

1 Véhicule à trois roues Clever (Extrait du concours PT SiA 2013)

Le Clever, présenté sur la **Figure 1**, est un démonstrateur technologique. Clever est la contraction de Compact Low Emission VEHiclefor uRban tRansportation (véhicule compact à faibles émissions pour le transport urbain).

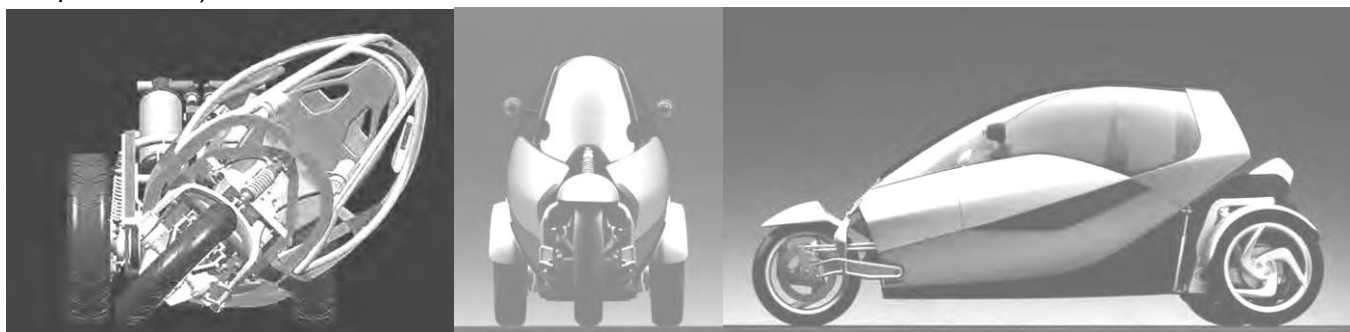


Figure 1 - Véhicule à trois roues Clever

À l'issue de l'analyse fonctionnelle technique, les performances qui ont été retenues sont les suivantes :

Type de véhicule	inclinable à 3 roues
Disposition des sièges	en tandem
Longueur hors tout	3 m
Largeur hors tout	1 m
Hauteur hors tout	1,35 m
Poids à vide	395 kg
Châssis	aluminium
Carrosserie	matériau synthétique
Moteur	monocylindre à gaz naturel de 213 cm ³
Puissance maxi	20 Ch DIN (soit 15 kW) à 9000 tr/min
Couple maxi	16 N.m à 6500 tr/min
Vitesse maxi	100 km/h
Accélération	0-60 km/h en un temps inférieur à 7 s
Autonomie	100 km

Tableau 1 - Caractéristiques techniques

2 Contrôler le mouvement de l'habitacle

Objectif. — L'objectif de cette partie est de définir le correcteur et de déterminer les valeurs numériques de ses paramètres caractéristiques, afin d'obtenir un asservissement en poursuite du mouvement de l'habitacle validant les critères de la fonction « Contrôler le mouvement de l'habitacle » qui a été proposée pour assurer la fonction « Modifier l'inclinaison de l'habitacle ».

2.1 Modélisation du dispositif d'inclinaison hydraulique

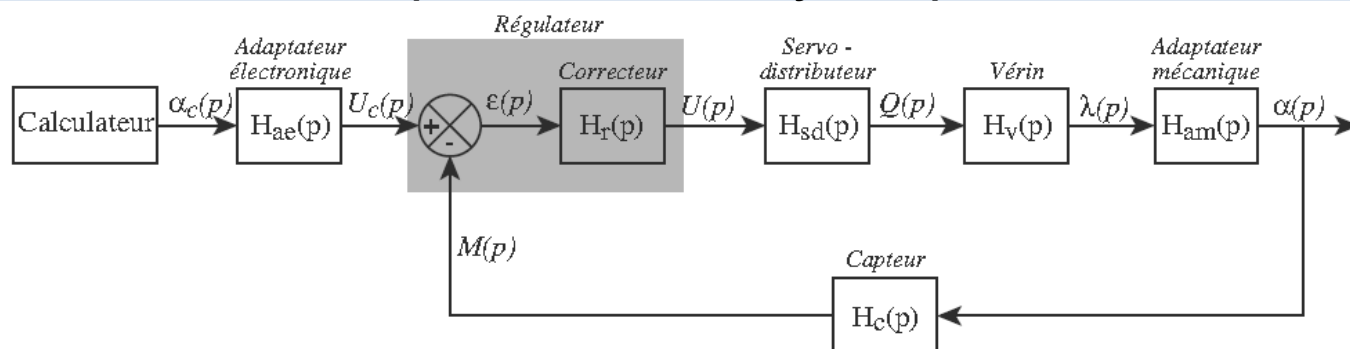


Figure 2 : Architecture générale du contrôle de l'orientation de l'habitacle

$$H_C(p) = C \quad H_{sd}(p) = K_S \quad H_{am}(p) = R \quad H_V(p) = \frac{K_V}{p \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{z_V}{\omega_p} \cdot p + \frac{p^2}{\omega_p^2} \right)}$$

Valeurs numériques:

$$C = 1 \text{ V/rad}$$

$$\omega_V = 50 \text{ rad.s}^{-1}$$

$$K_S = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$$

$$z_V = 0,5$$

$$K_V = 1,25 \cdot 10^3 \text{ m}^2 \cdot \text{s}$$

$$R = 7,5 \text{ rad/m}$$

Le tableau suivant rappelle les critères et niveaux associés imposés par le cahier des charges.

