

Eco-conception – Quelques petits exercices

- I. Un fabricant de meubles de jardin en polypropylène (PP) est préoccupé par le fait que la concurrence « vole » une partie de son marché en affirmant que le matériau "traditionnel" pour les meubles de jardin, à savoir la fonte, est beaucoup moins consommatrice d'énergie et productrice de CO₂ que le PP. Une chaise en PP typique pèse 1.6 kg, son équivalent en fonte pèse 8.5 kg.



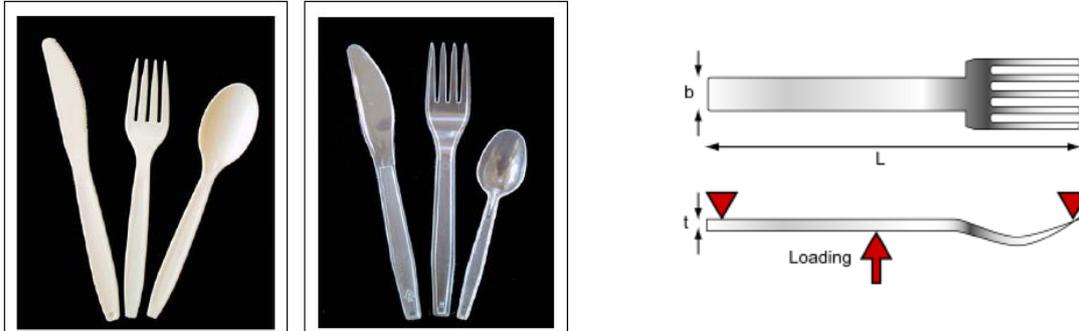
Utilisez les bases de données et les outils de comparaison du CES EduPack pour savoir qui a raison (on considérera pour cela les différentes étapes du cycle de vie du produit, et une mise en forme par moulage pour les deux matériaux). Les différences sont-elles importantes si on considère que les estimations sur les données relatives à l'énergie consommées ne sont exactes qu'à 20 % ? Si la chaise PP dure 5 ans et que la chaise en fonte dure 25 ans, la conclusion change-t-elle ?

- II. Des étuis (caisses de transport) identiques de perceuses électriques peuvent être fabriquées aluminium par moulage sous pression, ou bien en ABS ou en composites matrice polyester renforcé fibres de verre, par moulage.



Utilisez le CES EduPack pour comparer l'énergie consommée pour produire ces boîtes par unité de volume, et déterminer quel matériau minimise l'énergie consommée, en supposant que le même volume de matériau est utilisé pour chaque boîte.

III. Des couverts jetables (figure 1) sont commandés par une pizzeria respectueuse de l'environnement. La forme de chacun (et donc la longueur, la largeur et le profil) est fixées, mais l'épaisseur est libre : elle est choisie pour donner suffisamment de rigidité de flexion pour couper et piquer la pizza sans flexion excessive.



Lors de son utilisation, une fourchette est chargée comme une poutre en porte-à-faux en flexion. La charge d'utilisation est de l'ordre de 2 N. Si une déflexion de 10 mm (!) est acceptable, la rigidité de flexion requise S est de 200 N/m.

La déviation d'une poutre de longueur L est donnée par l'équation : $S = 3 E I/L^3$, avec E est le module d'Young et I le moment quadratique avec $I = bt^3/12$. Pour une fourchette standard, la longueur L est d'environ 80 mm, la largeur b de 10 mm, et l'épaisseur t de 3 mm. On obtient que donne $I = 20 \times 10^{-12} \text{ m}^4$. Et donc avec une rigidité de flexion S de 200 N/m, on obtient une valeur max pour E de 1.7 GPa.

On peut procéder à un calcul similaire pour la force de rupture en utilisant l'expression $F = I \sigma_f / 1/2 t$, avec F est la charge max d'utilisation et σ_f est la contrainte à rupture en flexion du matériau dont la fourchette est faite (contrainte que l'on peut assimiler ici à la contrainte à rupture du matériau). Cela donne une force max d'utilisation de 12 MPa. Une conception sûre nécessite un facteur de sécurité, qu'on prendra égal à 2.

