rolled)*** comme bons exemples d’acier. Ces deux matériaux sont marqués avec une étoile en or dans le graphique ci-dessus et on les trouve dans le classeur ***Microalloy and high strength steels*** sous ***Ferrous Metals and Alloys*** dans la structure du logiciel. Les matériaux peuvent être marqués comme favoris avec un clic droit sur le matériau dans la liste à gauche du graphique. La mise en avant de ces matériaux avec le bouton Favoris (l’étoile) permet de comparer plus facilement les propriétés des polymères candidats avec les matériaux de référence. Au niveau du prix, il semble difficile de trouver mieux que l’acier et l’aluminium. Cependant, pour une comparaison juste des polymères et des composites, le coût de fabrication devrait être considéré et non uniquement celui du matériau seul. L’outil Synthesizer permet exactement ça. Cet outil permet la comparaison de l’estimation du coût pour différents composants, processus de fabrication et tailles de lot.

5. L'outil Synthesizer

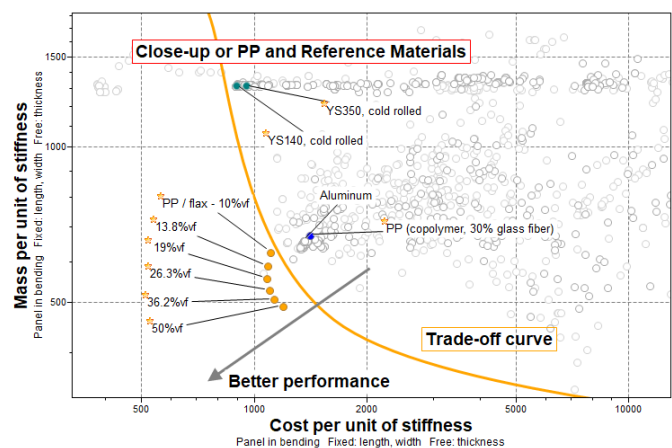
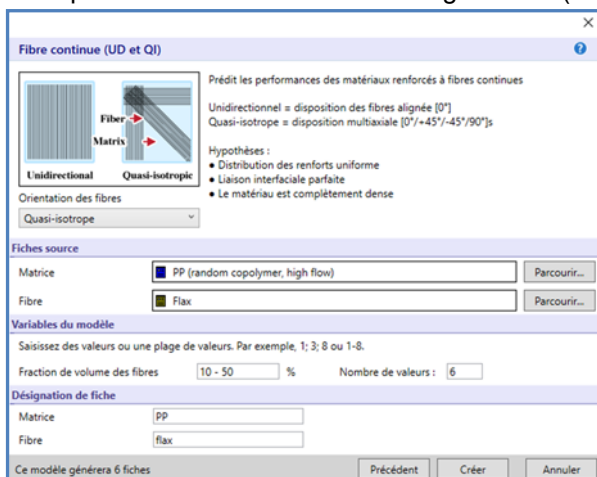
Si nous souhaitons envisager un hybride structurel ou un composite qui n'existe pas parmi les matériaux déjà présents dans le logiciel, cela est possible à l'aide de l'outil Synthesizer. L'outil contient des modèles pour estimer les propriétés-clés des structures cellulaires, composites à liaisons simples, panneaux en sandwich et des matériaux multicouches. De plus, les aspects économiques de la fabrication d'un composant peuvent être explorés, dont l'estimation de coût de fabrication via différents processus.



Pour illustrer comment CES EduPack s'utilise pour le développement de produits, nous envisageons un composite pour le panneau de porte qui consiste en une matrice de polypropylène renforcée par des fibres de lin (*flax*). Ce n'est pas un choix anodin car d'autres composites avec des fibres de lin ont été implémentés récemment dans des carénages de moto ou des canoës de sport, par exemple le *Biotex Flax* de *Composites Evolution*. Il existe néanmoins des raisons pour lesquelles ce composite pourrait être intéressant pour un *concept car* léger. Le lin est souvent utilisé en tant que matériau durable

(renouvelable) et il possède d'excellentes propriétés d'amortissement ce qui réduit les vibrations dans le panneau de porte ainsi que le bruit dans la voiture.

Pour créer ce matériau virtuel nous cliquons sur le modèle *Fibre continue (UD&QI)* qui se trouve sous **Composites (Liaisons simples)** sur l'image au début de cette section. Une nouvelle fenêtre apparaît (en bas à gauche) et nous remplissons les valeurs que nous avons choisies. En cliquant sur *Créer* les fiches techniques du nouveau matériau sont générées (en bas à droite en orange).



