

# **BM1-2: Materials Selection for Engineering Applications**

**Cours : choix des matériaux pour  
les applications industrielles**

# PLAN DU COURS

## PARTIE 1:

CONCEPTION ET PROPRIETES DES MATERIAUX

## PARTIE 2:

DIAGRAMME DE CHOIX DES MATERIAUX

## PARTIE 3:

INDICE DE PERFORMANCE

## PARTIE 4:

ETUDE DE CAS (TP)

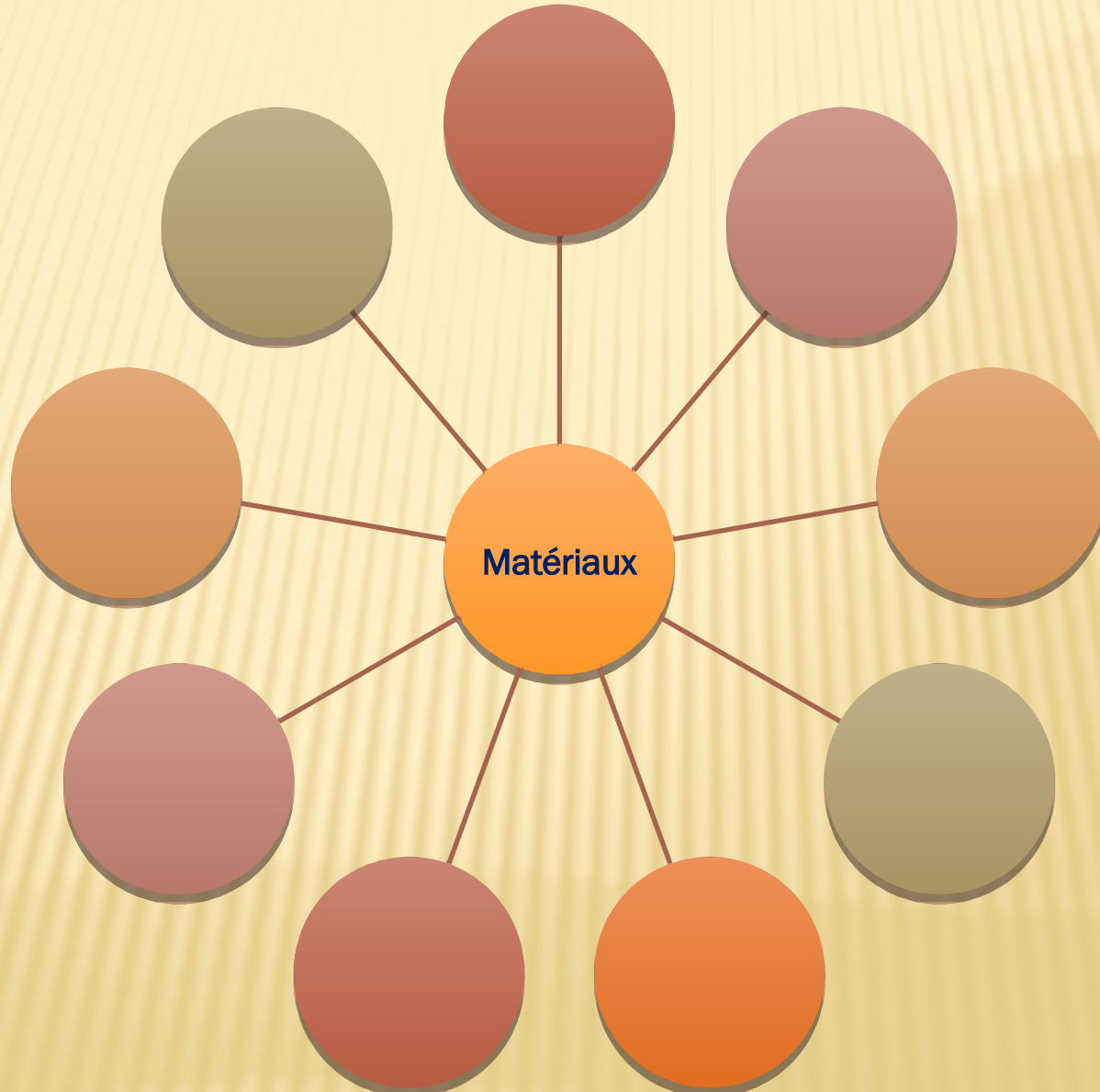
# PARTIE 1:

## CONCEPTION ET PROPRIETES DES MATERIAUX

- Critères de choix d'un matériaux
- Sélection des matériaux et des procédés
- Démarche de conception
- Les propriétés des matériaux

# Classification des matériaux

9 groupes :



