
Partie 2 : Mécanique des solides déformables

La structure de la navette virtuelle est constituée de poutres assemblées entre-elles par des cornières que nous modéliserons comme des encastremements parfaits. La structure est recouverte de panneaux fins en aluminium dont nous négligerons les effets dans l'étude qui suit. Le motif de base de cette structure est un rectangle traversé d'une poutre en diagonale pour assurer la rigidité (voir fig. 2-1) mais cette structure est incompatible avec la mise en place de portes permettant le passage des visiteurs.

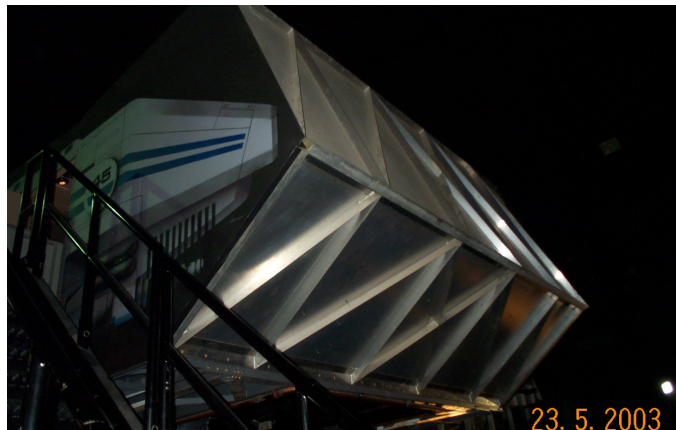


Figure 2-1 : Structure à base de poutres de la cabine (on néglige l'influence des panneaux en aluminium)

Sur les flancs, la structure est donc de type rectangulaire simple afin de mettre en place des portes pour l'accès d'un côté et l'évacuation de l'autre (Fig. 2-2). Dans la section qui suit nous allons quantifier la perte de rigidité de la structure due à cette architecture. Pour cela on considérera un motif élémentaire afin de pouvoir mener des calculs de manière analytique. Des résultats numériques sont fournis pour permettre des comparaisons et des conclusions à cette partie.



Figure 2-2 : Accès des passagers, flancs de la cabine

Les effets de flexion sont les plus importants et c'est la raison qui pousse à travailler sur le portique simplifié (figure 21-2) sollicité par une charge horizontale F . Le comportement de la structure sous cette sollicitation éclairera les difficultés rencontrées par la présence des portes. Le portique est en acier de module élastique $E = 210 \text{ GPa}$ et de limite élastique $\sigma_e = 350 \text{ MPa}$.

Section 21 : Raideur d'un portique simplifié

Q21.1 Déterminer l'aire et le moment quadratique de flexion par rapport à l'axe Z de la section droite de la poutre étudiée. On exprimera ces grandeurs sous forme paramétrée en fonction de la largeur du côté « a » et de l'épaisseur de la paroi « e ». Cette dernière est supposée faible devant « a ».

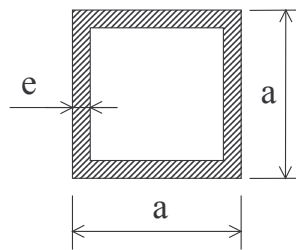


Figure 21-1 : Définition de la section droite $e = 2,6 \text{ mm}$ et $a = 40 \text{ mm}$

Q21.2 Soit la structure plane de la figure 21-2, constituée de poutres droites pour lesquelles la section droite est définie à la question précédente. Soient X_A, Y_A, M_A et X_D, Y_D, M_D les inconnues de liaisons au niveau des encastremets. Montrer que cette structure est hyperstatique et préciser le degré d'hyperstatisme.

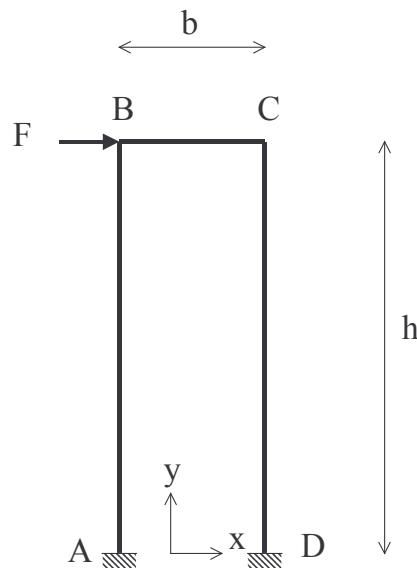


Figure 21-2 : portique bi-encasté en A et D. $h = 2,1 \text{ m}$ et $b = 0,9 \text{ m}$

Q21.3 On retient les inconnues en D comme inconnues hyperstatiques que l'on note X, Y et M dans la suite. Déterminer par superposition, les sollicitations internes de la structure isostatique associée provenant de successivement de F, X, Y et M . On tracera les diagrammes des moments fléchissants sur 4 figures différentes.

Q21.4 Calculer l'énergie de déformation de la structure en négligeant les effets de l'effort tranchant et de la traction ou compression devant l'effet de flexion. En déduire 4 relations permettant de déterminer le déplacement horizontal en B (que l'on notera u_B) ainsi que les inconnues X, Y et M.

Q21.5 Pour une charge F de 100 N, on détermine les inconnues hyperstatiques en résolvant le sous système 3x3 des relations précédemment obtenues :

$$X = -50 \text{ N}, Y = 109 \text{ N}, M = 56 \text{ Nm}$$

Déterminer le déplacement u_B et en déduire la raideur du portique défini par : $K = F/u_B$

Q21.6 Quel est l'endroit de la structure le plus sollicité en flexion ? Quelle est la valeur du moment fléchissant maximal dans la structure ?

