CONCOURS COMMUN INP

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PSI

SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Jeudi 2 mai : 14 h - 18 h

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Les calculatrices sont autorisées

Le sujet comporte 20 pages dont :

- 16 pages de texte de présentation et énoncé du sujet ;
- 4 pages de document réponse **à rendre obligatoirement avec la copie.**

Il est conseillé d'utiliser des feuilles de papier brouillon afin de mettre au point les développements mathématiques, schémas, graphes et courbes, avant de les recopier au propre sur la copie à rendre.

Il est demandé au candidat de bien vouloir inscrire les résultats et les développements nécessaires aux différentes questions sur sa copie, **en précisant bien le numéro de la question traitée et, si possible, dans l'ordre des questions.** Les résultats attendus seront obligatoirement entourés.

MISE EN ŒUVRE DU ROULIS SUR UN SIMULATEUR DE MOTO

Les usagers de deux-roues motorisés sont soumis à un risque accru d'accidents en comparaison aux autres catégories d'usagers. Dans le but de réduire ce risque, la simulation de conduite offre une nouvelle opportunité pour appréhender le comportement des conducteurs dans un cadre sécuritaire et constitue un outil alternatif pour la formation à la conduite.
L'objectif de la simulation de conduite est de stimuler le conducteur afin de donner l'illusion d'une conduite sur un véhicule réel. Cette illusion est un phénomène complexe qui met en jeu les capteurs proprioceptifs de l'être humain [1], notamment ceux des systèmes visuels, somesthésiques et vestibulaires.

Figure 1 – Chute de moto

Le **tableau 1** résume de manière très simplifiée les grandeurs physiques détectées par les différents organes sensoriels :

	Accélérations linéaires	Accélérations angulaires	Vitesse angulaire	Inclinaison	Déplacement
Système visuel				+	+
Système vestibulaire (organes otholitiques)	+ $> 0{,}05\,\mathrm{cm\,s^{-2}}$			+ $> 1{,}5°$	
Système vestibulaire (canaux semi-circulaires)		+ $> 1°\mathrm{s}^{-2}$	+ $> 1°\mathrm{s}^{-1}$		
Système somesthésique	+			+	+

Tableau 1 – Sensibilité aux mouvements (+ présence, seuils de détection précisés dans le tableau)

Concevoir un simulateur nécessite de faire des compromis entre la fidélité de la reproduction perceptive et le coût global de l'architecture proposée. Jouer sur la stimulation conjointe des différents systèmes de perception permet d'augmenter l'illusion de mouvement.

Préambule - Présentation du simulateur

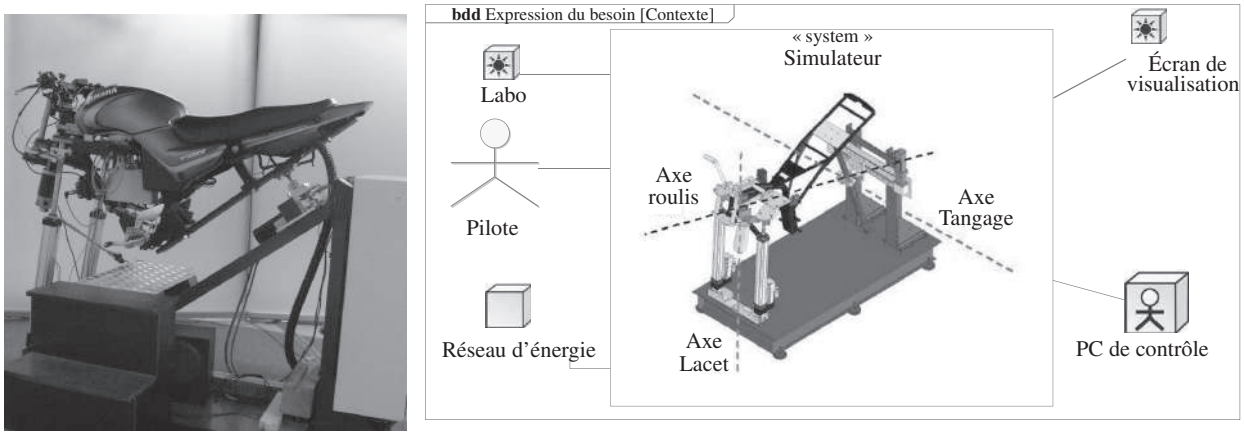
Le simulateur Ifsttar (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux) étudié est un simulateur à plate-forme mobile. Afin de restituer les sensations de mouvement aux utilisateurs du simulateur, trois degrés de liberté ont été privilégiés :

- **le roulis**, c'est le mouvement le plus important dans la dynamique de la moto. Ce degré de liberté est essentiel à la stabilisation et au guidage du véhicule. Il intervient surtout dans la simulation de manœuvres de prise de virages, de slalom et de changement de voie ;

1. Les capteurs proprioceptifs permettent la perception, consciente ou non, de la position des différentes parties du corps. Les récepteurs somesthésiques sont situés dans les tissus de l'organisme (peau, tendons, articulations...) et fournissent les informations de pression, température, douleur par exemple. Le système vestibulaire, composé des canaux semi-circulaires et des organes otolithiques est situé dans l'oreille interne. Les organes otholithiques sont sensibles à l'accélération linéaire verticale ou horizontale de la tête dans l'espace et détectent l'inclinaison de celle-ci par rapport à la gravité. Il contribue donc à la sensation de mouvement. Son fonctionnement peut s'apparenter à celui d'une centrale inertielle.

- **le tangage**, ce mouvement est utilisé pour restituer une partie de l'accélération longitudinale ressentie lors des phases d'accélération et de freinage, celui-ci étant accompagné d'un mouvement de plongée de la fourche ;
- **le lacet**, ce mouvement a été sélectionné spécifiquement pour reproduire le dérapage de la roue arrière de la moto comme dans le cas de situations classiques de danger.

La plateforme du simulateur (**figures 2** et **3**) se compose essentiellement d'un bâti métallique fixe et d'un châssis de moto mobile.



(a) Simulateur Ifsttar (b) Diagramme de contexte

Figure 2 – Simulateur de moto

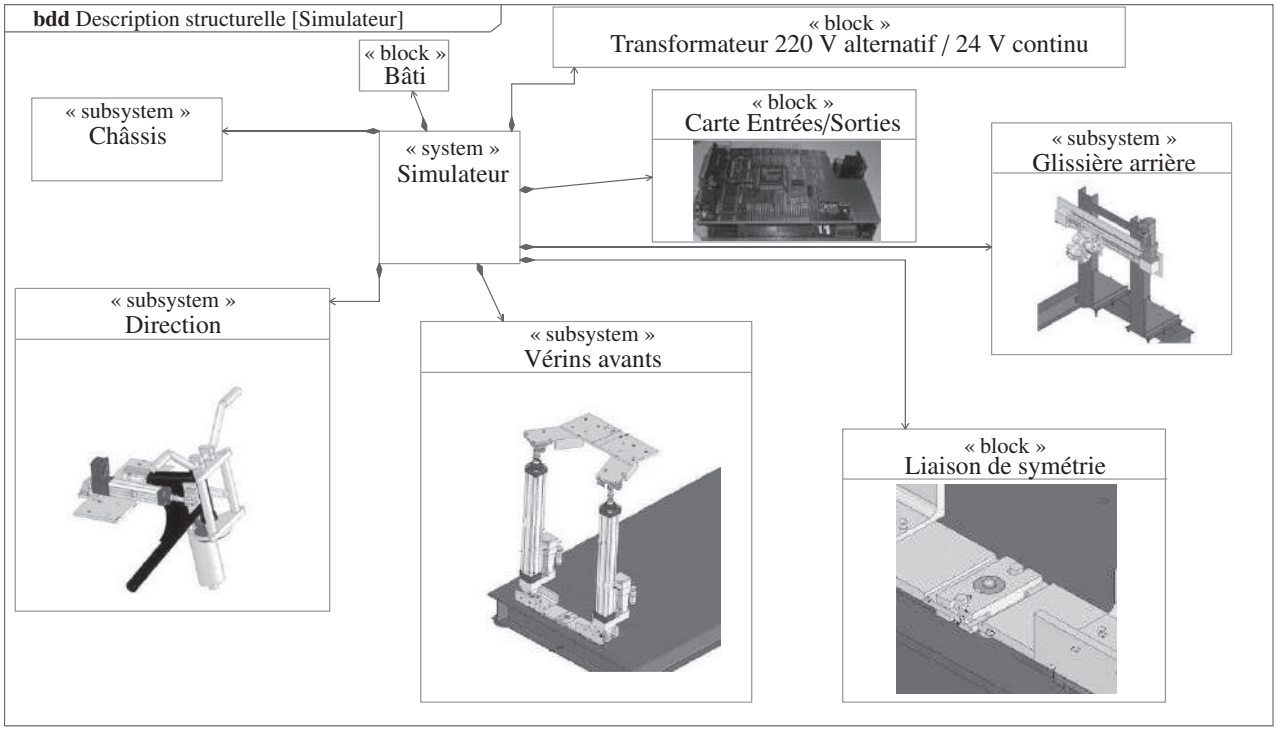


Figure 3 – Diagramme de définition de blocs

Les deux sous-systèmes « vérins avants » et « glissière arrière » permettent de générer les mouvements de roulis, tangage et lacet du châssis de la moto par rapport à la structure fixe.

