



CONCOURS D'ENTRÉE CYCLE INGENIEUR

**OPTION : SCIENCES
INDUSTRIELLES**

Samedi 16 Avril 2016

Durée : 2 Heures

Concours EPITA - IPSA

Epreuve de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

Robot d'intervention Cameleon-EOD

Durée : 2 heures

L'utilisation de calculatrices est autorisée.

La consultation de documents est interdite.

Le corrigé comporte 11 pages.

Présentation

Le contexte actuel géopolitique oblige les forces de l'ordre et les armées à acquérir et utiliser des robots démineurs. Ces robots interviennent dans des situations statiques présentant un danger dans une zone précise (par exemple colis suspect).

Le robot étudié ici est un robot chenillé construit par la société française ECA Robotics, nommé Cameleon-EOD (voir Figure 1). Ce robot est constitué par un châssis mobile par rapport au sol à l'aide de deux chenilles. Il comporte sur sa partie supérieure un bras articulé autour de 6 axes sur lequel est monté un accessoire qui peut être par exemple : une caméra, une pince, un dispositif permettant de faire exploser un colis piégé, un générateur de rayons X, ou des détecteurs chimiques ou radiologiques. Il est commandé par un humain via ondes radio à l'aide d'une tablette tactile et d'un joystick dédié.

