

Devoir 4- CCP2002-MP - atterrisseur.tex

Corrigé page 36

adapté de CCP 2002- MP

A. Présentation - Certification d'un atterrisseur

Les trains d'atterrissage des aéronefs doivent assurer des fonctions variées telles que :

- absorber l'énergie cinétique verticale de l'avion durant l'impact à l'atterrissage,
- maintenir un contact piste/pneu malgré les irrégularités de piste durant le roulage,
- transmettre à la structure de l'aéronef les efforts de freinage qui sont appliqués au niveau des roues,
- filtrer les irrégularités de piste au roulage afin de limiter les sollicitations dynamiques imposées à la structure par le sol et d'assurer le confort des passagers,
- supporter la masse de l'aéronef.

Pour tester des atterrisseurs toujours plus gros, le Centre d'Essais Aéronautique de Toulouse (CEAT) s'est doté d'une nouvelle machine de test capable de simuler des atterrissages de gros porteurs : la machine MEGA (figure 13).

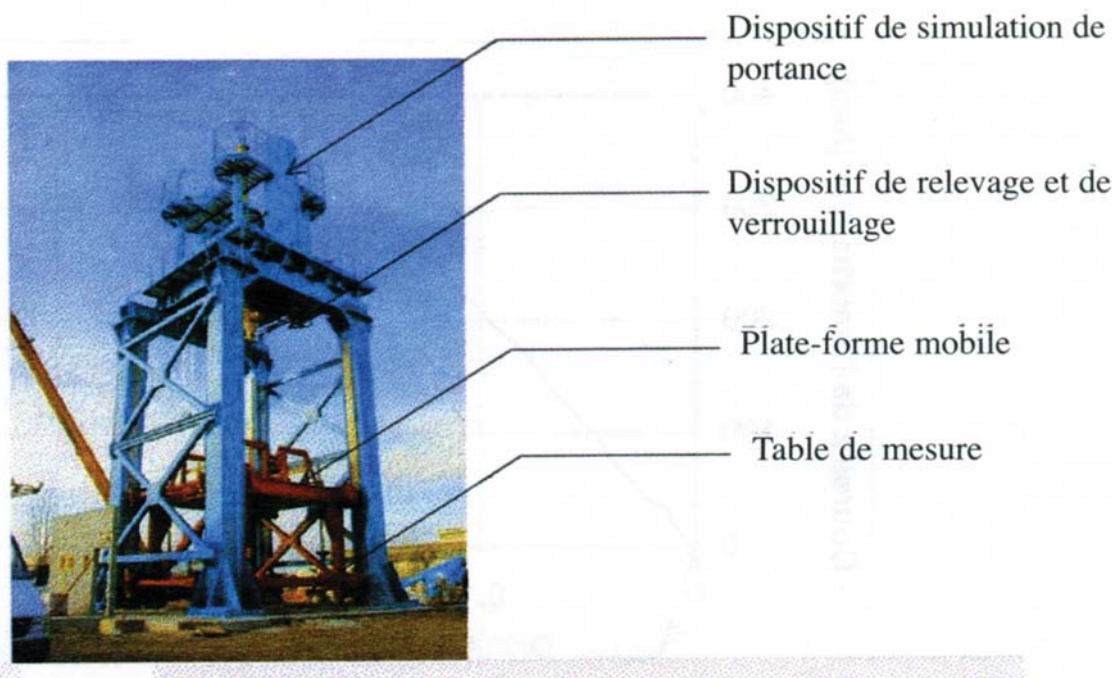


FIGURE 13: Machine Mega

L'objectif de cette machine d'essais est de reproduire les principaux effets présents lors de l'impact de l'atterrisseur sur la piste.

B. Modélisation cinématique

La figure 14 montre la liaison au sol de l'avion.

Les principaux constituants d'un atterrisseur (Figure 14) sont :

- La jambe 2 pièce verticale destinée à absorber l'énergie lors de l'impact, pendant la phase d'atterrissage, la jambe est solidaire de la carlingue de l'avion (même classe d'équivalence) maintenue par la contrefiche principale CP
- La tige de l'amortisseur 3, en liaison glissière de direction \vec{z} avec la jambe 2.
- Le châssis 5 porteur des roues, en liaison pivot d'axe (O, \vec{x}) par rapport à la tige du vérin 3.
- 4 roues ($4_a, 4_b, 4_c, 4_d$) : respectivement en liaison pivot d'axe (C_a, \vec{x}) , (C_b, \vec{x}) , (C_c, \vec{x}) et (C_d, \vec{x}) , où $\overrightarrow{OC_a} = d \cdot \vec{x} + l \cdot \vec{y}$, $\overrightarrow{OC_b} = d \cdot \vec{x} - l \cdot \vec{y}$, $\overrightarrow{OC_c} = -d \cdot \vec{x} + l \cdot \vec{y}$ et $\overrightarrow{OC_d} = -d \cdot \vec{x} - l \cdot \vec{y}$.

