

1^{ère} partie

Etude mécanique afin de déterminer certaines caractéristiques que devront posséder les vérins de rechange.

Les parties A, B et C pourront être traitées d'une manière indépendante

A - Détermination de l'effort minimum que devra exercer chaque vérin pour manœuvrer l'escalier en toute sécurité.

Dossiers à consulter :

Document 2 : perspective de l'escalier **20** et des vérins **A** et **B**

Document 3 : vue suivant \vec{F} de l'escalier **20** seul à un instant t pendant la phase de remontée.

Hypothèses et données :

- le mouvement de remontée étant relativement lent, on considérera que l'escalier est en **équilibre** à chaque instant t .
- pendant la phase de remontée l'angle β varie très peu. On pourra donc, en première approximation, considérer que $\beta = \text{constante} = 25^\circ$ pendant le mouvement de remontée.
- Pendant la phase de remontée, l'angle α varie de -38° à $+22^\circ$
- $0\vec{x}_0\vec{y}_0\vec{z}_0$ base associée à la structure de l'avion supposée fixe
- $0\vec{x}_1\vec{y}_1\vec{z}_1$ base associée aux vérins **A** et **B** supposée fixe
- $0\vec{x}_{20}\vec{y}_{20}\vec{z}_{20}$ base associée à l'escalier **20**
- La liaison globale $L_{0/20}$ est composée de :
 - $L_{0/20}$ en E_1 : linéaire annulaire parfaite de centre E_1 d'axe $E_1\vec{z}_0$
 - $L_{0/20}$ en E_2 : linéaire annulaire parfaite de centre E_2 d'axe $E_2\vec{z}_0$
- La liaison $L_{A/20}$ en D_1 : linéaire annulaire parfaite de centre D_1 d'axe $D_1\vec{z}_0$
- La liaison $L_{B/20}$ en D_2 : linéaire annulaire parfaite de centre D_2 d'axe $D_2\vec{z}_0$
- Soit $\{\tau_{A/20}\}_{\text{en } D_1}$ le torseur associé à l'action mécanique due à la liaison $L_{A/20}$ en D_1 , dont les éléments de réduction sont :

$$\begin{cases} \vec{S}_{A/20} = \vec{F}_{A/20} \\ \vec{M}_{D_1}^t = \vec{0} \end{cases}$$
- Soit $\{\tau_{B/20}\}_{\text{en } D_2}$ le torseur associé à l'action mécanique due à la liaison $L_{B/20}$ en D_2 , dont les éléments de réduction sont :

$$\begin{cases} \vec{S}_{B/20} = \vec{F}_{B/20} \\ \vec{M}_{D_2}^t = \vec{0} \end{cases}$$

- Soit $\{\tau_{E_1 \text{ de } 0/20}\}$ le torseur associé à la liaison $L_{0/20}$ en E_1 dont les éléments de réduction en E_1 sont :
$$\begin{cases} \vec{S}_{0/20 \text{ en } E_1} = \vec{F}_{0/20 \text{ en } E_1} \\ \vec{M}_{0/20 \text{ en } E_1} = \vec{0} \end{cases}$$
- Soit $\{\tau_{E_2 \text{ de } 0/20}\}$ le torseur associé à la liaison $L_{0/20}$ en E_2 dont les éléments de réduction en E_2 sont :
$$\begin{cases} \vec{S}_{0/20 \text{ en } E_2} = \vec{F}_{0/20 \text{ en } E_2} \\ \vec{M}_{0/20 \text{ en } E_2} = \vec{0} \end{cases}$$
- Poids \vec{P} tel que : $\|\vec{P}\| = 2500\text{N}$

Questions posées

- 1- Montrer que, si 20 est en équilibre, $\{\tau_{A/20}\}_{\text{en } D_1} = \{\tau_{B/20}\}_{\text{en } D_2}$ et $\{\tau_{E_1 \text{ de } 0/20}\} = \{\tau_{E_2 \text{ de } 0/20}\}$. Si vous n'arrivez pas à le démontrer, vous l'admettez pour les questions suivantes.
- 2- Etudiez l'équilibre de 20 à un instant t quelconque, et en déduire $\vec{F}_{A/20}$ en fonction de α .
Conseil : il n'est pas nécessaire d'écrire toutes les équations d'équilibre pour répondre à la question posée. Il suffit d'écrire l'équation de moment par rapport à l'axe $0\vec{z}_2$.
- 3- Pour quelle valeur de α , $\vec{F}_{A/20}$ aura une norme maximale ? En déduire cette valeur maximale c'est-à-dire quelle sera la valeur minimum de l'effort que devra exercer le vérin pour monter l'escalier en toute sécurité.