L'**estimateur de coût de pièces** estime rapidement le coût de fabrication d'un composant et compare différentes voies de couples matériaux-procédés. Du coup non seulement le coût du matériau est considéré mais la combinaison entre matériau et fabrication.

Estimateur du coût des pièces

Permet d'estimer le coût des pièces ; utile lors des premières étapes de conception, lorsque plusieurs matériaux sont considérés et divers détails liés définis.

Éléments pris en compte :
 * Matériau et jusqu'à deux procédés de mise en forme (hors usinage)
 * Taille et complexité des pièces
 * Formulaires commerciaux et personnalisés
 * Crédit applicable au recyclage des déchets de fabrication

Détails relatifs au composant

Matériau: PP / flax (Quasi-isotropic Composite) - 26.3%vf

Valeur du rebut de matériau: 0 % du prix du matériau

Masse des pièces: 3.5 kg

Longueur des pièces: 1 m

Taille du lot: 100-1e06

Procédé de mise en forme primaire

Procédé primaire: Thermoplastic composite molding

Disponibilité: Forme personnalisée

Complexité des pièces: Standard

Facteur de charge: 50 %

Coefficient d'imputation des frais généraux: 127 EUR/hr

Période d'amortissement des immobilisations: 5 years

Procédé de mise en forme secondaire

Inclure le procédé secondaire

Désignation de fiche

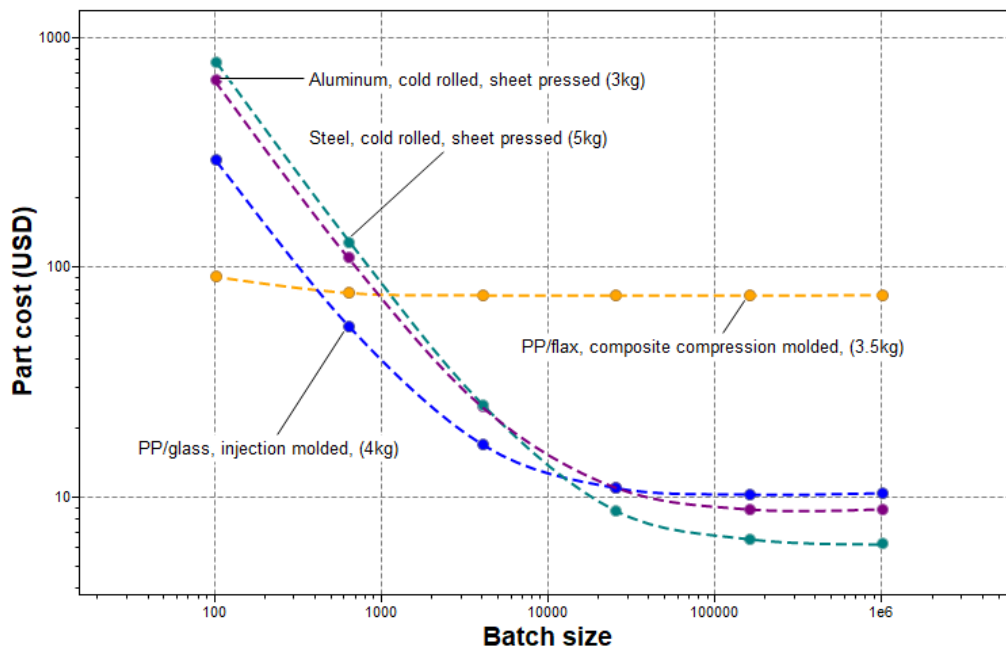
Matériau: PP/flax

Procédé primaire: composite compression molde

Ce modèle générera 6 fiches

Sur la gauche, nous voyons la liste de paramètres requis. Outre la masse et la longueur du composant (estimation), la taille du lot et les paramètres des procédés primaires et secondaires (facultatif) de mise en forme sont demandés. La valeur du rebut de matériau est paramétrée à 0 pour les composites et 10% pour les métaux. Le résultat graphique des quatre scénarios du PP renforcé par des fibres de lin (créé avec l'outil Synthesizer), du PP renforcé par 30% de fibres de verre, de l'acier et de l'aluminium laminés à froid puis forgés est illustré ci-dessous.

