# Sélection des matériaux

## Quels outils pour faire le meilleur choix ?

http://sdm.univ-lyon1.fr/

IUT Lyon 1
l'excellence technologique

# Objectif du cours

- Programme :

  « Mettre en œuvre une démarche de sélection des matériaux en prenant en compte les exigences du bureau d'étude et du bureau des méthodes. »

- La démarche de sélection inclut de :

  1) définir un cahier des charges à partir des conditions d'utilisation de l'objet
     → astreintes, objectifs (y compris coût, dégradation, …)

  2) définir un critère de choix à partir du cahier des charges
     → compromis nécessaire

  3) choisir le matériau dans une base de données à partir de ce critère

→ connaitre les matériaux et leurs propriétés

# Exercices

- Mise en équation du cahier des charges :
  Ex. : quelle relation physique utiliser pour :

  - limiter une déformation élastique ?
  - éviter toute déformation plastique ?
  - éviter la rupture d'un matériau ductile ?
  - éviter toute rupture par fatigue pour un acier ?
  - éviter la rupture fragile ?
  - choisir le matériau le plus ductile ?
  - limiter une déformation élastique transversale ?
  - éviter la rupture par fatigue pour un alliage d'aluminium ?

# Démarche

- Fonction (de l'objet) A quoi sert-il ? Que lui impose-t-on ?
  Ex. : supporter une charge en compression sans rompre,
  être étiré sans dépasser une certaine déformation élastique,
  supporter une différence de température sans trop transmettre de chaleur…

- Objectif (commercial, environnemental…) Que faut-il optimiser ?
  Ex. : minimiser le prix, maximiser le transfert thermique, minimiser la masse, …

- Paramètres *fixes* : quels paramètres sont imposés (géométrie, fonction) ?
  *ajustable* : quel paramètre (unique) peut-on faire varier ?
  *matériau* : quelles propriétés du matériau sont mises en jeu ?

- Lois physiques régissant le problème :
  Ex. : élasticité → loi de Hooke ($\sigma = E\,\varepsilon$)
  propagation de fissure → $K \leq Kc$
  résistance → $\sigma < Rm$ ou plus souvent $\sigma < Rm / s$

coefficient de sécurité

# Exemple de démarche

- Conception d'un pied de table cylindrique :

1) Fonction : soutenir un plateau ➔ supporter une charge en compression *F* **avec un allongement élastique limité**

2) Objectif : minimiser la masse *M*

3) Paramètres :

- *fixés* par le cahier des charges :
  - **hauteur du pied *h***
  - **force de compression supportable *F***
  - **allongement élastique maximal $\Delta h$**
- *ajustable* :
  - **section du pied *S***
- *matériau* :
  - **domaine élastique ➔ module d'Young *E***
  - **masse minimale ➔ masse volumique $\rho$**

4) Equations :

•exprimer l'*objectif* en fonction des autres paramètres :

masse volumique (kg m$^{-3}$), volume

**objectif** = masse *M* ➔ $M = \rho V = \rho h S$

•équation physique liée à la *fonction* :

allongement *élastique* $\Delta h$ maximal ➔ $\sigma = E\,\varepsilon$ ➔ $\frac{F}{S} = E\frac{\Delta h}{h}$

# Fonction objectif

5) Fonction objectif : objectif exprimé sans paramètre ajustable

Ex. : masse *M* — Ex. : section du pied *S*

1) isoler le paramètre ajustable dans l'équation physique liée à la *fonction* : $\frac{F}{S} = E\frac{\Delta h}{h} \Rightarrow S = \frac{F h}{E \Delta h}$

2) l'intégrer dans l'expression de l'*objectif* : $M = \rho h S$

$$M = \rho h \frac{F h}{E \Delta h} \Rightarrow M = \frac{\rho F h^2}{E \Delta h}$$

3) séparer les paramètres fixes et les paramètres matériau

$$M = \left(\frac{\rho}{E}\right)\left(\frac{F h^2}{\Delta h}\right)$$

**objectif**

**paramètres propres au matériau**

**paramètres fixes**

**pas de paramètre ajustable !**

# Indice de performance

rappel fonction objectif : $$M = \left(\frac{\rho}{E}\right)\left(\frac{F h^2}{\Delta h}\right)$$