Exigence	Critères d'appréciation	Niveau
Contrôler le mouvement de l'habitacle	<ul style="list-style-type: none"> Ecart de trainage pour une entrée en rampe unitaire Ecart dynamique (écart maximum à tout instant) Temps de réponse à 5 % Marge de phase Pulsation de coupure de la boucle ouverte 	<ul style="list-style-type: none"> 0° < 1° ≤ 0,1 s comprise entre 45° et 50° comprise entre 50 et 70 rad/s

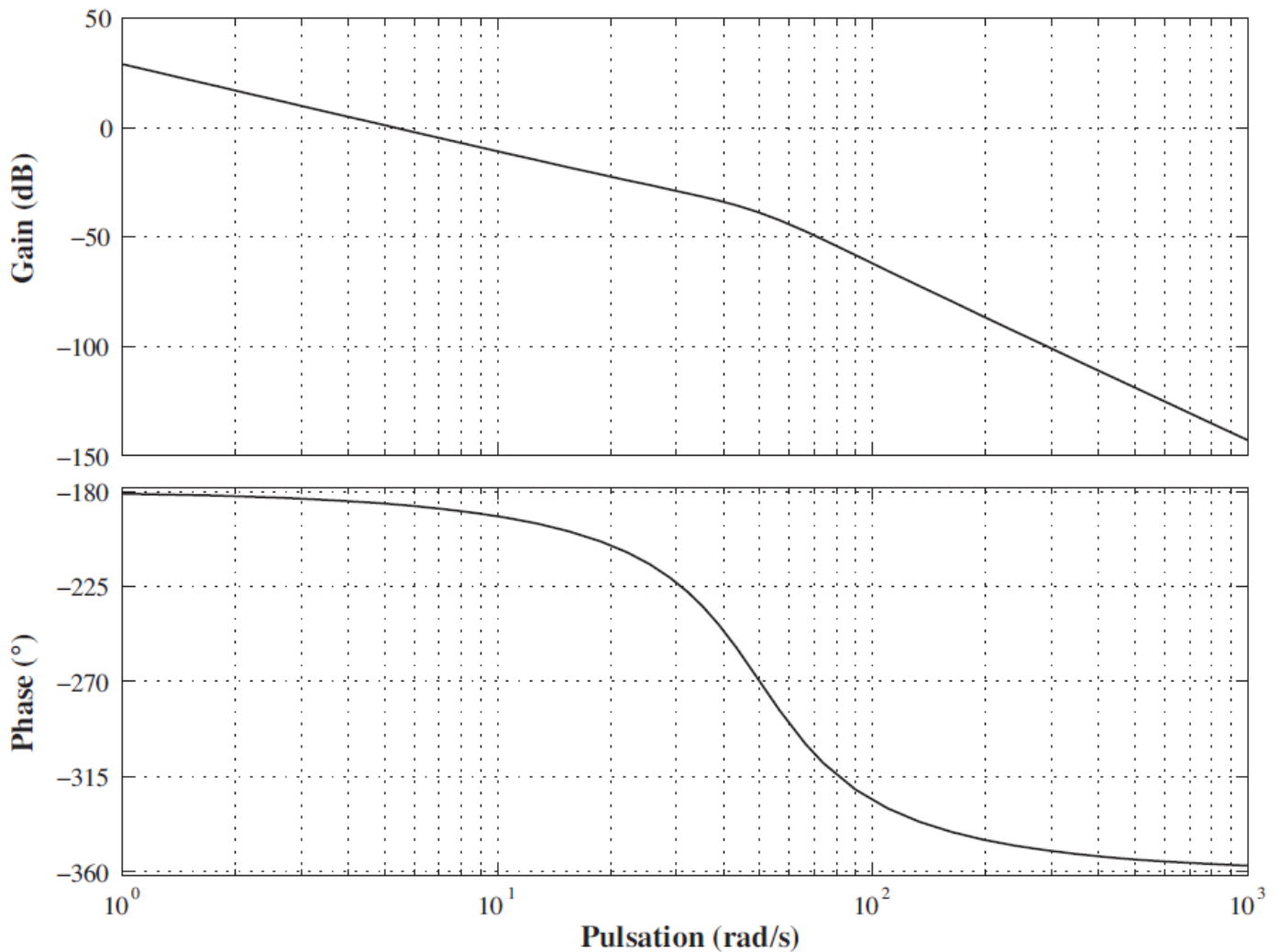
Le temps de réponse de l'adaptateur électronique est suffisamment faible comparativement aux temps caractéristiques des autres systèmes pour que l'on puisse modéliser son comportement temporel par un gain pur K_{ae} .

