

CHIMH2001 – Chimie, matériaux et fabrication

Sélection des matériaux – Cambridge Engineering Selector

Maxime Pétré (mpetre@ulb.ac.be)

Année académique 2015-2016

Table des matières

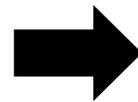
- Sélection des matériaux
- Structure des bases de données
- Méthodologie générale
- Filtrage / Contraintes
- Classement: sélection basée sur des objectifs
 - Exemple: poutre en traction
- Indice de performance
- Application: conception d'un échangeur de chaleur

Sélection des matériaux



Sélection des matériaux

Problème central pour l'ingénieur



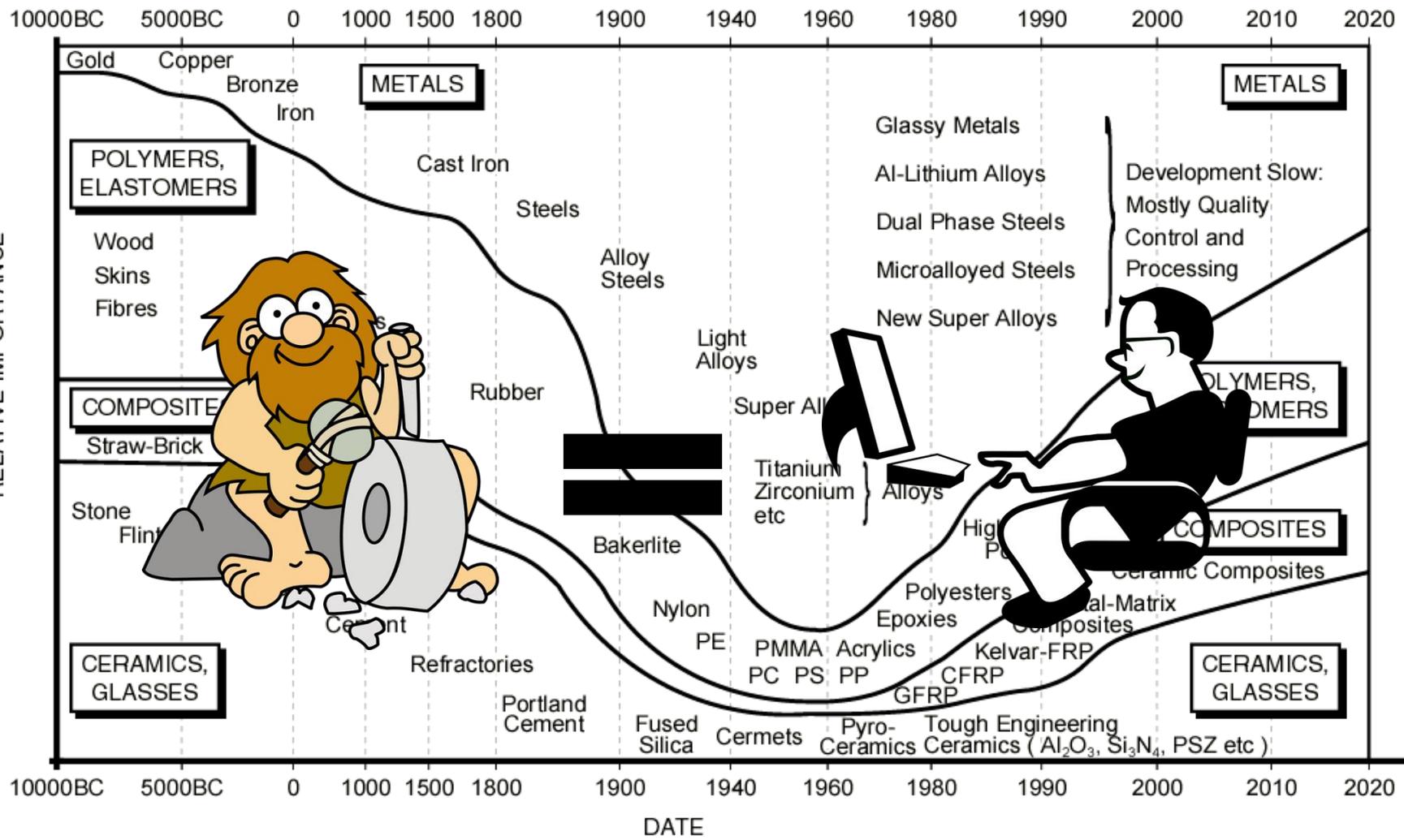
Besoin d'un outil de sélection !

Nécessité d'un outil de sélection

- Nombre élevé de matériaux (CES~3000)
- Apparition de nouveaux matériaux
- Innovation (compétitivité)
- Volonté de changement
 - Performance
 - Coût
 - Sécurité, fiabilité
 - Ecologie

Evolution historique des matériaux

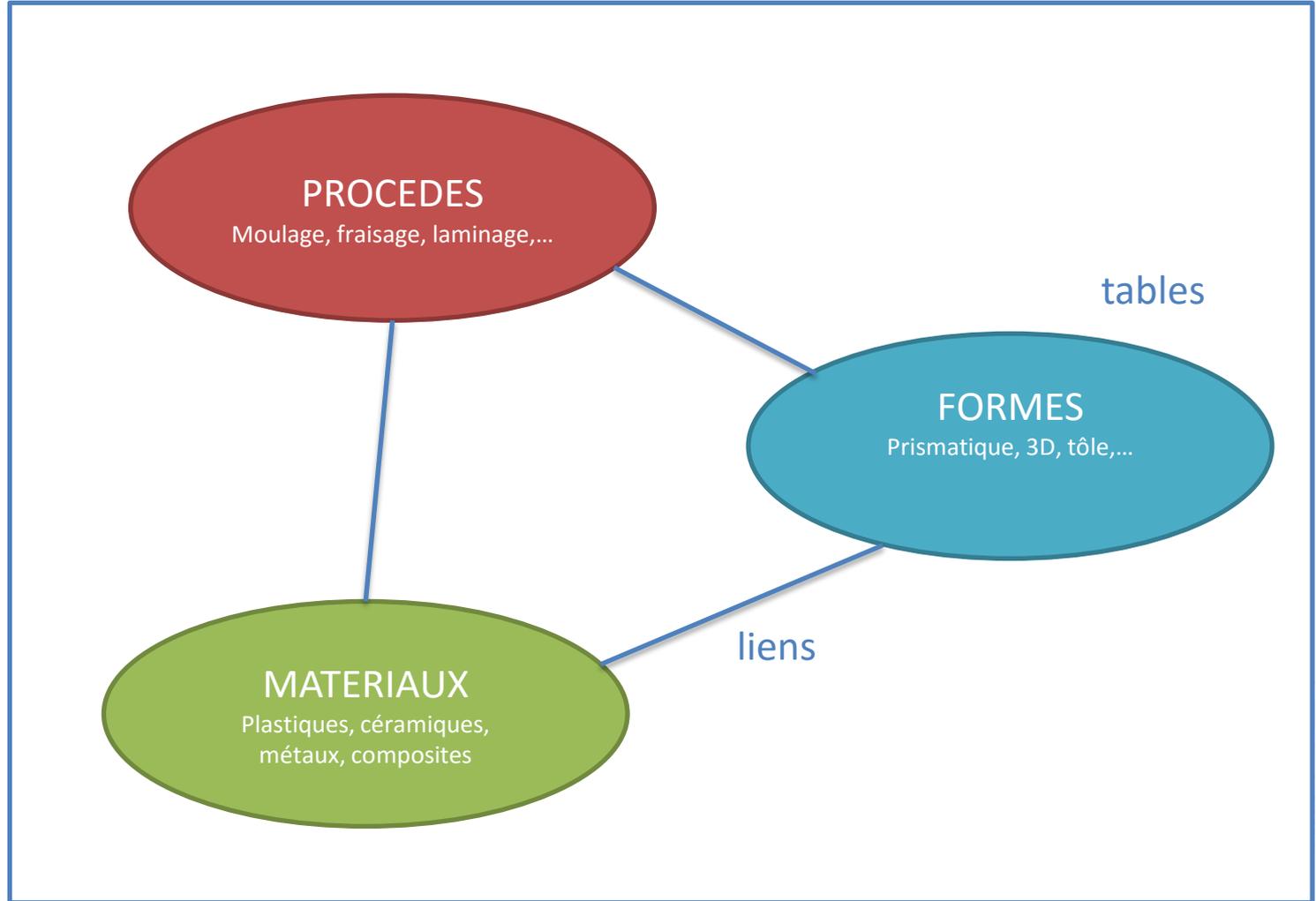
UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES



