

TD 29 : Sélection des matériaux par l'ingénieur

Objectifs du TD :

- Familiarisation avec la démarche de sélection des matériaux dans la conception (cahier des charges, fonction d'objectif, contraintes de conception et sélection proprement dite).
- A cette occasion comparaison des propriétés des grandes familles de matériaux, et retour sur les phénomènes physiques conditionnant ces propriétés.

Exercice. Matériaux pour rames d'aviron

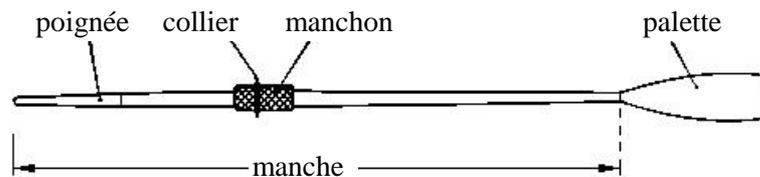


Figure 1 : Structure d'une rame d'aviron (source : d'après CES)

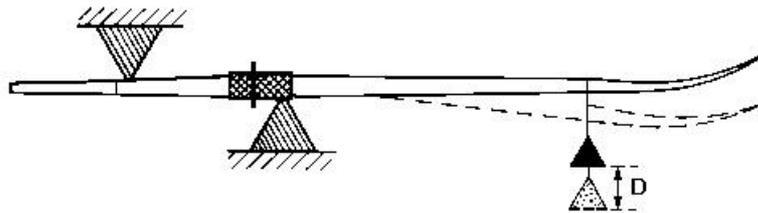


Figure 2 : Mesure de la rigidité d'une rame d'aviron (source : d'après CES)

1. Définition du concept

Quels moyens imaginez-vous pour la propulsion d'un bateau ? Sur quels principes mécaniques ces moyens reposent-ils ?

2. Analyse fonctionnelle de l'objet

On se focalise ici sur la propulsion par rames.

- Quelle est la fonction de la rame ?
- Comment une rame est-elle sollicitée en service ? Quelles sont les conditions aux limites ?
- Quelles sont les sollicitations les plus critiques (« dimensionnantes ») à votre avis ?

3. Rédaction du cahier des charges

- Lister les différents attributs de la rame : comment est-elle caractérisée en termes de géométrie et de propriétés ?
- Astreintes : Quelles sont les propriétés qu'il faut « juste satisfaire » mais non « optimiser » ? Les astreintes liées à ces propriétés sont-elles fortes ou légères ?
- Fonction d'objectif : Quelle est la propriété « objectif » c'est-à-dire celle qui fait qu'un matériau sera meilleur qu'un autre pour cette application ?
- Géométrie : préciser la géométrie choisie. Quelles sont les variables fixées par le problème et les variables libres ?

4. Modélisation et calcul de l'indice de performance

- Exprimer la fonction d'objectif en fonction de la géométrie et des propriétés matériau. Une des variables n'est pas connue, laquelle ?
- En utilisant le cahier des charges et les formulaires ci-joints, trouver une équation permettant d'éliminer la variable inconnue dans la fonction objectif.
- En déduire la formulation de la fonction objectif en identifiant bien les contributions respectives de la géométrie, des spécifications fonctionnelles et des propriétés matériau.
- Quel est l'indice de performance (la part « matériau ») à maximiser pour trouver les meilleures solutions ?

Indications :

Calcul d'une *flèche* δ sous un moment M fixé : $\delta = \frac{M \cdot L^2}{C_1 \cdot E \cdot I}$, où I est le moment d'inertie de la poutre et E

est le module d'Young du matériau. La constante C_1 (sans unité) est donnée dans le Tableau 1 et le moment d'inertie est donné dans le Tableau 2. Les conditions d'essai de rigidité sont montrées sur la Figure 2.

On considère que la poutre est *défaillante par plasticité* lorsque la limite d'élasticité σ_y est localement

atteinte. On écrit la valeur du moment critique : $M_f = \frac{I}{\gamma_m} \cdot \sigma_y$, où γ_m est la distance de la fibre neutre (en

flexion) à la surface extérieure de la poutre (typiquement la moitié de l'épaisseur de la section).

