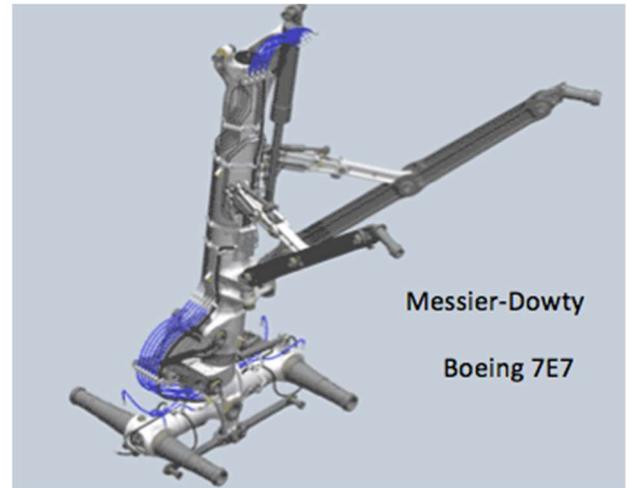


L'amortisseur de train d'atterrissage est avant tout dimensionné pour amortir l'impact à l'atterrissage. Cependant, l'amortisseur de train est également l'élément à travers lequel l'avion est lié à la piste durant les phases de roulage. Il doit notamment filtrer les sollicitations imposées par les irrégularités de la piste à la structure de l'avion, à ses équipements et ses occupants.

Objectif : 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 et analyser une nouvelle solution qui permet de concilier les deux critères.



1- Dimensionnement de l'atterrisseur à l'impact

Extrait du cahier des charges

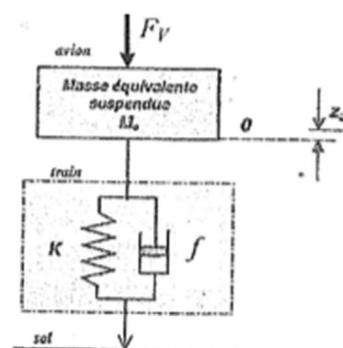
Exigence	Critères	Niveau
2.1.2 : Absorber l'énergie cinétique verticale de l'avion	- Facteur de charge n $n = F_V / M_e g$ - Course de l'atterrisseur	$n < 1,2$ pour $M_e = 50000\text{kg}$ $z_a < 500\text{mm}$

La fonction de transfert qui lie la hauteur z_a de l'avion à l'effort vertical F_v au moment de l'impact est de la forme :

$$\frac{Z_a(p)}{F_v(p)} = \frac{1}{K + fp + M_e p^2} = H_1(p)$$

où $Z_a(p)$ et $F_v(p)$ sont respectivement les transformées de Laplace de $z_a(t)$ et de $F_v(t)$, M_e est la masse suspendue équivalente de l'avion.

Figure 1 : Modèle simplifié de l'avion à l'impact



Après avoir allumé le PC, lancer Scilab (dans le répertoire « Automatique » sur le bureau).

Construire le schéma – bloc :

Icône bleu Xcos, dans les palettes CPGE, Opérateur linéaire, placer un gain et une transmittance, puis Entrées, placer une impulsion de Dirac, puis en sortie un scope et enfin relier les 4 blocs par des liaisons ;

Clic droit, modifier le contexte et définir la valeur $a=1$, palette Analyse, insérer un bloc Time avec une durée de simulation de 5s et un bloc Param Var pour faire varier a [0.1 1 10].



Le bloc Dirac représentant une impulsion unitaire, **Définir** le bloc gain en cliquant 2 fois dessus : entrer la valeur numérique en N du poids de l'impulsion ($nM_e g$). On prendra $g = 10 \text{ m/s}^2$ et le facteur de charge limite.

La fonction de transfert de l'atterrisseur $H_1(p) = \frac{Z_a(p)}{F_v(p)}$ est modélisée par un système du 2^{eme} ordre.