Structure des bases de données

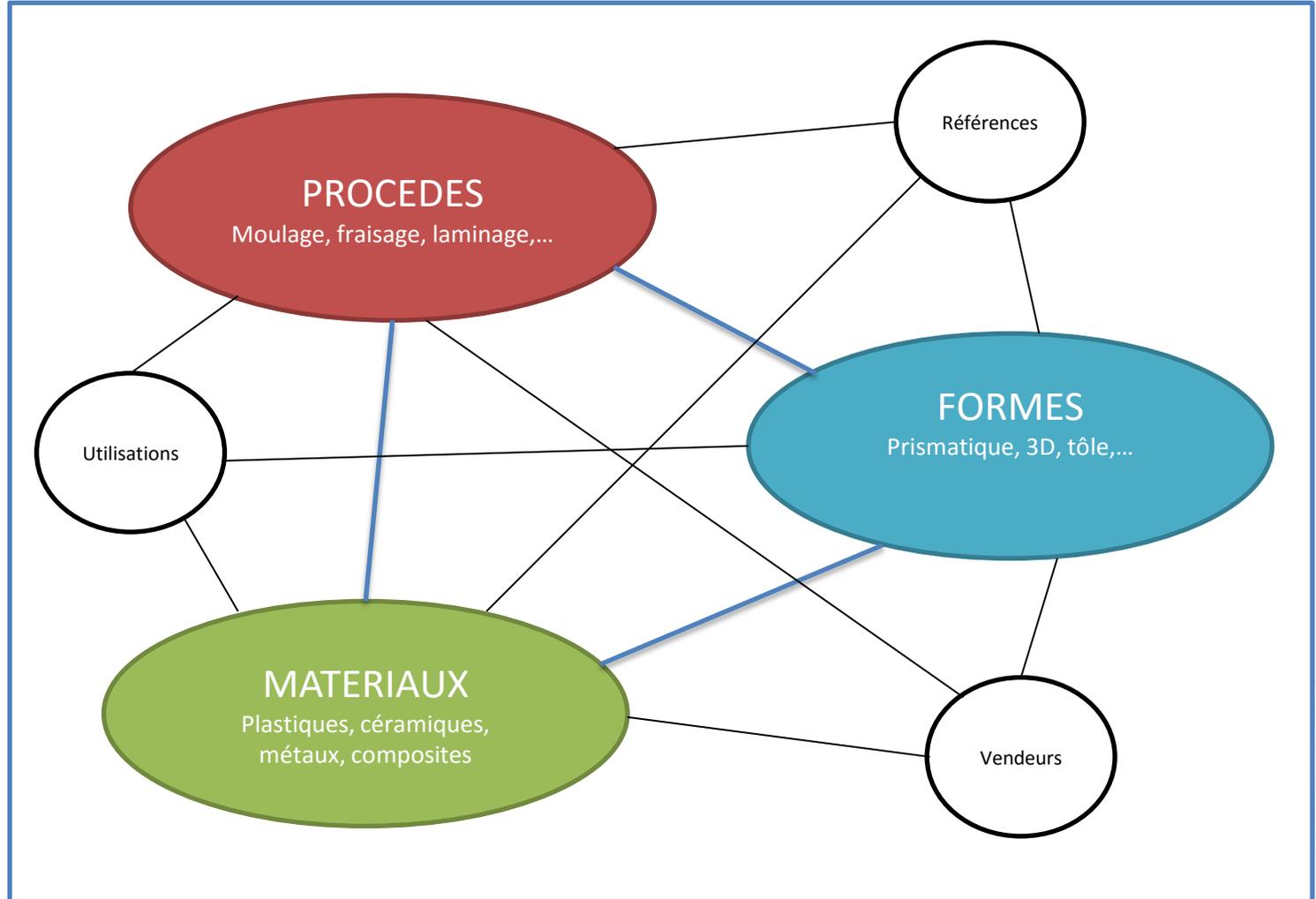


Structure générale

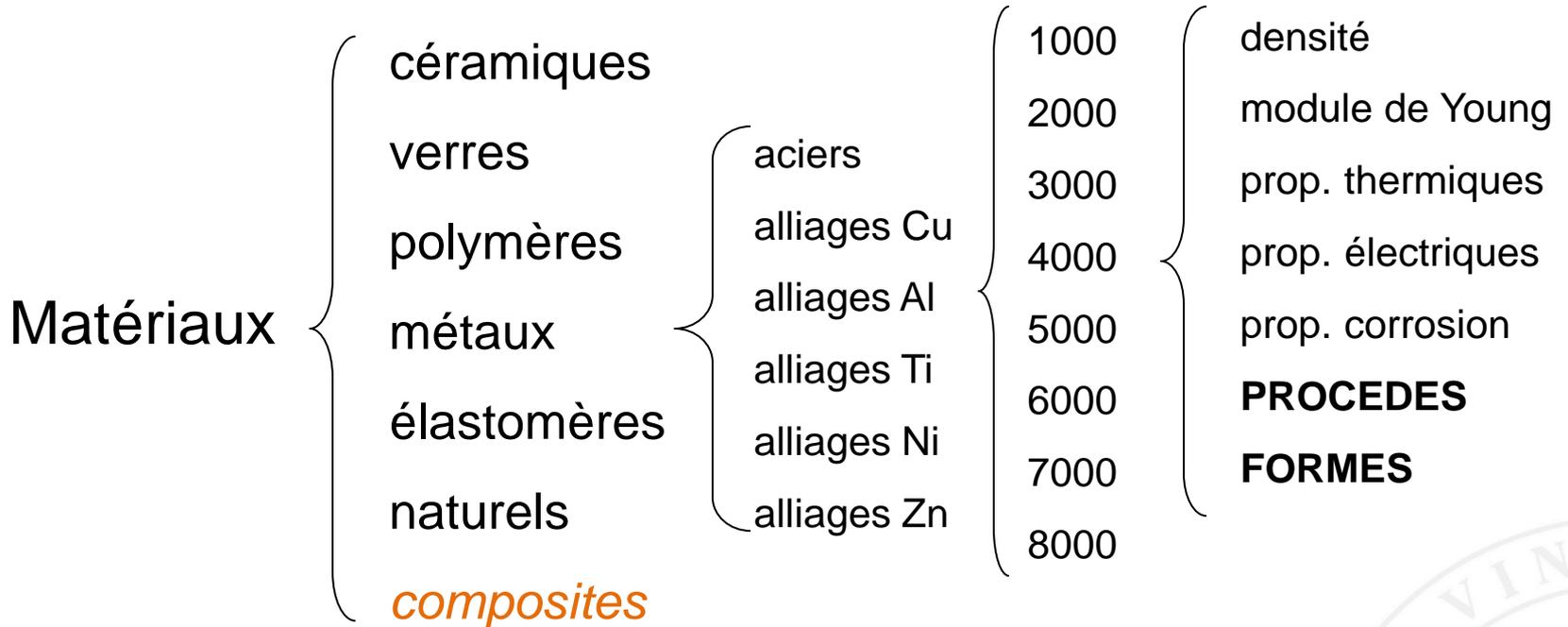


Base de données

Informations additionnelles



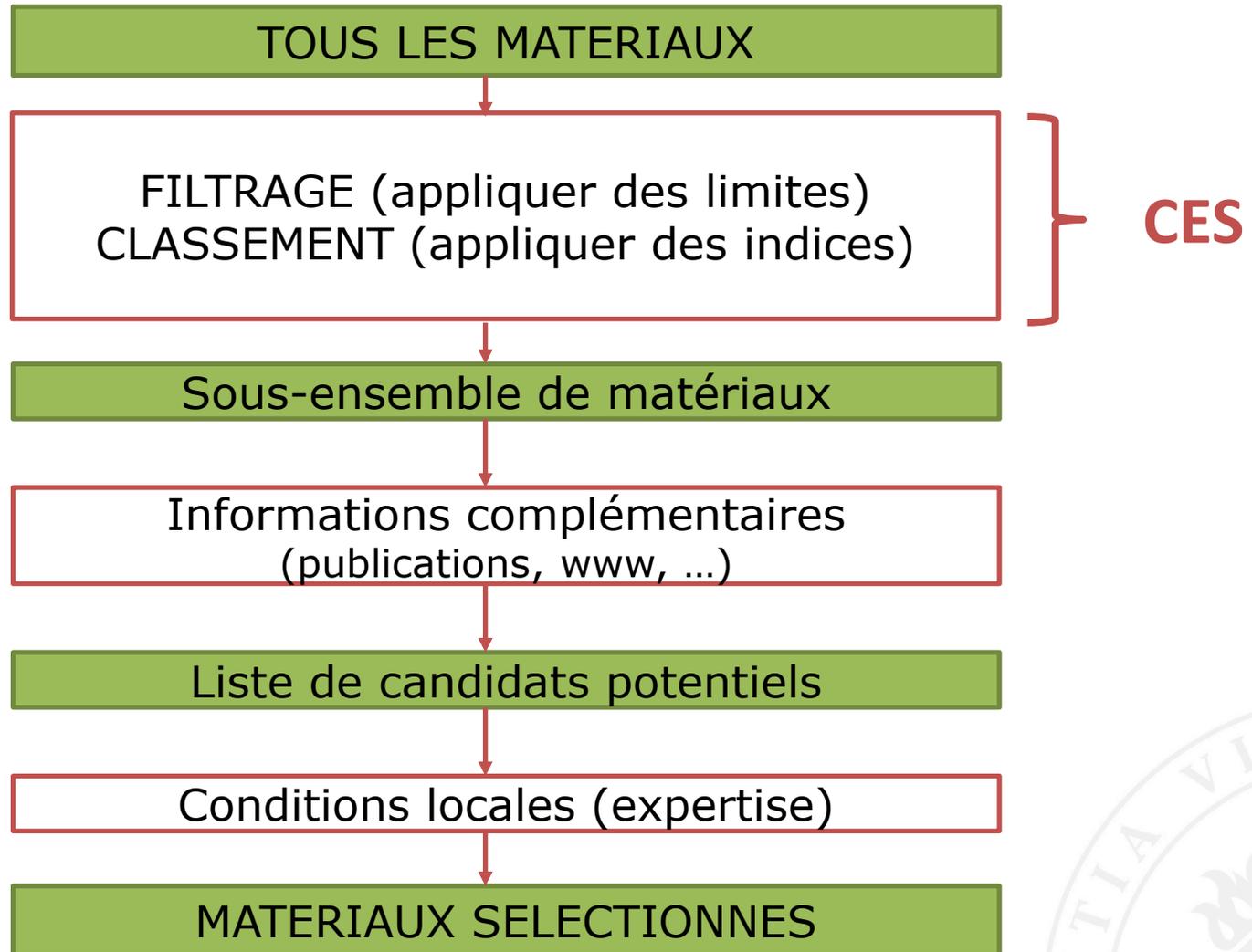
Structure des données matériaux



Méthodologie Générale



Méthodologie de Sélection



Filtrage et Classement

Ensemble de matériaux

X1
X2
X3
...
X100
X101
...
X1000
X1001
X1002
...
Xn



FILTRAGE
Elimine les candidats qui ne respectent pas les **contraintes**

Sous-ensemble de matériaux

X1
X2
...
X101
...
X1000
...



CLASSEMENT
Classe les candidats selon leur capacité à réaliser les **objectifs**

Sous-ensemble classé

X101
X2
X1
X1000
...

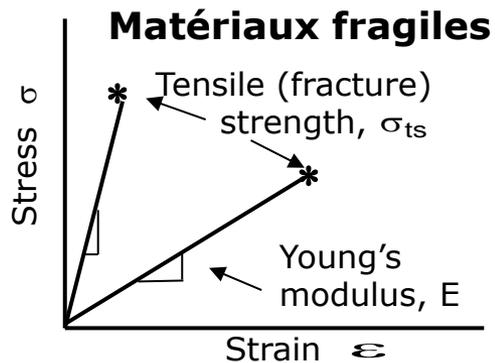
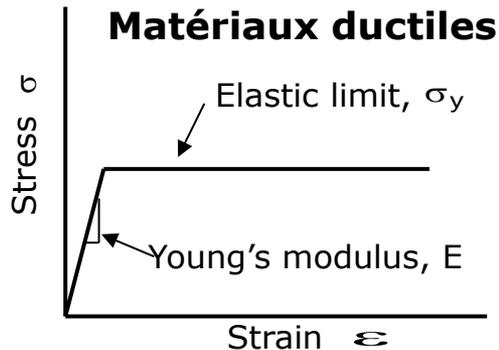
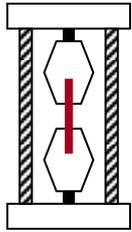
Filtrage/Contraintes



Rappel: propriétés fondamentales

Propriétés générales				
Poids	Masse volumique	Density	ρ	kg/m ³
Prix	Coût/kg	Cost/kg	C_m	€/kg
Propriétés mécaniques				
Raideur	Module de Young	Young's Modulus	E	GPa
Résistance	Limite Elastique	Elastic Limit	σ_y	MPa