## **PARTIE 2:**

# **DIAGRAMME DE CHOIX DES MATERIAUX**

- **Approche hiérarchique**
- **Approche comparative des matériaux**

# Approche hiérarchique



**Objectif :** Donner un niveau d'information compatible avec le niveau d'avancement de la conception

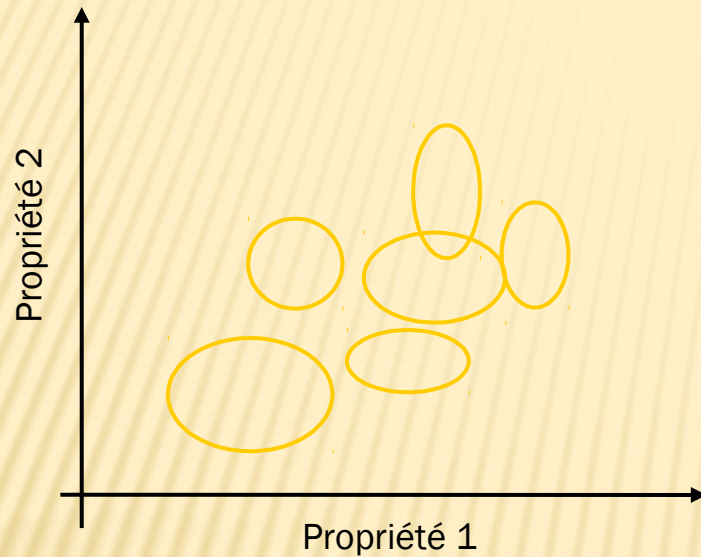
# Approche comparative des matériaux

## 1<sup>ère</sup> étape : comparaison qualitative

	Métaux	Céramiques	Polymères	Composites
<b>Densité</b>	Moyenne / élevée	Moyenne	Faible / très faible	Moyenne / faible
<b>Prix</b>	Faible / élevé	Elevé (techniques)	Faible / élevé	Elevé
		Faible (grde diffusion)		
<b>Module d'Elasticité</b>	Elevé	Très élevé	Moyen / faible	Elevé
<b>Résistance Mécanique</b>	Elevée	Très élevée (compression)	Moyenne / faible	Elevée
<b>Tolérance aux défauts et aux chocs</b>	Très tenace	Très fragile	Peu tenaces mais grande énergie absorbée	Très tenace
<b>Température d'utilisation</b>	Moyenne / hautes	Hautes / très hautes	Moyennes / faibles	Moyennes
<b>Tenue aux agressions chimiques</b>	Moyenne / mauvaise	Bonne / très bonne	Moyenne	Moyenne
<b>Conduction de la chaleur</b>	Bonne / très bonne	Moyenne / faible	Faible / très faible	Faible
<b>Conduction de l'électricité</b>	Bonne / très bonne	Faible / très faible		
<b>Facilité de mise en forme</b>	Facile	Difficile (technique)	Très facile	Moyenne dépendant de la forme
		Facile (grde diffusion)		
<b>Facilité d'assemblage</b>	Facile	Moyenne	Facile	difficile

# Approche comparative des matériaux

Une autre présentation possible des propriétés : **les cartes de sélection**



- Graphe dans un plan (prop 1, prop 2)
- Matériaux représentés par des ellipses



**Avantages :** - aperçu rapide de la dispersion

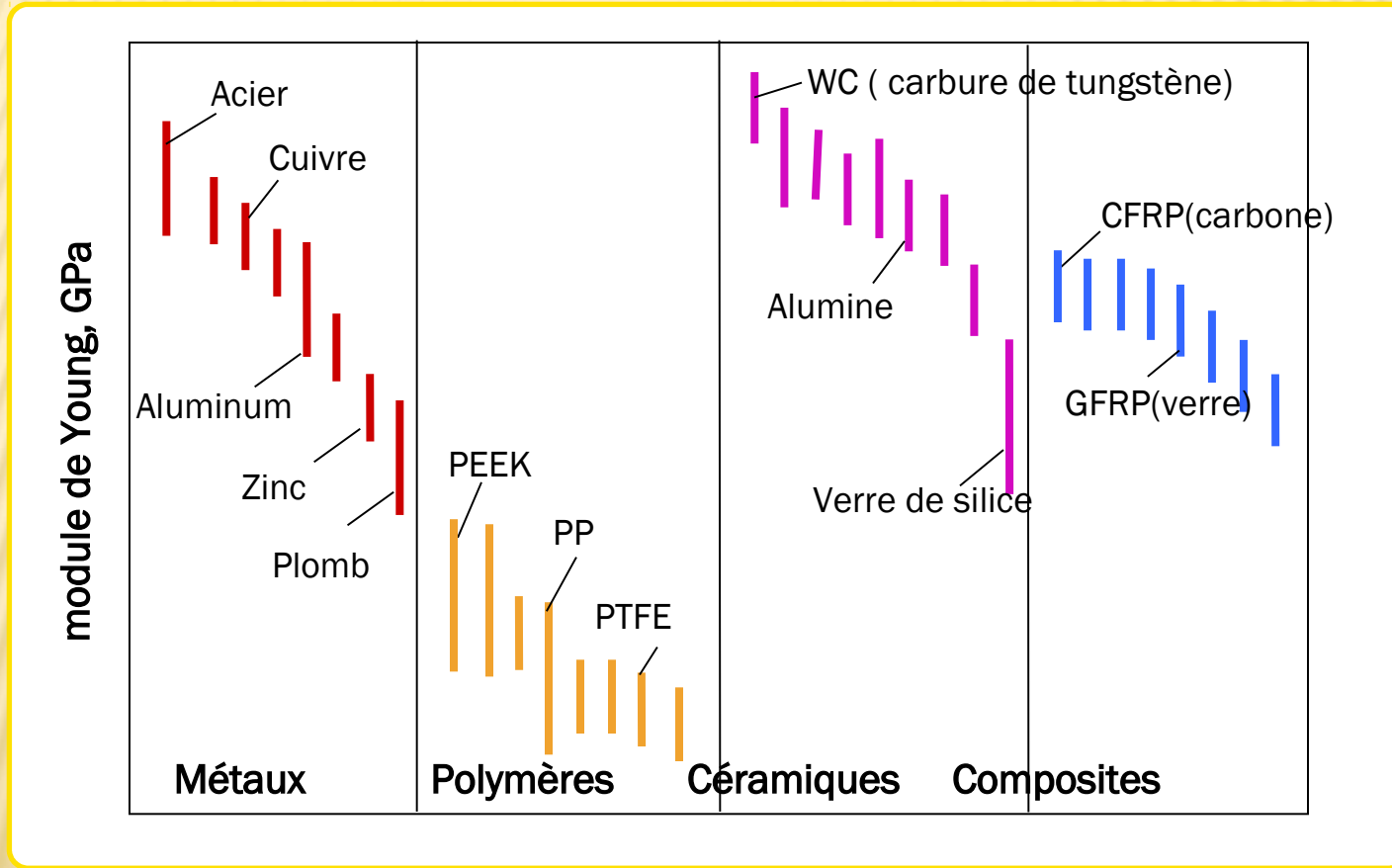
- localisation des différentes classes de matériaux



