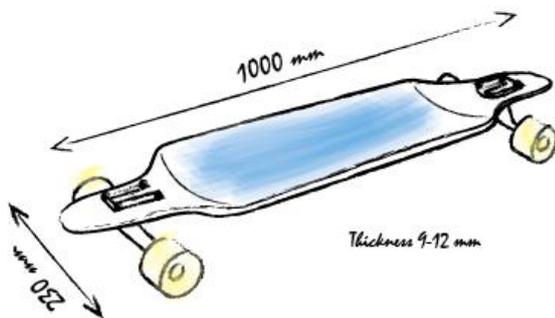


Claes Fredriksson, Granta Design, Février 2018

1. Sélection de matériau en conception

Lors du développement de produits, il faut avoir plusieurs options de matériaux dès les phases initiales de conception afin d'assurer une excellente performance. Généralement, l'allègement, la réduction des coûts et parfois l'empreinte écologique sont des aspects importants. Le défi est de choisir des matériaux de manière rationnelle pour maximiser les avantages. Dans cette étude de cas, on considère les matériaux pour un longboard.



Un longboard est une variante de skateboard conçue pour des courses de descente ou de slalom, mais aussi pour se balader ou comme moyen de transport. Comme il est plus long qu'un skateboard classique et possède généralement des roues plus grosses, il favorise les grandes vitesses. Sa masse et son volume plus élevés le rendent moins pratique pour de nombreuses acrobaties mais contribuent à une meilleure stabilité et des mouvements plus fluides du fait de l'élan qu'ils apportent. Les planches peuvent s'incurver vers le haut ou vers le bas le long de la planche. Elles peuvent aussi être à double courbure: concave sur la largeur et convexe sur la longueur.

Les planches de longboard sont généralement fabriquées à partir de bois contreplaqués, avec plusieurs couches de 2 mm d'épaisseur. Ces bois sont constitués de bois d'érable par exemple. Les longboards sont commercialement disponibles dans de nombreuses formes et tailles, chacune d'entre elles ayant ses avantages et inconvénients liés à des critères techniques ou de préférences personnelles.

2. Comment aborder la problématique

La façon systématique d'effectuer la sélection de matériaux comprend l'identification des *Fonctions*, *Objectifs* et *Contraintes* de conception. On commence par identifier les propriétés mécaniques clés pour la performance des planches de longboard. La résistance en traction est bien évidemment l'un des paramètres

cruciaux du fait que les planches doivent être suffisamment résistantes. Cependant, cette propriété n'est pas celle qui limite la performance, mais plutôt, comme pour d'autres équipements utilisés pour la pratique du sport et de la course (skis, raquettes, vélos, etc.), la *rigidité*.

Bien que la masse de la planche apporte de la stabilité au longboard, cette caractéristique ne contribue pas aux grandes vitesses lors de descente du fait de l'inertie élevée. C'est plutôt le frottement et la résistance à l'air faibles qui favorisent la vitesse. D'un autre côté, en montée, la masse génère certainement un travail plus élevé, ce qui réduit la vitesse. Il est de ce fait naturel de rechercher à minimiser la masse lors du choix de matériau pour la planche. On se concentrera sur la performance rigidité/masse dans cette étude, sans considérer le coût. Le bouton S'instruire (S'instruire > Material Selection > Performance Indices) montre les options:

Table of performance indices

Click the buttons to view a table of relevant performance indices.

	Mass	Cost	Embodied Energy	CO ₂ Footprint
Stiffness-limited design	kg	\$	H _m	CO ₂
Strength-limited design	kg	\$	H _m	CO ₂

Fonction :

La planche du longboard a un comportement très similaire à un **panneau en flexion** limité par la **rigidité** (on veut limiter la flexion de la planche). La variable libre de conception est l'épaisseur du panneau. Dans EduPack (S'instruire), on trouve :

Stiffness-limited design at minimum mass

FUNCTION AND CONSTRAINTS ¹		MAXIMIZE ²	MINIMIZE ²
Panel in bending		$E_f^{1/3} / \rho$	$\rho / E_f^{1/3}$

Objectif :

Les tables d'indices de performance (voir plus haut) disponibles grâce au bouton **S'instruire** de EduPack nous indique qu'il faut maximiser la racine cubique du module de flexion, E_f , divisé par la masse volumique, ρ . E_f est le module de flexion, qui est la rigidité en flexion. Puisque ce paramètre n'existe que dans les bases du niveau 3, on utilisera plutôt le **module de Young** comme une mesure de rigidité au niveau 2. L'objectif est alors :

Maximiser : $M = E^{1/3} / \rho$ (ligne de sélection de pente=3 sur le graphique E en fonction de ρ).