Rupture	Tension de Rupture	Tensile Strength	σ_{ts}	Mpa
Fragilité	Ténacité	Fracture Toughness	K_{ic}	MPa.m ^{1/2}
Propriétés thermiques				
Dilatation	Coefficient de Dilatation	Expansion Coefficient	α	1/K
Conduction	Conductivité Thermique	Thermal Conductivity	λ	W/m.K
Propriétés électriques				
Conducteur? Isolant?				

Rappel: propriétés mécaniques



- Module de Young – *Young Modulus*
 - GPa
 - Traduit la raideur d'un matériau



Pour en savoir plus... [moduleyoung.pdf](#)

- Limite élastique – *Elastic Limit*
 - MPa
 - Contrainte maximale avant déformation plastique

- Ténacité – *Fracture Toughness*

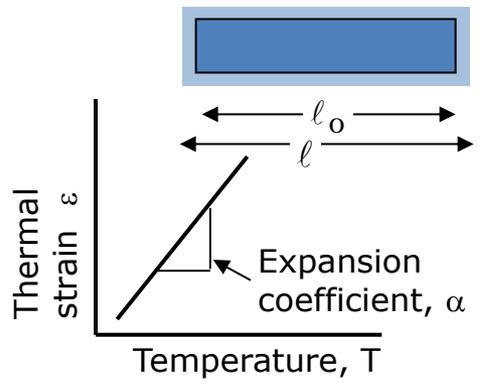
- $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$
- Propriété d'un matériau de résister à la propagation d'une fissure



Pour en savoir plus... [tenacite.pdf](#)

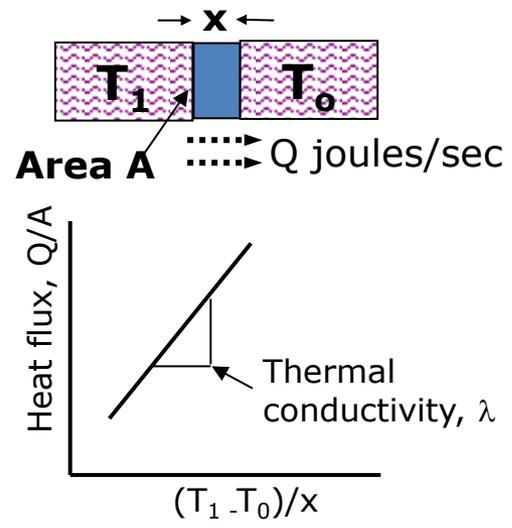


Rappel: propriétés thermiques



- Dilatation thermique– *Thermal expansion*
 - $1/K$
 - Traduit la capacité d’un matériau à s’allonger sous l’effet de la chaleur