Q1 : Donner l'expression du gain statique G_0 et de la pulsation propre ω_0 en fonction de K et M_e :

$G_0 =$

$\omega_0 =$

Le corps humain peut tolérer au mieux les sollicitations verticales à la fréquence de la marche soit autour de 1,5 Hz. On choisit donc $\omega_0 = 2\pi \cdot 1,5 \approx 10 \text{ rad.s}^{-1}$

Q2 : Calculer les valeurs numériques et unités de K raideur de l'amortisseur et du gain statique G_0

$K =$

$G_0 =$

Définir le bloc H1 : $\frac{Z_a(p)}{F_v(p)} = \frac{G_0}{1+ap+\frac{1}{\omega_0^2}p^2}$ en entrant les valeurs numériques de G_0 et de ω_0 et lancer la simulation pour les différentes valeurs de a .

Rechercher en affinant la simulation la valeur de a la plus petite possible (à 0,05 près), liée à l'amortissement f par $a=f/K$ afin de respecter la course de l'atterrisseur $z_a < 500\text{mm}$ (Pour cela modifier les valeurs de a dans le bloc Param variation)

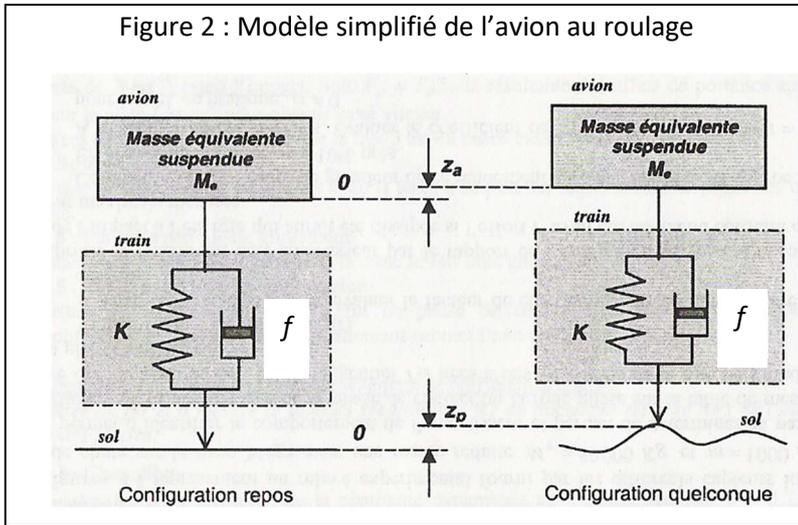
Q3 : En déduire le coefficient d'amortissement ξ correspondant et le type de régime (apériodique, critique ou pseudo-périodique).

$a =$

$\xi =$

régime :

2- Filtrage des irrégularités de piste au roulage



A partir de cette modélisation, 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 :

$$\frac{Z_a(p)}{Z_p(p)} = \frac{K + fp}{K + fp + M_e p^2}$$

où $Z_a(p)$ et $Z_p(p)$ sont respectivement les transformées de Laplace de $z_a(t)$ et de $z_p(t)$, M_e est la masse suspendue équivalente.

Q4 : Mettre cette fonction de transfert sous forme canonique et donner l'expression correspondante de ses paramètres caractéristiques (gain statique k , constante de temps τ du numérateur, coefficient d'amortissement réduit ξ et pulsation propre non amortie ω_0).

K =

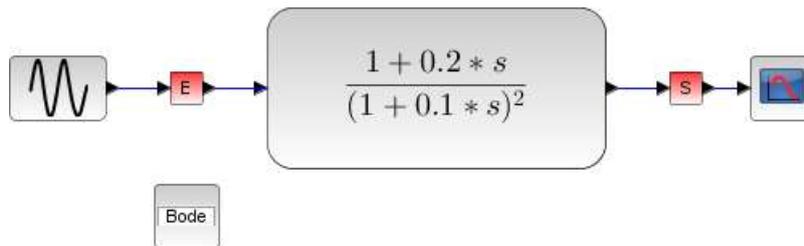
τ =

ξ =

ω_0 =

et Vérifier l'expression de la fonction de transfert : $\frac{Z_a(p)}{Z_p(p)} = \frac{1+0,2p}{(1+0,1p)^2}$.