1) Donner l'expression de $H_{ae}(p)$ pour que l'écart $\varepsilon(t)$ ait un sens.

2.2 Première correction

Afin de répondre au critère du cahier des charges concernant la précision statique du système, on choisit de placer un intégrateur comme premier correcteur : $H_r(p) = \frac{K_i}{p}$.

2) On donne ci-après le diagramme de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte $FTBO_2$ du système asservi pour $K_i = 1$ et telle que $M(p) = FTBO_2(p) \cdot \varepsilon(p)$. Déterminer, en expliquant clairement la méthode employée, la valeur de K_i qui permet d'évaluer la marge de phase à $\omega_c = 60 \text{ rad.s}^{-1}$.



- 3) Avec la valeur K_i précédemment retenue, combien de correcteurs à avance de phase réglés pour apporter chacun 50° au maximum faudrait-il incorporer dans le régulateur pour satisfaire le critère de marge de phase du cahier des charges ?

On souhaite réaliser une simulation du comportement temporel du système ainsi corrigé pour un passage de 0 à 45° de l'habitacle en $0,75$ s. Le signal de consigne est donné sur la **Figure 3**. Le logiciel de simulation ne possède pas de bloc de signal d'entrée correspondant à ce type de fonction, mais il est possible d'utiliser des blocs de type « rampe » possédant les critères :

- pente de la rampe ;
- instant de départ de la rampe.

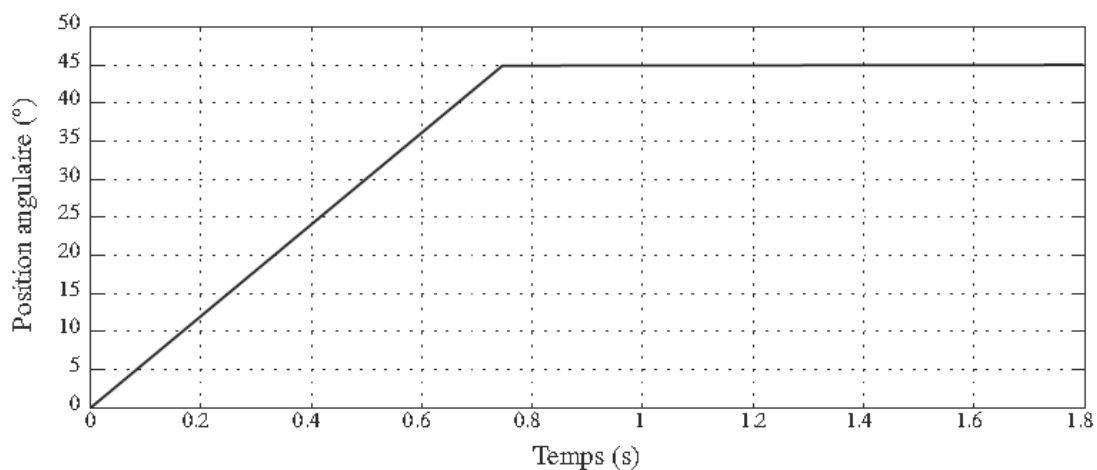
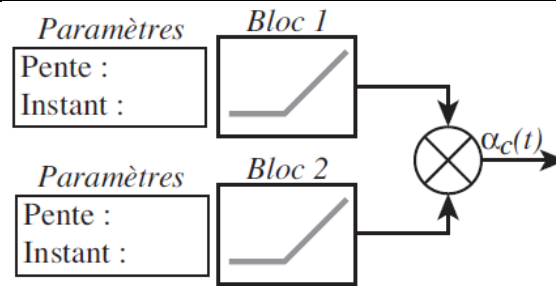


Figure 3 : Signal de consigne pour une simulation d'une rotation de 0 à 45° en $0,75$ s



- 4) Donner les paramètres à entrer dans les 2 blocs de type « rampes » et préciser l'opération mathématique à effectuer entre les deux blocs afin d'obtenir le signal présenté sur la **Figure 3**.

La réponse obtenue par la simulation est présentée sur la **Figure 4**.

- 5) Quels sont les critères non satisfaits ?