- minimiser la masse ➔ minimiser $\frac{\rho}{E}$ ➔ maximiser $\frac{E}{\rho}$

**indice de performance, noté *I*, toujours à maximiser**

- 6) Indice de performance = partie matériau (objectif à maximiser)

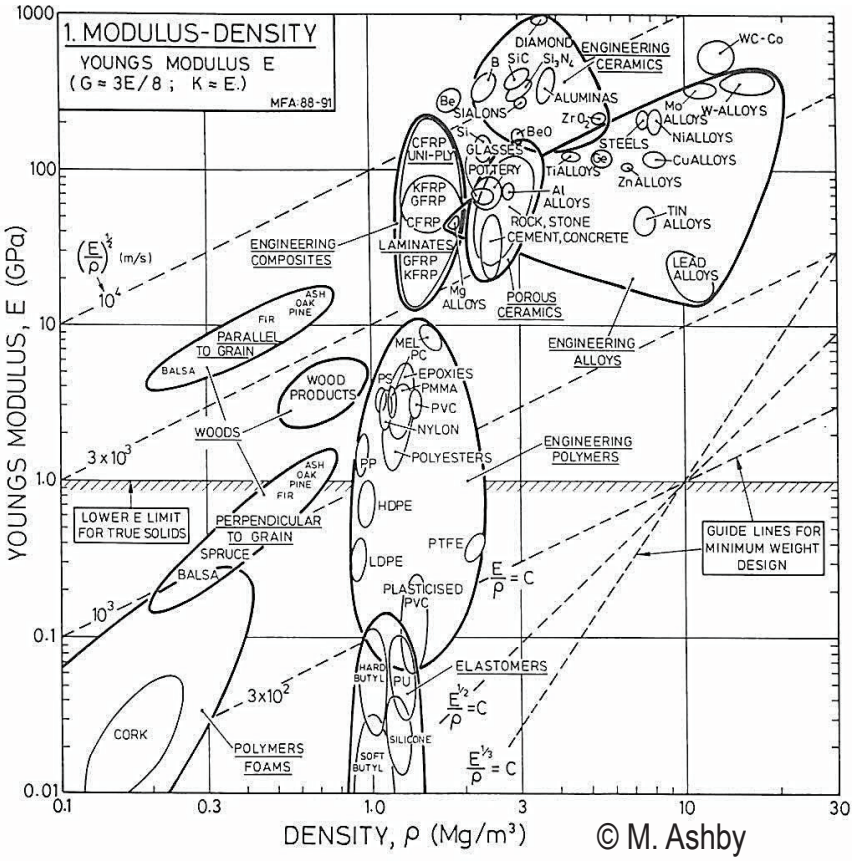
  $\frac{1}{\text{partie matériau}}$ (objectif à minimiser)

- maximiser l'indice de performance = obtenir le **meilleur compromis** entre deux propriétés **pour un problème donné** (ex. : E et ρ)