Modifier le schéma-bloc afin de mettre à jour la nouvelle transmittance $H_2(p)$:



Effacer le gain et l'entrée de type impulsion de Dirac et la remplacer par une entrée sinusoïdale, amplitude 1 (cm), pulsation (appelée ici fréquence) 1rad/s, déphasage 0 (rad).

Supprimer les blocs Time et Param variation et les remplacer par le bloc Réponse fréquentielle (palette Analyse). Programmer ce bloc : type 1 (Bode), entrée E et sortie S, pas d'affichage (0) et bornes fréquentielles entre 1 et 1000rad/s, nombre de points : 1000

Ajouter les blocs E et S (palette Analyse, grandeurs physique et programmer E puis S)

Afficher le diagramme de Bode de $H_2(p)$ en lançant l'analyse. On obtient le diagramme donné en annexe 1.

Q5 : Tracer sur le diagramme de l'annexe 1, le diagramme asymptotique de gain et de phase de $H_2(p)$.

On modélise les irrégularités de la piste par une fonction de la forme $z_p = z_{p0} \sin(cy)$ où z_{p0} est l'amplitude de ces irrégularités (ici $z_{p0} = 1\text{cm}$) et où c est une constante liée à la fréquence spatiale des irrégularités sur la piste (par exemple pour $c = 1 \text{ rad/m}$, on a une bosse tous les 6 mètres environ correspondant au changement de plaque de béton !). On considère que l'avion est animé d'une vitesse horizontale constante \dot{y}_0 , telle que $\dot{y}_0 = \frac{\omega}{c}$ et $y(t) = \frac{\omega}{c} \cdot t$.

Q6 : Déterminer par lecture du diagramme de Bode, la relation liant z_a et z_p aux très faibles vitesses (par exemple $\dot{y}_0 = 3,6 \text{ km.h}^{-1}$). Que se passe-t-il physiquement sur l'avion et pour les passagers ?

Q7 : Vérifier ces conclusions en lançant une simulation : *ajouter un bloc analyse temporelle Time, programmé sur 20s. Modifier le scope pour afficher simultanément 2 courbes, l'entrée E et la sortie S.*

Reproduire ci-dessous l'allure des courbes obtenues :

Q8 : Déterminer à partir du diagramme de Bode, le rapport $\frac{z_a}{z_p}$ maximum et à quelle pulsation ω_R il correspond (on pourra retracer le diagramme de Bode par l'analyse fréquentielle et utiliser l'outil zoom ou le gestionnaire de Datatips)

$$20 \log \left(\frac{z_a}{z_p} \right) =$$

$$\omega_R =$$

En déduire la vitesse \dot{y}_0 de l'avion en km/h pour cette pulsation ω_R :

$$\dot{y}_0 =$$

Q9 : Calculer l'amplitude $z_a(\omega_R)$ du mouvement vertical de l'avion à cette vitesse :

$$z_a(\omega_R) =$$

Vérifier en lançant une simulation après avoir modifié la valeur de la pulsation d'entrée avec ω_R et une durée de simulation à 5s.

3- Influence des irrégularités de piste sur le confort des passagers

L'analyse du confort des passagers ou des sollicitations structurelles de l'avion est conduite à partir de l'examen de la fonction de transfert liant **l'accélération verticale** de l'avion $\gamma_a = \dot{z}_a$ à la hauteur z_p des aspérités de la piste.

Q10 : Etablir la fonction de transfert $\frac{\gamma_a(p)}{Z_p(p)}$ à partir de la fonction de transfert $H_2(p) = \frac{Z_a(p)}{Z_p(p)} = \frac{1+0,2p}{(1+0,1p)^2}$, en considérant les conditions initiales nulles :

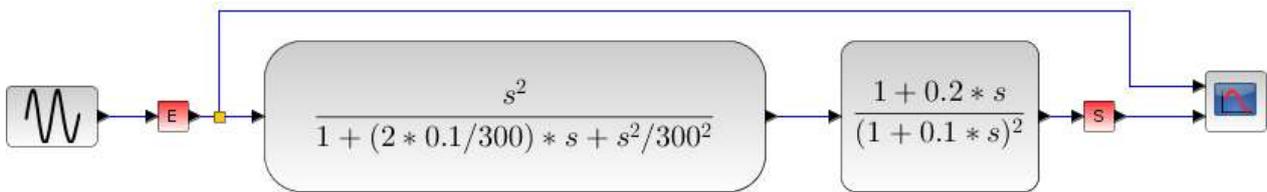
$$\frac{\gamma_a(p)}{Z_p(p)} =$$

Cette forme est-elle physiquement réaliste ? Pourquoi ?