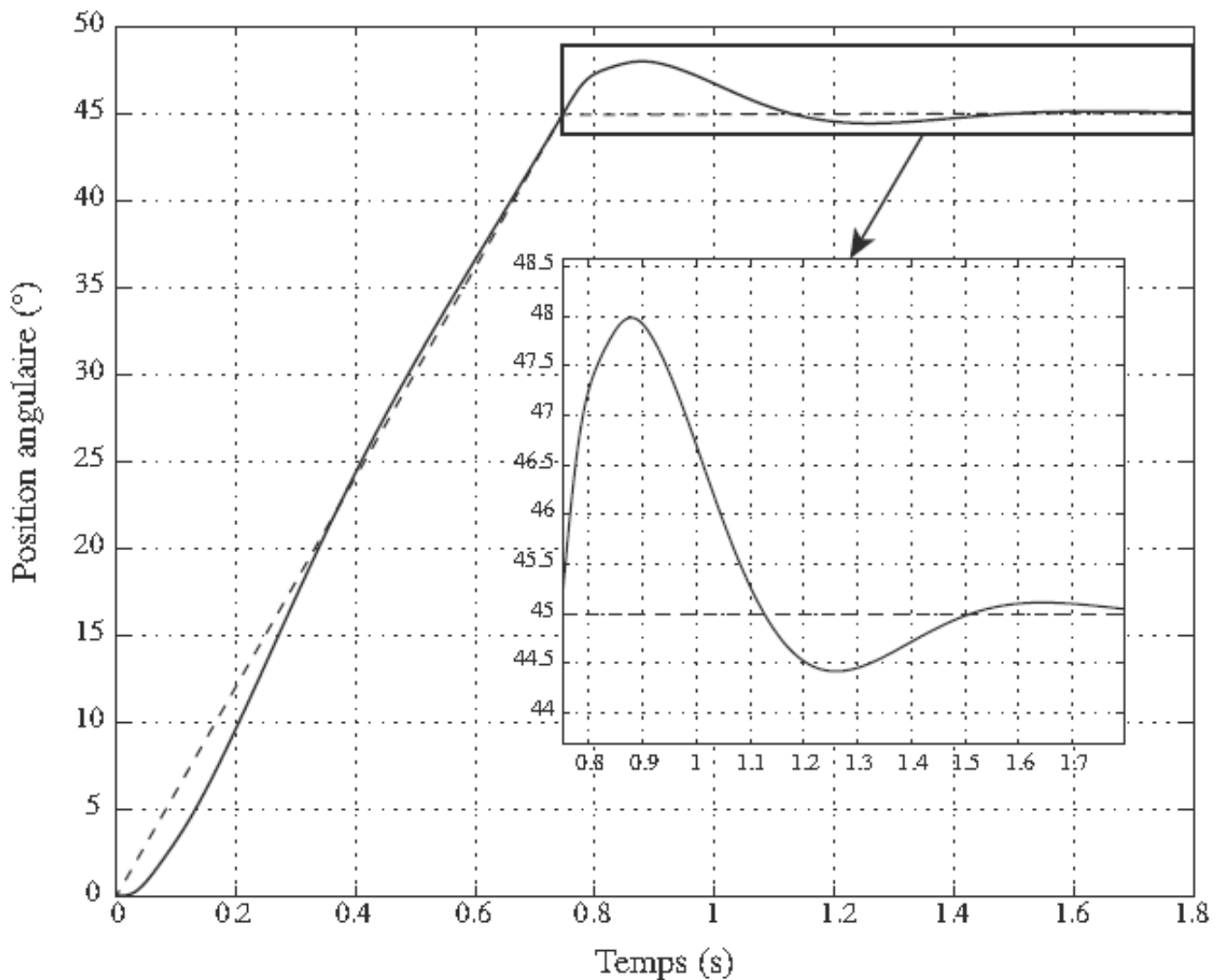


Figure 4 : Résultat de la simulation du passage de 0 à 45° en 0,75 s

2.3 Deuxième correction

On choisit un filtre électronique du second ordre de type *Notch* de fonction de transfert

$$H_N(p) = \frac{1 + \frac{2z_n}{\omega_n} p + \frac{p^2}{\omega_n^2}}{1 + \frac{2z_d}{\omega_d} p + \frac{p^2}{\omega_d^2}}$$

Le réglage optimum du correcteur doit compenser parfaitement le mode de second ordre de la fonction de transfert du vérin. Pour cela, on effectue un essai afin d'identifier les caractéristiques de ce mode. Aucun réglage spécifique du débit de fuite n'a été réalisé, la compensation du mode rendant inutile cette étape.

Une tension de consigne $u_e(t) = 0,02.u(t)$ (avec $u(t)$ l'échelon unitaire) est envoyée en entrée du servo-distributeur.

Une génératrice tachymétrique, dont le comportement est modélisé par un gain pur $K_{gt} = 2V.rad.s^{-1}$ mesure la vitesse de rotation de l'habitacle. Cette tension est notée $m_w(t)$.