Une fourchette jetable typique pèse environ 10 g. Le prix de vente d'un tel produit reste raisonnable s'il n'excède pas 0.05€, ce qui impose une limite de coût pour le matériau d'environ 3.5€ par kg. De plus, le coût de mise en forme sera ici essentiel. Un processus de mise en forme direct à grande vitesse, sans finition, semble également essentiel ici, sachant qu'on se fixe une série de 100 000 pièces.

- Traduisez le cahier des charges de ce produit. Mettez en place une démarche de sélection des matériaux pour proposer les meilleurs candidats pour cette application, associés à une technique de mise en forme.*
- Le propriétaire de la pizzeria se flatte du caractère respectueux de l'environnement de son établissement. Aussi sa vaisselle jetable devra être au moins recyclable. Affiner votre choix de matériaux et procédés liés pour respecter ce nouveau critère.*
- Le propriétaire de la pizzeria souhaite aller plus loin dans sa démarche de respect de l'environnement, et améliorer son image éco-responsable en minimisant le contenu énergétique de sa vaisselle jetable Déterminez un indice de performance matériau approprié pour la sélection des matériaux pour les fourchettes éco-énergétiques, en modélisant la fourchette par une poutre de longueur L et largeur b fixées, et*

d'épaisseur t libre, chargée dans une configuration de flexion 3 points, comme présenté sur la figure. L'objectif est de minimiser l'empreinte énergétique de la fourchette. La limite de flexion impose une contrainte de rigidité.

- d) Le fléchissement des couverts lors de leur utilisation est un inconvénient. Par contre, leur déformation plastique ou leur rupture, qui provoquent une perte de fonction, sont plus graves. Répétez l'analyse, en déterminant un nouvel indice de performance, lié à une force de flexion amenant à la plastification ou la rupture de la fourchette.

IV. Les solives de plancher sont des poutres qui soutiennent les planchers dans les bâtiments, elles sont donc chargées en flexion lorsqu'on marche sur le sol. Ces solives peuvent être en bois, en acier ou en béton armé (renforcé de tiges d'acier), fonction de la nature du plancher qu'elles supportent. On cherche ici à savoir quel matériau présentera le plus faible impact environnemental pour cette application, à la fois pour une rigidité et une force de flexion données.

Les données pertinentes pour cette étude sont répertoriées dans le tableau ci-dessous, incluant la masse volumique ρ des matériaux, leur module d'Young E , leur contrainte à rupture en flexion σ_f , l'énergie consommée pour leur mise en œuvre H_p , et les facteurs de forme pour un calcul de résistance et un calcul de rupture en flexion Φ_B^e et Φ_B^f .

Material	Density ρ kg/m ³	Modulus E GPa	Strength σ_f MPa	Energy H_p MJ/kg	ϕ_B^e	ϕ_B^f
Soft wood	700	10	40	7.5	2	1.4
Reinforced concrete	2900	35	10	5	2	1.4
Steel	7900	210	200	30	15	4

- a) Commencez par l'étude de la force : déterminez l'indice de performance matériau pour des solives de masse minimale. Compte tenu de la différence de densité des différents matériaux proposés, adaptez cet indice en considérant que le volume des solives est fixé (travail à volume constant pour favoriser la comparaison des matériaux entre eux), c'est-à-dire multipliez l'énergie requise pour la mise en œuvre (en MJ/kg) par la masse volumique pour obtenir une valeur en MJ/m³. Utilisez l'indice modifié pour classer les trois matériaux en fonction de leur impact environnemental.
- b) Répétez la procédure, cette fois pour une étude en résistance, c'est-à-dire intégrant la déformation en flexion. Que concluez-vous au niveau de l'impact énergétique de la conception des solives en fonction des différents matériaux ?