La fonction de transfert réelle est de la forme :

$$\frac{\gamma_a(p)}{Z_p(p)} = H_2(p) \cdot H_3(p) \text{ avec } H_3(p) = \frac{p^2}{1 + 2 \cdot \frac{\lambda}{\omega_1} p + \frac{1}{\omega_1^2} p^2}, \omega_1 = 300 \text{ rad.s}^{-1} \text{ et } \lambda = 0,1$$

Modifier le schéma - bloc afin d'ajouter la nouvelle transmittance $H_3(p)$:

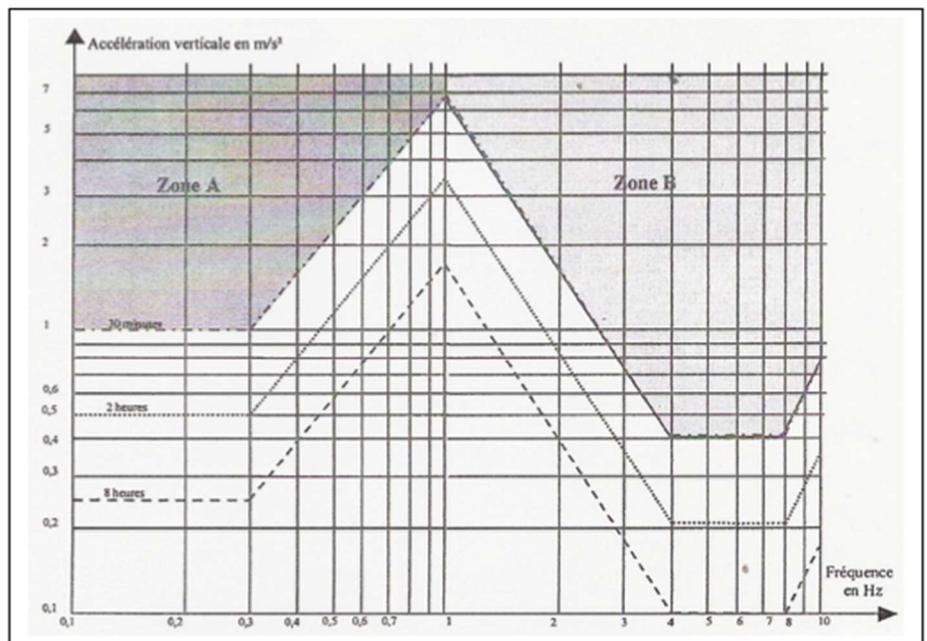


Tracer le diagramme de Bode de $H_2(p) \cdot H_3(p)$ après avoir modifié le domaine fréquentiel entre 0,1 et 10000 (rad/s), et lancer la simulation. On obtient le diagramme de l'annexe 2.

Q11 : Tracer le diagramme asymptotique de $H_2(p) \cdot H_3(p)$ sur le diagramme de gain et de phase de l'annexe 2.

La norme AFNOR E90-400 propose un modèle de tolérance physiologique aux vibrations verticales.

Sur ce graphe, on identifie « la zone de mal des transports » (Zone A) et « la zone d'inconfort vibratoire » (Zone B).



Q12 : Déterminer l'accélération verticale maximale que peut supporter le corps humain, sollicité avec une fréquence comprise entre 4 et 8 Hz pendant 30 minutes sans être incommodé.

$\gamma_{a0} =$

Calculer le rapport d'amplitude maximal correspondant en supposant que l'amplitude des aspérités de piste vaut $z_{p0} = 1$ cm.