Le sous-système « liaison de symétrie » sert à imposer une contrainte de déplacement symétrique des deux pivots mobiles qui lient les deux vérins au bâti.
Deux systèmes de rendu d'effort sont installés sur le guidon. Le premier crée un déplacement linéaire du guidon par rapport à la selle afin de donner l'illusion des effets dynamiques d'une accélération ou d'un freinage. Le deuxième génère un moment sur le guidon afin de simuler les efforts résistants du contact pneu-sol lors d'une manœuvre.
Le diagramme des exigences de la **figure 4** liste quelques performances attendues pour le système.

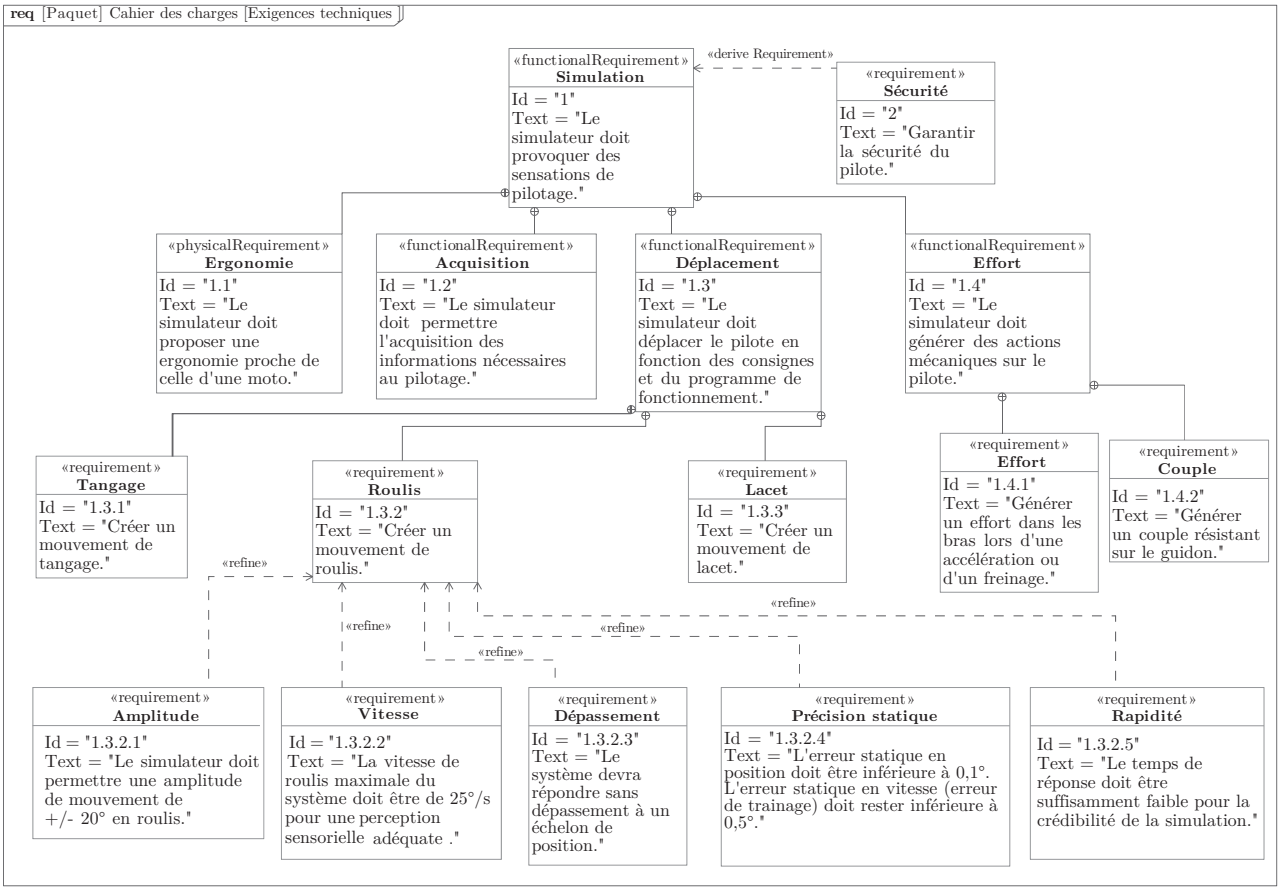


Figure 4 – Diagramme partiel des exigences

L'objectif du travail proposé est d'analyser la mise en œuvre du roulis sur un simulateur de moto au travers de différentes étapes :

- **étude du roulis en situation réelle (partie I) ;**
- **étude du roulis sur simulateur (partie II) ;**
- **mise en œuvre du roulis sur simulateur (partie III) ;**
- **pilotage des vérins de roulis (partie IV).**

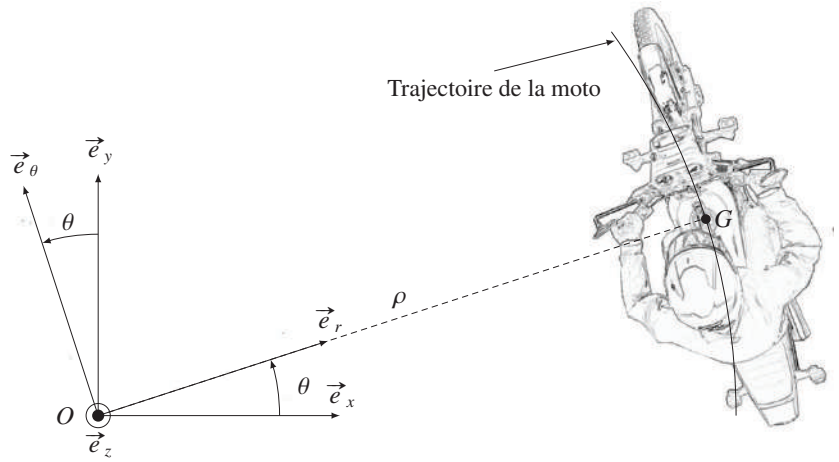
Partie I - Étude du roulis en situation réelle

Objectifs :

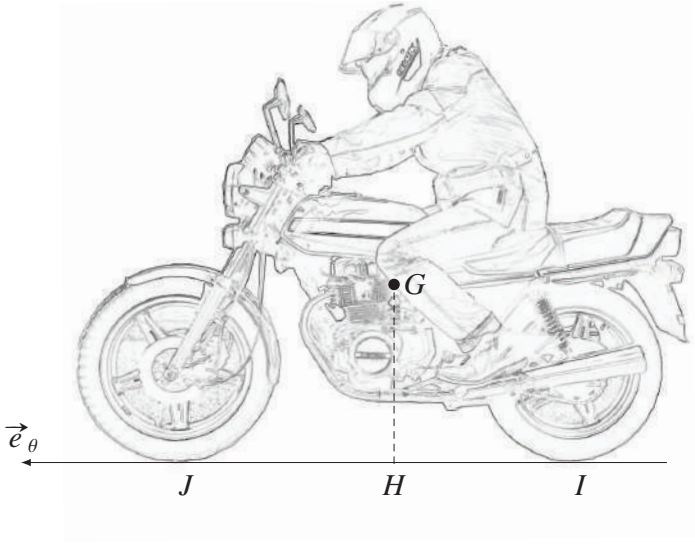
- **mettre en évidence la nécessité d'un angle de roulis lorsque la moto décrit une trajectoire circulaire ;**
- **estimer sa vitesse maximale sur cette trajectoire.**

Paramétrages (figure 5) :

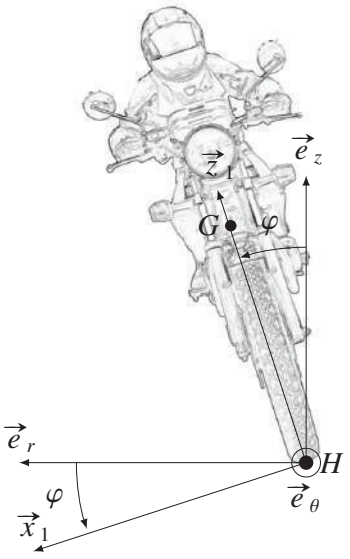
- à la route est associé le repère orthonormé $\mathcal{R}_0(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$, supposé galiléen, tel que $\vec{e}_z$ oriente la verticale ascendante ;
- l'accélération de la pesanteur a pour expression : $\vec{g} = -g\vec{e}_z$ avec $g = 9{,}81\,\mathrm{m\,s^{-2}}$;
- l'équipage mobile Σ constitué de la moto et de son pilote est modélisé volontairement par un solide indéformable de centre d'inertie G et de masse $M = 280\,\mathrm{kg}$;
- on définit la base orthonormée $\mathcal{B}(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$ telle que $\overrightarrow{OG} = \rho\vec{e}_r$ avec ρ le rayon du virage considéré constant. On note $\theta(t) = (\vec{e}_x, \vec{e}_r) = (\vec{e}_y, \vec{e}_\theta)$ l'angle de lacet ;
- le contact entre la route et cet équipage mobile est modélisé par deux liaisons sphère/plan en parallèle de normale $(I, \vec{e}_z)$ et $(J, \vec{e}_z)$. On note H la projection orthogonale de G sur la ligne de contact IJ. On pose $\overrightarrow{IH} = L_1\vec{e}_\theta$ et $\overrightarrow{HJ} = L_2\vec{e}_\theta$;
- on associe à Σ le repère orthonormé $\mathcal{R}_1(G, \vec{x}_1, \vec{e}_\theta, \vec{z}_1)$ tel que $\overrightarrow{HG} = Z_G\vec{z}_1$. On note $\varphi = (\vec{e}_r, \vec{x}_1) = (\vec{e}_z, \vec{z}_1)$ l'angle de roulis.