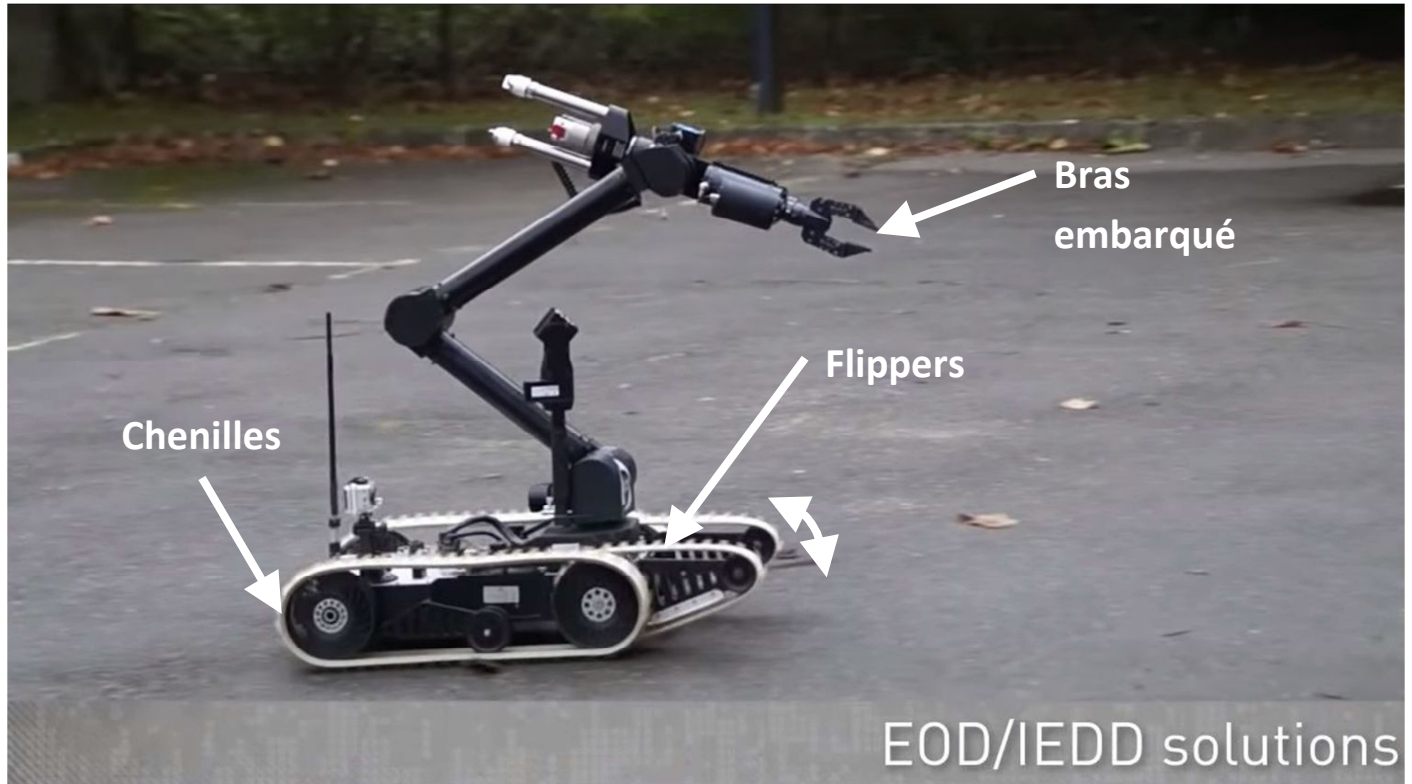


Figure 1 : Robot Caméléon EOD commercialisé par ECA Robotics

La Figure 2 montre un extrait du diagramme des exigences du robot.