Conduction thermique



- Conduction thermique– *Thermal Conduction*
 - $W/m.K$
 - Capacité d’un matériau à propager la chaleur



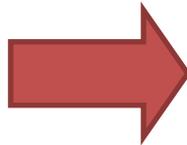
Filtrer: Eliminer les matériaux inadéquats

Différents types de filtrage:

- Filtrage les attributs

Spécifications :

- fonctionner à 100° C
- être isolant
- conduire la chaleur
- être assez solides

**Conserver les matériaux ayant**

- température fonctionnement > 100° C
- résistivité > $10^{20} \mu\Omega.cm$
- T-conductivité $\lambda > 100 W/m.s$
- limite élastique $\sigma_y > 200 MPa$

- Filtrage sur les liens

Spécifications :

- applications mécaniques
- être extrudable
- être disponible sous forme de I

**Conserver les matériaux ayant**

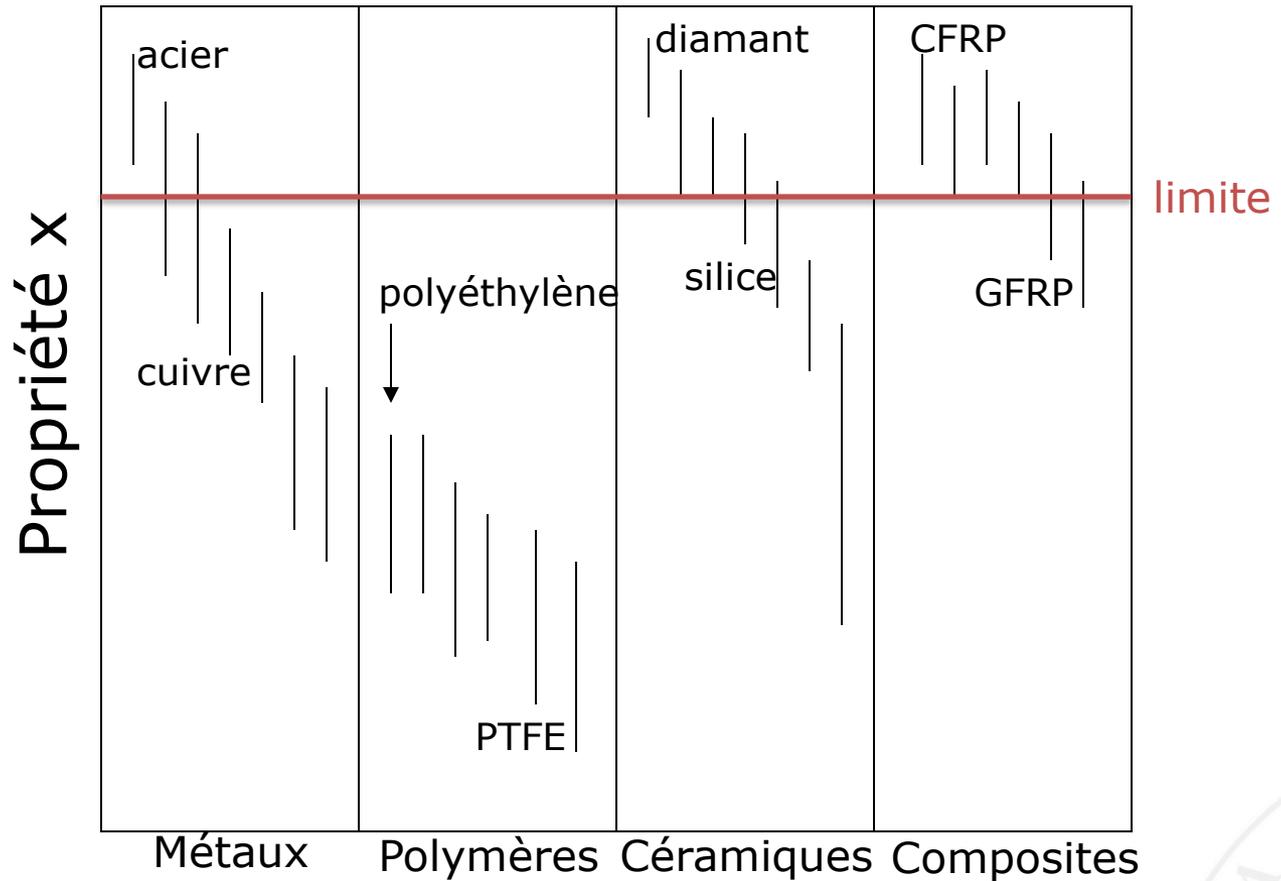
- lien vers « utilisation en mécanique »
- lien vers « extrusion »
- lien vers « section en I »

- Filtrage sur les deux



La sélection par filtrage **seul** amène souvent un mauvais choix de matériau!