(a) Trajectoire de la moto - angle de lacet



(b) Equipage mobile



(c) Angle de roulis

Figure 5 – Paramétrages simplifiés de la moto en virage stabilisé

Hypothèses de travail :

- la route est parfaitement plane et horizontale ;
- Σ est assimilé à une masse ponctuelle concentrée en G ;
- les actions mécaniques transmissibles par le contact sol/roue sont modélisées par les torseurs : $\left\{T^I_{sol\to\Sigma}\right\} = \left\{\begin{array}{c}\vec{R}_I \\ \vec{0}\end{array}\right\}_I$ et $\left\{T^J_{sol\to\Sigma}\right\} = \left\{\begin{array}{c}\vec{R}_J \\ \vec{0}\end{array}\right\}_J$;
- f représente le coefficient d'adhérence des contacts roue/sol ;
- la résistance aérodynamique de l'air est négligée ;
- la vitesse de la moto est supposée constante ;
- le rayon de courbure ρ du virage est supposé constant.

Q1. Déterminer le vecteur vitesse du point G, noté $\vec{V}(G/\mathcal{R}_0)$, dans son mouvement par rapport au repère $\mathcal{R}_0$ en fonction de ρ et $\dot{\theta}(t)$. On notera V sa valeur algébrique supposée constante.

Q2. Déterminer le vecteur accélération du point G, noté $\vec{\Gamma}(G/\mathcal{R}_0)$, dans son mouvement par rapport au repère $\mathcal{R}_0$ en fonction de ρ et $\dot{\theta}(t)$. En déduire l'expression de l'accélération en fonction de V et ρ.

Q3. Montrer que le torseur d'action mécanique global du sol sur la moto peut s'exprimer sous la forme $\{T_{sol\to\Sigma}\} = \left\{\begin{array}{c}\vec{R}(sol\to\Sigma) \\ \vec{M}(H,sol\to\Sigma)\end{array}\right\}_H$ avec $\vec{M}(H,sol\to\Sigma)\cdot\vec{e}_\theta = 0$.

Q4. En appliquant le théorème du moment dynamique en H, donner l'expression de l'angle de roulis φ, supposé constant, en fonction de V, ρ et g.
Conclure sur la nécessité d'un angle de roulis lorsque la moto décrit une trajectoire circulaire.

Q5. En appliquant le théorème de la résultante dynamique, déterminer l'expression dans la base $\mathcal{B}$ de la résultante du torseur d'actions mécaniques $\vec{R}(sol\to\Sigma)$ en fonction de M, g, V et ρ.

Q6. En déduire la vitesse maximale de la moto V_{max} ainsi que l'angle de roulis maximum φ_{max} au-delà desquels il y a glissement des roues sur le sol en fonction des paramètres ρ, g et f.
Faire l'application numérique pour $f = 0{,}8$ et $\rho = 25$ m (exprimer la vitesse en km h^{-1}).

Partie II - Étude du roulis sur simulateur

Objectif :

– **valider les exigences Id = "1.3.2.1" et Id = "1.3.2.2" sur l'amplitude et la vitesse du mouvement de roulis.**

En simulation de conduite moto, l'absence d'effet centrifuge est susceptible de générer une sensation de chute. En effet, la seule présence de la force gravitaire sur simulateur est signalée par les inclinomètres que sont les organes otolithiques et par les récepteurs somesthésiques qui renseignent sur les variations des stimulations tactiles et de pression. De plus, une accélération tangentielle (latérale) peut potentiellement être détectée, selon l'intensité de celle-ci, par les organes otolithiques. Cette accélération latérale transitoire est produite sur simulateur lorsque la rotation de ce dernier a lieu selon un axe éloigné du centre de la tête.
Il s'agit donc pour la simulation de conduite moto de chercher à établir un compromis en restituant une vitesse angulaire suffisante pour signaler le début du mouvement de roulis tout en garantissant un angle de roulis limité afin de prévenir toute sensation de chute ou de déséquilibre critique.

Des études ont été réalisées sur un prototype du simulateur afin de déterminer les seuils de détection du roulis d'un panel d'utilisateurs. Le test, effectué sur un panel d'une trentaine de motards plus ou moins expérimentés, consistait en une succession de sollicitations de roulis à différentes vitesses de roulis (vitesse constante sur chaque test). Les seuils de détection du roulis et les seuils de perception de chute ont été enregistrés.

En ce qui concerne la tâche de détection du mouvement et de l'inclinaison, huit vitesses de roulis ont été utilisées (0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 8 et 12°s^{-1}). Pour la tâche de perception de la chute, sept vitesses ont été utilisées (1 ; 2 ; 4 ; 8 ; 16 ; 32 et 48°s^{-1}). Ces vitesses de roulis ont été choisies en référence aux valeurs observées en situation réelle de conduite lors d'une expérience sur moto instrumentée.
Concernant la tâche de détection de la chute, trois comportements distincts ont été observés :

- pour 40 % des motards, la perception de la chute augmente lorsque les vitesses de roulis augmentent (catégorie appelée transition positive) ;
- pour 40 % des motards, la perception de la chute augmente lorsque les vitesses de roulis diminuent (catégorie appelée transition négative) ;
- pour 20 % des motards, aucune sensation de chute n'est perçue quelle que soit la vitesse.

La **figure 6** donne le pourcentage de motards percevant une chute en fonction de la vitesse de roulis pour les deux catégories transition positive et transition négative définies précédemment. La **figure 7** donne la sensibilité de la détection (temps de réponse et angle au temps de réponse) en fonction de la vitesse de roulis.

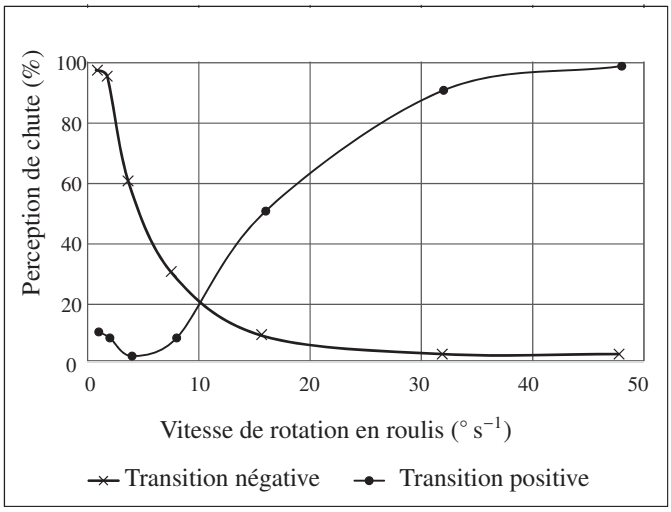


Figure 6 – Perception de la chute

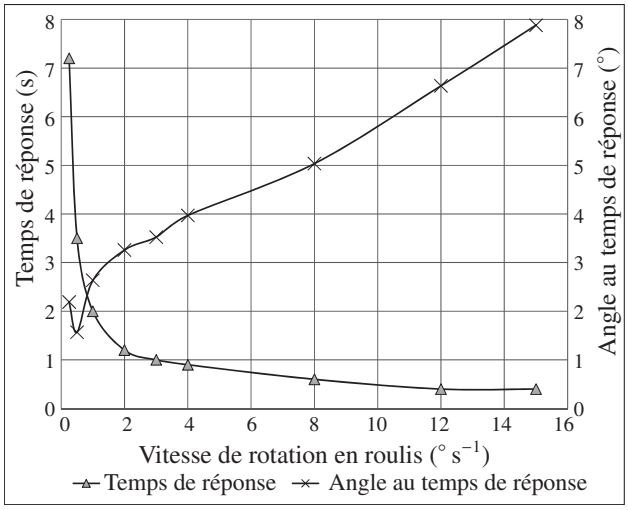


Figure 7 – Seuils de détection du roulis

Q7. À partir de la description des différents comportements de détection de chute et de la **figure 6**, justifier que moins de 20 % des motards détecteront la chute pour des vitesses de roulis entre 5°s^{-1} et 12°s^{-1}.

Q8. En utilisant la **figure 7**, réduire cet intervalle sachant que le temps de détection du mouvement ne doit pas excéder 0,5 s. En déduire la plage de valeurs du déplacement angulaire à l'instant de la détection de la chute.

Si le mouvement de roulis est au départ détecté par le système vestibulaire, le réalisme de la simulation dépend également de l'adéquation entre l'angle de roulis perçu et les caractéristiques du virage. L'angle de roulis physique étant limité à la fois pour une question de coût des composants et à cause de la sensation de chute des utilisateurs, le système vidéo (**figure 8**) rajoute un angle visuel en inclinant l'image dans la direction opposée au virage afin de donner au conducteur la sensation de se rapprocher du sol.
Les résultats d'essais sur un prototype sont présentés sur la **figure 9**. Les conducteurs avaient la possibilité de régler la répartition entre roulis physique et roulis visuel leur donnant la sensation la plus réaliste, pour différentes courbes et à différentes vitesses.