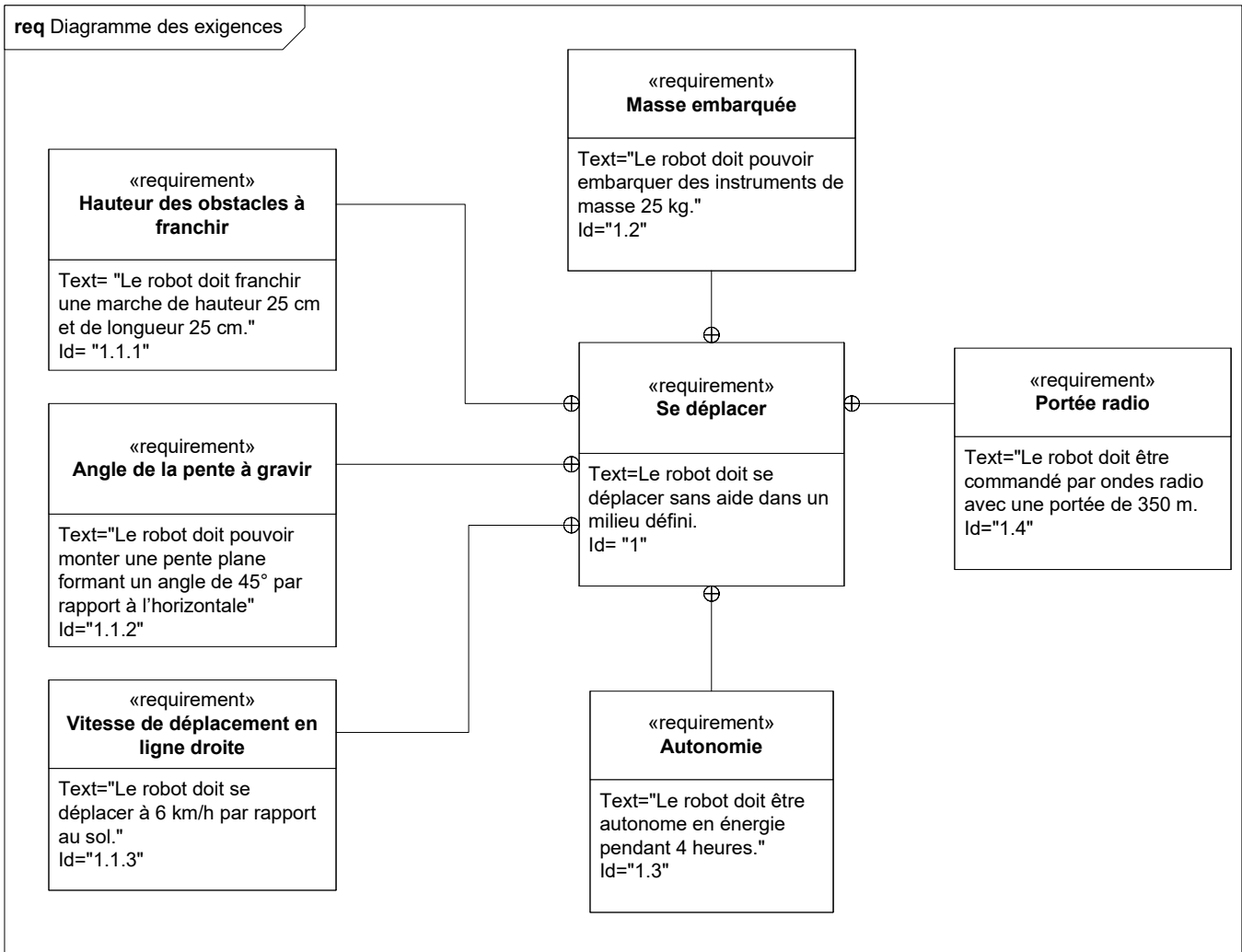


Figure 2 : Diagramme des exigences partiel du système

Lors de son mouvement, le robot est assisté par des flippers munis aussi de chenilles. Ces flippers peuvent tourner autour de l'axe des roues avant du robot (voir Figure 1). Ces flippers servent aussi à la stabilisation du robot en montée ou descente de marches.

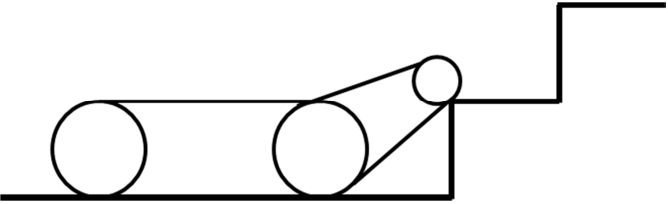
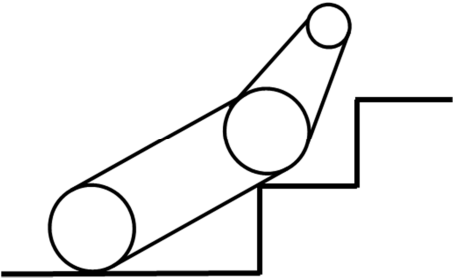
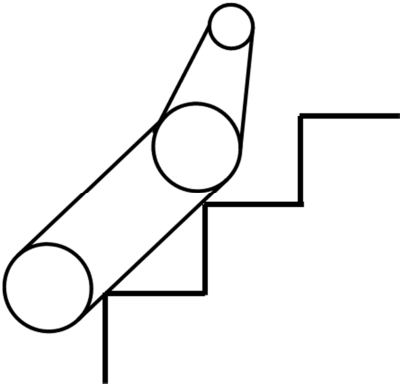
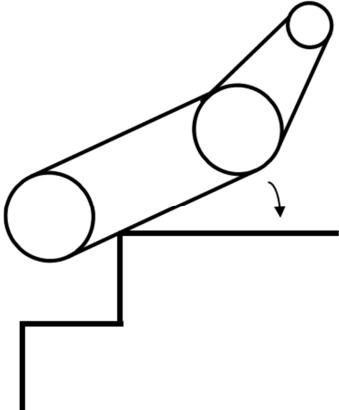
Ainsi le robot est équipé de 3 moteurs électriques :

- 2 moteurs actionnant les chenilles (gauche et droite) asservis en vitesse disposés sur les roues arrière ;
- 1 moteur faisant tourner les flippers par rapport au châssis du robot asservi en position angulaire.