Le résultat de cet essai est donné sur la **Figure suivante** :

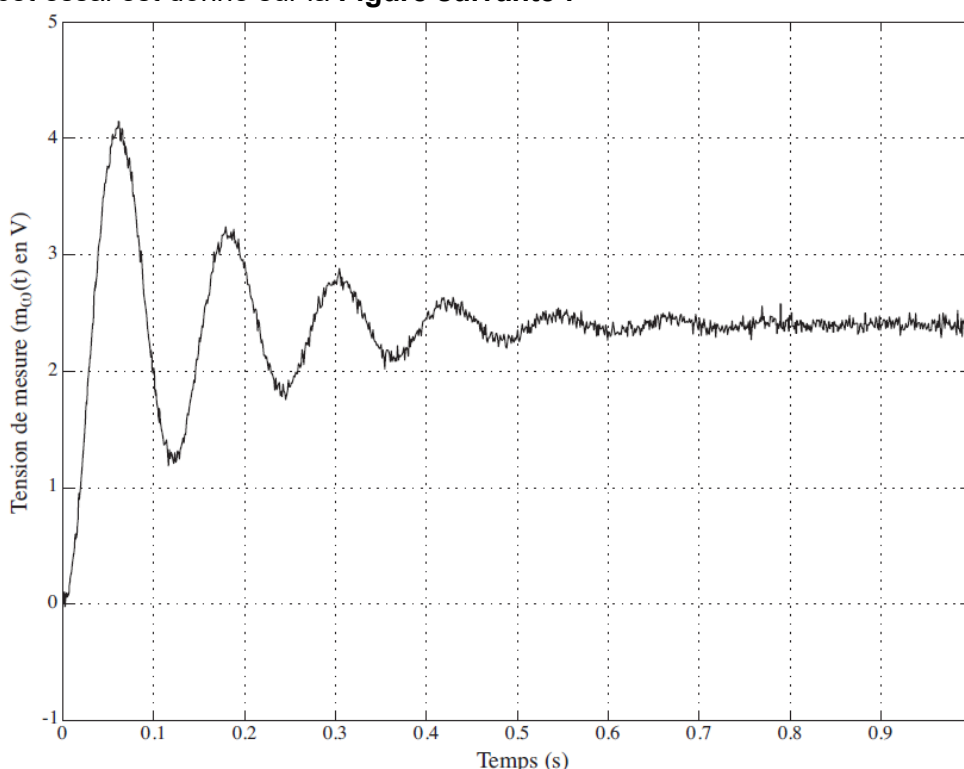
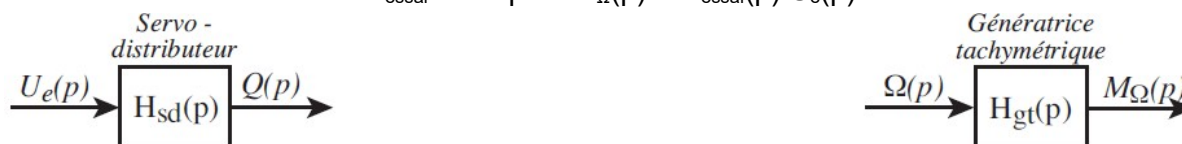


Figure 5 : Réponse indicielle en boucle ouverte de l'asservissement de vitesse

- 6) Sachant que la vitesse $\Omega(p)$ est la dérivée de l'angle $\alpha(p)$ de l'habitacle, compléter sur le schéma-bloc suivant représentant cet essai (on utilisera les blocs déjà présents sur la **Figure 2**). En déduire la fonction de transfert H_{essai} telle que : $M_\Omega(p) = H_{essai}(p).U_e(p)$.



- 7) En vous aidant de l'abaque de la **Figure 6**, déterminer les valeurs numériques expérimentales de z_v à partir de la courbe obtenue expérimentalement (Figure 5). Déterminer également la valeur de $\omega_v = \omega_p \sqrt{1 - z_v^2}$ où ω_p est la pseudo-pulsation de la réponse amortie qui s'obtient par mesure de la pseudo-période T_p sur la réponse expérimentale.