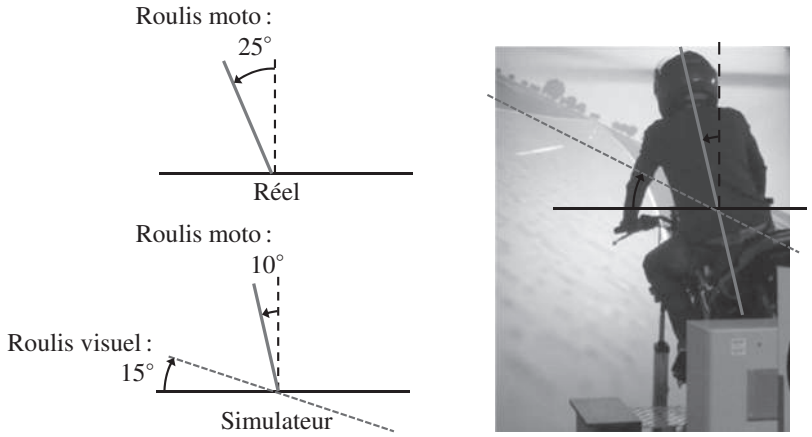


Figure 8 – Illustration de l'utilisation de l'inclinaison de la scène visuelle dans la direction opposée

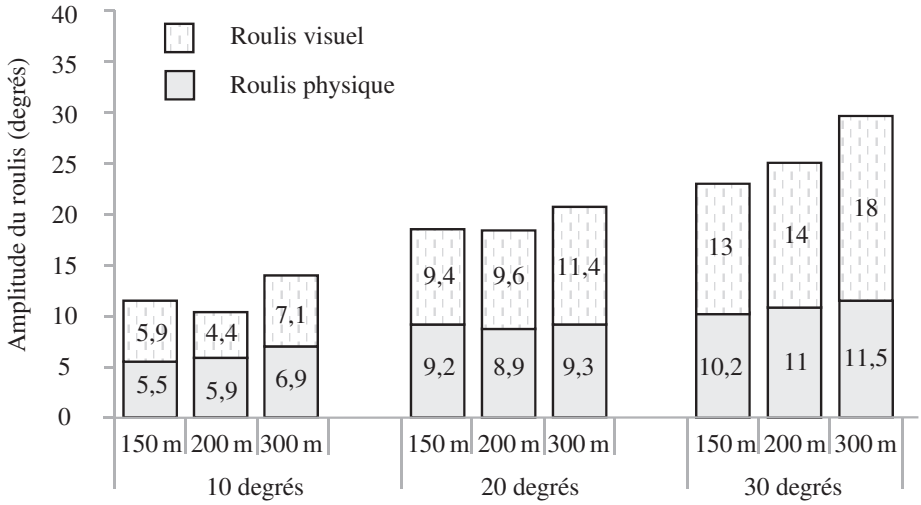


Figure 9 – Amplitude du roulis global (décomposé en roulis physique et visuel) en fonction de l'inclinaison théorique et du rayon de courbure

Q9. Proposer une valeur constante du gain « amplitude du roulis visuel / amplitude du roulis physique » permettant d'obtenir une simulation convenable sur l'ensemble des différentes trajectoires testées.

On considère un angle maximal de roulis global en simulation de 40°.

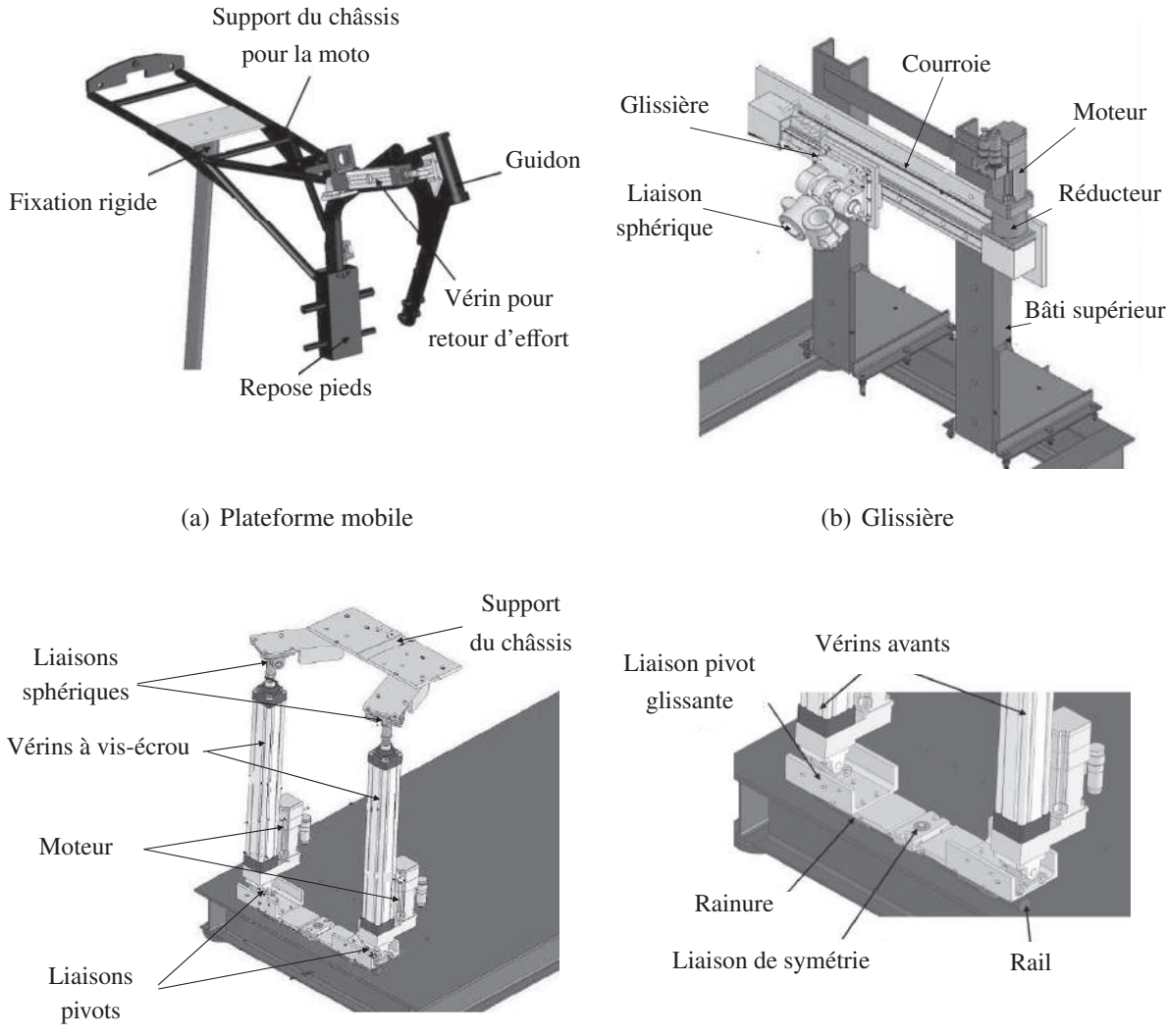
Q10. Déduire de la réponse à la question précédente le débattement angulaire minimal du simulateur à envisager. Est-il compatible avec celui défini dans le diagramme des exigences de la **figure 4** ?

Partie III - Mise en oeuvre du roulis sur simulateur

Objectif :

- **choisir l'actionneur permettant de valider l'exigence de Roulis Id = "1.3.2" : créer un mouvement de roulis.**

III.1 - Structure du simulateur



(a) Plateforme mobile

(b) Glissière

(c) Vérins linéaires

(d) Liaison de symétrie

Figure 10 – Architecture du simulateur

La cinématique retenue pour le simulateur est basée sur une structure articulée permettant trois degrés de liberté par l'intermédiaire de deux vérins linéaires asservis (**figure 10(c)**) et une glissière de type chariot mobile (**figure 10(b)**). La plateforme du simulateur se compose d'une partie supérieure mobile (**figure 10(a)**) et d'un bâti métallique. Enfin, un système mécanique (liaison de symétrie **figure 10(d)**) est développé pour imposer une contrainte de déplacement symétrique des deux pivots mobiles qui lient les deux vérins au bâti, laissant ainsi comme uniques mobilités au système les trois mouvements de roulis, tangage et lacet.

III.2 - Modélisation cinématique du simulateur

La cinématique du simulateur est illustrée par le schéma de la **figure 11**.
Le repère (0) est associé au bâti. Le repère (1) est associé à la plateforme mobile. On désigne par (2a) et (2b) les corps des vérins, (3a) et (3b) les tiges des vérins. Le chariot mobile sera noté (4). La « liaison de symétrie » est composée des pièces (5a), (5b) et (6).