Vérification de la capacité du robot à monter des marches

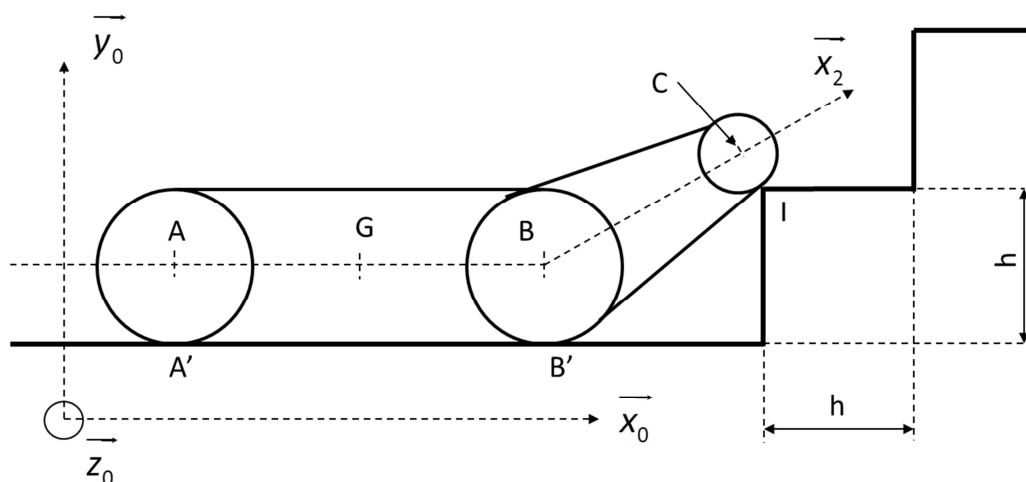
Objectif : l'objectif de cette partie est de déterminer le couple moteur en vue de son dimensionnement de manière à vérifier la capacité du robot à monter des marches (exigences « 1.1.1 »).

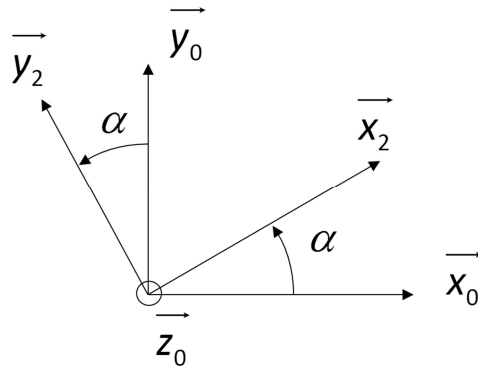
La montée de marches peut être décomposée en 4 étapes :

<ul style="list-style-type: none"> - Etape (a) : Le robot approche de la marche et pose les flippers sur la première marche ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Etape (b) : Les chenilles déplacent le châssis jusqu'à ce que la roue avant passe la première marche ; 
<ul style="list-style-type: none"> - Etape (c) : les chenilles sont sur les marches ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Etape (d) : le robot passe la dernière marche et tombe sur le sol ; 

Etape (a)

On considère tout d'abord la phase (a). Le robot est dans la configuration suivante :





L'objectif de cette partie est de déterminer le couple moteur nécessaire à la montée d'un escalier dont les distances entre les marches est notée $h = 25\text{cm}$.

Notations :

- On note $R = 9,5\text{cm}$ le rayon des roues de centre A et B, et $r = 4\text{cm}$ le rayon des roues de centre C ;
- $\alpha = (\vec{x}_0; \vec{x}_2)$;
- On note $AB = L = 67\text{cm}$ et $BC = f = 20\text{cm}$;
- La hauteur et la largeur des marches sont notées $h = 25\text{cm}$;
- Seule la masse du châssis du robot AB est prise en compte, la masse des flippers et des chenilles les parcourant est négligée. Quelle que soit la position des flippers, la position du centre de gravité du robot est notée $\vec{AG} = \frac{L}{2} \vec{x}_0$, la masse du chariot est notée $M = 47\text{kg}$;
- L'accélération de la pesanteur vaut $g = 10\text{m.s}^{-2}$.

Pour que la montée de la marche soit possible, on souhaite que la petite roue se positionne tel que les vecteurs \vec{BC} et \vec{CI} soient orthogonaux.

Q1. Donner une relation entre α et les dimensions du problème permettant de respecter ce choix.

En projetant l'équation vectorielle $\vec{B'B} + \vec{BC} + \vec{CI} + \vec{IB'} = \vec{0}$ sur \vec{y}_0 , on obtient $h + r \cdot \cos \alpha = R + f \cdot \sin \alpha$.