B- Détermination de la pression minimum que devra exercer le fluide hydraulique sur la tige de piston 2 du vérin pour monter l'escalier en toute sécurité. Calcul du réglage du tarage du clapet de surpression du circuit hydraulique alimentant les vérins.

Dossiers à consulter :

- Document 4 : Dessin d'ensemble du vérin
- Document 5 : Dessin de définition de la tige de piston 2 du vérin
- Document 6 : Dessin de la tige de piston 2 du vérin à l'instant t de la phase de montée où l'action du vérin sur l'escalier est maxi.
- Document 7 : Dessin d'un tronçon de longueur dx de la tige de piston 2 du vérin

Hypothèses et données :

- le mouvement de remontée étant relativement lent, on considérera que la tige du vérin est en **équilibre** à chaque instant t.
- pendant la phase de remontée l'angle β varie très peu. On pourra donc, en première approximation, considérer que $\beta = \text{constante} = 25^\circ$ pendant le mouvement de remontée.
- On se placera à l'instant t où l'action du vérin sur l'escalier est maxi
- A cet instant $x = 175\text{mm}$
- Tige de piston 2 du vérin : Cette tige est en acier de poids \bar{P}_2 tel que $\|\bar{P}_2\| : 37\text{N}$
- La liaison globale $l_{1/2}$ est composée :

- $l_{1/2}$ en A : linéaire annulaire de centre A d'axe $A\bar{x}_1$ avec frottement

$$\text{dont le torseur associé est } \begin{pmatrix} X_A = f(Y_A) & | & 0 \\ Y_A & | & 0 \\ Z_A = 0 & | & 0 \end{pmatrix}_{A\bar{x}_1\bar{y}_1\bar{z}_1}$$

- $l_{1/2}$ en B : linéaire annulaire de centre B d'axe $B\bar{x}_1$ avec frottement

$$\text{dont le torseur associé est } \begin{pmatrix} X_B = f(Y_B) & | & 0 \\ Y_B & | & 0 \\ Z_B = 0 & | & 0 \end{pmatrix}_{B\bar{x}_1\bar{y}_1\bar{z}_1}$$

- Facteur de frottement $\mu = 0,46$. (anciennement coefficient de frottement)

- On admettra que l'action mécanique du fluide hydraulique sur la tige de piston 2 du vérin peut être considérée comme la somme de deux actions mécaniques :

- Action mécanique sur la surface latérale de la tige du vérin de torseur associé $\{\tau_1\}$
- Action mécanique sur l'épaulement de la tige du vérin de torseur associé $\{\tau_2\}$
- Soit p la pression exercée par le fluide hydraulique.

- On admettra que l'action mécanique maxi qu'exercera l'escalier sur la tige de piston

$$\underline{2} \text{ du vérin a un torseur associé : } \begin{cases} \vec{S}_{enD} = +13158 \bar{x}_1 \text{ en N} \\ \vec{M}_{enD}^t = \vec{0} \end{cases}$$

- Pour des raisons de sécurité, la pression de tarage du clapet de surpression devra être égale à la pression minimum nécessaire à la montée de l'escalier majorée de 10%

Questions posées

- 1- Définir le sens de X_A et de X_B
- 2- Exprimer X_A en fonction de Y_A et X_B en fonction de Y_B
- 3- En isolant un tronçon de longueur dx tendant vers 0 de la tige du vérin, montrer que le torseur $\{\tau_1\}$ est un torseur nul. Si vous n'y arrivez pas, vous admettez ce résultat pour les questions suivantes.
- 4- Montrer que le torseur $\{\tau_2\}$ est un glisseur tel que
$$\begin{cases} \vec{S}_2 = -F_C \vec{x}_1 \\ \vec{M}_C = \vec{0} \end{cases}$$
, exprimer F_C en fonction de p .
- 5- Etudier l'équilibre de la tige du vérin, et en déduire la valeur de p , que vous exprimerez en PSI (pound square inch). (Rappel : 1PSI = 0,0069 MPa).
Conseils : Traduire le théorème fondamental de la statique en A dans le repère $A\vec{x}_1\vec{y}_1\vec{z}_1$
- 6- Quelle devra être la pression de tarage du clapet de surpression exprimée en PSI ?