- La liaison entre chaque roue et le sol 0 est supposée ponctuelle, respectivement de normale (I_a, \vec{z}) , (I_b, \vec{z}) , (I_c, \vec{z}) et (I_d, \vec{z})

Q1. Établir le graphe des liaisons de ce modèle.

Q2. Tracer le schéma cinématique spatial

Q3. On s'intéresse uniquement à l'ensemble $\{3, 5, 4_a, 4_b, 4_c, 4_d, 0\}$

Q3a. évaluer sans calcul le degré de mobilité de cet ensemble.

Q3b. déterminer le degré d'hyperstaticité.

Q4. Déterminer la liaison équivalente entre la tige de l'amortisseur 3 et le sol 0.

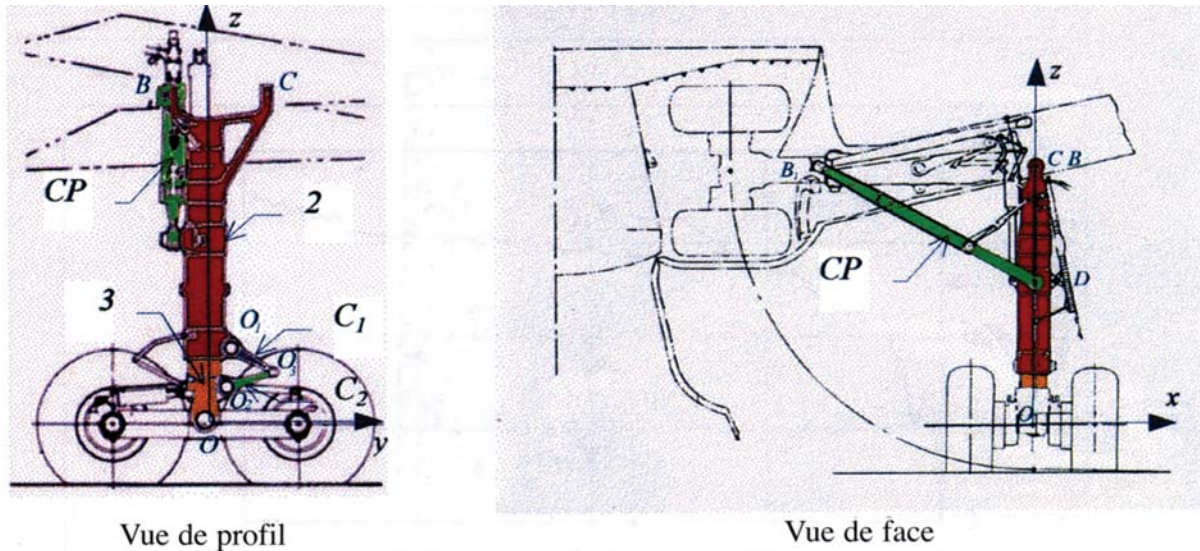


FIGURE 14: Liaison au sol

C. Charge dynamique au roulage

L'objectif de cette question est de montrer que le respect du cahier des charges à l'impact lors du dimensionnement de l'amortisseur est peu compatible avec les performances requises au roulage.

L'amortisseur de train est avant tout dimensionné pour satisfaire le cahier des charges relatif à la phase d'impact à l'atterrissage. Cependant, l'amortisseur de train est également l'élément à travers lequel l'avion est lié à la piste durant les phases de roulage. A ce titre, il doit aussi réaliser deux fonctions importantes :

- maintenir l'assiette (hauteur moyenne, angle de tangage, angle de roulis) de l'avion malgré les sollicitations statiques ou dynamiques qui lui sont appliquées au roulage (accélération, freinage, virage, répartition et importance de la charge utile et du carburant, actions aérodynamiques),
- filtrer les sollicitations imposées par les irrégularités de la piste à la structure de l'avion, à ses équipements et à ses occupants.