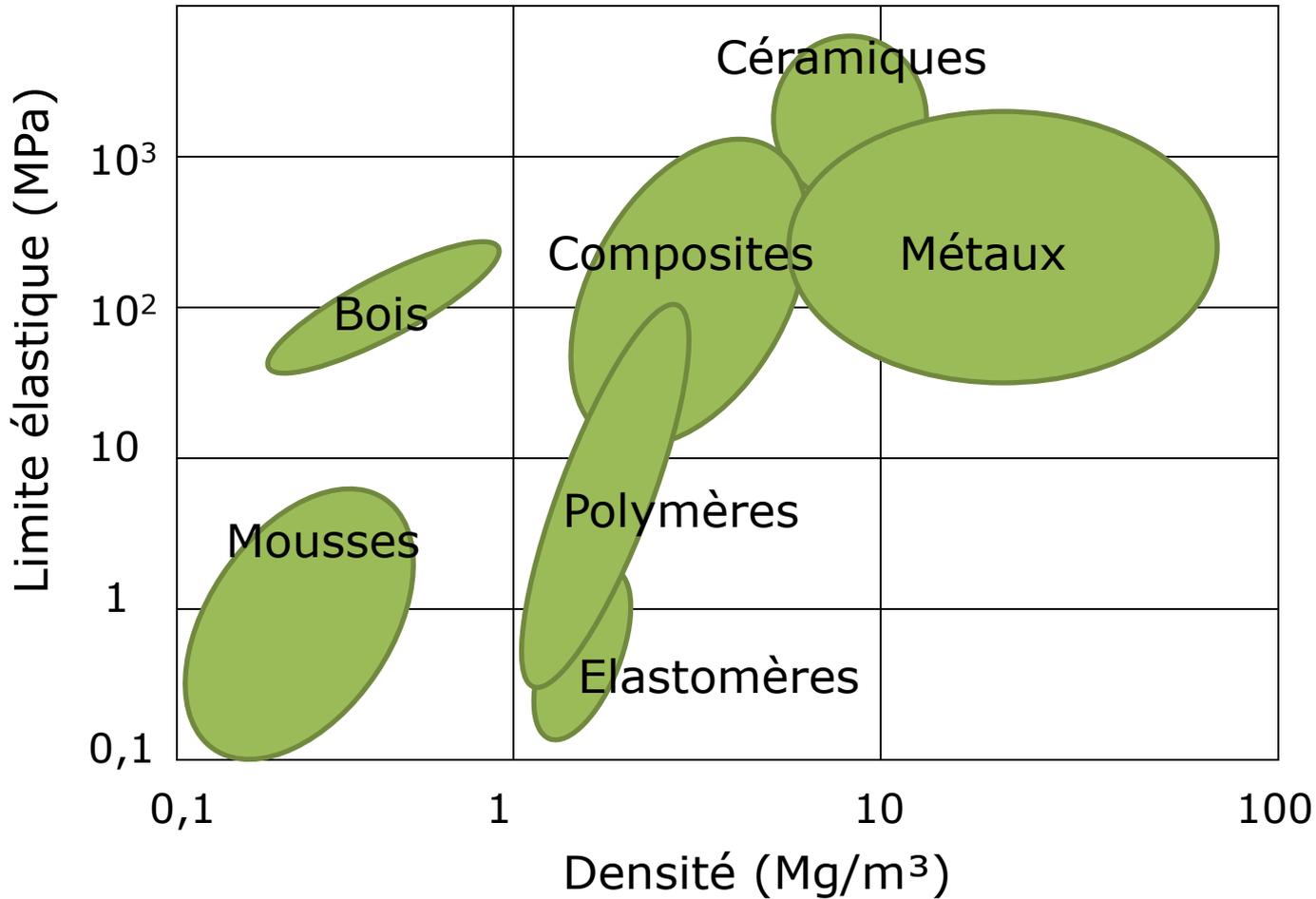
Filtrage à un niveau limite d'attribut



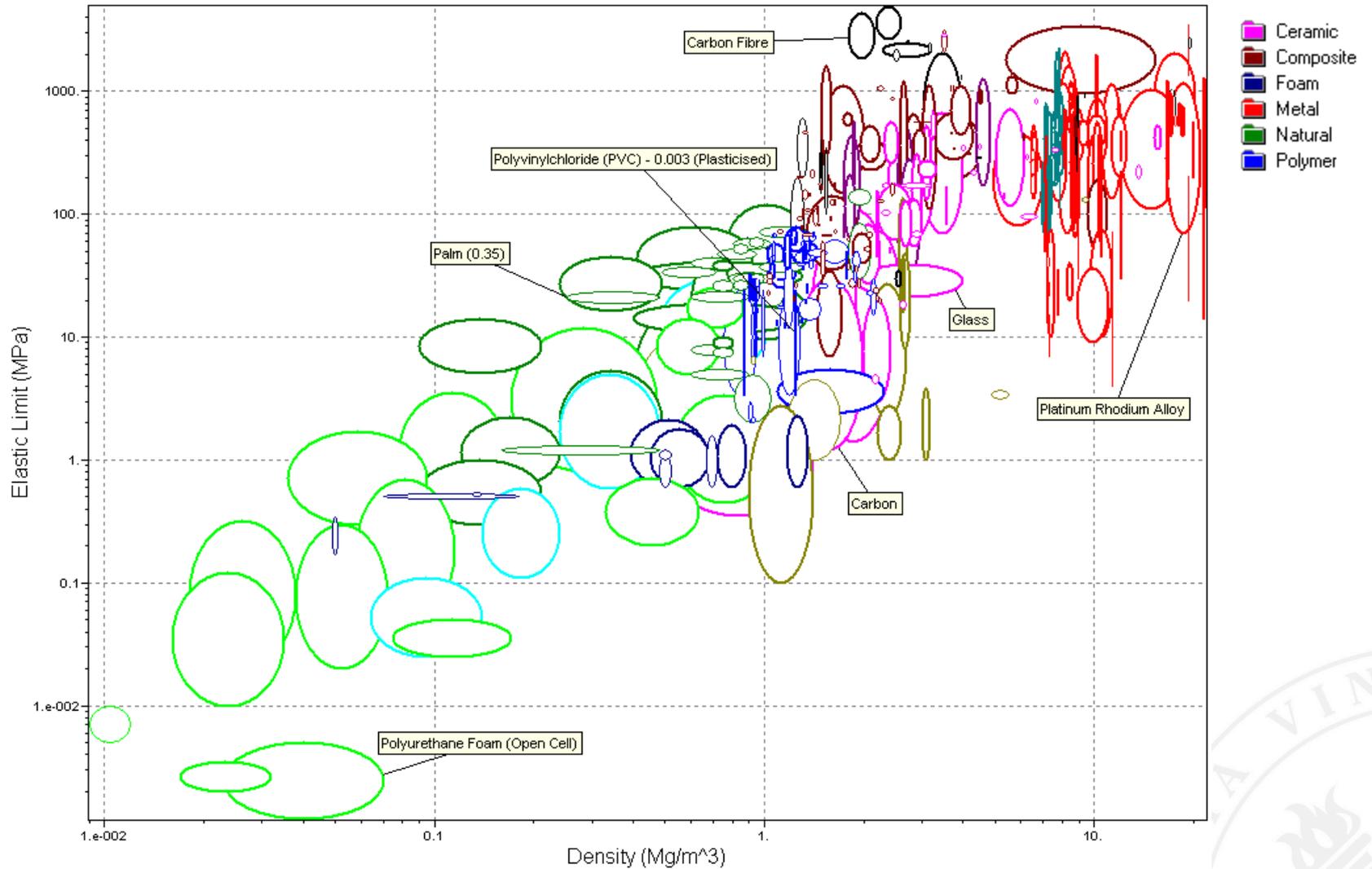
Classement: Sélection basée sur des objectifs



Diagrammes d'Ashby



Diagrammes d'Ashby (CES)



Trouver les matériaux les plus adéquats



Fonction	Que fait la pièce?
Objectif	Qu'est-ce que doit être maximisé (minimisé)?
Contraintes	Quelles conditions essentielles doivent être rencontrées?
Variables libres	Quelles sont les variables libres?

- Ecrire l'équation(1) de l'objectif
- Ecrire une équation(2) pour chaque contrainte
- Utiliser la contrainte appropriée pour éliminer la variable libre dans (1)
- Trouver les matériaux qui minimisent (1)

Exemple: poutre en traction (1)



Fonction	Poutre en traction
Objectif	Minimiser la masse m
Contraintes	Longueur L fixée Ne doit pas céder sous la charge F
Variables libres	Section A libre

- Equation(1) de l'objectif: $m = A.L.\rho$
- Equation(2) de contrainte: $F/A < \sigma_y$
- Eliminer variable libre A dans (1) : $m = F.L.(\rho/\sigma_y)$

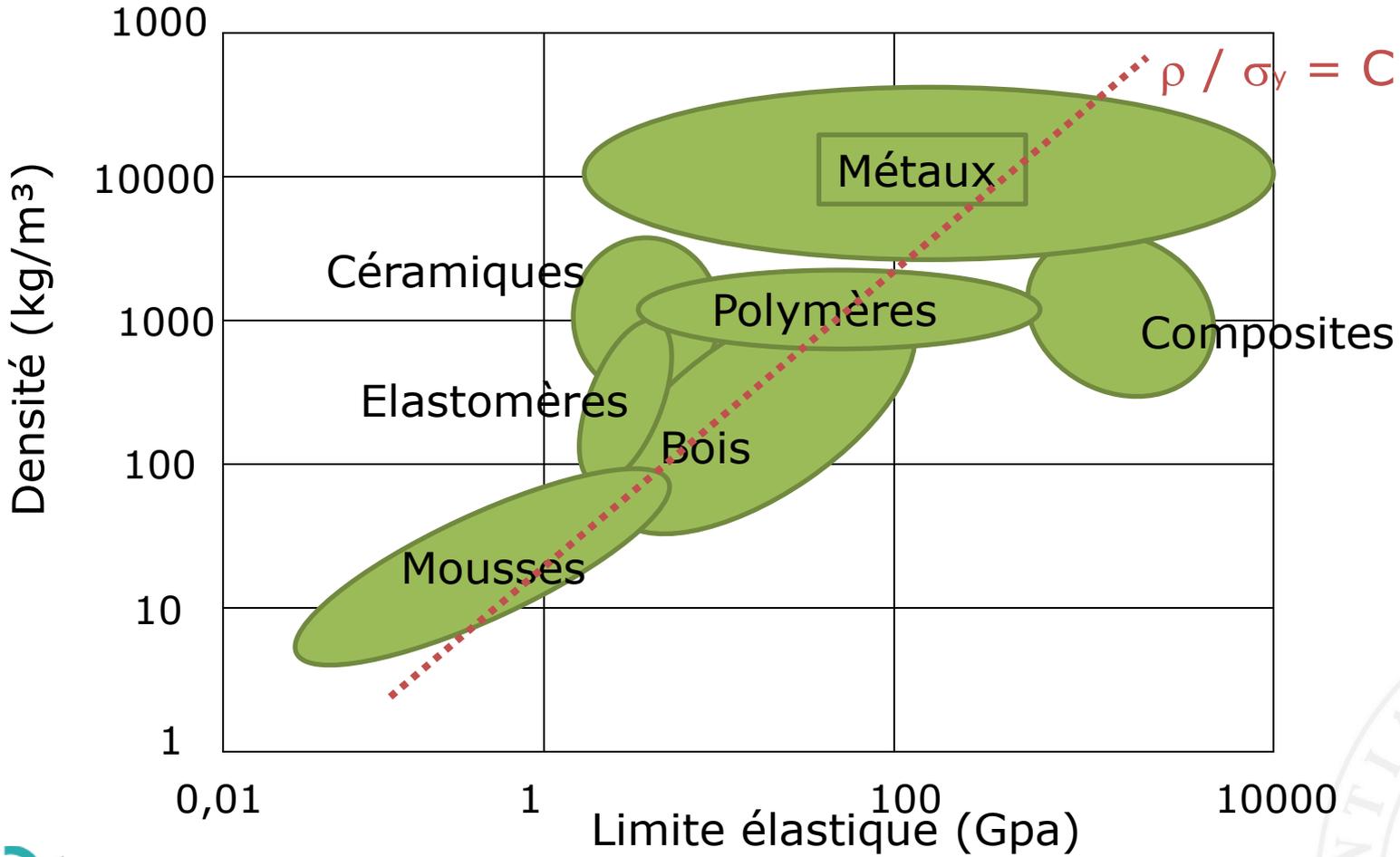
Constantes, variables géométriques, etc.