**C- Détermination des caractéristiques du matériau de la tige de piston 2 du vérin.
Déterminer le réglage du débit du fluide hydraulique pour la montée de l'escalier.**

Dossiers à consulter :

- Document 5 : Dessin de définition de la tige de piston 2 du vérin
- Document 8 : Diagramme de l'effort normal et coefficient de concentration de contrainte.

Hypothèses et données :

- Les résultats de la partie B montrent que l'on peut négliger, en première approximation, le poids de la tige du vérin et l'influence des frottements.
- Compte tenu de cette hypothèse, on admettra que le diagramme de l'effort normal dans le cas le plus défavorable est celui donné par le document 8, et que la tige de piston 2 est soumise à une sollicitation de traction.
- Coefficient de sécurité minimum $s = 1,5$
- Le mouvement de remontée de l'escalier doit se faire pendant une durée de 8 à 10 secondes. On admettra que le mouvement réel nécessitera un débit du fluide hydraulique équivalent à celui qu'il faudrait choisir si le mouvement de remontée était un mouvement uniforme pendant une durée de 10 secondes.
- La course du vérin pendant le mouvement de remontée est de 250mm.
- C'est le même circuit hydraulique qui alimente les deux vérins.

Questions posées

- 1- Sans tenir compte du phénomène de concentration de contrainte, quelle est la section la plus sollicitée ? Définir la répartition des contraintes dans cette section et en donner les valeurs.
- 2- En tenant compte du phénomène de concentration de contrainte, déterminer la valeur des contraintes maxi en précisant à quels endroits elles auront lieu. En déduire la valeur minimale de la résistance élastique à l'extension que devra avoir le matériau.
- 3- Déterminer, en mm/s, la vitesse de rentrée de la tige du vérin dans l'hypothèse d'un mouvement uniforme
- 4- En déduire, en litre/minute, le réglage du débit du fluide hydraulique que nous devons afficher pour que ce mouvement ait lieu.

2ème partie

Etude mécanique d'une marche d'escalier afin de vérifier qu'elle pourra résister en toute sécurité

Les parties A, B et C pourront être traitées d'une manière indépendante

Le document 9 représente des photos d'une marche d'escalier. On s'aperçoit sur ces photos que ces marches sont constituées de tôles pliées assemblées par rivetage.

Disposant au magasin de tôles, le but de cette étude est de vérifier si ces tôles peuvent convenir pour la fabrication des marches d'escalier.

A - Analyse de la documentation relative à ces tôles.

Dossiers à consulter :

Document 10 : Eprouvette d'essai de traction utilisée pour l'essai

Document Réponse N°1 : Courbe de traction

Hypothèses et données :

Le responsable du magasin vous communique les renseignements suivants :

- Les tôles sont d'épaisseur 3mm
- Matériau : EN AW-2017
- A la réception des tôles, il a effectué un essai de traction à partir d'une éprouvette (Voir document 10), dont les résultats figurent sur le document réponse N°1

Questions posées

- 1- Déterminer R , R_e et $A\%$. Faire apparaître vos tracés sur le document réponse N°1.
- 2- En écrivant l'équation de la droite OA, déterminer le module de Young E (en MPa)
- 3- Les matériaux sont classés en trois grandes familles : les matériaux fragiles, les matériaux ductiles et les matériaux élastiques non linéaires. A quelle grande famille appartient ce matériau ? Quels sont les éléments qui vous ont permis de donner cette réponse ?
- 4- Les marches étant fabriquées par pliage, il faut donc avoir des renseignements sur les propriétés de déformation plastique du matériau. Quel est le nom de la propriété d'un matériau d'avoir l'aptitude de se déformer plastiquement par extension sans se rompre ? Comment traduit-on cette propriété ?

B - Vérification de la résistance à la flexion.