Q2. Déterminer α en fonction des dimensions du problème. On pourra poser si nécessaire $u = \sqrt{r^2 + f^2}$,

$\cos \phi = \frac{r}{u}$ et $\sin \phi = \frac{f}{u}$ et utiliser la formule $\cos(a+b) = \cos a \cdot \cos b - \sin a \cdot \sin b$. Faire l'application numérique et donner le résultat en degrés.

En posant les quantités préconisées dans l'énoncé, on trouve $\alpha = \text{Arccos} \left(\frac{R-h}{\sqrt{r^2 + f^2}} \right) - \arctan \frac{f}{r}$

On trouve $\alpha = 61^\circ$.

NB : Sans réponse à cette question, on prendra dans la suite $\alpha = 60^\circ$.

On se situe maintenant au moment où il n'y a plus contact en B'. Il y a contact entre le robot et le sol seulement au niveau des points A' et I.

On note l'action mécanique du sol sur le robot en A' $T_{0 \rightarrow 1}^{A'} = \begin{Bmatrix} T & 0 \\ N & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\overline{x_0}, \overline{y_0}, \overline{z_0})}$ et en I $T_{0 \rightarrow 1}^I = \begin{Bmatrix} T_I & 0 \\ N_I & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\overline{x_2}, \overline{y_2}, \overline{z_0})}$. On

suppose que le robot se déplace suffisamment lentement par rapport au sol (dont un repère attaché est supposé galiléen) pour négliger les effets dynamiques). On supposera aussi que l'on est à la limite du glissement en A' et on notera $\mu = 0,8$ le coefficient d'adhérence en A' .

Q3. Isoler le robot et déterminer l'inconnue T en fonction des constantes du problème. Faire l'application numérique.

En isolant le robot et en appliquant le Principe Fondamental de la Statique (Résultantes et moment en I), on obtient les équations suivantes :

$$T - N_I \sin \alpha + T_I \cos \alpha = 0$$

$$N + N_I \cos \alpha + T_I \sin \alpha - M.g = 0$$

$$M.g \left(\frac{L}{2} + f \cos \alpha + r \sin \alpha \right) - N.(L + f \cos \alpha + r \sin \alpha) + T.h = 0$$

En se plaçant à la limite du glissement en A' , on obtient $T = \mu.N$ et on obtient

$$T = \frac{M.g \left(\frac{L}{2} + f \cos \alpha + r \sin \alpha \right)}{\frac{1}{\mu} \cdot (L + f \cos \alpha + r \sin \alpha) - h} = 312 N$$

NB : Sans réponse à cette question, on prendra $T = 300 N$ dans la suite.

Q4. En déduire le couple C_f que doit exercer le moteur du chariot 1 sur les flippers pour qu'il n'y ait pas contact en B' entre le robot et le sol.