D'un point de vue vibratoire ou dynamique, l'amortisseur oléo-pneumatique (Figure 15), peut être modélisé par l'action parallèle d'une fonction élastique et d'une fonction dissipative. L'amortisseur est composé de deux solides. Le corps est lié à la structure de l'avion tandis que l'ensemble tige 1 piston est lié aux moyeux des roues. Les domaines 1 et 2 sont remplis d'huile tandis que le domaine 3 correspond au gaz neutre (azote). Aucune séparation physique n'existe entre les domaines 2 et 3 (surface libre).

La fonction de rappel élastique est ici réalisée par la variation du volume V_g du gaz de l'amortisseur (domaine 3) sous l'effet de sa variation d'élongation l :

$$V_g = V_{g0} + S \cdot l$$

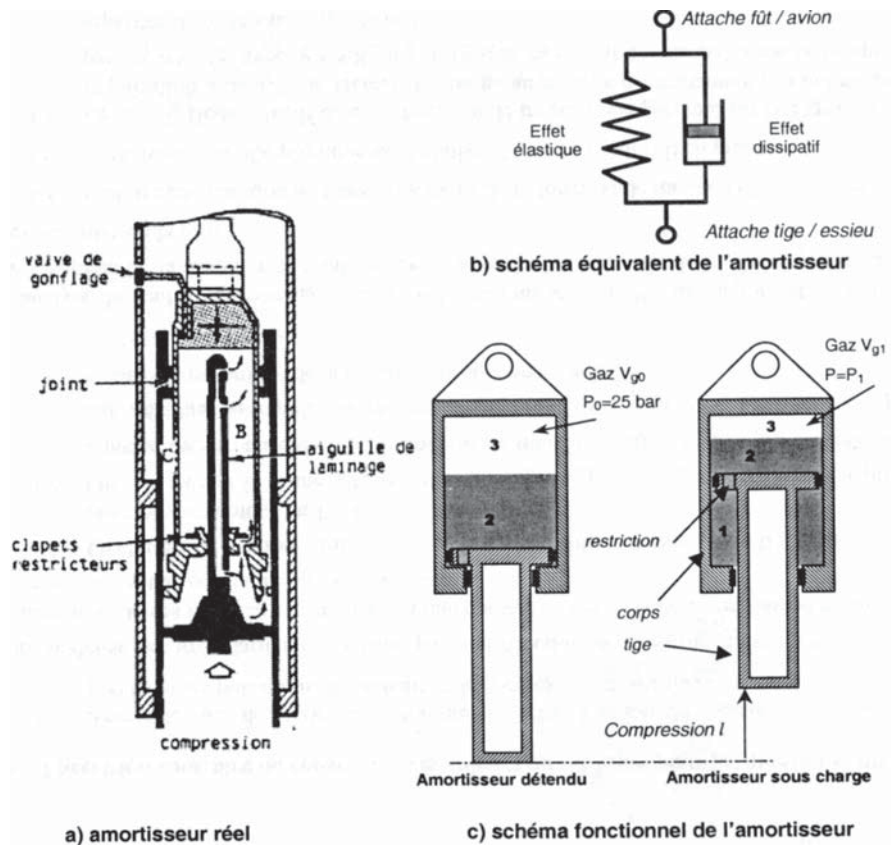


FIGURE 15: Amortisseur de train d'atterrissage

où V_{g0} est le volume de gaz lorsque l'amortisseur est complètement détendu et où S est la section active du piston de l'amortisseur. D'autre part, l'effort élastique de répulsion entre la tige et le corps est lié à la pression du gaz P et à la section active de l'amortisseur par la relation

$$F = P \cdot S.$$

Pour finir, on considérera que

$$P \cdot V_g = \text{constante}$$

(traduisant en pratique que l'évolution thermodynamique du gaz est supposée isotherme). Lorsque l'amortisseur est détendu, la pression du gaz est notée $P = P_0$.

La fonction dissipative ou d'amortissement est obtenue grâce à la restriction de la section de passage offerte à l'huile pour s'écouler entre les chambres 1 et 2 durant les phases transitoires. Elle est caractérisée par le coefficient de dissipation visqueux équivalent F_v (N s m^{-1}).

Q5. Montrer que la caractéristique élastique de l'amortisseur peut être mise sous la forme $F = \frac{a}{b-l}$ et donner les expressions de a et b .

Q6. On appelle raideur équivalente locale K la pente locale de la fonction $F(l)$. Donner l'expression de cette raideur au voisinage d'une élongation l_0 . Calculer cette raideur pour $a = 35250 \text{ N m}$, $b = 0,47 \text{ m}$ et $l_0 = 0,4 \text{ m}$.