Tableau 1 : formulaire utile de résistance des matériaux : rigidité en flexion

Conditions aux limites	Valeur de C_1
Poutre encastrée à une extrémité, chargée à l'autre	1
Poutre encastrée à une extrémité, chargée uniformément dans la longueur	8
Poutre fixée par deux rotules, appui central	48
Poutre encastrée aux deux extrémités, appui central	192

Tableau 2 : formulaire utile de résistance des matériaux : moment d'inertie

Géométrie de la section	I (en m^4)
Disque plein, de rayon r	$\frac{\pi \cdot r^4}{4}$
Carré plein, de côté a	$\frac{a^4}{12}$
Triangle équilatéral plein, de côté a	$\frac{a^4}{32\sqrt{3}}$

5. Sélection des matériaux

- Parmi les diagrammes fournis, quels sont ceux à utiliser pour la sélection des matériaux pour rame d'aviron ?
- Utiliser le « bon » diagramme pour trouver les « meilleures » solutions. Lister celles-ci.
- Certaines solutions doivent évidemment être rejetées. Pourquoi ?
- Donner la liste finale des familles de matériaux sélectionnées.

6. Analyse critique des solutions retenues

Commenter la faisabilité des différentes solutions choisies et comparer avec ce qui existe sur le marché.

Références et lectures complémentaires

M.F. Ashby, *Choix des matériaux en conception mécanique*, Dunod, Paris, 2000 (trad. S. Décarroux), 482 pages.

M.F. Ashby, Y. Bréchet, L. Salvo, *Sélection des matériaux et des procédés de mise en œuvre*, coll. Traité des matériaux, vol. 20, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2001, 478 pages.

CES 4.0, Granta Design Ltd, Cambridge, UK (en anglais, une licence disponible à l'Ecole)

Petit glossaire

CFRP : Carbon fibre reinforced polymer = composite à matrice organique renforcé par des fibres de carbone

GFRC : idem, en remplaçant les fibres de carbone par des fibres de verre

KFRC : idem, en remplaçant les fibres de carbone par des fibres de Kevlar (aramide)