Propriétés dépendant du matériau

- Indice de performance à minimiser est $M = \rho/\sigma_y$

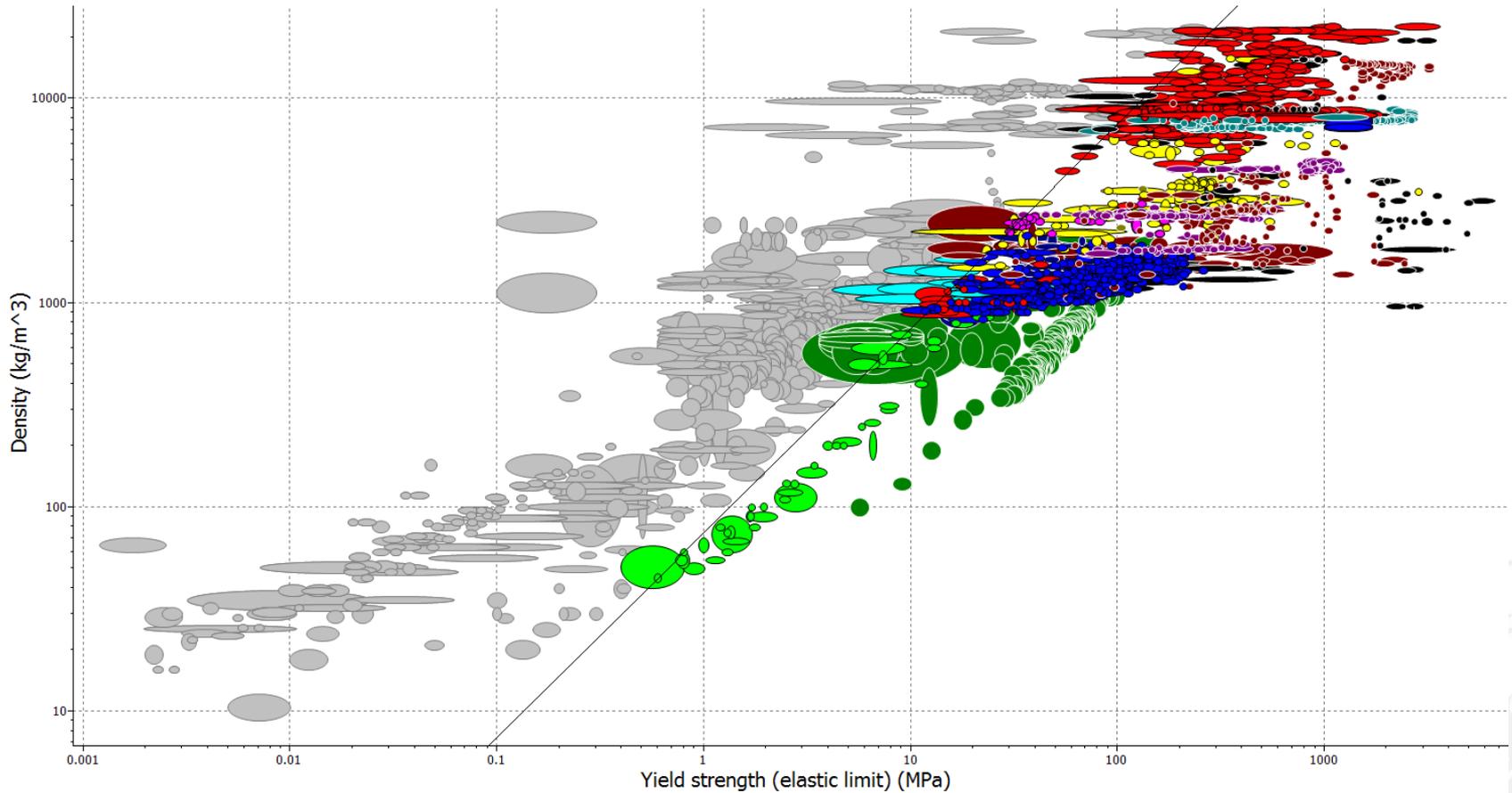
Exemple : Poutre en traction (2)

$$M = \rho / \sigma_y \quad \Rightarrow \quad \log \rho = \log \sigma_y + \log M$$



Exemple : Poutre en traction (2)

$$M = \rho / \sigma_y \quad \Rightarrow \quad \log \rho = \log \sigma_y + \log M$$