La modélisation simplifiée de l'avion avec son amortisseur est donnée sur la Figure 16. A partir de cette idéalisation, on obtient la fonction de transfert suivante qui lie la hauteur z_a de l'avion à la hauteur z_p des aspérités de la piste

$$\frac{Z_a(p)}{Z_b(p)} = \frac{K + F_v \cdot p}{K + F_v \cdot p + M_e \cdot p^2}$$

où Z_a et Z_p sont respectivement les transformées de Laplace de z_a et de z_p et M_e est la masse suspendue équivalente.

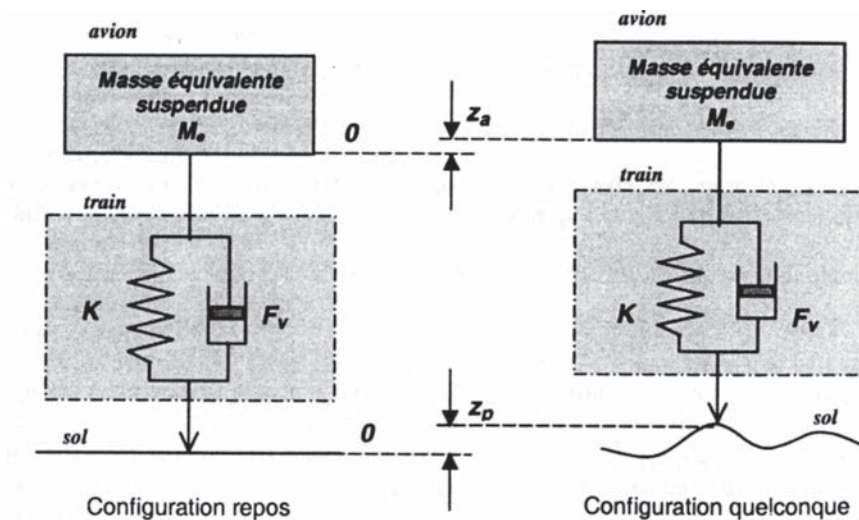


FIGURE 16: Modèle simplifié de l'avion au roulage

Q7. Mettre cette fonction de transfert sous forme canonique et donner l'expression correspondante de ses paramètres (gain statique k , constante de temps τ , coefficient d'amortissement réduit ξ et pulsation propre non amortie ω_n).

La masse M_e est fixée par le cahier des charges de l'avionneur tandis que la valeur de K résulte du dimensionnement de l'amortisseur selon les normes de calcul. La valeur de F_v résulte de la taille du passage liant les chambres 1 et 2 qui est fixée par l'objectif d'amortissement optimal à l'impact.

Q8.

Q8a. Donner la valeur numérique de ces paramètres canoniques pour $M_e = 50\,000\text{ kg}$, $K = 7\,106\text{ N m}^{-1}$ et $F_v = 60\,000\text{ N s m}^{-1}$.

Q8b. Quelle valeur de F_v aurait-il fallu pour que le coefficient d'amortissement réduit du mode complexe soit de $\xi = 0,5$?

On considère désormais pour les questions suivantes que la fonction de transfert est donnée par :

$$\frac{Z_a(p)}{Z_b(p)} = \frac{1 + 0,01 \cdot p}{1 + 2 \frac{0,1}{10} \cdot p + \frac{p^2}{10^2}}$$

Q9. Tracer le lieu de Bode et les asymptote de cette fonction de transfert en indiquant avec précision les pulsations, les valeurs et les pentes caractéristiques.

On modélise les irrégularités de la piste par une fonction de la forme $z_p = z_{p0} \cdot \sin(c \cdot y)$ où z_{p0} est l'amplitude de ces irrégularités et où c est une constante. On considère que l'avion est animé d'une vitesse horizontale constante \dot{y}_0 soit $y = \dot{y}_0 \cdot t$.

Q10. Quelle est la relation liant z_a et z_p aux très faibles vitesses ($\dot{y}_0 \approx 0$) ? Que se passe-t-il donc physiquement sur l'avion ?

Q11. Que se passe-t-il à une vitesse telle que $\dot{y}_0 = \frac{\omega_n}{c}$ où ω_n est la pulsation propre non amortie du second ordre de la fonction de transfert $\frac{Z_a(p)}{Z_b(p)}$? On étayera la réponse par l'évaluation rapide du rapport d'amplitude $\frac{z_a}{z_b}$ à cette fréquence (la pulsation résonance est proche de la pulsation propre non amortie).