Contraintes :

Ces contraintes sont définies à partir de planches existantes. On peut les insérer dans l'étape **Limite**

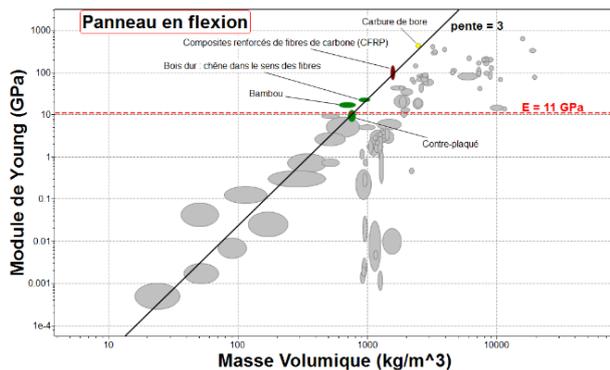
- *Température de service* : **-20°C to +60°C**
- *Limite élastique* : **> 10 MPa**
- *Module de Young* : **> 11 GPa**
- *Résistance à la pluie et à l'eau salée* : **Acceptable+Excellent**

3. La sélection de matériau

La sélection se base sur les données sur 100 matériaux disponibles au niveau 2 de CES EduPack.

- Cliquez sur le bouton *Graphique/Sélectionner (Tous matériaux)* et tracer le graphique **Module de Young en fonction de Masse Volumique**
- Mettez une ligne de sélection de pente 3
- Placez la ligne sur la bulle Contreplaqué
- Ajouter les contraintes via l'étape *Limites*

La contrainte sur le module de Young peut aussi être appliquée avec une ligne de sélection de pente 0, comme le montre le graphique ci-dessous :



Graphique : Plusieurs matériaux ont une performance similaire au contreplaqué, ou meilleure (au-dessus de la ligne de sélection).

La ligne de sélection de pente 3, correspondant à la puissance 1/3 dans l'expression de l'indice, révèle que le bambou est le matériau naturel le plus performant, même meilleur que les composites renforcés par fibres de carbone (CFRP), ou le bois dur, tel que le bois de chêne (voir Classer par : *Valeur de repère*).



L'image ci-dessous montre quelques matériaux communs de planche. Depuis la gauche : une planche en contreplaqué d'érable est présentée. Celles-ci ont généralement 5-7 plis croisés et sont d'entrée de gamme. Puis, une planche en bambou unidirectionnel est présentée, et à sa droite une planche légère en panneau sandwich, constituée de couches de fibres de carbone/érable/fibres de verre. Celles-ci coûtent généralement plus de 100€. Nos résultats montrent que les planches moins chères en érable et bambou doivent être très performant aussi. Mais que dire du Carbone de Bore, qui se positionne très bien ? Cette céramique technique a aussi une ténacité relativement élevée.

Une autre raison de ne pas avoir de planche en Carbone de Bore est le prix. Une comparaison du prix par volume (prix/kg * masse volumique) est présentée ci-dessous :



Graphique : Carbone de Bore (et CFRP) ont généralement une excellente performance, mais un prix élevé aussi. Le bois est moins cher.

Un tracé de l'indice de performance lié au coût (depuis le bouton *S'instruire*) montre la même figure. C'est trop cher. D'autres raisons de ne pas utiliser les céramiques sont l'empreinte CO₂ élevée et la mauvaise recyclabilité. Par ailleurs, une recherche du terme "*planche à roulettes*" au niveau 2 de CES EduPack montre l'image d'une planche en contreplaqué, comme exemple.

4. Conclusions

Les bois traditionnels, en particulier le bambou, ont des performances mécaniques très bonnes, similaires à celles des matériaux composites plus chers. La considération d'autres paramètres, tels que le prix, l'empreinte CO₂ ou la recyclabilité soutient ce constat.

L'utilisation de CES EduPack permet une sélection de matériau systématique et rationnelle. CES fournit les informations nécessaires et les outils pour une analyse interactive et visuelle de problèmes d'ingénierie intéressants.