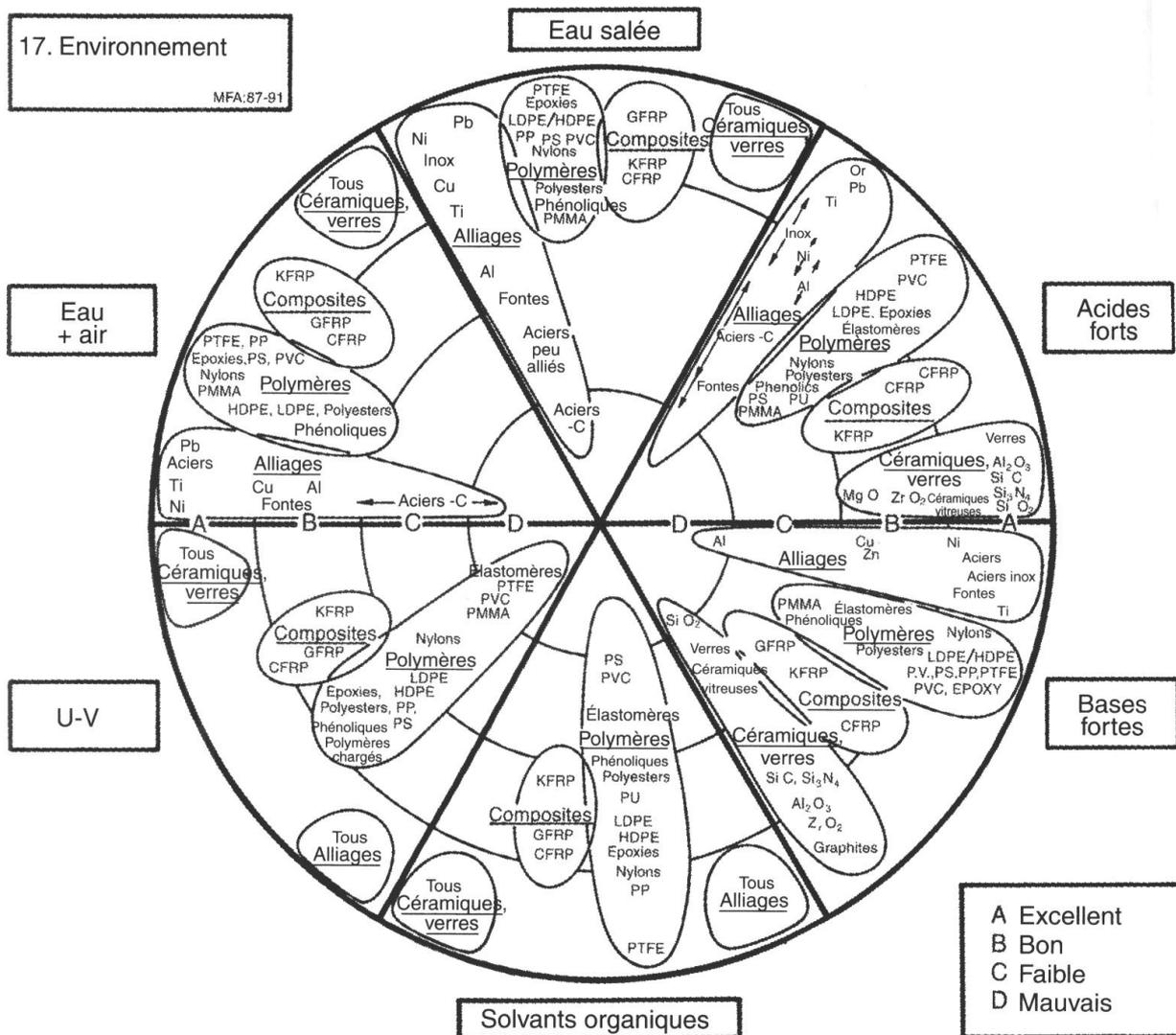


Diagramme de résistance à l'environnement et au rayonnement ultraviolet. Source : Ashby, Dunod, p. 74.

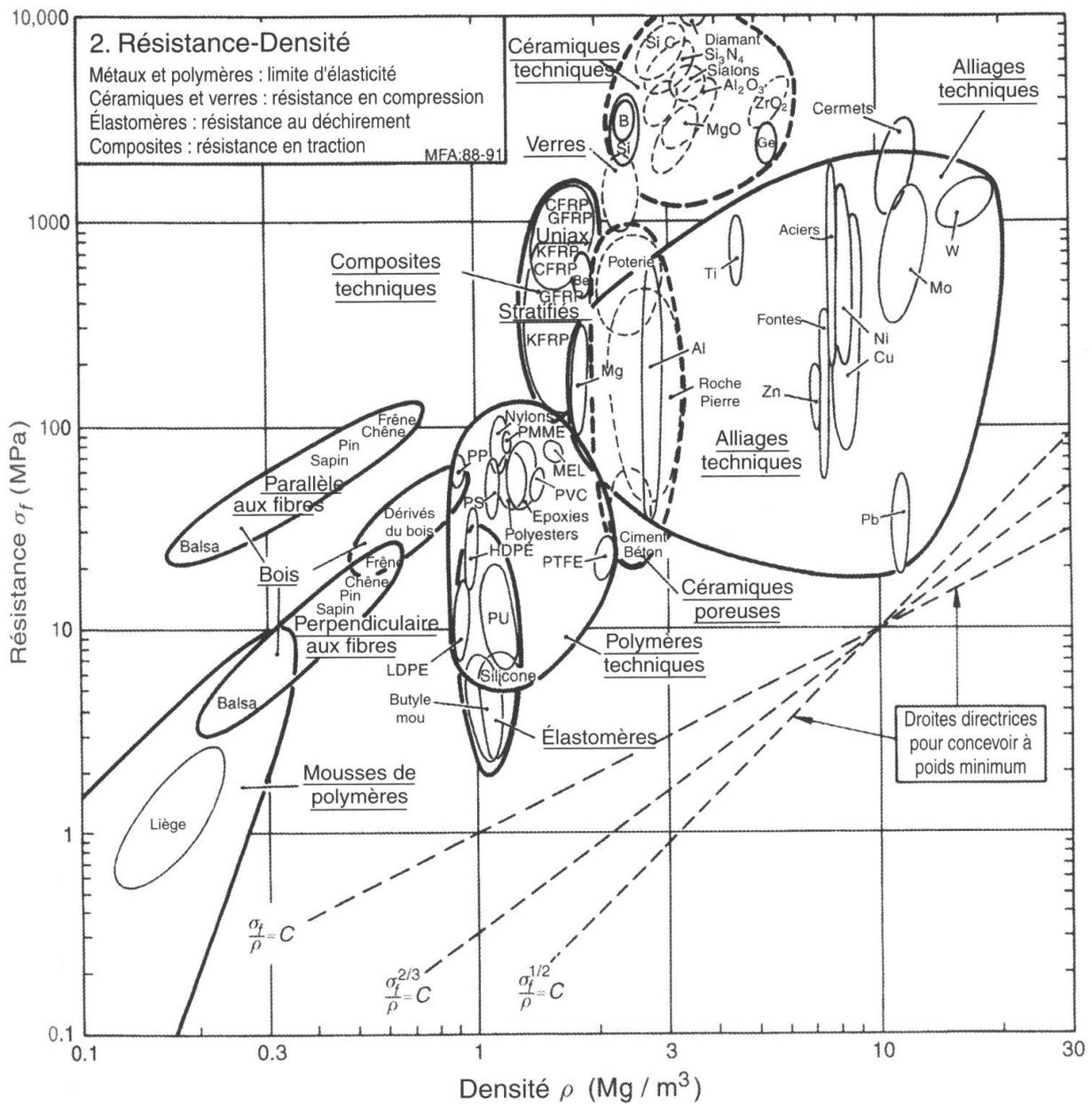


Diagramme résistance mécanique – densité. Source : Ashby, Dunod, p. 47.