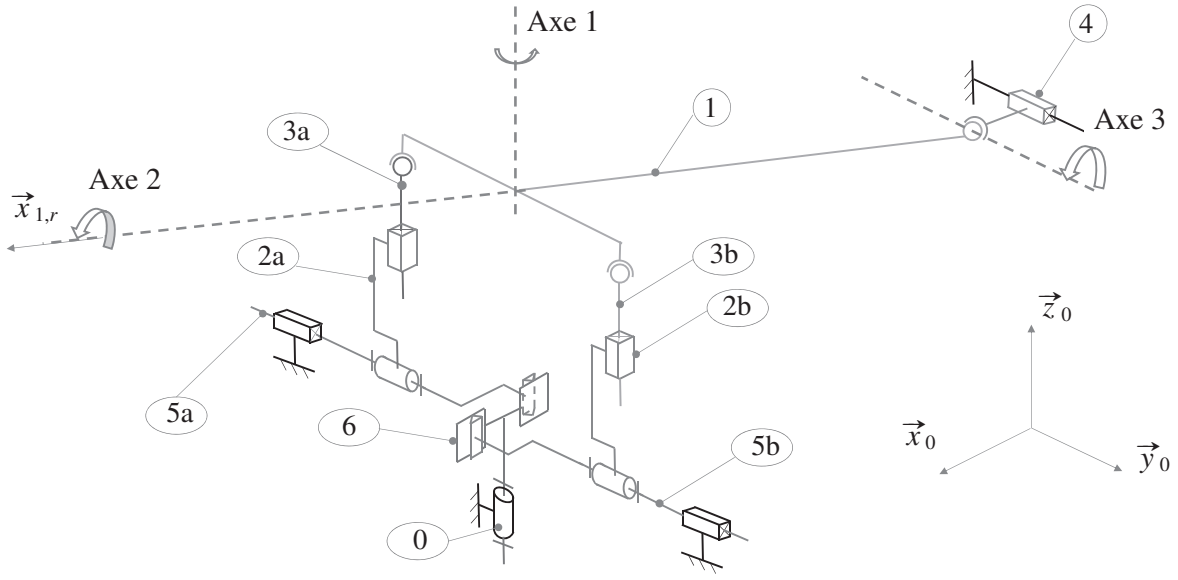


Figure 11 – Modélisation cinématique

Q11. Compléter dans le tableau du **document réponse DR1** le numéro des axes de roulis et tangage ainsi que le sens de déplacement des actionneurs pour obtenir un mouvement dans le sens direct. Vous noterez **X** dans la case de l'actionneur si celui-ci n'est pas sollicité, **+** pour une sortie de tige du vérin et **–** pour une rentrée de tige du vérin.

Q12. Démontrer que le degré d'hyperstatisme total du système est égal à 2. Veiller à préciser la formule utilisée et à détailler le calcul de chacun des termes.

Afin d'éviter les efforts parasites induits par l'hyperstatisme, on souhaite définir en phase de conception un modèle isostatique du système. Il apparaît que l'hyperstatisme du premier modèle est lié à la conception de la « liaison de symétrie » (liaison entre les pièces 5a, 5b et 6).

Q13. Proposer sur le **document réponse DR2** une modification du modèle du dispositif « liaison de symétrie » permettant de le rendre isostatique. La solution proposée ne devra modifier ni la mobilité ni le nombre de pièces du mécanisme.

Pour étudier la cinématique des actionneurs lors d'un mouvement angulaire de roulis, on utilisera pour toute la suite du sujet un modèle plan simplifié du mécanisme représenté par la **figure 12**, page 11, dans laquelle $\varphi_S(t)$ est l'angle de roulis de la plateforme (1) de la moto par rapport au châssis (0).

Q14. Donner la relation entre l'allongement $z(t)$ du vérin et l'angle de roulis $\varphi_S(t)$. En déduire la course Δ_Z permettant de satisfaire l'exigence d'amplitude Id = "1.3.2.1".

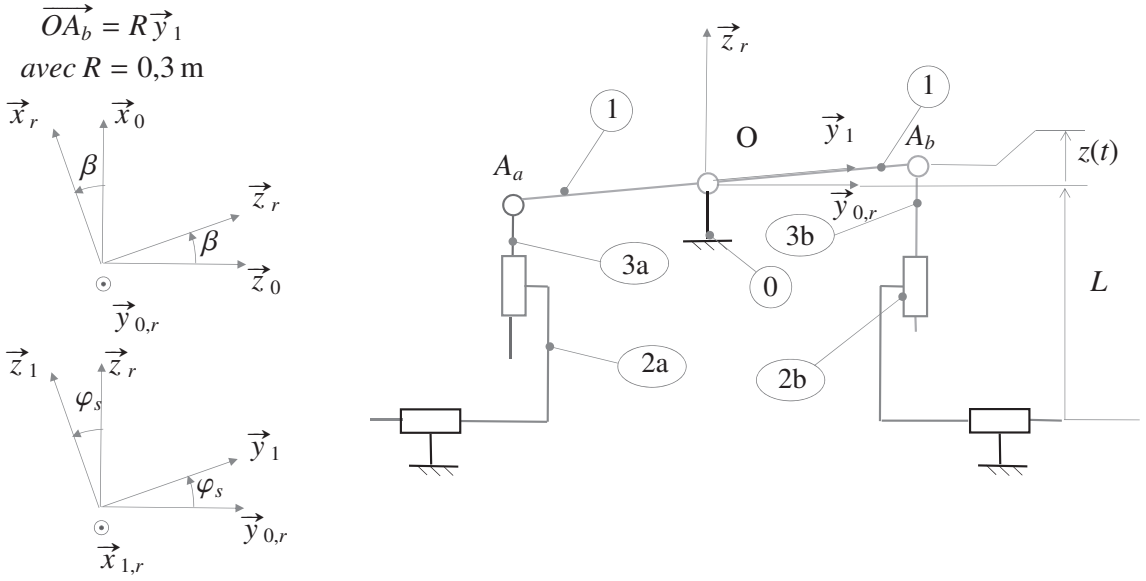


Figure 12 – Modélisation plane du roulis

Q15. Linéariser la relation précédente. Estimer en pourcentage l'erreur liée à la linéarisation :

$$\left|\frac{z_{exact} - z_{approche}}{z_{exact}}\right|.$$

Q16. Donner la relation linéarisée entre la vitesse de translation de la tige de vérin $\dot{z}(t)$ et la vitesse angulaire de roulis $\dot{\varphi}_S(t)$. En déduire la vitesse de translation permettant de satisfaire l'exigence de vitesse Id = "1.3.2.2".

Q17. Choisir les vérins (voir l'extrait de catalogue **tableau 2**) qui permettent de valider les exigences sur l'angle et la vitesse angulaire de roulis.

Modèle	Course (mm)	Pas (mm)	Vitesse maxi ($mm\,s^{-1}$)	Inertie rotor ($g\,m^2$)	Masse (kg)	Charge maximale (N)	Couple nominal (N m)
Vérin 1	75	2,5	210	11	2,9	3 336	1,3
Vérin 2	75	5	420	11	2,9	3 336	1,3
Vérin 3	150	2,5	210	13	3,2	3 336	1,3
Vérin 4	150	5	420	13	3,2	3 336	1,3
Vérin 5	250	2,5	210	15	3,4	3 336	1,3
Vérin 6	250	5	420	15	3,4	3 336	1,3

Tableau 2 – Catalogue de vérins électriques

Partie IV - Pilotage des vérins de roulis

Objectif :

– **vérifier le comportement dynamique des vérins.**

IV.1 - Modélisation de l'asservissement en position d'un vérin

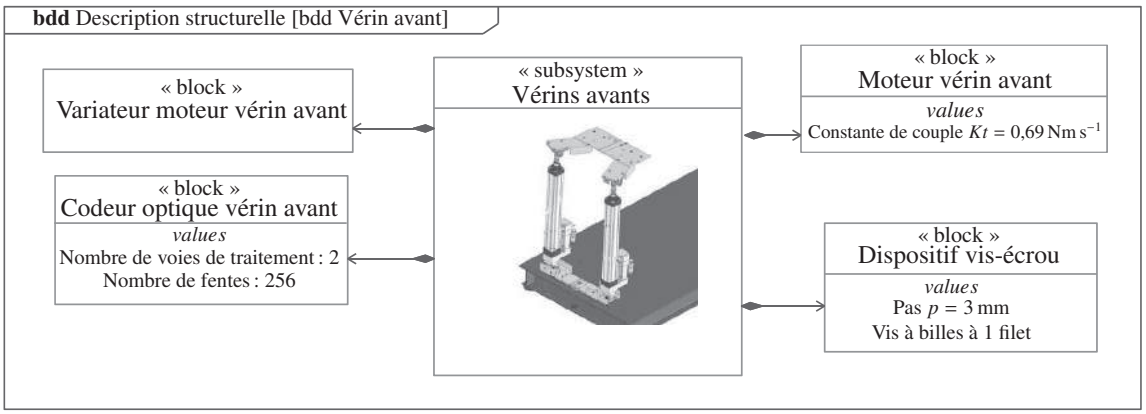


Figure 13 – Diagramme de définition de bloc

Q18. À partir du diagramme de définition de bloc du vérin avant (**figure 13**), compléter le **document réponse DR3**.

Le simulateur est sollicité en roulis. On impose donc aux deux vérins des consignes de déplacement opposées.
L'angle de rotation du moteur $\theta_m(t)$ est mesuré par un codeur optique de gain K_{cap}. L'image $N_{mes}(t)$ de cet angle est comparée à une grandeur $N_{cons}(t)$ image de la consigne de position $z_c(t)$. La conversion est réalisée par un adaptateur de gain K_A. L'écart $\varepsilon_N(t)$ est corrigé par l'ensemble correcteur et variateur pour fournir l'intensité $i(t)$ de commande au moteur. L'ensemble vis-écrou à billes permet ensuite l'entraînement en translation de la tige de vérin.

Dans le domaine de Laplace, l'ensemble correcteur et variateur est modélisé par une fonction de transfert $C(p)$. Le comportement dynamique du moteur est modélisé par les fonctions de transfert $H_1(p)$ et $H_2(p)$.

Le schéma bloc (**figure 14**) modélise l'asservissement en position d'un seul des deux vérins.