Section 22 : Tenue du chambranle d'une porte d'accès à l'attraction

Le jeu laissé entre la porte et le chambranle est de 3 mm (figure 22-1). La forte rigidité de la porte (conçue sur la base d'une structure de poutres rigidifiée par une barre diagonale et recouverte de plaques d'aluminium) conduit à des actions répétées du flanc de la porte sur le chambranle (figure 22-2). Ceci induit des sollicitations qui se superposent aux sollicitations déjà étudiées aux questions précédentes. On propose d'évaluer grossièrement ces contraintes supplémentaires dues au contact porte-chambranle, dans l'angle du chambranle en réalisant un calcul en élasticité plane. On modélise l'action de la porte sur le chambranle par une répartition de pression q et on impose les conditions limites en déplacement précisées sur la figure 22-3. L'allure de la répartition des contraintes de Von Mises est fournie sur la figure 22-4.

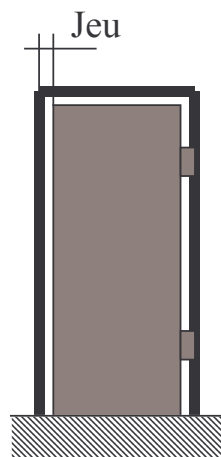


Figure 22-1

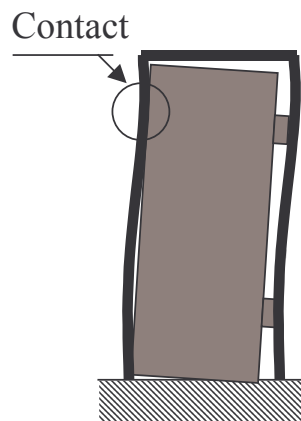


Figure 22-2

Q22.1 Rappeler l'expression de la contrainte de Von Mises. A quoi se réduit-elle dans le cas d'un état de contrainte plane ? Le nœud 265 (situé dans l'arrondi de l'angle du chambranle) est le plus sollicité au sens de Von Mises. On y relève les contraintes suivantes :

$$\sigma_{xx} = 70 \text{ MPa}, \sigma_{yy} = 90 \text{ MPa}, \sigma_{xy} = 50 \text{ MPa}$$

En déduire la contrainte équivalente de Von Mises en ce point.

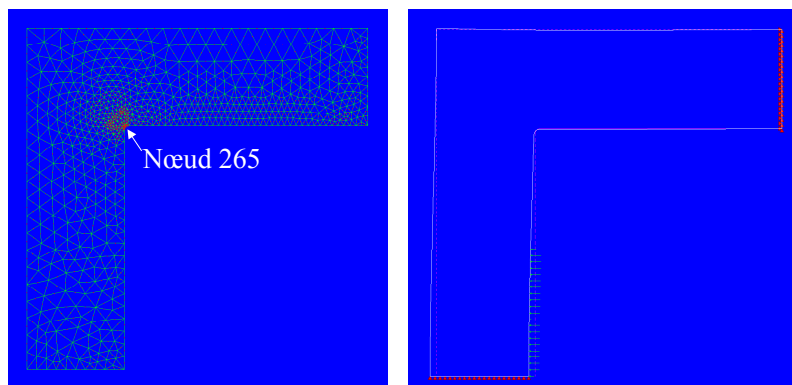
Q22.2 Cet état de contrainte se superpose à celui déterminé précédemment par la RdM mais dont on sait qu'il n'a pas de sens dans l'angle. Un calcul par éléments finis conduit à un état de contrainte initial au nœud 265, qui vaut :

$$\sigma_{xx} = 100 \text{ MPa}, \sigma_{yy} = 95 \text{ MPa}, \sigma_{xy} = 90 \text{ MPa}$$

Peut-on superposer les contraintes de Von Mises ? Si non, comment évaluer la contrainte de Von Mises résultante ?

Q22.3 Déterminer la matrice des contraintes globale au nœud 265. En déduire les contraintes principales ainsi que les directions principales associées. Justifier ce dernier résultat à l'aide des conditions limites de bord libre dans l'angle du chambranle.

Q22.4 La structure est sollicitée de manière périodique et l'état de contrainte déterminé conduit à une détérioration par fatigue. Dans la première phase de cette détérioration une fissure s'initie suivant les plans de cisaillement maximum à partir du nœud 265. Par la suite cette fissure se développe suivant les plans où la traction est maximale. A l'aide des résultats précédents donner qualitativement l'allure des fissures issues du nœud 265 et que l'on observe sur le chambranle des portes d'accès.



Maillage de l'angle
(2712 nœuds - 1293 éléments)

Conditions limites + action de la porte
Déformée de l'angle

Figure 23-3 : Maillage et conditions limites

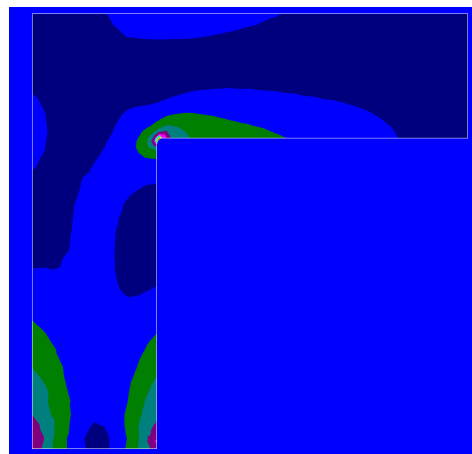


Figure 23-4 : Carte des iso-contraintes de Von Mises