# Approche comparative des matériaux

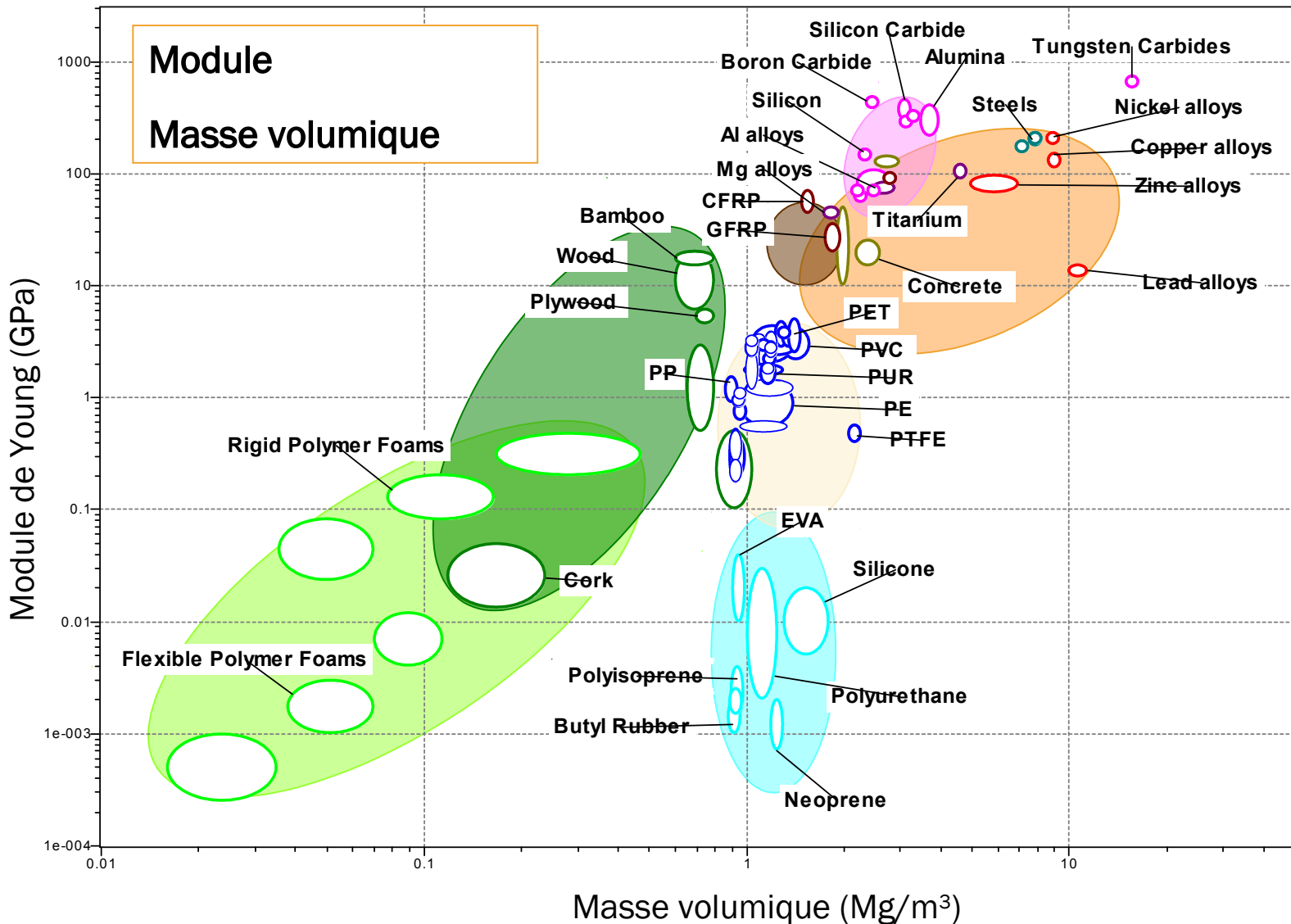
## Exemple de carte de sélection

(1 seule propriété)



# Approche comparative des matériaux

## Exemple de carte de sélection



**PARTIE 3:**  
**INDICE DE PERFORMANCE**  
▪ *Démarche:*

# INDICE DE PERFORMANCE

## DEMARCHE:

### 1. Fonction de l'objet : a quoi sert-il ?

Ex. : supporter une charge en compression, être étiré, transmettre le courant, ...

### 2. Objectif : que faut-il optimiser ?

Ex. : minimiser le prix, maximiser la résistance, minimiser le poids, ...

### 3. Contraintes : négociables ou non

Ex. : dimensions imposées, force appliquée, ...  
paramètres ajustables  
conditions imposées (faible déformation, pas de rupture, bon conducteur, ...)

### 4. Lois physiques régissant le problème :

**Ex. : élasticité** → loi de Hooke ( $\sigma = E \varepsilon \leq \sigma_e$ )

**Propagation de fissure** →  $K \leq K_c$

**résistance** →  $\sigma < R_m$

### 5. Expression de l'objectif : fonction des paramètres fonctionnels (F), géométriques (G) et du matériau (M) :

$$(O) = f \{ (F) (G) (M) \}$$

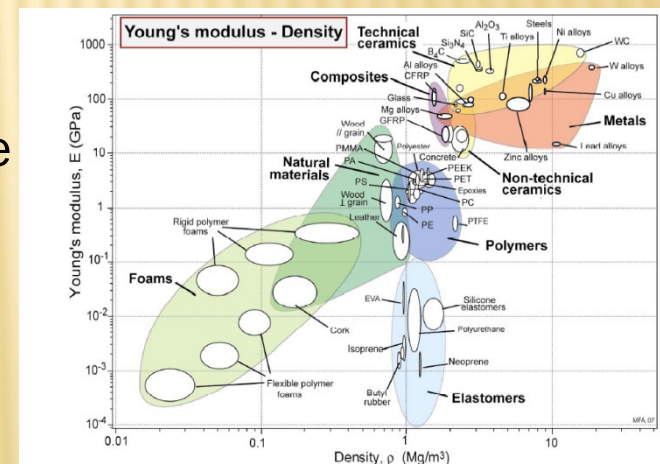



Figure 5. A chart of Young's modulus and density for materials created using the CES EduPack 2007 software with the Level 2 database.

## DEMARCHE:

Une combinaison de propriétés caractérisant la performance d'un matériau pour une application donnée.