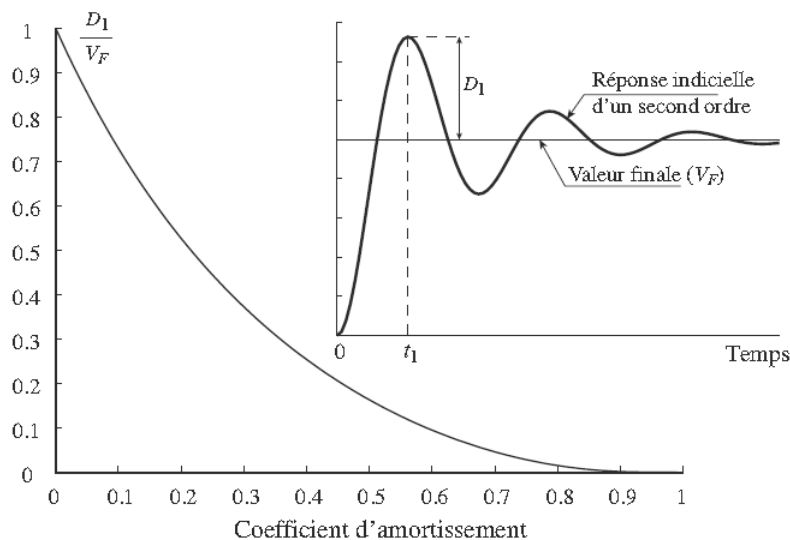


Figure 6 - Évolution du premier dépassement relatif à la valeur finale en fonction du coefficient d'amortissement (pour une fonction de transfert du second ordre)

On suppose par la suite que le numérateur du filtre Notch compense parfaitement le mode de second ordre de la fonction de transfert du vérin. On adopte les caractéristiques suivantes pour le dénominateur :

- $\omega_d = 1000 \text{ rad.s}^{-1}$;
- $z_d = 1$.

Afin de satisfaire le critère de précision statique du cahier des charges on place un premier correcteur de type intégrateur non unitaire de fonction de transfert : $H_{cor2}(p) = \frac{K_{\Omega}}{p}$

La valeur de K_{Ω} est déterminée afin d'obtenir une pulsation à 0 dB de la fonction de transfert en boucle ouverte de 60 rad.s^{-1} . Le diagramme de Bode de cette fonction de transfert est donné sur la **Figure 7**.

On complète le régulateur par un correcteur à avance de phase de fonction de transfert :

$$H_{av}(p) = K_{av} \cdot \frac{1 + a_{av} \cdot \tau_{av} \cdot p}{1 + \tau_{av} \cdot p} \quad \text{avec} \quad a_{av} > 1 \quad (\text{voir annexe à la fin de l'énoncé})$$

- 8)** Déterminer les valeurs approximatives des paramètres a_{av} , τ_{av} et K_{av} qui permettent de satisfaire le critère de marge de phase du cahier des charges tout en conservant une pulsation à 0 dB de 60 rad.s^{-1} .

Le régulateur étant a priori optimisé, on réalise un essai de validation du comportement temporel de l'inclinaison de l'habitacle, le véhicule étant à l'arrêt. Le calculateur envoie un signal de consigne représentant l'évolution de la position angulaire souhaitée (de 0 à 45° en 0,75 s). La tension délivrée par le capteur angulaire est récupérée par un convertisseur analogique-numérique afin de tracer sur un ordinateur l'évolution temporelle de l'inclinaison de l'habitacle mesurée en degrés. Les deux courbes sont données sur la **Figure 8**.

- 9)** Quels sont les critères du cahier des charges validés ?