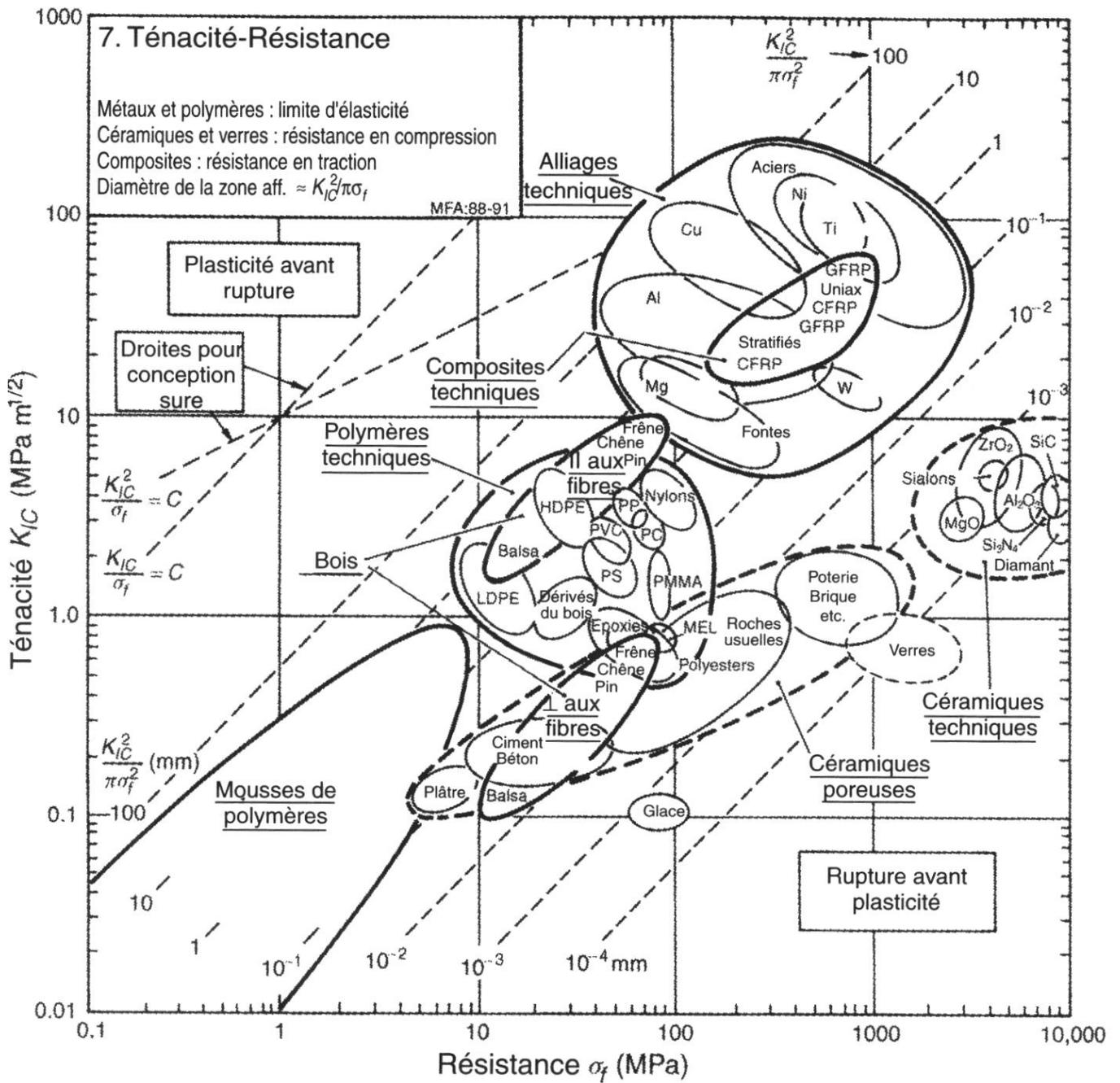


Diagramme ténacité – résistance. Source : Ashby, Dunod, p. 56.