Trois types de spécifications dans une conception

- exigences fonctionnelles : F
- géométrie : G
- propriétés du matériau : M



Si les trois groupes de paramètres sont indépendants

La performance cherchée

$$p = f(F, G, M) \quad \doteq f_1(F) f_2(G) f_3(M)$$

**$p$  : masse; coût; volume; durée de vie**

# INDICE DE PERFORMANCE

## DEMARCHE:

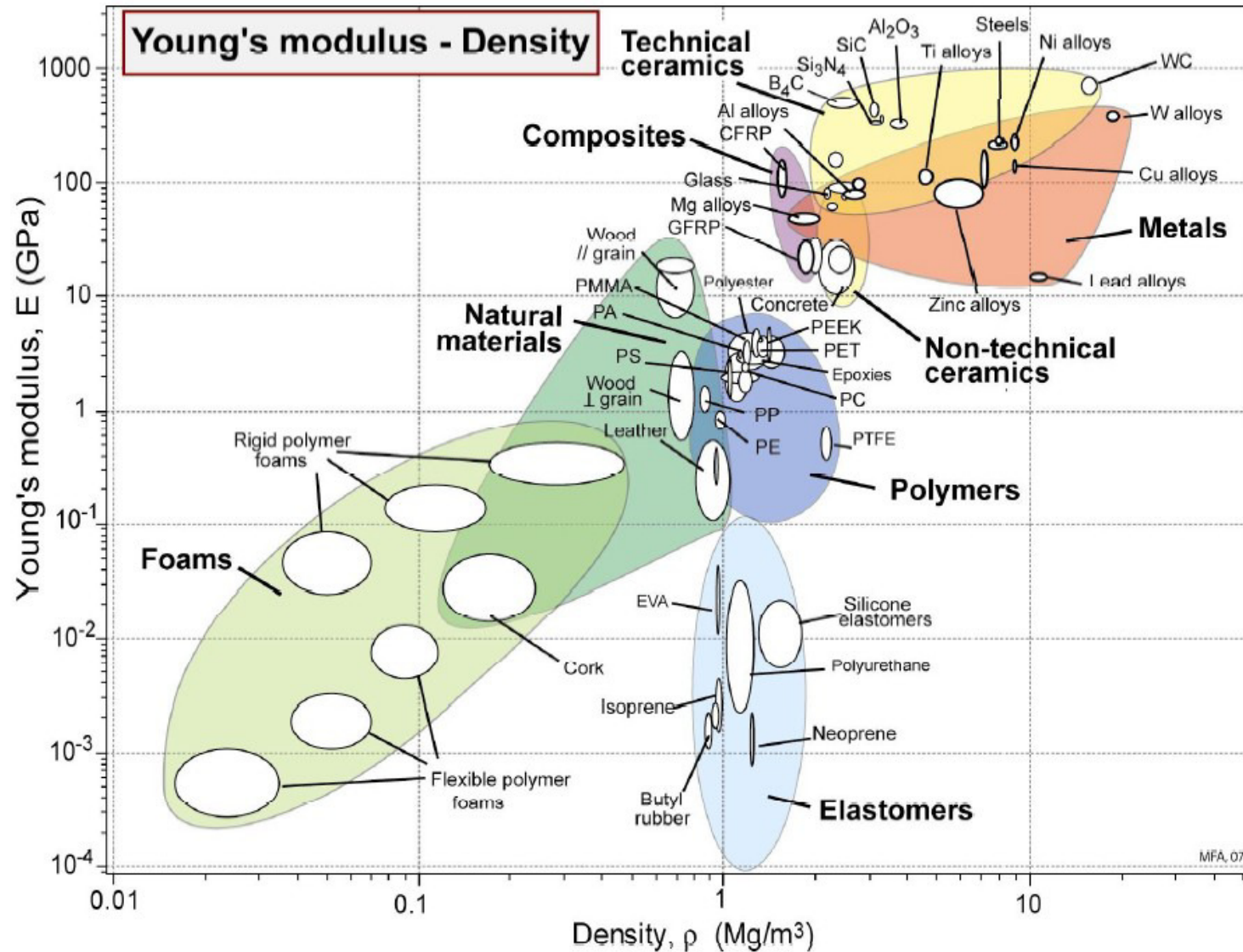


Figure 5. A chart of Young's modulus and density for materials created using the CES EduPack 2007 software with the Level 2 database.

# INDICE DE PERFORMANCE

**EXEMPLE :** *conception d'un pied de table cylindrique* léger et rigide



# INDICE DE PERFORMANCE

**EXEMPLE :** *conception d'un pied de table cylindrique* léger et rigide

1. Fonction :

2. Objectif :

**Minimiser** .....

3. Contraintes :

▪ Paramètres fixés par le cahier des charges :

.....  
.....  
**Rigide en compression (faible déformation élastique  $< \Delta h$ )**

▪ Paramètres ajustables :

4. Relations physique :

▪ **Objectif :** masse  $m$  →  $m = \dots = \dots$  avec  $\rho$  : masse volumique  
(Kg/m<sup>3</sup>)

▪ **Condition imposée :** →  $\sigma = E\varepsilon$  → ..... = .....