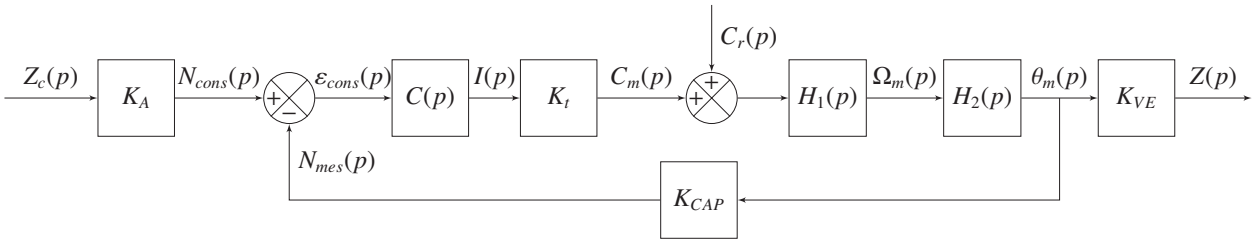


Figure 14 – Schéma bloc de l'asservissement en position d'un vérin

Détermination des fonctions de transfert $H_1(p)$ et $H_2(p)$

On pose :

- J_V, moment d'inertie du rotor d'un vérin autour de son axe de rotation (identique sur les 2 vérins) ;
- J_1, moment d'inertie de l'ensemble des pièces en roulis autour de l'axe de roulis ;
- M, masse de l'ensemble des pièces en roulis ;
- $\omega_{ma}(t)$ et $\omega_{mb}(t)$, vitesses angulaires des vis des vérins (a) et (b) ;
- $C_{ma}(t)$ et $C_{mb}(t)$, couples exercés par les moteurs (a) et (b) ;
- $C_{ra}(t)$ et $C_{rb}(t)$, couples résistants liés au frottement sec et aux actions de pesanteur ramenés sur les axes moteurs (a) et (b) ;
- f_v, coefficient de frottement visqueux sur l'axe d'un moteur (exprimé en $\mathrm{N\,m\,s^{-1}}$, identique pour les deux moteurs).

Hypothèses :

- l'énergie cinétique en translation des tiges de vérin sera négligée devant les autres énergies cinétiques ;
- le centre de gravité de l'ensemble des pièces en mouvement appartient à l'axe de roulis ;
- le référentiel lié à (0) est supposé galiléen ;
- toutes les liaisons de guidage seront considérées comme parfaites ;
- $\omega_{mb}(t) = -\omega_{ma}(t) = \omega_m(t)$;
- $\dot{\varphi}_s(t) = K_R\omega_m(t)$.

Q19. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble des solides en mouvement, donner l'équation de mouvement reliant la vitesse de rotation $\omega_m(t)$ et sa dérivée $\dot{\omega}_m(t)$ aux couples $C_{ma}(t)$, $C_{mb}(t)$, $C_{ra}(t)$, $C_{rb}(t)$ ainsi qu'aux paramètres J_1, J_V, K_R et f_v.

Une étude dynamique complémentaire nous a permis d'établir l'équation différentielle modélisant le comportement dynamique d'un seul vérin

$$J_{eq}\frac{d\omega_m(t)}{dt} + f_v\omega_m(t) = C_m(t) + C_r(t)$$

avec J_{eq} le moment d'inertie équivalent ramené à l'axe du rotor du vérin.

Q20. Déterminer les fonctions de transfert $H_1(p)$ et $H_2(p)$.

Afin d'estimer les couples résistants (liés au frottement sec et visqueux) sur le système, on procède à plusieurs essais sur la motorisation :

- la consigne $z_c(t)$ est telle que sa dérivée est en forme de trapèze de vitesse (avec de courtes phases d'accélération et décélération) ;
- on relève les valeurs moyennes de l'intensité i (A) et de la vitesse de rotation ω_m ($\mathrm{rad\,s^{-1}}$) en régime stabilisé (vitesse constante) ;
- les résultats des relevés expérimentaux sont donnés sur le graphique de la **figure 15**, page 14.

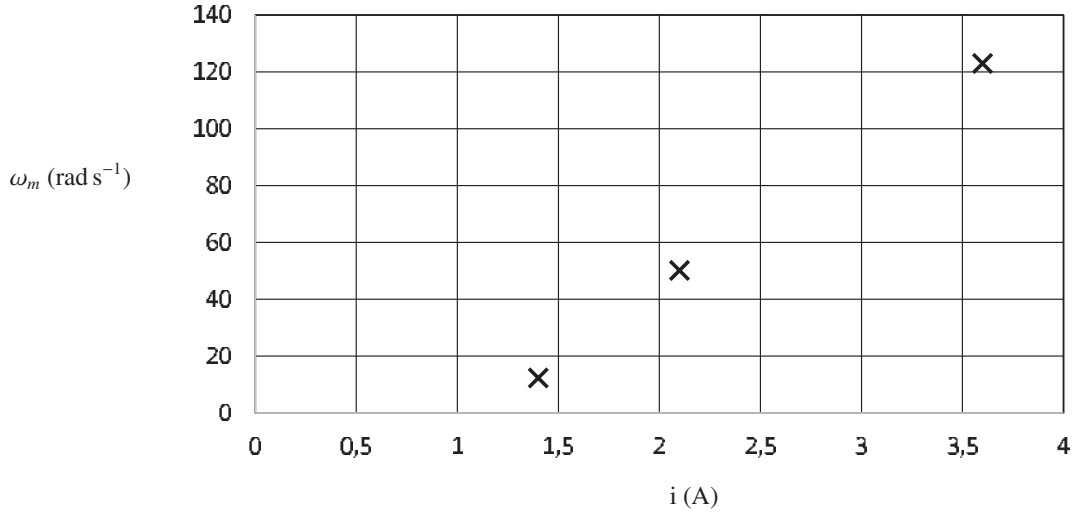


Figure 15 – Relevés expérimentaux

Q21. À partir de l'analyse de ces résultats et en vous appuyant sur le modèle de connaissance du vérin (**figure 14**), estimer les valeurs du couple résistant C_r, supposé constant (1 chiffre significatif) et du coefficient de frottement visqueux f_v (2 chiffres significatifs).

Q22. En vous appuyant sur le diagramme de définition de blocs (**figure 13**), donner la valeur du gain K_{VE} du dispositif vis/écrou.

Le capteur de position utilisé est un codeur optique composé de deux voies (Voies A et B) qui permettent de détecter le sens de rotation. Le diagramme d'état du **document réponse DR4** décrit le comptage des impulsions N_{mes}. L'allure des signaux reçus (après traitement électonique) est donnée sur la **figure 16**.

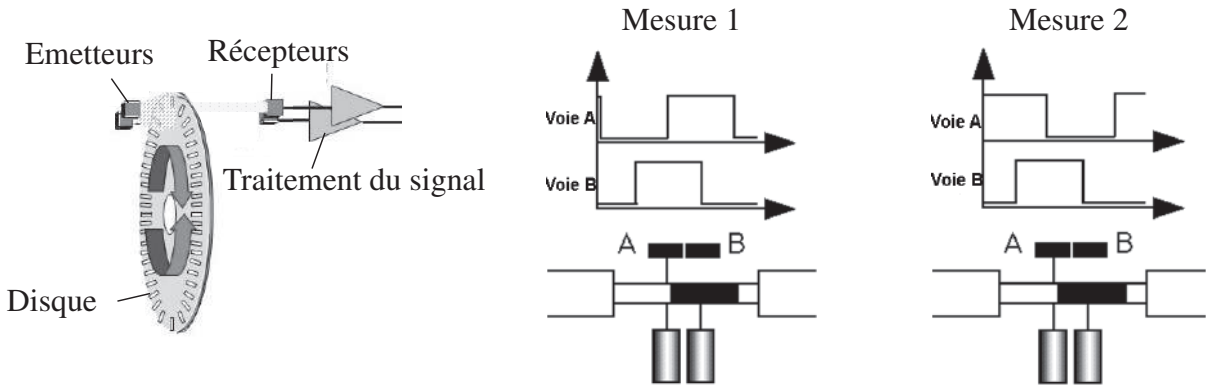


Figure 16 – Fonctionnement du codeur incrémental

Q23. Compléter sur le **document réponse DR4**, le chronogramme donnant l'évolution de la valeur N_{mes} renvoyée par le compteur. Indiquer sur le diagramme d'état à quel numéro de mesure (mesures numérotées sur la **figure 16**) correspond chacun des états.

Q24. En vous appuyant sur le diagramme de définition de blocs (**figure 13**) et sur le schéma bloc de l'asservissement (**figure 14**), donner la valeur du gain K_{cap} du codeur.

Q25. Déterminer l'expression et la valeur du gain K_A permettant d'avoir un écart $\varepsilon_N(t)$ (**figure 14**) proportionnel à la différence $z_c(t) - z(t)$.

IV.2 - Analyse des performances

Exigence	**Critère**	**Niveau**
Amortissement	Dépassement transitoire de la valeur asymptotique	nul
Rapidité	Bande passante en boucle fermée à -6 dB	[0, 15 Hz] minimum
Précision statique	Erreur statique en position	2 mm maximum

Tableau 3 – Exigences sur l'asservissement de position

Pour la suite du problème, on utilise le schéma bloc de la **figure 17** obtenu après simplification du schéma bloc initial.