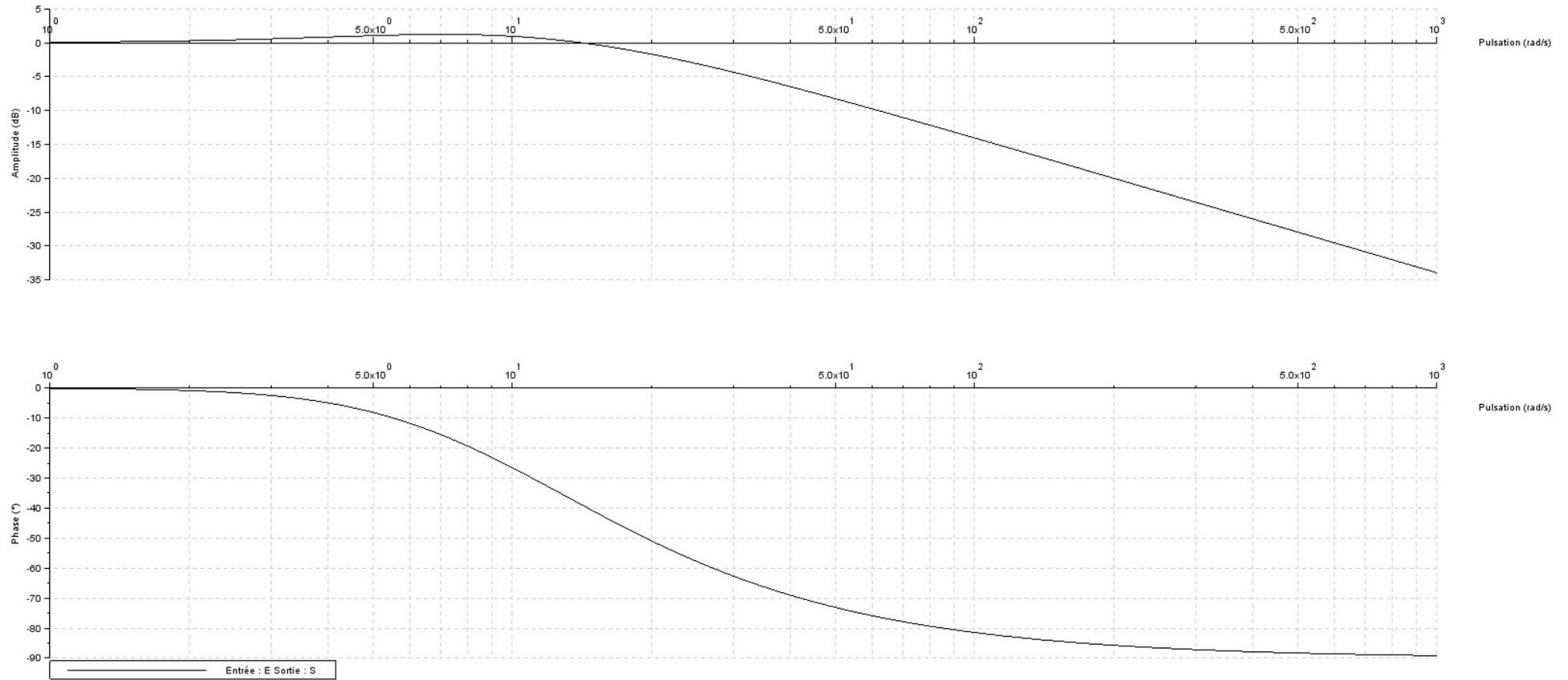
$$20\log\left(\frac{\gamma_{a0}}{z_{p0}}\right) =$$

Tracer sur le diagramme de gain de l'annexe 2 le niveau correspondant en dB (Attention le diagramme de Bode est gradué en pulsation et non en fréquence).

Q13 : Déterminer de même le rapport maximal $\frac{\gamma_{a0}}{z_{p0}}$ à la fréquence 1,5Hz et reporter le point sur le diagramme de gain de l'annexe 2.

Conclure sur le confort des passagers pendant la phase d'atterrissage.

Annexe 1 : Diagramme de Bode de $H_2(p)$



Annexe 2 : Diagramme de Bode de $H_2(p).H_3(p)$