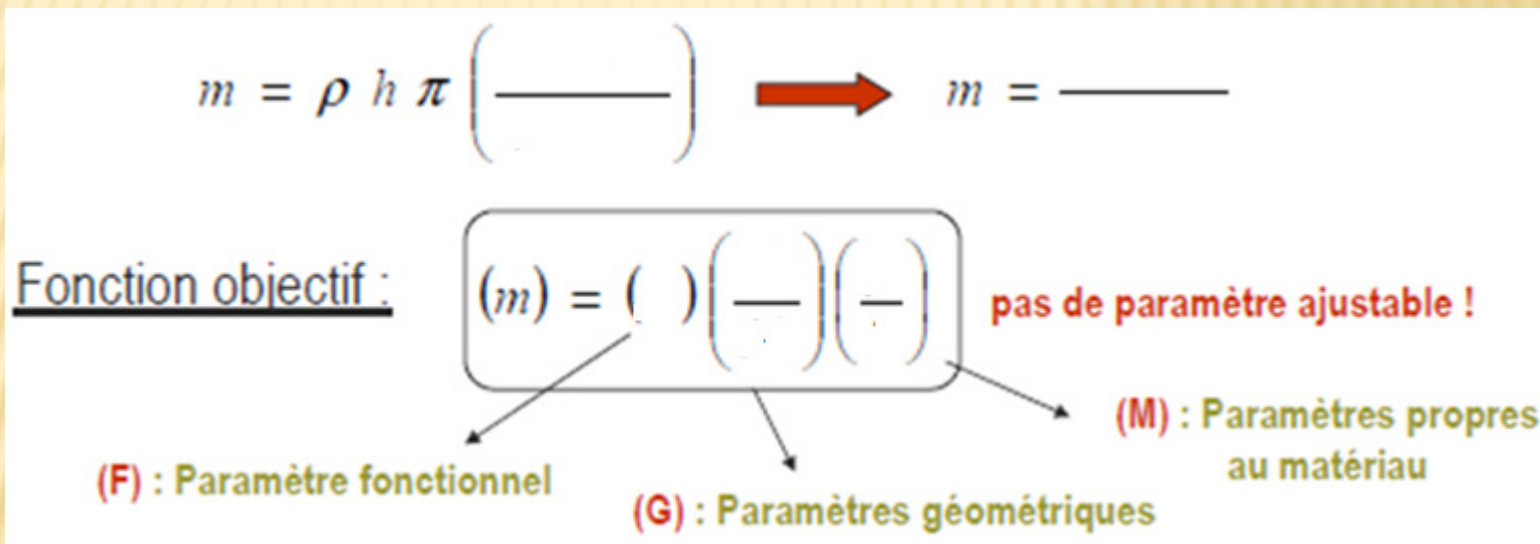
# INDICE DE PERFORMANCE

**EXEMPLE :** *conception d'un pied de table cylindrique* léger et rigide

## 5. Expression de l'objectif

**Expression de l'objectif  $m$  sans paramètre ajustable  $r$ :**

- 1) Isoler le paramètre ajustable :  $\sigma = F / (\pi r^2) = E (\Delta h / h) \rightarrow r^2 = \dots\dots\dots$
- 2) L'intégrer dans l'expression de l'objectif:  $m = \rho h \pi r^2$



## 6. Indice de performance : $I = \dots\dots\dots$

## 7. Tracer sur le diagramme approprié la droite de l'indice.

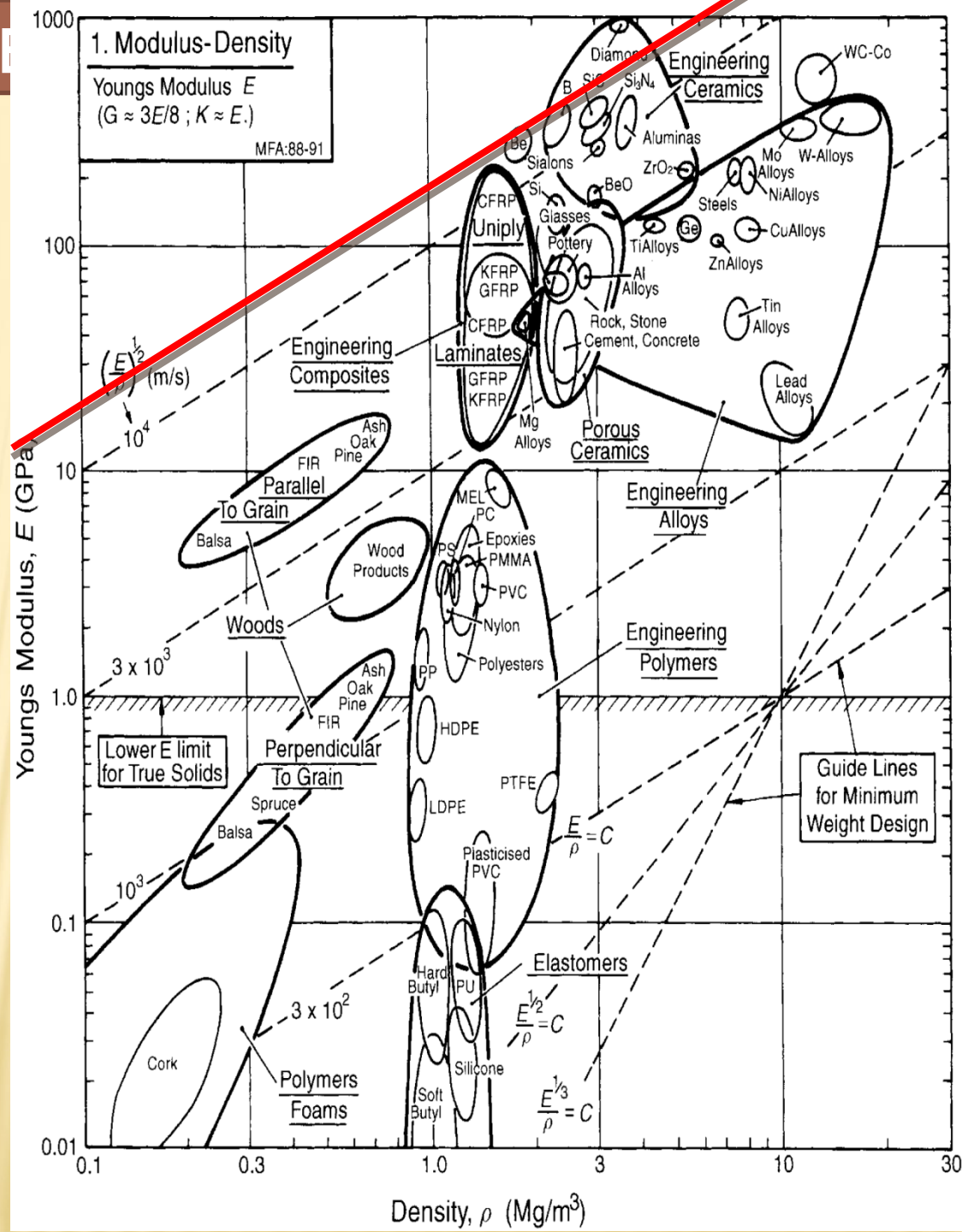
## 8. Lister les meilleurs matériaux par ordre de performance.

