

Choix de matériaux à partir d'un indice de performance

Exercices

Jean-Paul Krebs (Ac. Rouen)



GRANTA
TEACHING RESOURCES

@ Jean-Paul Krebs, 2012

For reproduction guidance see back page

Granta's Teaching Resources website aims to support teaching of materials-related courses in Engineering, Science and Design. The resources come in various formats and are aimed at different levels of student. This resource has been donated by a member of faculty of one of the 700+ universities and Colleges worldwide who use Granta's CES EduPack. There is also a complete set of resources created by Professor Mike Ashby of the Department of Engineering at the University of Cambridge, founder of Granta Design. The teaching resource website contains both resources that require the use of CES EduPack and those that don't.



www.grantadesign.com/education/resources

Choix de matériau à partir d'un indice de performance

Mise en situation

Une pièce appelée tirant, est soumise à une sollicitation de traction. En effet elle est soumise à deux forces extérieures de même intensité, de sens opposés et de même support : la ligne moyenne de la poutre.



On souhaite concevoir un tirant **solide** et **léger**.

Hypothèses

- Sa forme permet de l'assimiler à une poutre.
- Son matériau est homogène et isotrope

La théorie de la RDM peut s'appliquer.

Données :

- L'intensité des forces F est donnée.
- L'aire de la section S est variable
- La longueur initiale L est imposée.

Résolution du problème

1) Il faut répondre à 3 questions :

a) Quelles sont les exigences à respecter ?

- F est imposée ;
- L : est imposée ;
- Il faut que la pièce résiste : la contrainte de traction σ doit rester inférieure à la limite élastique du matériau Re (on a pas pris de coeff de sécurité pour cet exemple).

$$\sigma < Re \text{ autrement dit } \sigma_{\max} = Re \\ (\text{avec } \sigma_{\max} = F_{\max} / S_{\min} \text{ par définition})$$

b) Quel est l'objectif ?

On souhaite minimiser la masse m :

$$m = \rho \cdot V \text{ (} \rho : \text{masse volumique et } V : \text{volume)}$$

$$m = \rho \cdot S \cdot L$$

c) Quels sont les paramètres variables sur lesquels on peut jouer ?

- l'aire de la section : S ;
- la limite élastique du matériau : Re ;
- la masse volumique : ρ .

2) Recherche d'un indice de performance

On exprime m en fonction de 2 variables : Re et ρ

On va éliminer S des équations car ce n'est pas sur la géométrie qu'on veut jouer.

Choix de matériau à partir d'un indice de performance

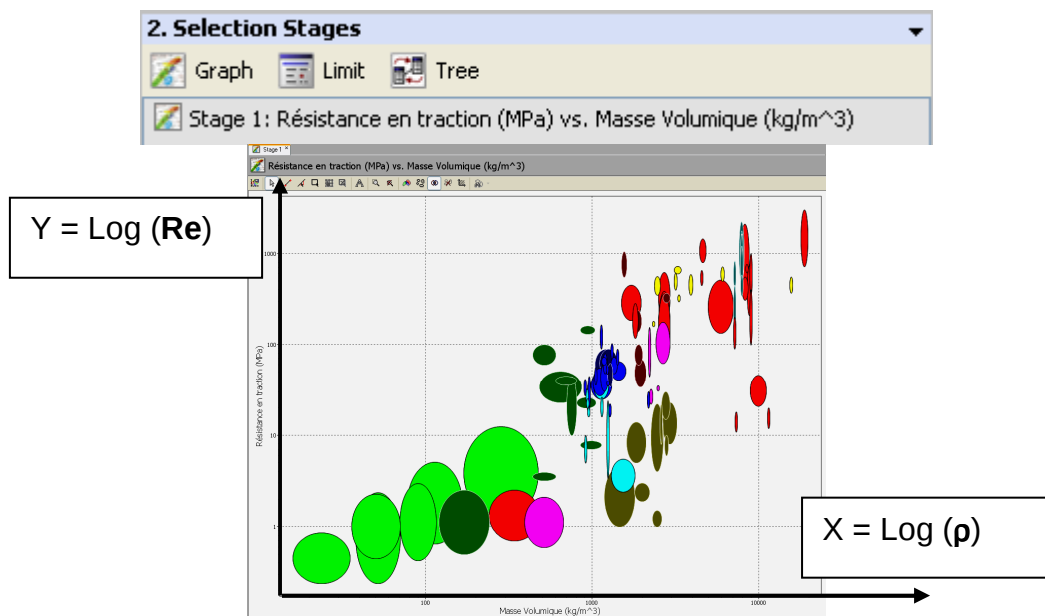
$$m = \rho \cdot S \cdot L \quad \text{or} \quad S = F / \sigma_{\max} \quad \text{donc} \quad m = F \cdot L \cdot \left(\frac{\rho}{Re} \right)$$

La performance à obtenir est de minimiser m , cela consiste donc à minimiser le rapport $\left(\frac{\rho}{Re} \right)$ ou à maximiser $\left(\frac{Re}{\rho} \right)$.