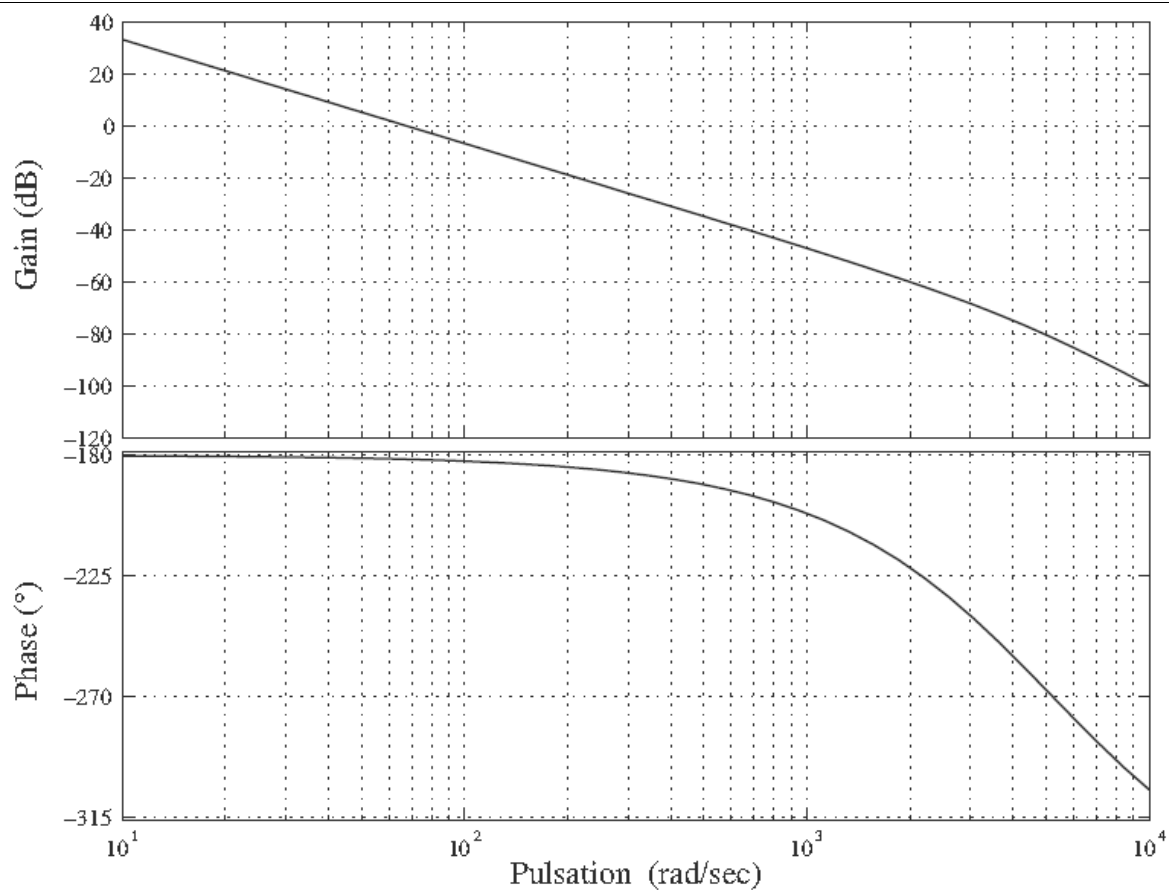


Figure 7 - Diagramme de Bode de la Fonction de Transfert en Boucle Ouverte après correction Intégrale

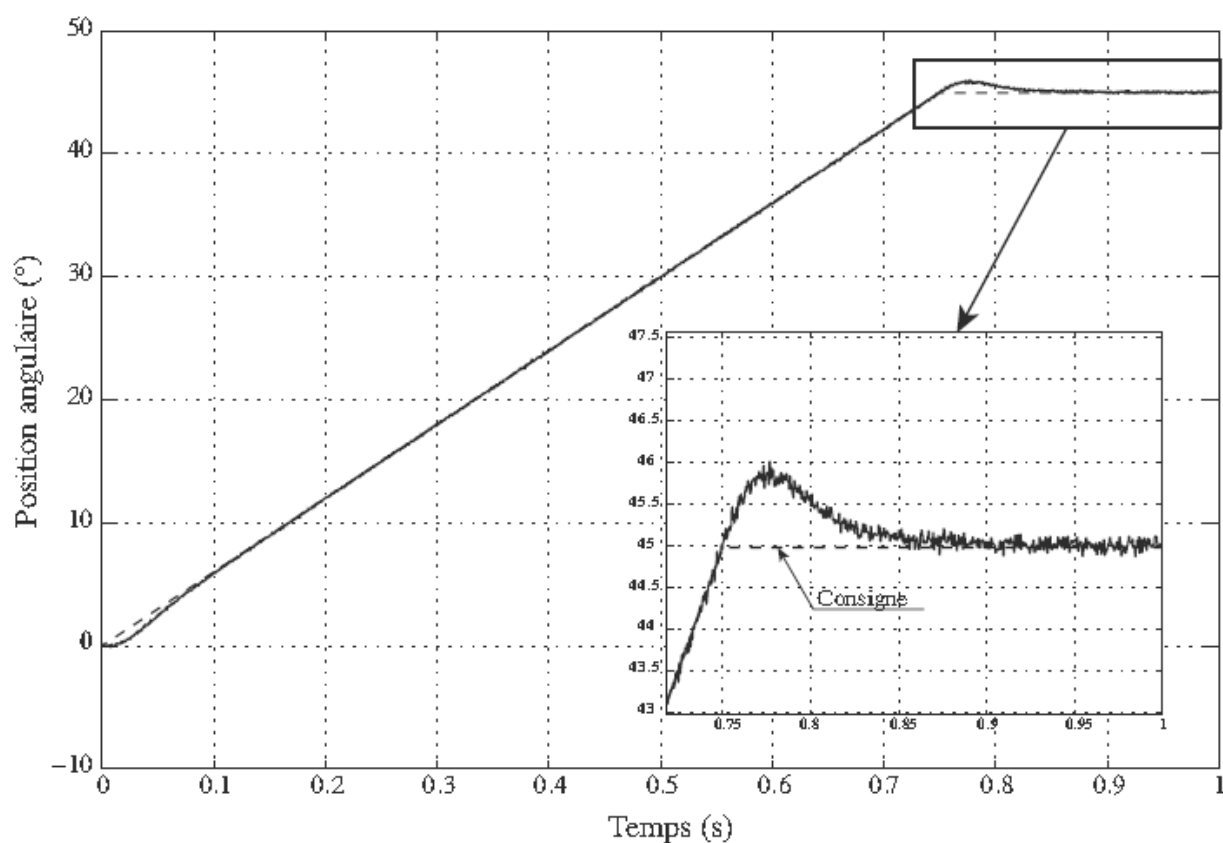


Figure 8 - Essai de validation : passage de 0 à 45° en 0,75 s

ANNEXE

Caractéristiques fréquentielles d'un correcteur à avance de phase

Sur la Figure A.1 sont précisés les diagrammes de Bode d'un correcteur à avance de phase de fonction de transfert :

$$H_{av}(p) = K_{av} \cdot \frac{1 + a_{av} \cdot \tau_{av} \cdot p}{1 + \tau_{av} \cdot p} \quad \text{avec} \quad a_{av} > 1$$