# INDICE D

## EXEMPLE : conception d'un pied de table cylindrique léger et rigide

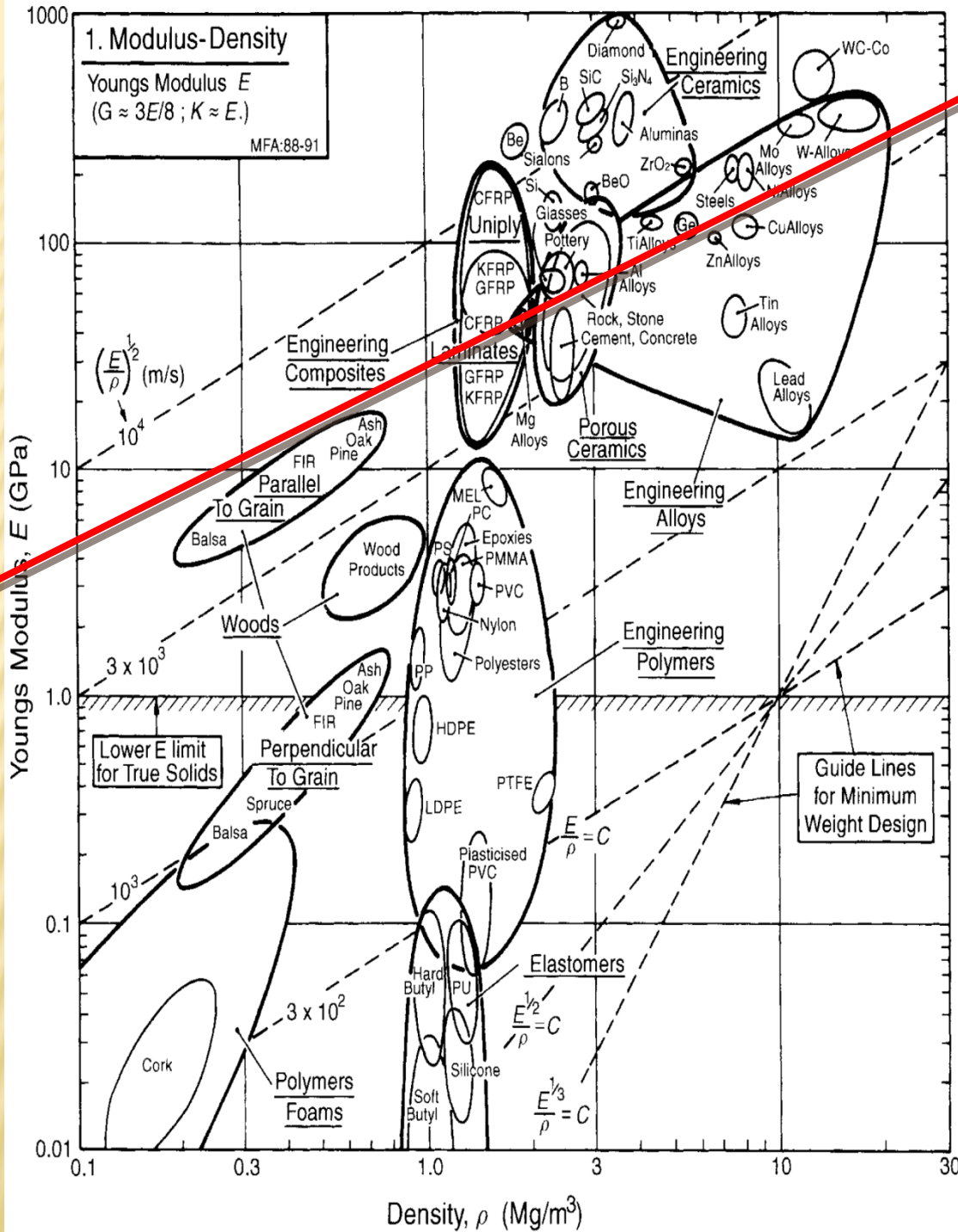
- Principe : représenter une propriété en fonction de l'autre  
 Ex. :  $I = (E / \rho)$   
 ordonnée  $\swarrow$   $\nwarrow$  abscisse
- Représentation :  

$$\log(E) = f\{\log(\rho)\}$$
- Chaque famille de matériaux est représentée par un domaine



# INDICE DE PERFORMANCE

**EXEMPLE : conception d'un pied de table cylindrique léger et rigide**



$$I = \frac{E}{\rho} \Leftrightarrow E = \rho I$$

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



Équation de la forme :  $y = ax + b$



Équation de la droite de pente  $a = 1$  et d'ordonnée à l'origine  $b = \log(I)$