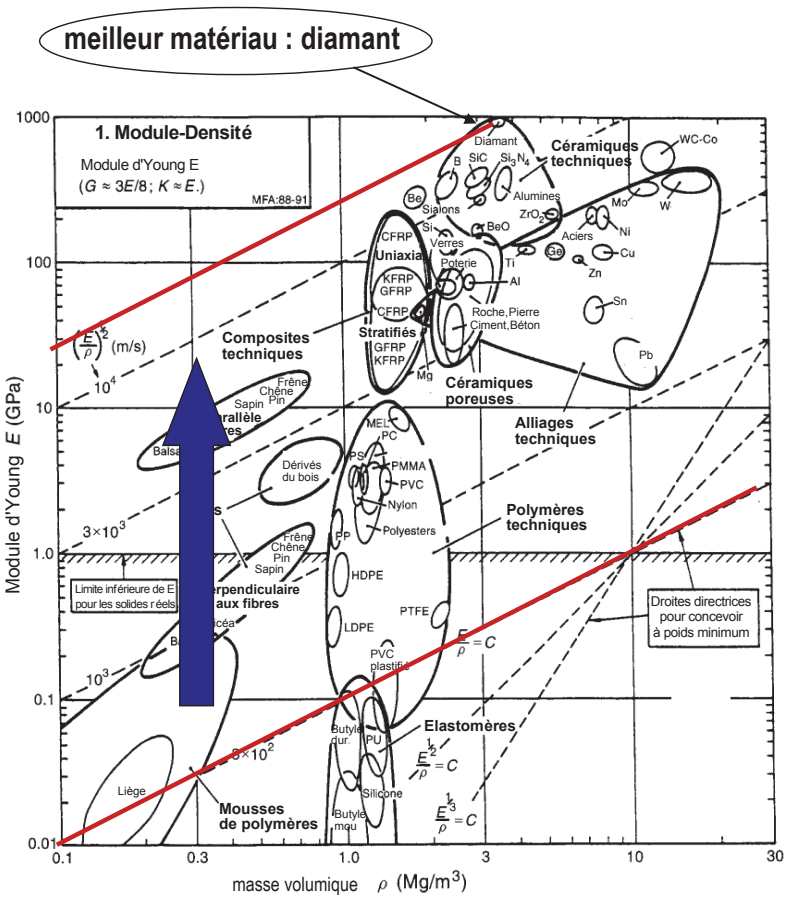
⚠ On peut avoir $\frac{E}{\rho}$ grand mais *E* très petit ou $\rho$ très grand !!

# Diagrammes d'Ashby

## Cartes de propriétés



# Diagrammes d'Ashby




- 7) Procédure : $I = \frac{E}{\rho}$

$$\log(E) = \log(\rho) + \log(I)$$

$$Y = X + \log(I)$$

$$Y = aX + b$$

équation de la droite affine :

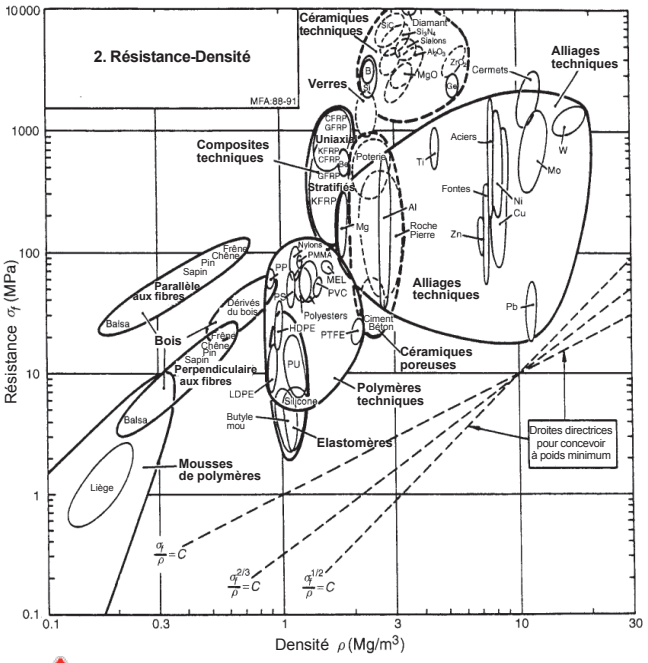
- d'abscisse $X = \log(\rho)$
- d'ordonnée $Y = \log(E)$
- de pente $a = 1$
- d'ordonnée à l'origine $b = \log(I)$