La phase maximum φ_m est reliée au paramètre a_{av} par la relation suivante :

$$\varphi_m = \arcsin\left(\frac{a_{av} - 1}{a_{av} + 1}\right)$$

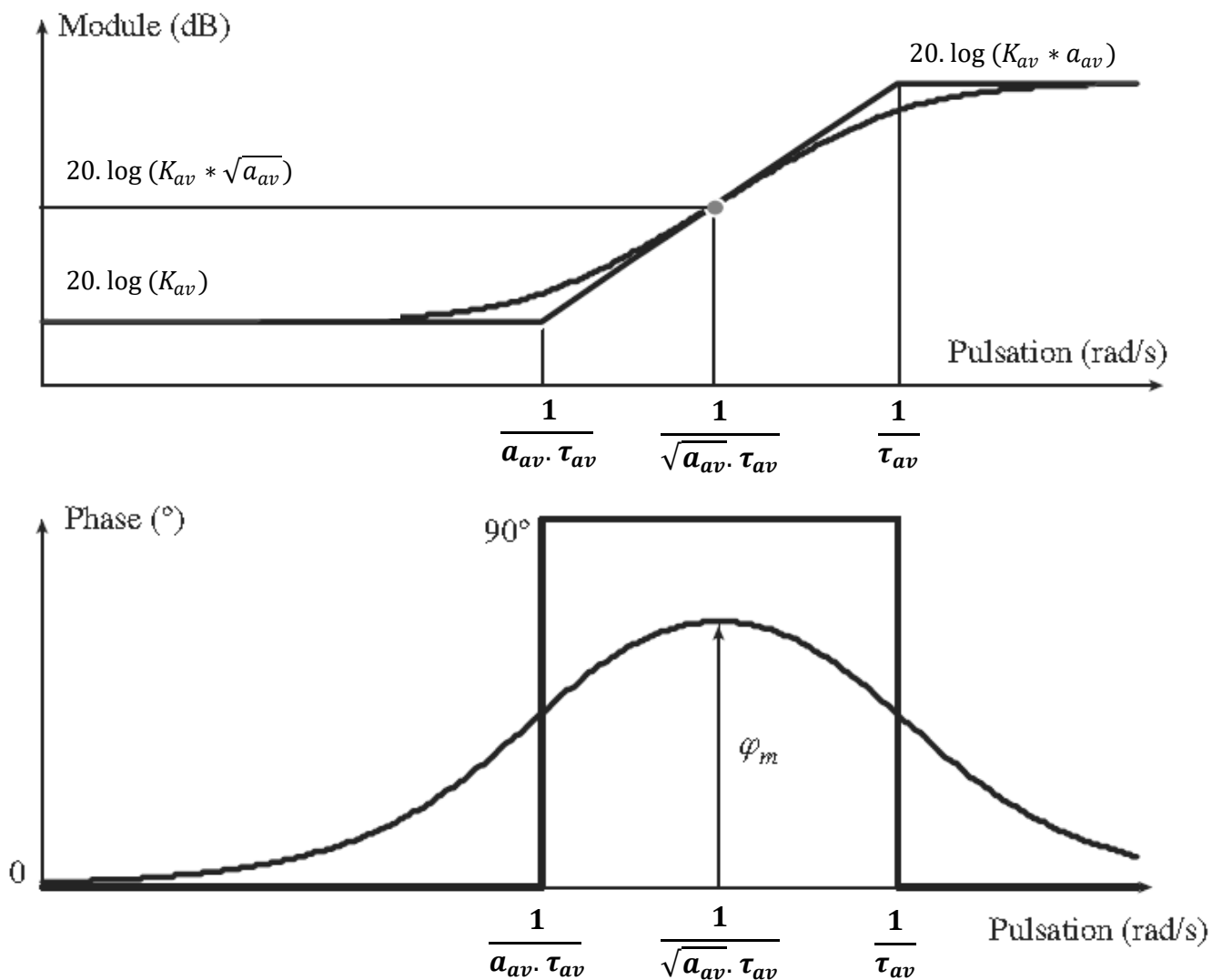


Figure A.1 - Diagrammes de Bode d'un correcteur à avance de phase