Conclusion : L'indice de performance est : $P = \left(\frac{Re}{\rho} \right)$

3) Exploitation sur un logiciel de base donnée de matériaux du type CES Edupack

a) On trace un graphe exprimant le $\log(Re)$ en fonction du $\log(\rho)$



b) Traduction graphique de l'indice de performance P

on applique la fonction logarithme à P :

$$\log P = \log \left(\frac{Re}{\rho} \right) \quad \text{donc} \quad \log P = \log (Re) - \log(\rho)$$

$$\log(Re) = \log(\rho) + \log(P)$$

On se ramène ainsi à une fonction du type $Y = a.X + b$:

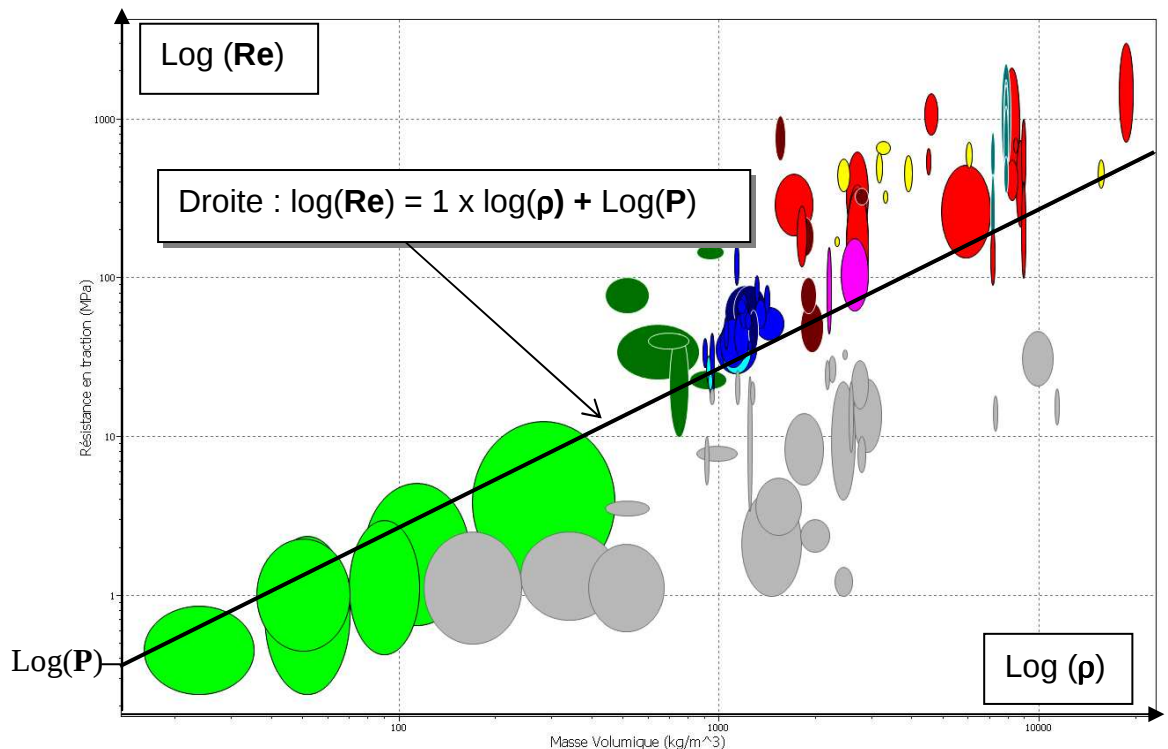
$$\log(Re) = 1. \log(\rho) + \log(P)$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & & \downarrow \\ Y & = & 1. X + \log(P) \end{array}$$

Choix de matériau à partir d'un indice de performance

Graphiquement c'est une droite de coefficient directeur 1 et d'ordonnée à l'origine $\log(P)$

On trace une droite de pente 1. Cliquer sur  puis définir la pente (slope) :



On rappelle qu'on cherche à maximiser P , donc à maximiser $\log(P)$.