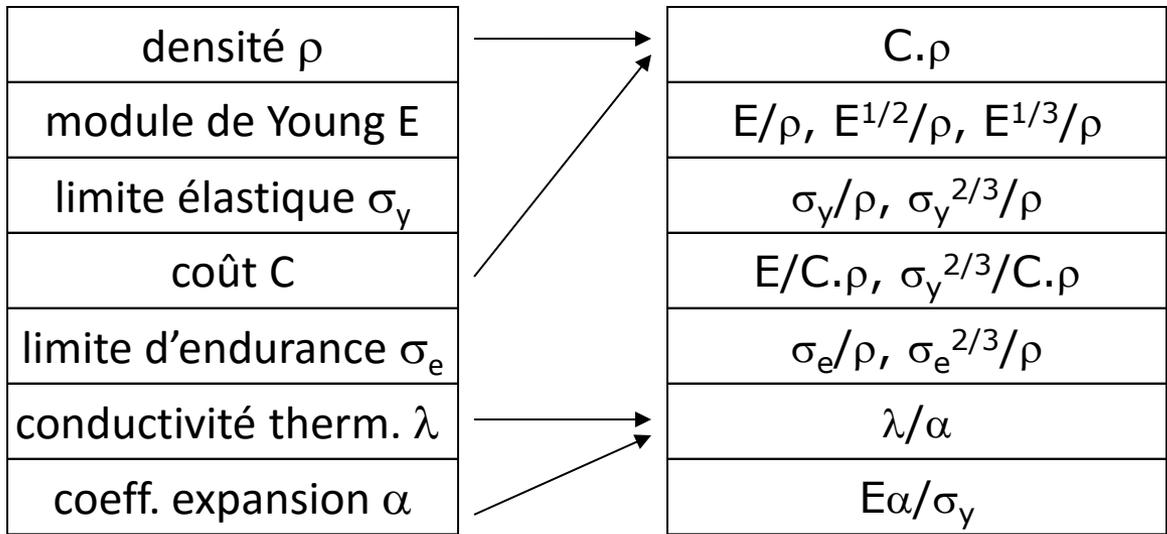


Indice de Performance



Indice de performance

Représente un ensemble de propriétés du matériau

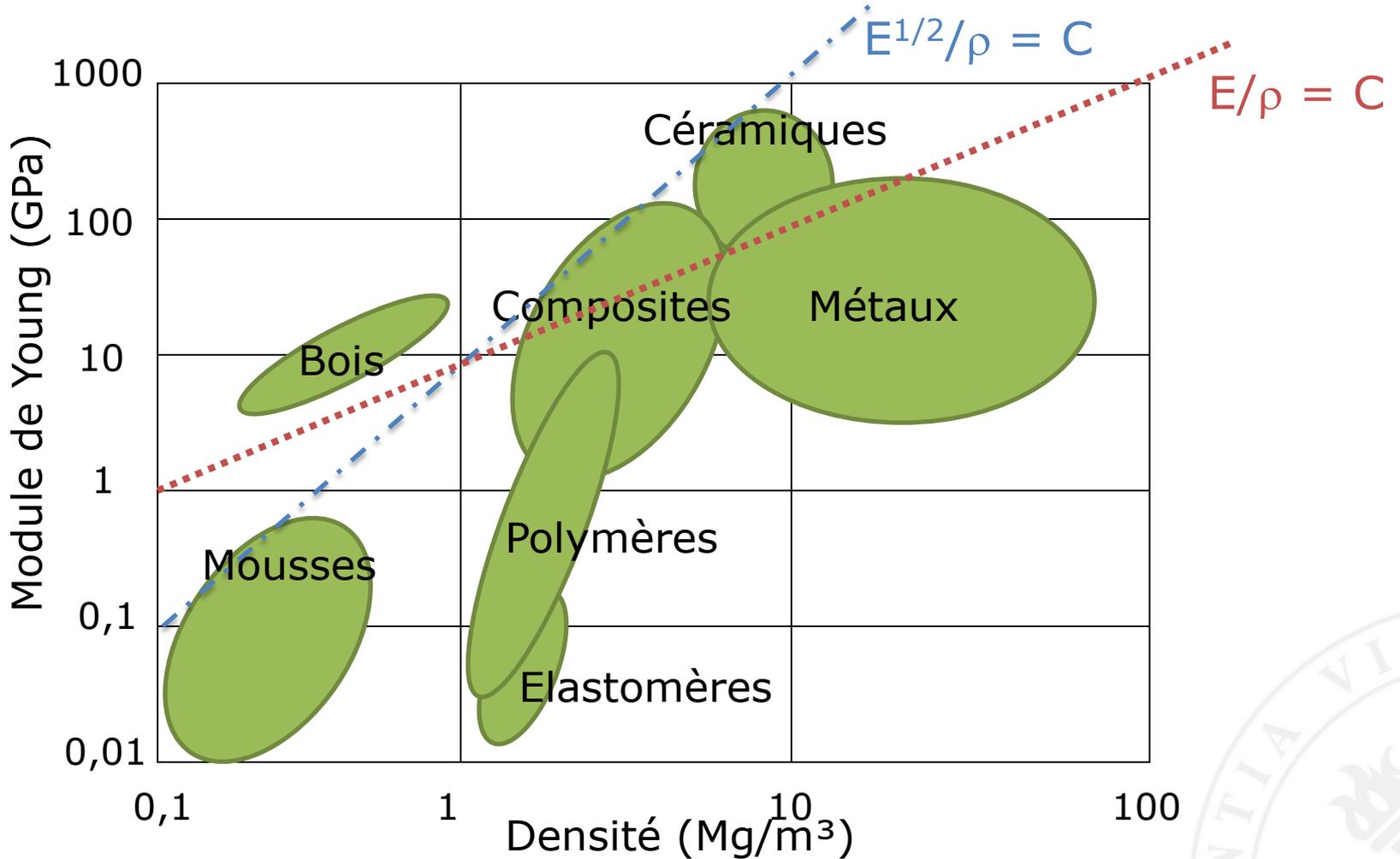


propriétés des "physiciens"

propriétés des "ingénieurs"

Indice de performance:diagramme d'Ashby

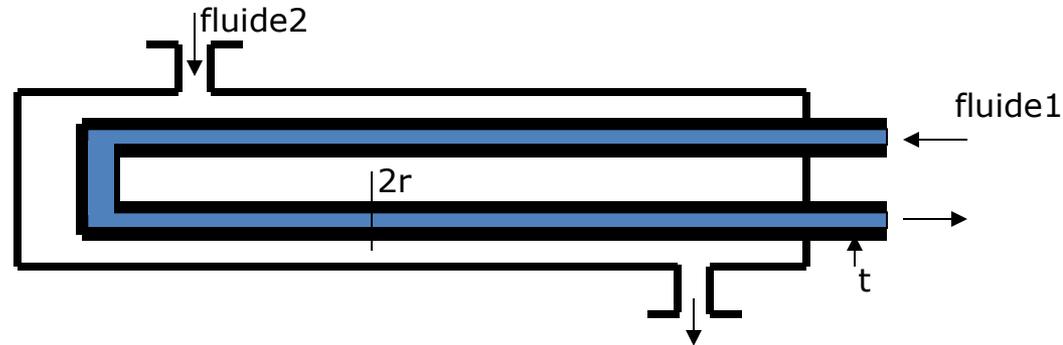
$$M = E^{1/2}/\rho \quad \Rightarrow \quad \log E = 2 \log \rho + 2 \log M$$



Application : Conception d'un échangeur de chaleur



Exemple 2: Echangeur de chaleur



Fonction

transmettre la chaleur du fluide 1 au fluide 2

Objectif

maximiser le flux de chaleur /m² du tube

Contraintes

- 1) doit supporter la différence de pression Δp
- 2) température de service maximum $> 150^\circ \text{ C}$
- 3) ne doit pas se corroder dans les ions Cl^-
- 4) disponible sous forme de tube ou de feuille
- 5) le coût entre en considération

Variables libres

l'épaisseur du tube t est libre

Exemple 2: Echangeur de chaleur

Objectif

maximiser le flux de chaleur

$$q = -\lambda \cdot (dT/dx) = \lambda \cdot (\Delta T/t) \quad (\text{J/m}^2 \cdot \text{s})$$

Contrainte 1

doit supporter la différence de pression Δp

$$\sigma = \Delta p \cdot r / t \leq \sigma_y$$

$$\Rightarrow q = \frac{\Delta T}{\Delta p \cdot r} [\lambda \cdot \sigma_y]$$

Indice de performance à maximiser : $M = \lambda \cdot \sigma_y$

Exemple 2: Echangeur de chaleur

FILTRAGE:

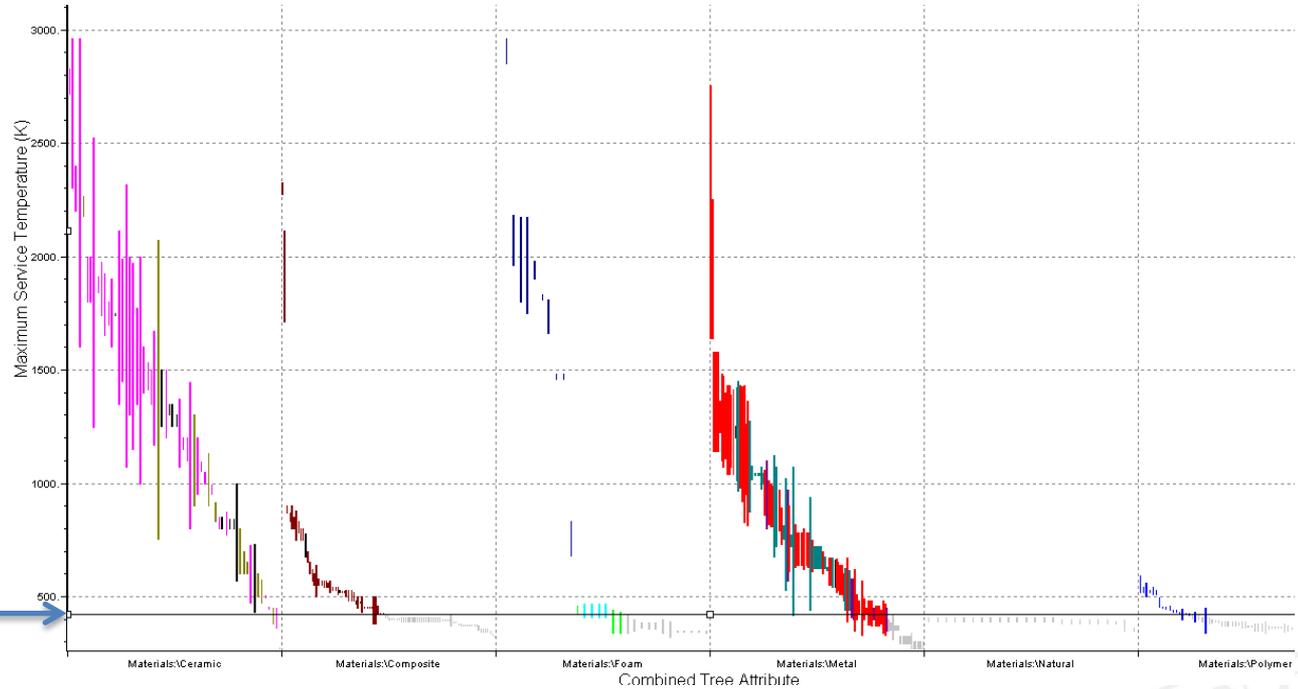
- $T_{\max} > 150^{\circ} \text{ C}$
- corrosion dans les ions Cl^{-}
- forme (tube ou feuille)
- coût