**Maximiser l'indice de performance  
 ⇒ monter la plus possible la droite de pente 1 sur l'abaque**





# INDICE DE PERFORMANCE

## EXEMPLE : Matériau pour une poutre de section carrée

1. Fonction : supporter un plancher  $\Rightarrow$  travail en flexion

2. Objectif : minimiser le prix  $P$

3. Contraintes :

• Paramètres *fixés* par le cahier des charges

- ✓ Longueur de la poutre  $L$
- ✓ Force en flexion appliquée  $F$

Condition imposée

- ✓ Faible déformation élastique  $\rightarrow$  flèche  $\delta$

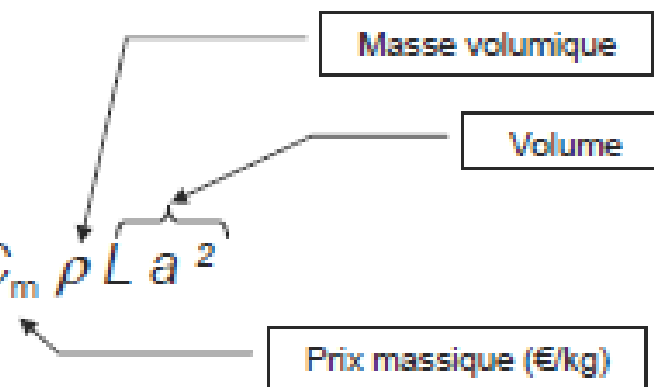


• Paramètre *ajustable*

- ✓ Côté de la poutre  $a$

4. Relations physiques :

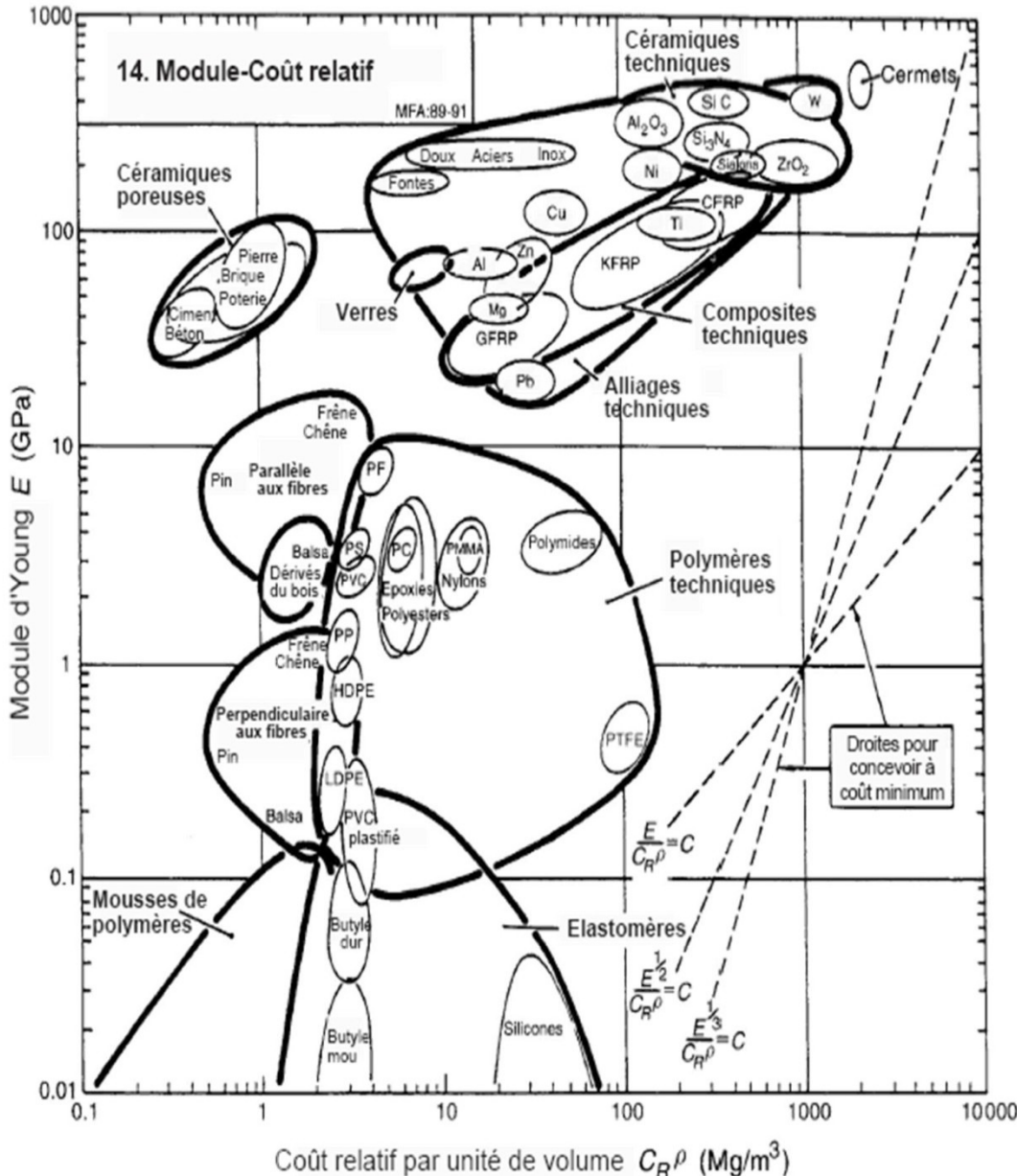
• Objectif :  $P = C_m m = C_m \rho V = C_m \rho L a^2$



• Élasticité en flexion :  $\delta = \frac{F L^3}{4 E a^4}$

# INDICE DE PERFORMANCE

## EXEMPLE : Matériau pour une poutre de section carrée



Procédure :

$$I = \frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$$

$$\log(E^{1/2}) = \log(C_m \rho) + \log(I)$$

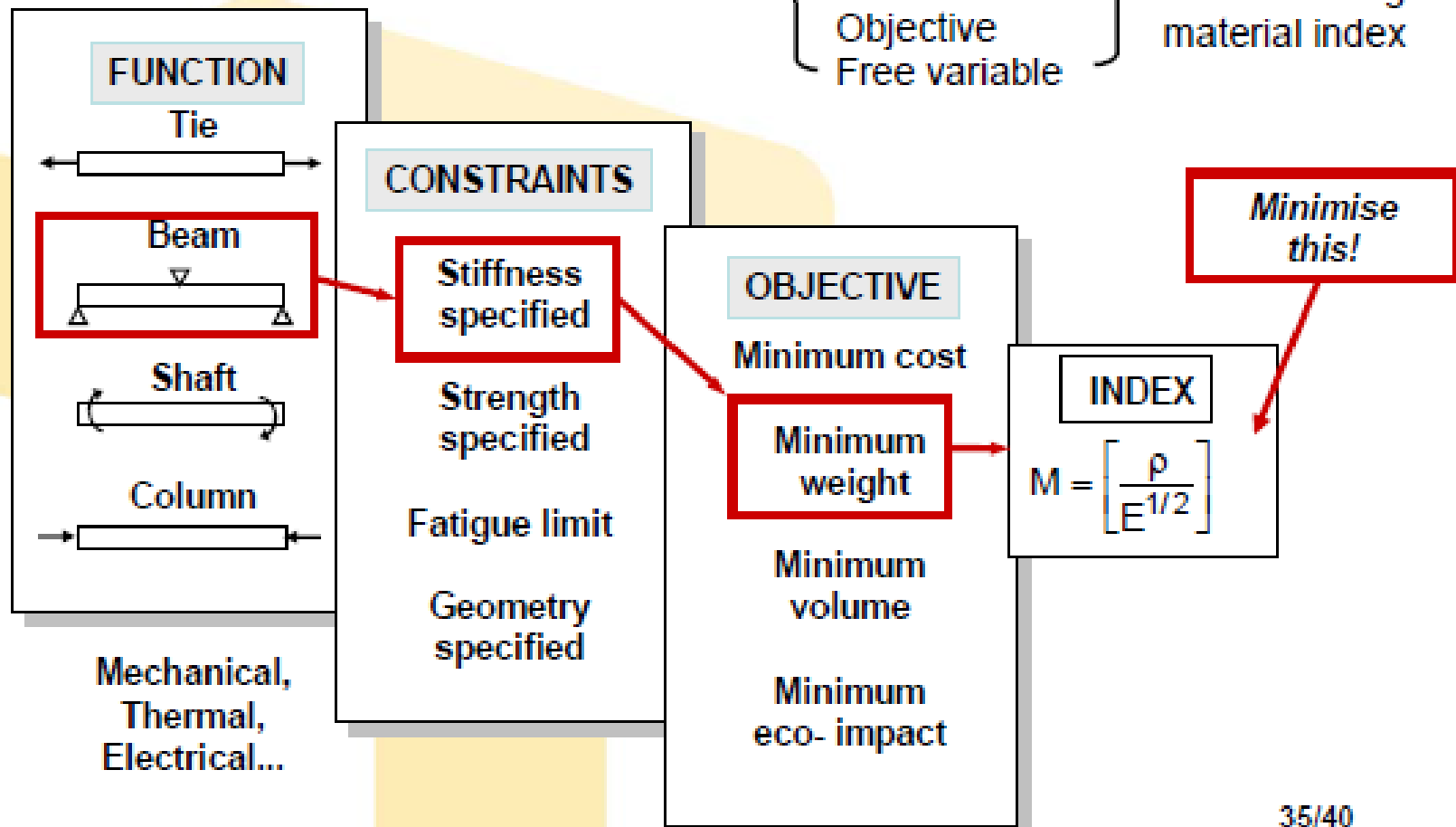
$$\frac{1}{2} \log(E) = \log(C_m \rho) + \log(I)$$