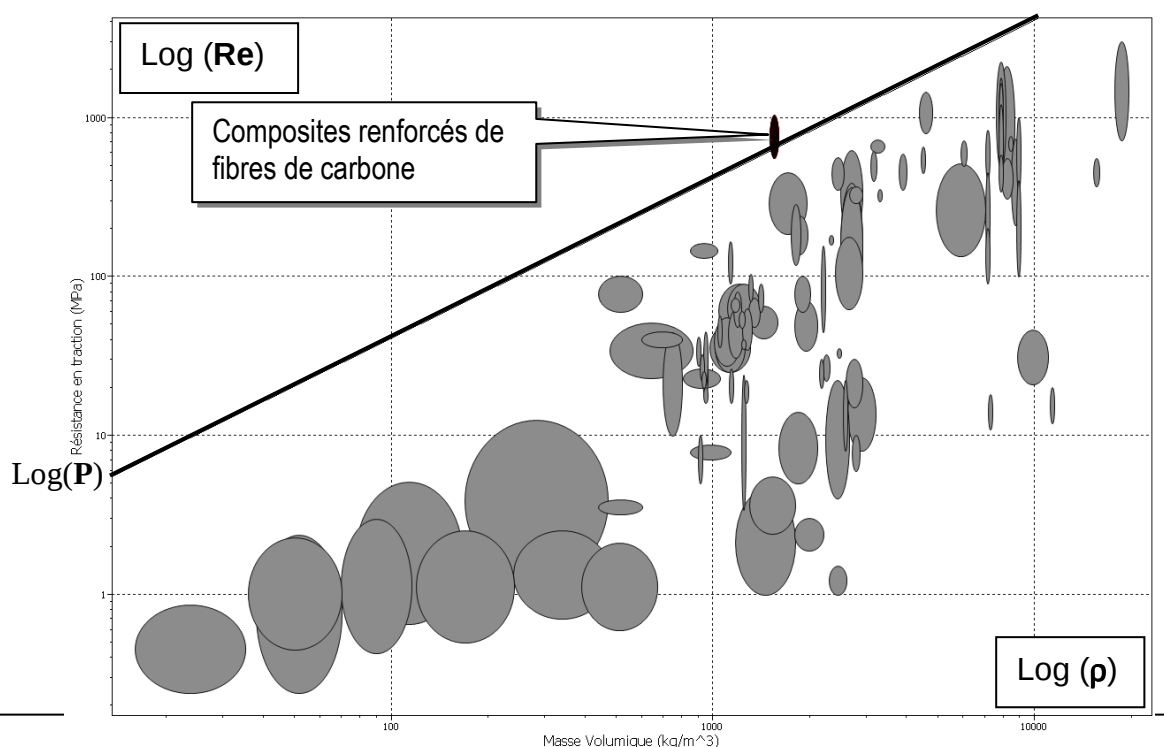
Le problème revient à chercher où se situe la droite **ayant la plus grande ordonnée à l'origine** et croisant des matériaux.

Conclusion

On trouve la famille de matériaux ayant le plus grand rapport

$$\left(\frac{Re}{\rho} \right)$$

C'est la famille des composites en fibres de carbone.



Choix de matériau à partir d'un indice de performance

Il reste ensuite à sélectionner un des matériau de cette famille.

On y trouve des composites ayant une limite élastique Re valant entre 550 et 1050 MPa

Stage 1 Composites renforcés de fibres de carbone (CFRP) x

Composites renforcés de fibres de carbone (CFRP)

Layout: Edu Niveau 2 Show/Hide

Description

Le Matériau

Les composites renforcés par des fibres de carbone (CFRP) offrent une plus grande rigidité et une meilleure tenue mécanique que n'importe quel autre type de composites mais ils sont nettement plus chers que les GFRP (voir cette fiche). Les fibres continues dans une matrice polyester ou époxy donnent les performances les plus élevées. Les fibres supportent les charges mécaniques, alors que le matériau de la matrice transmet la charge aux fibres et offre la ductilité et la résistance aux chocs ainsi que la protection des fibres contre les dégâts causés par la manipulation et l'environnement. C'est le matériau de la matrice qui limite la température de service et les conditions de mise en œuvre.

Composition (résumé)

Epoxy + renfort de fibres de carbone continues de type HS (0, +45, 90), disposition quasi isotrope.

Le matériau dans un produit



Légende de l'illustration

Un cadre de vélo en CFRP pesant seulement 1,08 kg, avec la gracieuse permission de TREK.

Propriétés générales

Masse Volumique	1.5e3	-	1.6e3	kg/m³
Prix	* 30.7	-	33.7	EUR/kg

Propriétés mécaniques

Module de Young	69	-	150	GPa
Module de cisaillement	28	-	60	GPa
Module de compressibilité	43	-	80	GPa
Coefficient de Poisson	* 0.305	-	0.307	
Limite élastique	550	-	1.05e3	MPa
Résistance en traction	550	-	1.05e3	MPa
Résistance à la compression	440	-	840	MPa
Allongement	* 0.32	-	0.35	%
Mesure de dureté Vickers	* 10.8	-	21.5	HV
Limite de fatigue	* 150	-	300	MPa
Ténacité	* 6.12	-	20	MPa.m¹/²
Coefficient d'amortissement (tan delta)	* 0.0014	-	0.0033	

Re →

On sélectionne un des composites ayant une certaine limite élastique Re , pour en déduire l'aire S de la section du tirant.:

Sachant que la condition de résistance est $F/S < Re$

Cela impose que : $S > Re / F$

Conclusion il faudra concevoir un tirant de section minimale Re / F

Author

We would like to thank Jean-Paul Krebs from Ac. Rouen for contributing this resource. You can contact him via the email address jean-paul.krebs@ac-rouen.fr.

Reproduction

These resources have been contributed on the basis that you can download and reproduce these resources in order to use them with students. You should make sure that the author and their institution are credited on any reproductions.

You cannot use this resource for any commercial purpose.

Accuracy

We try hard to make sure that resources in Granta's Teaching Resource Website are of a high quality. If you have any suggestions for improvements, you can contact the author using the contact details above.

Other resources include:

- 19 PowerPoint lecture units
- Exercises with worked solutions
- Recorded webinars
- Posters
- White Papers
- Solution Manuals
- Interactive Case Studies

