

## EXAMEN FINAL MA45

Documents autorisés :

1. La feuille de la définition des coefficients de souplesse (p.38) et la figure du modèle associé avec les matrices de passage.
2. La feuille de la définition des coefficients de raideur (p.45) et la figure du modèle associé avec les matrices de passage.

### Bordé du bateau

Le bordé d'un bateau (Figure 1a) a été reconçu en matériaux composites. On propose ici l'étude de la **zone 1** du bordé (Figure 1a). Le nouvel bordé est un stratifié. La composition du stratifié est montrée dans la Figure 1b.

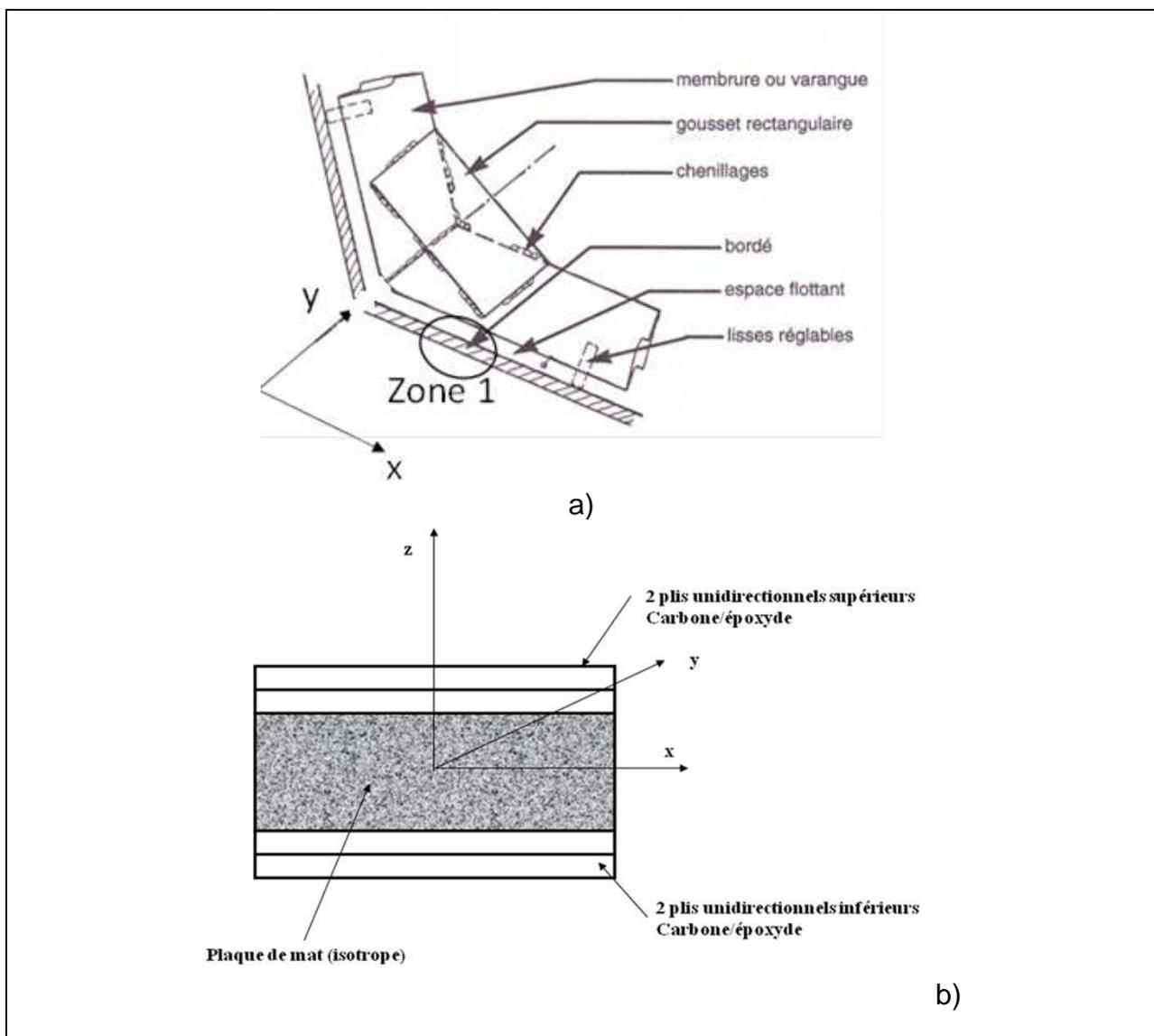


Figure 1 : (a) Croquis du bordé d'un bateau ; (b) Composition du stratifié

Sur chaque face d'une plaque de mat, on polymérise quatre plis unidirectionnels (deux supérieurs, deux inférieurs) de carbone/époxyde pré-impregnés avec les caractéristiques selon le tableau 1. La figure 1b montre le stratifié ainsi formé.

La plaque de mat présente les caractéristiques suivantes :  $E_{Mat} = 14410 \text{ Mpa}$  ;  $\nu_{Mat} = 0.3$ . Le mat est considéré comme **isotrope** dans ses plans.

Les plis sont orientés par rapport à x. L'empilement (selon la direction : -z, +z) et le pourcentage (des plis et du mat) sont les suivants:

**90° (5%) / 0°(5%) / Mat (80%) / 0°(5%) / 90° (5%)**

Tableau 1

Contrainte de rupture en traction suivant l (ou à 0°) (Mpa)	1270
Contrainte de rupture en compression suivant l (ou à 0°) (Mpa)	1130
Contrainte de rupture en traction suivant t (ou à 90°) (Mpa)	42
Contrainte de rupture en compression suivant t (ou à 90°) (Mpa)	141