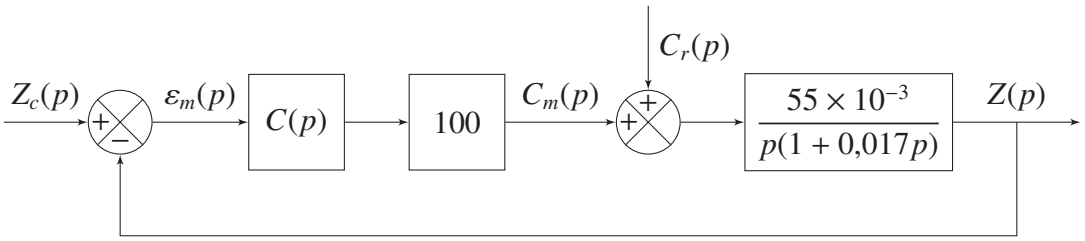


Figure 17 – Schéma bloc simplifié de l'asservissement

On envisage tout d'abord un correcteur proportionnel : $C(p) = K_P$ avec $K_P \in \mathbb{R}^{+*}$.

Q26. Donner les valeurs en fonction de K_P des coefficients ω_0, ξ, K_1 et K_2 de l'équation de transfert :

$$Z(p) = \frac{1}{1 + \dfrac{2\xi}{\omega_0}p + \dfrac{1}{\omega_0^2}p^2}\left(K_1 Z_C(p) + K_2 Cr(p)\right).$$

On suppose maintenant que le couple résistant est constant et vaut : $C_r(t) = C_{r0} = -1\,\text{N m}$.

Q27. Quelle condition doit vérifier la valeur de K_P pour satisfaire l'exigence d'amortissement ?

Q28. Cette condition permet-elle de satisfaire l'exigence de rapidité ?

Q29. Quelle condition doit vérifier la valeur de K_P pour satisfaire l'exigence de précision ?

On choisit d'implanter un correcteur proportionnel à avance de phase sur le système.

Sa fonction de transfert est de la forme $C(p) = K_{AP}\dfrac{1+\tau p}{1+a\tau p}$ avec $\tau = 0{,}017\,\text{s}$ correspondant à la constante de temps de la FTBO sans correcteur.

Q30. Déterminer les deux constantes K_{AP} et a permettant de vérifier simultanément les critères d'amortissement et de bande passante. On se placera dans le cas du système le plus rapide sans dépassement.

Q31. Différentes réponses obtenues par la simulation du modèle avec un correcteur à avance de phase sont tracées sur le **document réponse DR5**. Valider le respect des différentes exigences du cahier des charges par le modèle. Quelle non-linéarité devrait-on ajouter au modèle pour que la simulation soit plus réaliste ? Justifier la réponse.

Conclusion

Objectif :

- **analyser la démarche employée pour répondre à la problématique.**

Différentes étapes de la démarche de l'ingénieur ont pu être abordées lors de ce sujet. En particulier, les points suivants ont été traités :

- justification et caractérisation de l'exigence Id = "1.3.2" : créer un mouvement de roulis ;
- choix d'une architecture et choix de composants permettant de remplir l'exigence Id = "1.3.2" ;
- construction d'un modèle de connaissance du système et identification des différents paramètres à partir de résultats expérimentaux ;
- conception partielle de la partie commande du système.

Q32. Après avoir rappelé les différentes parties ou sous-parties qui ont permis de mener à bien chacune des étapes précédemment citées, présenter en quelques phrases les étapes qui restent à mener pour la validation du simulateur de moto concernant l'exigence Id = "1.3.2". Vous insisterez en particulier sur les écarts qui restent à caractériser entre les performances attendues, les performances réelles et les performances simulées du système.

FIN

IMPRIMERIE NATIONALE – 19 1158 – D'après documents fournis

Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom : _____

Prénom : _____

Emplacement QR Code

Filière : PSI

Session : 2019

Épreuve de : Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Consignes

- *Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer*
- *Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir*
- *Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)*
- *Numéroter chaque page (cadre en bas à droite)*
- *Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre*

PSISI08

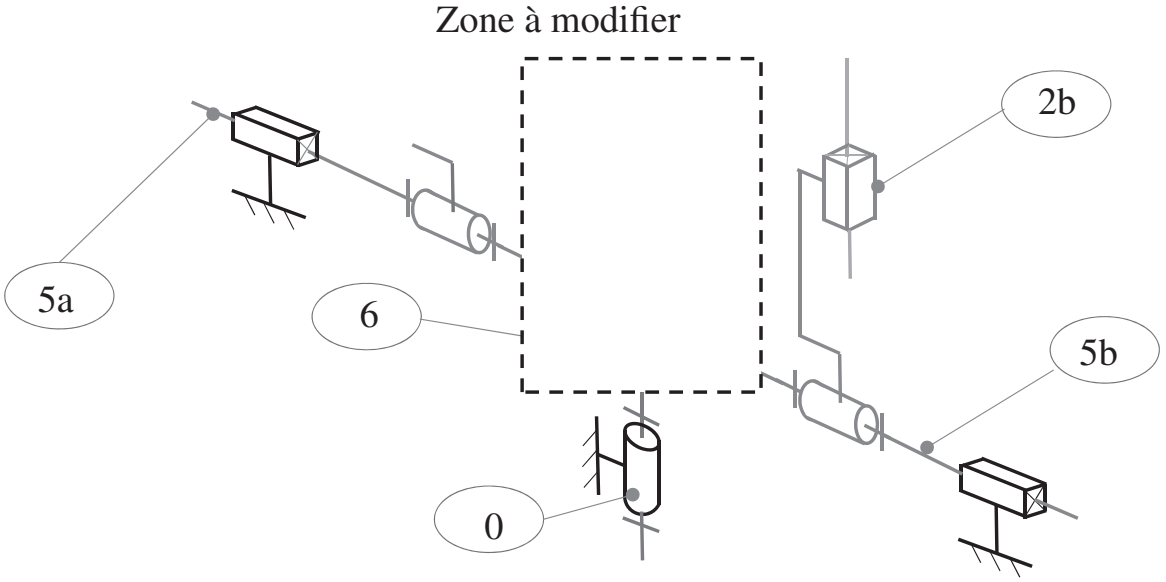
DOCUMENT RÉPONSE

Q11

Mouvement	axe	verin $(2_a 3_a)$	verin $(2_b 3_b)$	chariot mobile
Lacet	1	X	X	-
Tangage				
Roulis				