Le coût des quatre scénarios diminue avec l'augmentation de la taille de lot du fait du coût fixe de l'outillage. A une taille de lot d'environ 100 pièces, les composites PP sont moins chers que l'acier et l'aluminium. Le coût par pièce pour le composite à base de lin (en orange) est inférieur à celui du PP/verre (en bleu) pour des lots de quelques centaines d'unités. A partir d'une taille de lot supérieure à 10 000 unités, le coût par pièces en acier tombe en dessous des polymères et, peu après, l'aluminium également. A terme, le coût par pièce des quatre scénarios s'aplatit et reste constant autour du coût du matériau, l'acier étant le plus faible.



6. Analyse et vérification réelle

Les approches traditionnelles de la sélection des matériaux s'appuient souvent sur des matériaux qui ont été utilisés auparavant ou sur l'expérience d'un ingénieur, collègue ou fournisseur. Cela peut marcher mais est-ce que cela fournit un résultat qui est reproductible, contrôlable, ou le meilleur choix pour l'application ? Pour des applications avec des exigences multiples et des critères de sélection complexes, de tels choix ne sont peut-être pas idéaux. L'absence d'un raisonnement systématique pour la décision peut aussi poser problème lorsque le produit doit être audité ou amélioré. Un matériau approprié répond au cahier des charges tout en maximisant ou minimisant les objectifs.

Pour une petite taille de lot, notre matériau composite synthétisé PP/lin (ou le composite PP/fibre de verre) paraît être l'option la plus adéquate pour l'application de panneau de porte de voitures. C'est relativement proche du polymère utilisé actuellement dans la voiture Smart qui apparaît sur la page de garde. En effet, un nouveau matériau pour des panneaux de porte à base de PP a été développé par Borealis. Le matériau est renforcé par 20% de minéraux (Talc), pour lui donner une meilleure finition de surface que le PP renforcé par des fibres de verre ou de lin. La finition de surface est, bien sûr, une propriété esthétique très importante qui devrait être considérée dans le processus de sélection.

La **Smart ForTwo** est la première voiture fabriquée en série qui utilise des panneaux de porte entièrement faits de polypropylène (PP). Pour la fabrication des pièces, le fournisseur de Smart, **Plastal** [4] utilise le TPO "Daplen ED230HP" de **Borealis** [5]. Une version légèrement différente de ce composite est déjà utilisée dans le hayon de la **Renault Modus** et la doublure du hayon de la **Citroën C2**.

7. Qu'apporte CES EduPack à la compréhension ?

CES EduPack génère de manière interactive des résultats quantitatifs et fortement visuels qui, associés à l'expertise matériaux d'un enseignant, contribuent à l'enseignement du processus de conception et de la prise de bonnes décisions sur le choix de matériaux.

CES EduPack aide à proposer les conclusions suivantes :

- Les matériaux : l'Aluminium et les composites PP se comparent favorablement aux matériaux de référence (acier) en termes de masse mais posent des problèmes considérables concernant le coût pour de grandes séries.
- Le copolymère de polypropylène chargé de fibre de verre est la meilleure option en termes de poids et de coût pour les polymères, mais des calculs avec la méthode des éléments finis sont nécessaires pour estimer avec précision la réduction totale du poids.
- Le PP renforcé par des fibres de lin, un matériau créé virtuellement, se compare favorablement au PP avec des fibres de verre pour des séries de quelques centaines d'unités, mais des analyses par éléments finis seraient requises pour plus de précision.

La base de données MaterialUniverse, utilisée jusqu'à présent, nous fournit des propriétés des matériaux générales pour l'identification du meilleur matériau pour une certaine application. En plus, le choix est fait à partir de toute la palette de possibilités. Pour aller plus loin, nous pourrions considérer des bases de données spécialisées, comme par exemple CAMPUS Plastics, qui apporte des informations plus détaillées sur les différentes qualités de polymères proposées par les fabricants.

Références

1. Par exemple, in Ashby, M.F. (2005) "Materials Selection in Mechanical Design", 3rd edition, Butterworth Heinemann, Oxford, UK. ISBN 0-7506-6168-2.
2. Communiqué de presse du fabricant de polymères : <http://www.plasteurope.com/news/detail.asp?id=2095>
3. Aciers pour portes de voitures : <http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Great%20Designs%20in%20Steel/GDIS%202005/23%20-%20New%20Steel%20Materials%20for%20Doors.pdf>
4. Kungälv, Sweden; www.plastal.com
5. Vienne, Autriche; www.borealisgroup.com