$$y = 2x + 2 \log(I)$$

Équation de la droite de pente 2 et d'ordonnée à l'origine  $2 \log(I)$

## Material “indices”

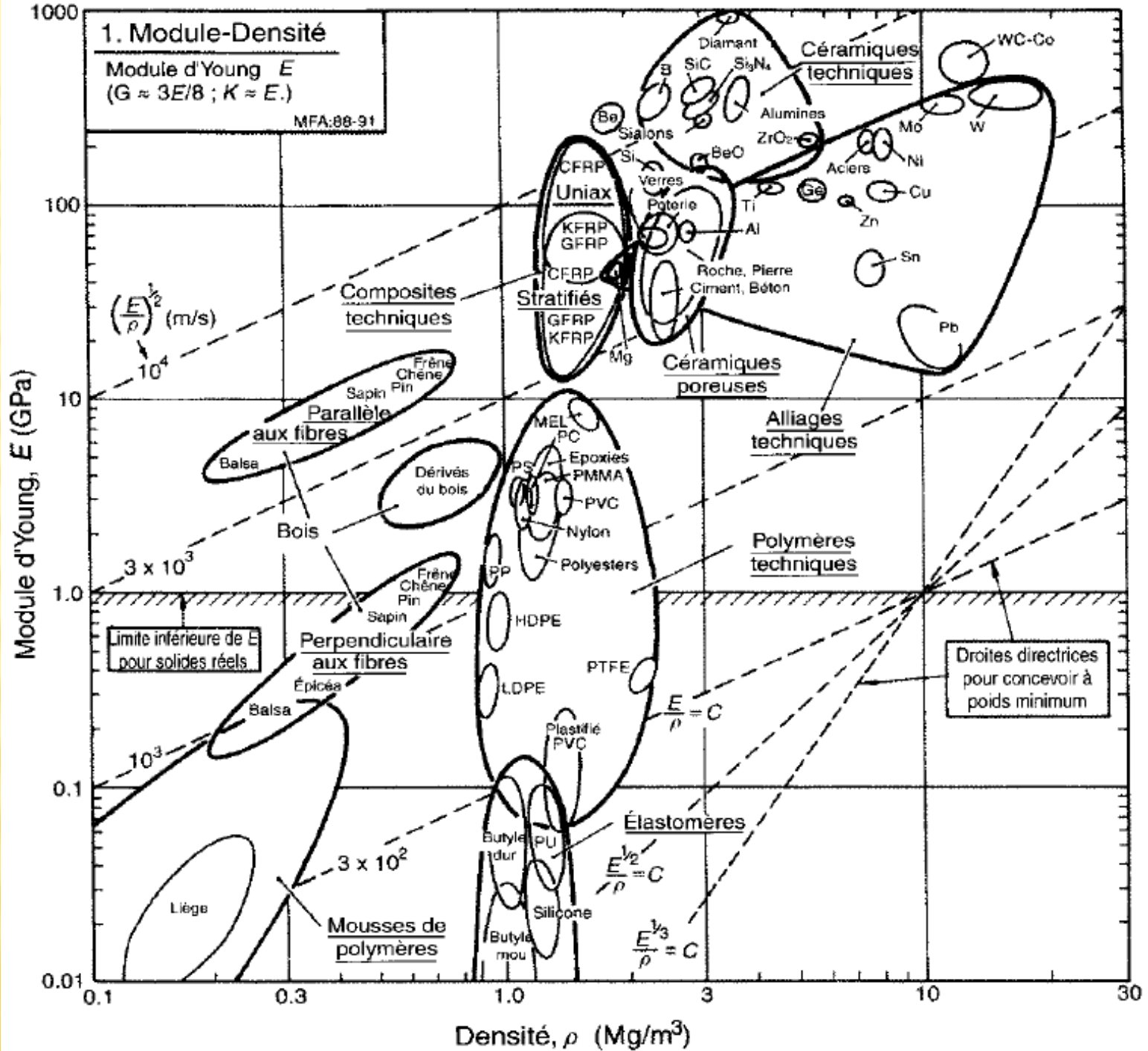
Each combination of  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Function} \\ \text{Constraint} \\ \text{Objective} \\ \text{Free variable} \end{array} \right\}$  has a characterising material index



# EXEMPLE D'INDICE DE PERFORMANCE

Fonction, objectif, contrainte	Indice
Barre, poids minimum, rigidité spécifiée	$\frac{E}{\rho}$
Poutre, poids minimum, rigidité spécifiée	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
Poutre, poids minimum, résistance spécifiée	$\frac{\sigma_f^{2/3}}{\rho}$
Poutre, coût minimum, rigidité spécifiée	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Poutre, poids minimum, résistance spécifiée	$\frac{\sigma_f^{2/3}}{C_m \rho}$
Colonne, coût minimum, charge de flambage spécifiée	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Ressort, poids minimum pour une énergie emmagasinée spécifiée	$\frac{\sigma_f}{E \rho}$
Isolation thermique, coût minimum, flux de chaleur spécifié	$\frac{1}{\lambda C_m \rho}$
Électroaimant, champ maximum, élévation de température spécifiée	$\kappa C_p \rho$





# **PARTIE 5:**

## **ETUDE DE CAS (TP et TD)**