Dossiers à consulter :

Document 11 : Dessin de la marche

Document 12 : Dessin de la marche sans le dessus

Document Réponse N°1 : Courbe de traction

Document Réponse N°2 : Moment fléchissant pour une position quelconque de \vec{F}

Document Réponse N°3 : Moment fléchissant dans le cas le plus défavorable

Document Réponse N°4 : Contraintes dans la section S_1

Document Réponse N°5 : Contraintes dans la section S_2

Document Réponse N°6 : Contraintes dans la section S_3

Hypothèses et données :

- Le manuel de maintenance précise que la marche doit supporter un effort \vec{F} d'intensité 5000N
- Le plan $A\bar{x}\bar{y}$ est un plan vertical de symétrie
- On supposera que \vec{F} appartient à ce plan de symétrie
- Liaison en A : linéaire annulaire de centre A d'axe $A\bar{x}$
- Liaison en B : linéaire annulaire de centre B d'axe $B\bar{x}$
- Nous ferons l'étude dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire nous nous poserons la question : pour quelle position de \vec{F} sur l'axe $A\bar{x}$ aurons nous un moment fléchissant maximum ? Nous ferons ensuite les calculs pour cette position
- Ni le fournisseur des tôles, ni le responsable du magasin n'a fait d'essai de compression, nous ne connaissons donc pas R_{ec} . Mais nous savons que quel que soit le matériau $R_{ec} > R_e$
- Nous admettrons que $R_e = 241\text{MPa}$
- Nous négligerons le phénomène de concentration de contrainte
- Nous négligerons les contraintes tangentielles devant les contraintes normales

Questions posées

- 1- Déterminer \vec{R}_A , \vec{R}_B , puis tracer le diagramme du moment fléchissant puis en donner sa valeur maxi, en fonction de λ . Répondre sur le document réponse N°2.
Conseils : vous pouvez répondre en utilisant les résultats tous faits du guide du calcul
- 2- Montrer que le cas le plus défavorable, c'est-à-dire la valeur du moment fléchissant maxi correspond à la valeur de $\lambda = 389\text{mm}$. Si vous n'y arrivez pas, vous admettrez ce résultat pour les questions suivantes.
- 3- Sur le document réponse N°3, exprimez le moment fléchissant en fonction de x , puis tracez en le diagramme. (lorsque $\lambda = 389\text{mm}$)
- 4- La section de la marche n'étant pas constante, nous admettrons que la section la plus sollicitée est l'une des sections S_1 , S_2 ou S_3 .
 - S_3 , car le moment fléchissant est maximum
 - S_1 ou S_2 , car les sections sont minimum avec un moment fléchissant important.

Sur le document réponse N°4, définir la répartition des contraintes et en donner les valeurs maximum

Sur le document réponse N°5, définir la répartition des contraintes et en donner les valeurs maximum

Sur le document réponse N°6, définir la répartition des contraintes et en donner les valeurs maximum

Quelle est la section la plus sollicitée ?

Déterminer la valeur du coefficient de sécurité minimum relatif à la résistance à la flexion.

C- Vérification à la compression ou au flambage d'une plaque de la partie centrale

Dossiers à consulter :

Document 13 : Méthode de calcul

Document 14 : Dessin d'une plaque de la partie centrale

Hypothèses et données :

- Le manuel de maintenance précise que la marche doit être capable de supporter un effort \vec{F} d'intensité 5000N par mesure de sécurité
- Nous nous placerons dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire que \vec{F} sera appliqué à l'endroit où la section est la plus faible
- Ni le fournisseur des tôles, ni le responsable du magasin n'a fait d'essai de compression, nous ne connaissons donc pas R_{cc} . Mais nous savons que quel que soit le matériau $R_{cc} > R_e$.
- Nous admettrons que $R_e = 241\text{MPa}$

Questions posées

- 1- Montrer que $G\bar{x}$ et $G\bar{z}$ sont axes principaux d'inertie de la section A-A.(Voir document 14). Si vous n'y arrivez pas, vous admettez ce résultat pour les autres questions.
- 2- Calculer les moments quadratiques I_{Gx} et I_{Gz} de cette section
- 3- Autour de quel axe le risque de flambage existe-t-il ?
- 4- Calculer l'élanement de la poutre
- 5- En déduire la force admissible en fonction de R_{pc}
- 6- La plaque résistera-t-elle ? Si oui, quelle sera la valeur minimum du coefficient de sécurité ?

3ème partie**Dessin en perspective à main levée d'une équerre d'articulation**

Le document 15 représente le dessin de l'équerre en trois vues, à l'échelle 1 :2. Il vous est demandé de représenter cette équerre en perspective à main levée, à l'échelle de votre choix.

Vous avez le choix de réaliser ce dessin :

- en perspective isométrique sur le document réponse N°7
- en perspective cavalière sur le document réponse N°8

Vous devrez respecter le système d'axe