CLASSEMENT :

$$M = \lambda \cdot \sigma_y$$

Exemple 2: Echangeur de chaleur

FILTRAGE

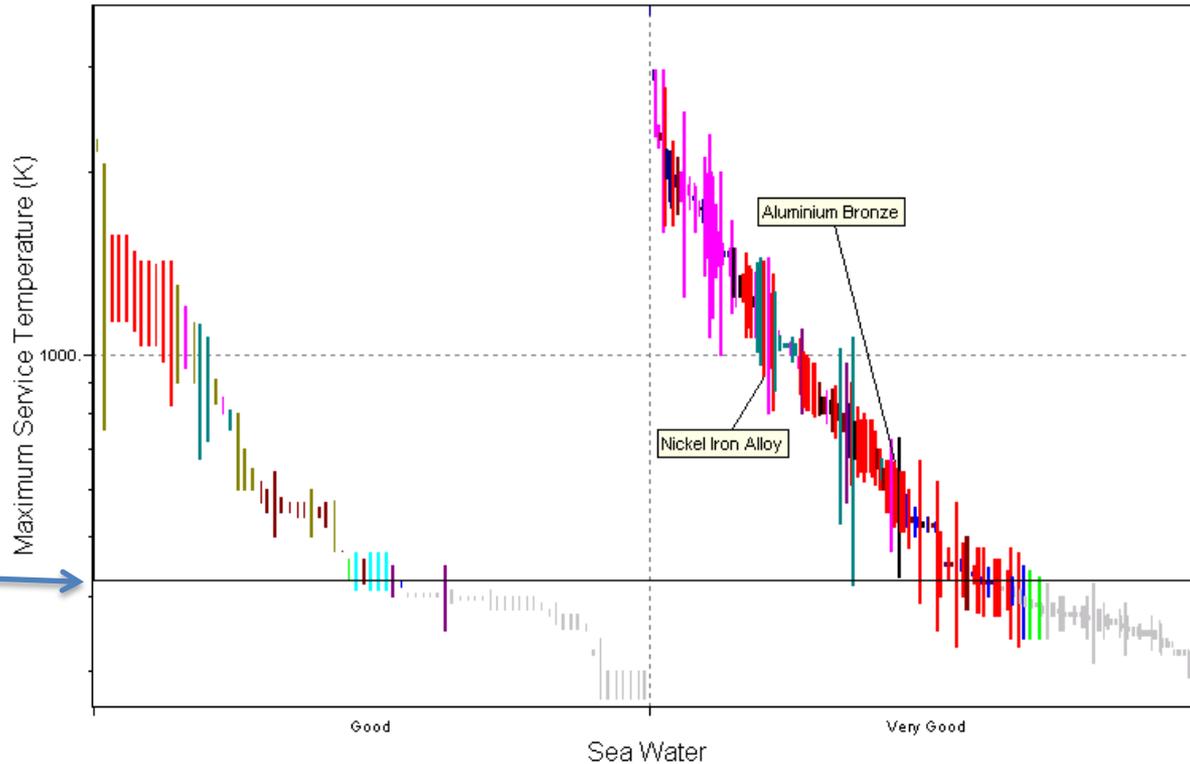


$T > 150^{\circ} \text{C}$

Exemple 2: Echangeur de chaleur

FILTRAGE

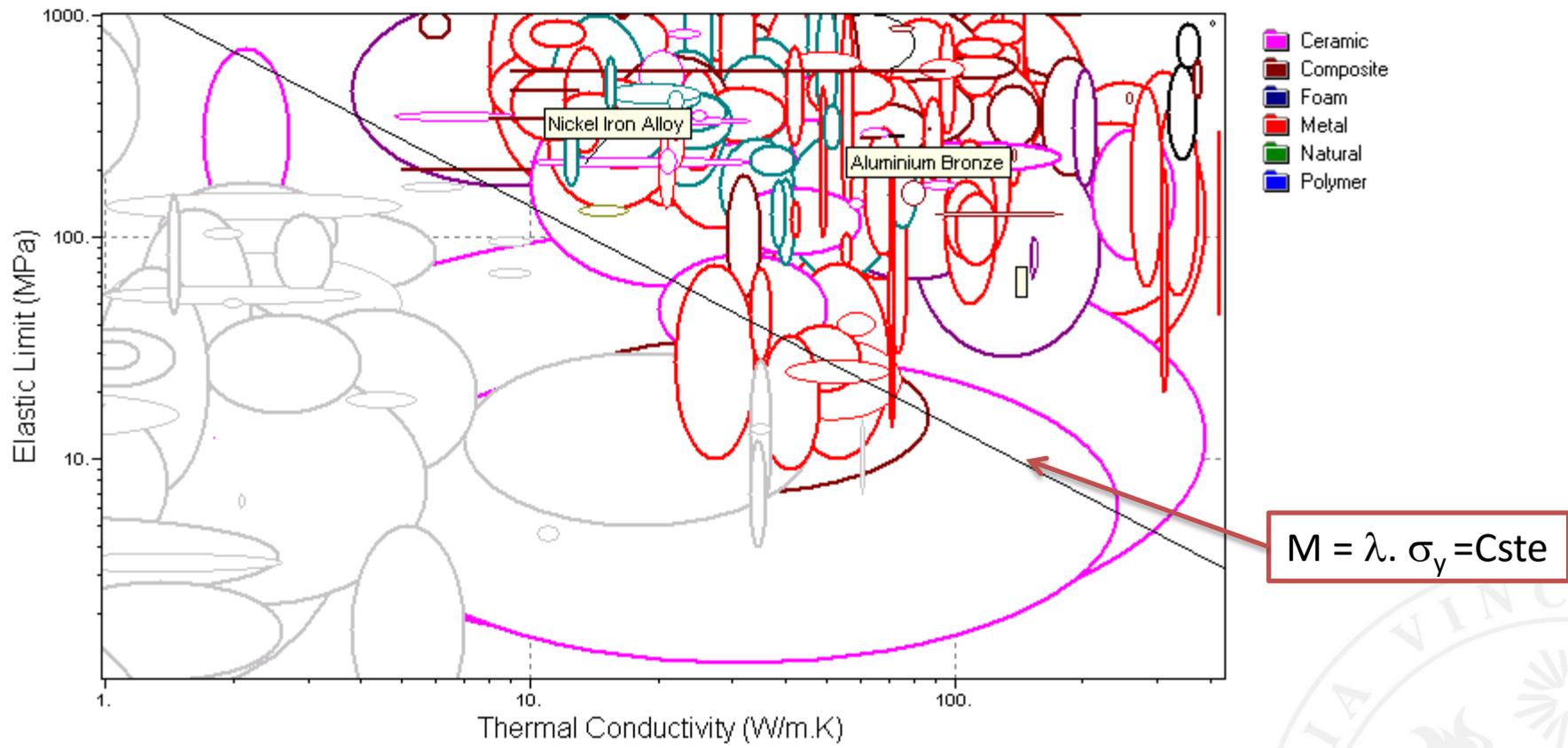
rés. corrosion = bonne ou très bonne



T > 150° C

Exemple 2: Echangeur de chaleur

CLASSEMENT



Démo CES