**$I$ maximum → log($I$) maximum**
**→ ordonnée à l'origine maximum**
**→ droite la plus haute**

# Autres diagrammes

## Compromis

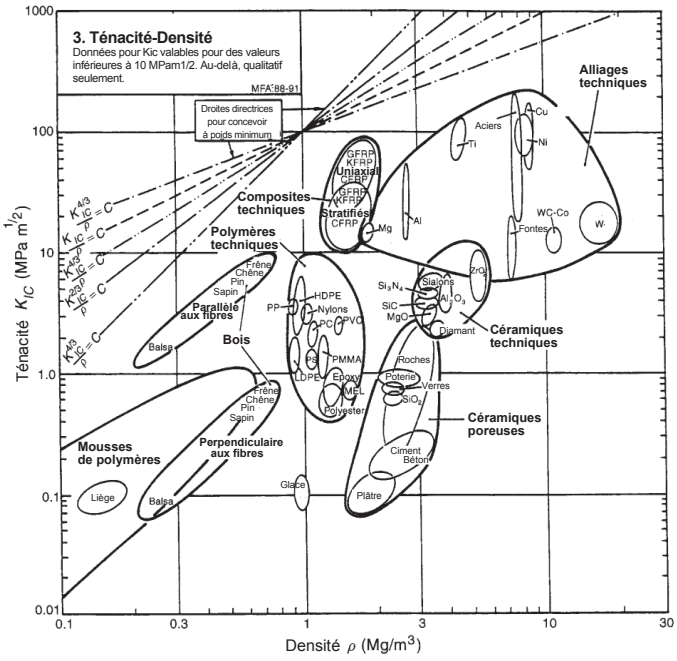
### masse volumique / résistance




pointillés : résistance en compression

## Compromis

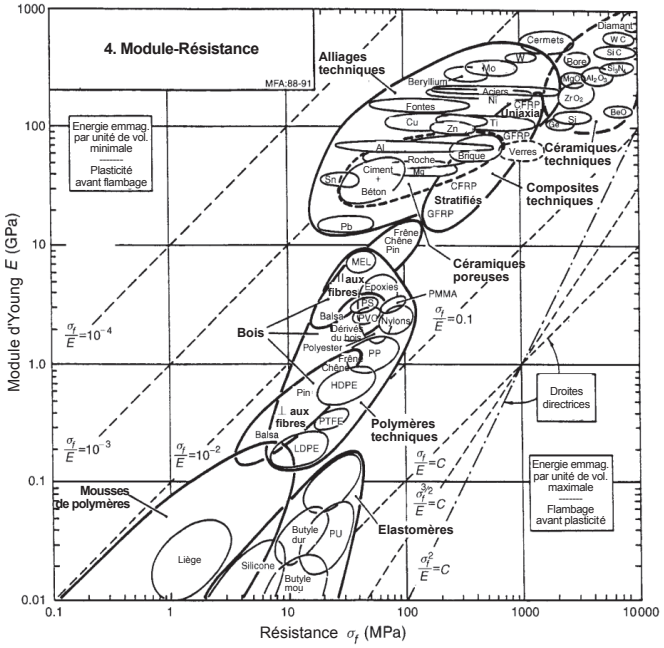
### masse volumique / ténacité



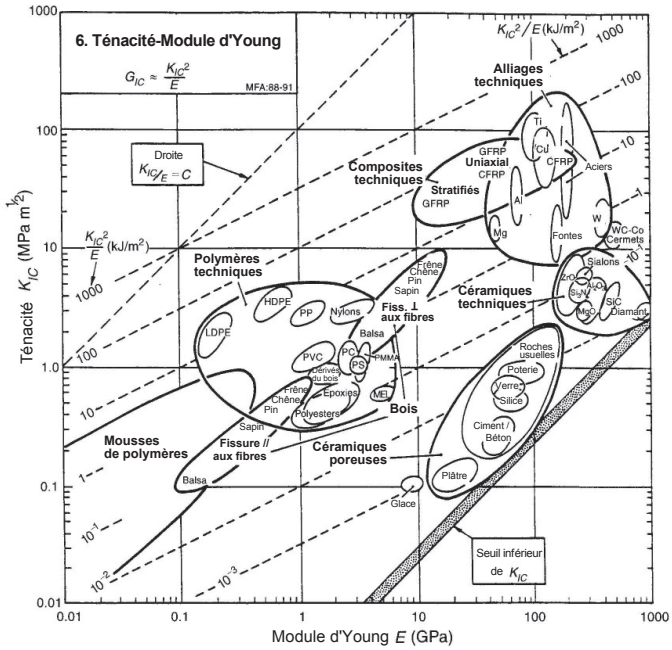

(c) Michael F Ashby
(c) Editions Dunod, pour la traduction fran çaise

# Autres diagrammes

- Compromis rigidité / résistance



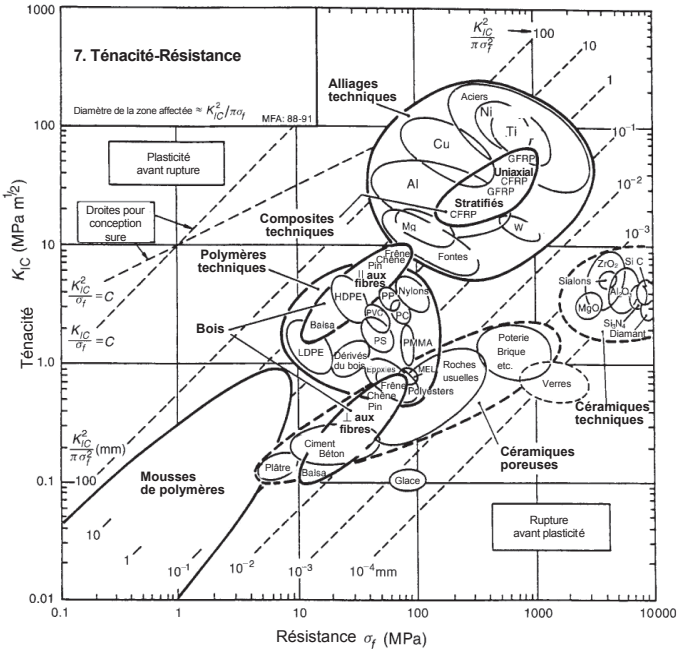

- Compromis ténacité / rigidité



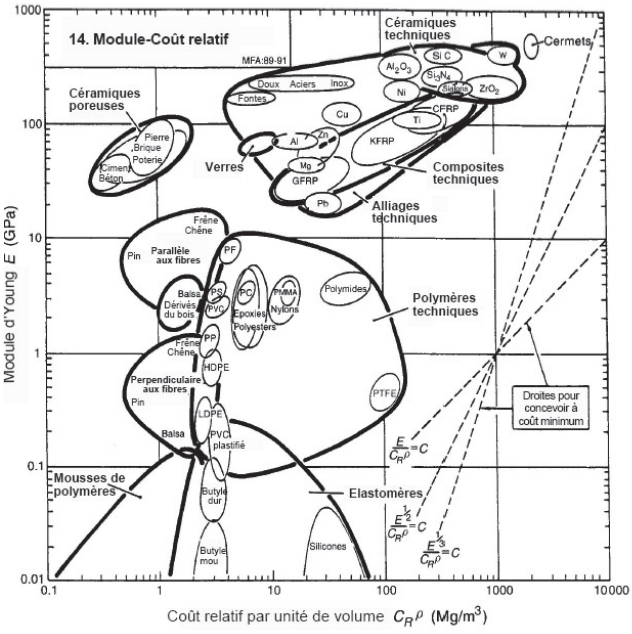

(c) Michael F Ashby
(c) Editions Dunod, pour la traduction fran çaise

# Autres diagrammes

- Compromis ténacité / résistance

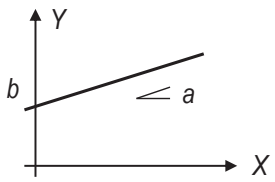



- Compromis rigidité / coût




- + rigidité spécifique, résistance spécifique, conductivité thermique, diffusivité thermique, coefficient de dilatation, coût en énergie, résistivité électrique…

(c) Michael F Ashby
(c) Editions Dunod, pour la traduction fran çaise

# Méthodologie

| | |
|---|---|
| **1) Fonction** de l'objet | issue du cahier des charges fonctionnel |
| **2) Objectif** de conception | choix commercial, environnemental… |
| **3) Paramètres** | paramètres fixes + ajustable + matériau |
| **4) Equations** physiques | une issue de la fonction + une issue de l'objectif |
| **5) Fonction objectif** | objectif exprimé sans paramètre ajustable |
| **6) Indice de performance** | (inverse des) paramètres matériaux dans la fonction objectif |
| 7) Diagramme d'Ashby | transformer l'indice de performance en équation d'une droite affine + trouver la droite correspondant à l'indice de performance maximum |