DR 1 – Pilotage : Lacet, Tangage, Roulis

Q13

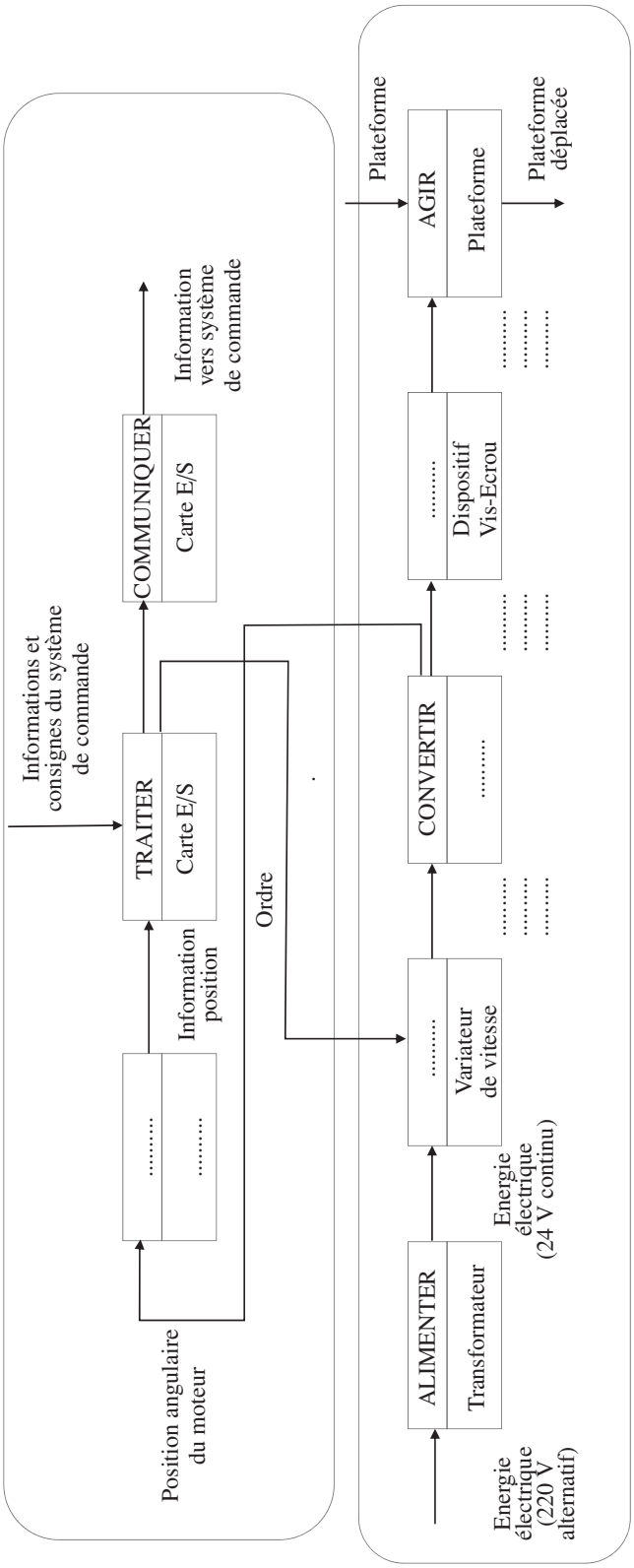


B

DR 2 – Liaison de symétrie

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

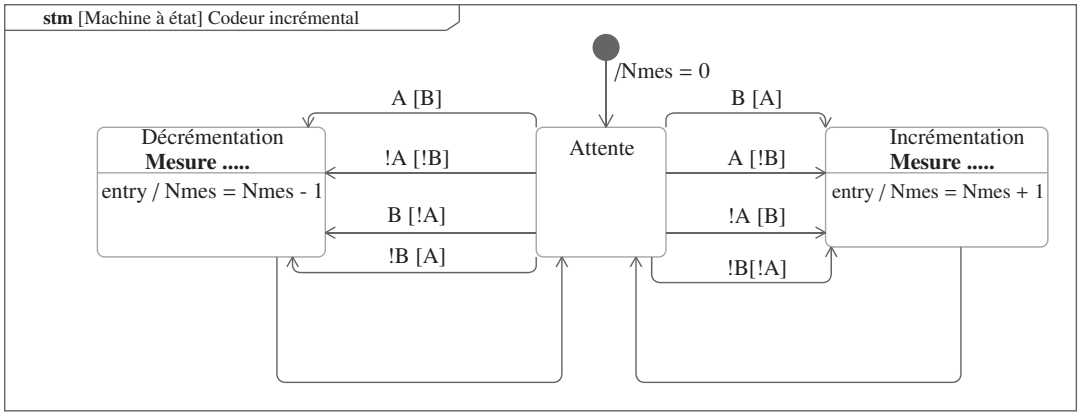
Q18



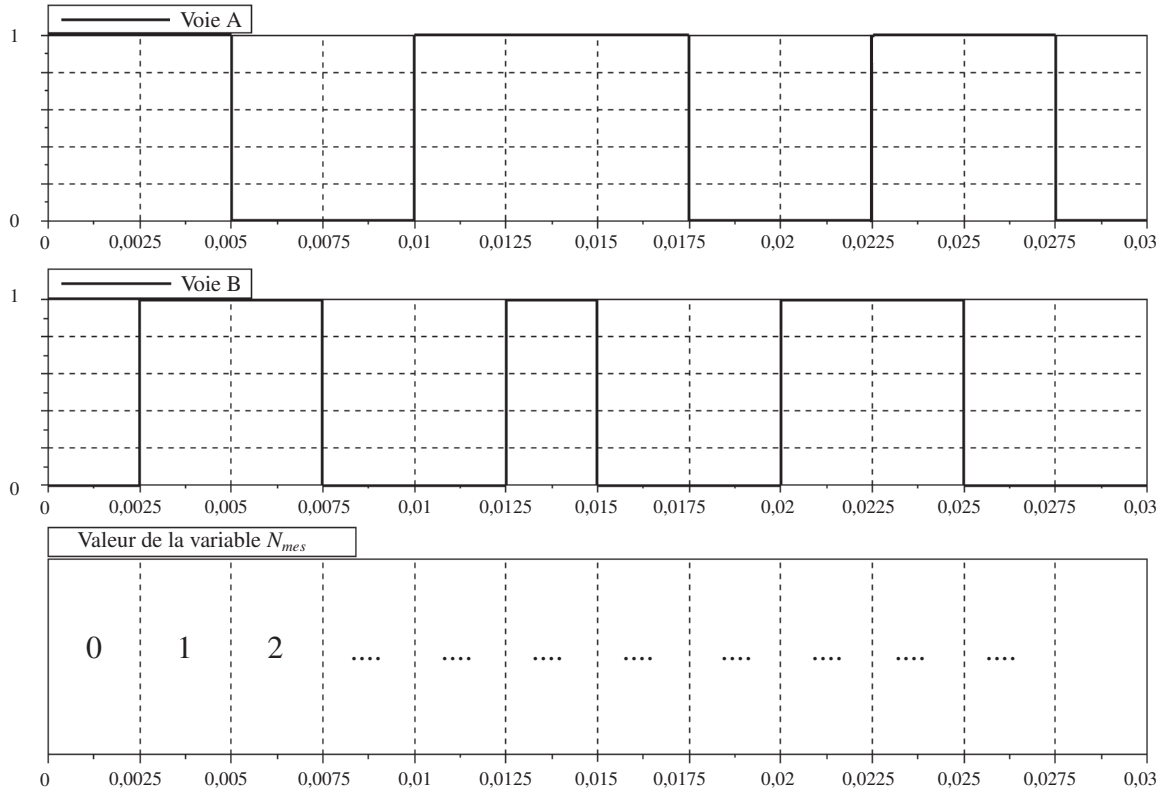
DR 3 – Chaîne d'énergie d'un vérin

Q23

Le complément de la variable logique A (respectivement B) est noté !A (respectivement !B) sur le diagramme. Selon le contexte, la notation A pourra se référer à un évènement ou à une condition de garde.



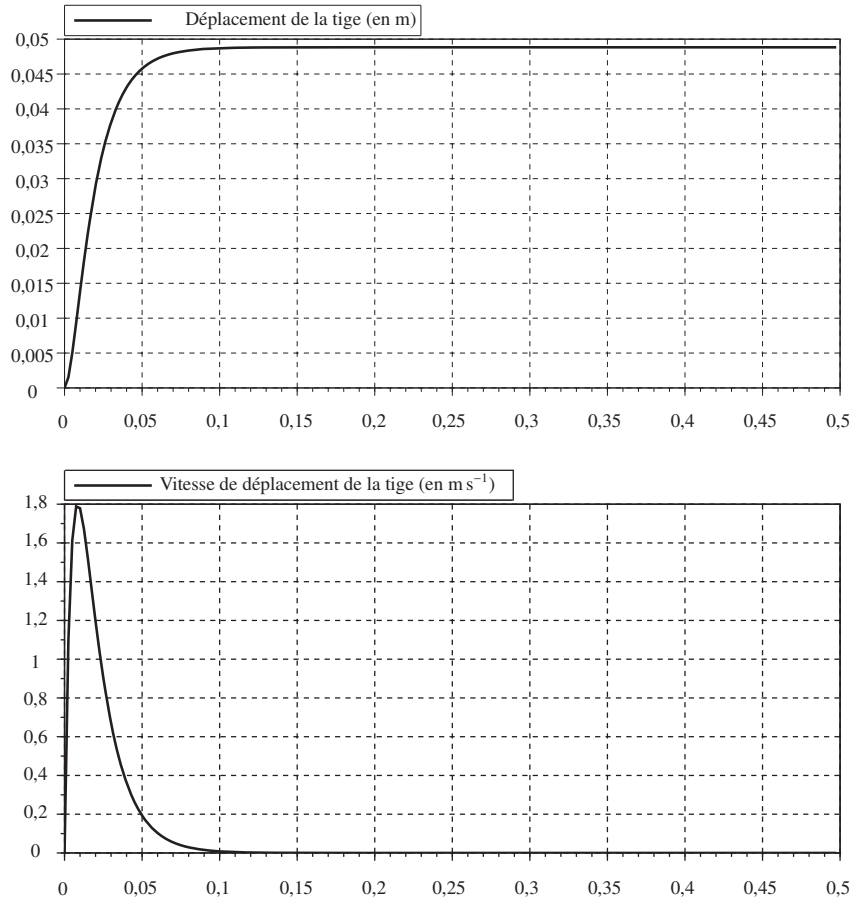
(a) Diagramme d'état du codeur incrémental



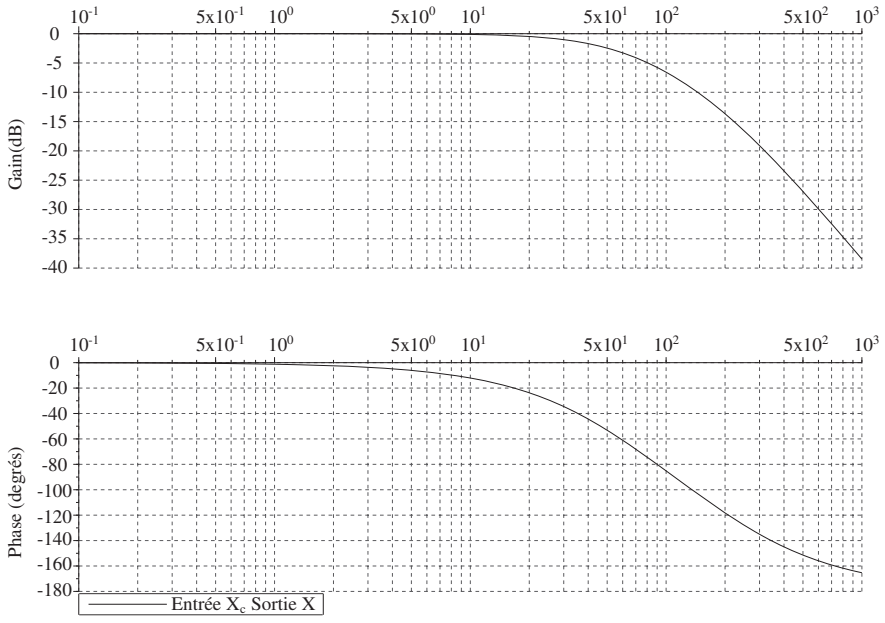
(b) Chronogramme des signaux mesurés Voie A et Voie B et gestion de la variable N_{mes}

DR 4 – Diagramme d'état et chronogramme à compléter

Q31



(a) Réponse à un échelon de consigne de 0,05 m en fonction du temps (s)



(b) Réponse fréquentielle de l'asservissement

DR 5 – Réponses temporelles et fréquentielles simulées de l'asservissement