Contrainte de rupture en cisaillement dans le plan l,t (Mpa)	63
Module d'élasticité sens long $E_l$ (Mpa)	134000
Module d'élasticité sens travers $E_t$ (Mpa)	7000
Module de cisaillement $G_{lt}$ (Mpa)	4200
Coefficient de Poisson $\nu_{lt}$	0,25

1. Ecrire numériquement pour le mat la loi de comportement dans le plan xy :
  - Relation déformation – contrainte  $\varepsilon=f(\sigma)$ ;
  - Relation contrainte – déformation  $\sigma=f(\varepsilon)$  ;
2. Ecrire numériquement pour l'unidirectionnel la loi de comportement dans le plan xy :
  - Relation déformation – contrainte  $\varepsilon=f(\sigma)$ ;
  - Relation contrainte – déformation  $\sigma=f(\varepsilon)$  ;
3. Calculer dans les axes x,y, les coefficients  $\frac{1}{h} A_{ij}$  du comportement en membrane de la plaque stratifiée;
4. Déduire les modules d'élasticité  $\bar{E}_x$ ,  $\bar{E}_y$ ,  $\bar{G}_{xy}$  et les coefficients de Poisson de la plaque  $\bar{\nu}_{xy}$  et  $\bar{\nu}_{yx}$  ;
5. Cette plaque stratifiée est soumise à un flux de traction suivant la direction  $x=0^\circ$  :  $N_x=3000(\text{N/mm})$ . A partir du critère de Hill-Tsai et ses conditions limites, calculer la valeur de l'épaisseur minimum, notée  $h_{\min}$ , qui entraîne la rupture :
  - a) des plis  $0^\circ$ ;
  - b) des plis  $90^\circ$ ;
  - c) de la plaque de mat ;
  - d) Conclure : Quelle sera alors la valeur de l'épaisseur minimum du stratifié?

Pour le mat les contraintes en rupture sont les suivantes : (a) en traction :  $\sigma_x=\sigma_y=113 \text{ Mpa}$  ; (b) en cisaillement :  $\tau_{xy}=20 \text{ (Mpa)}$ .