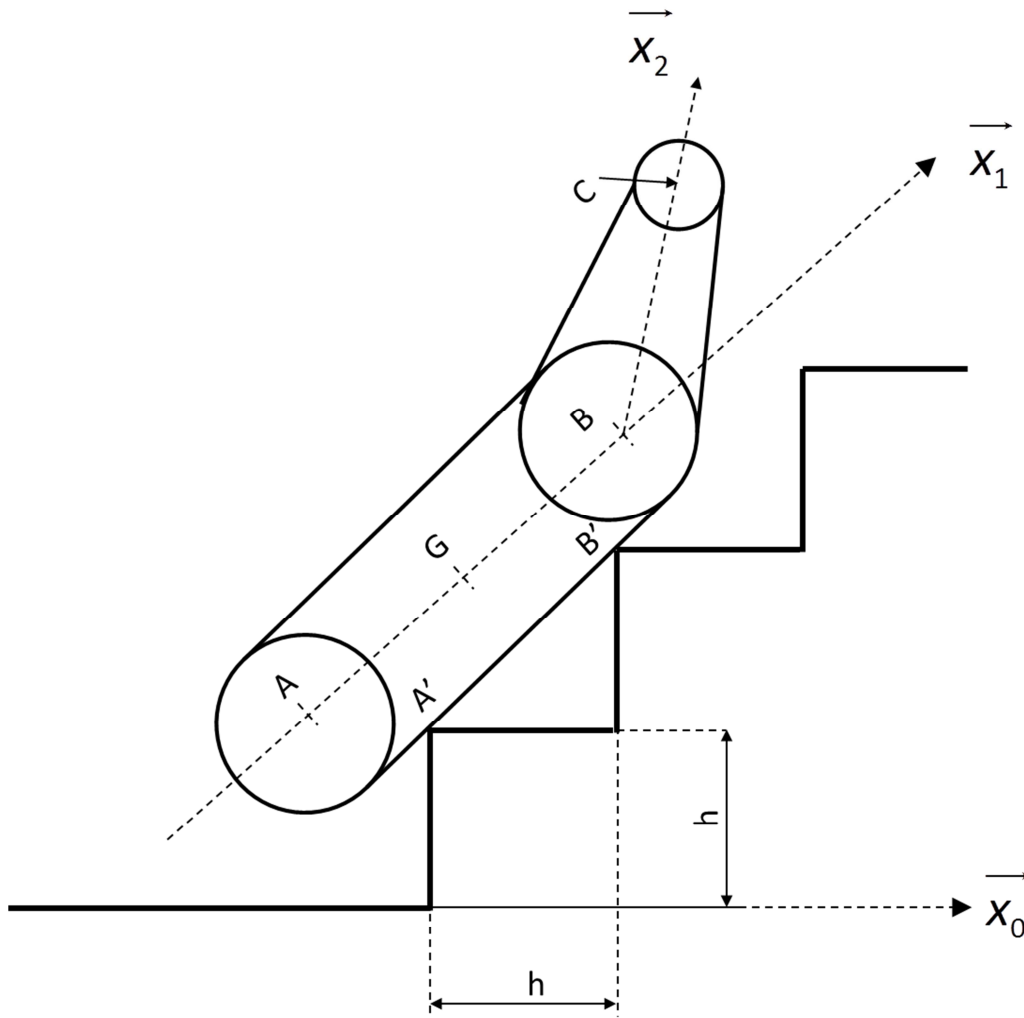
On applique le théorème du moment statique à la partie BC et on écrit l'équation de moment autour de l'axe $(B, \overline{x_0})$.

Q5. En supposant que la tension dans le brin mou de la chenille est nulle, déterminer le couple C_m exercé par le moteur sur la roue motrice (roue arrière).

En isolant la roue motrice, on obtient $C_m = R.T = 29,7 N.m$.

Etape (c)

On suppose que maintenant le robot a franchi la première marche et se situe en étape (c), comme sur la figure suivante.



Q6. Déterminer l'angle $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$.

$$(\vec{x}_0, \vec{x}_1) = 45^\circ$$

Q7. Donner la forme des torseurs des actions mécaniques en A' et en B' du sol sur le robot $T_{0 \rightarrow 1}^{A'}$ et $T_{0 \rightarrow 1}^{B'}$ dans la base $(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$.

$$T_{0 \rightarrow 1}^{A'} = \begin{Bmatrix} T_A & 0 \\ N_A & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{A'}^{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)} \text{ et } T_{0 \rightarrow 1}^{B'} = \begin{Bmatrix} T_B & 0 \\ N_B & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{B'}^{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)}$$

Q8. Déterminer la somme des actions tangentielles des actions mécaniques de contact précédemment décrite à la question Q6.

En isolant le robot et en appliquant le Principe Fondamental de la Statique en résultante suivant \vec{x}_1 , on

$$\text{obtient } T_A + T_B = M.g \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Q9. Toujours en supposant que la tension dans le brin mou de la chenille est nulle, en déduire le couple C_m que doit exercer le moteur sur les roues motrices.

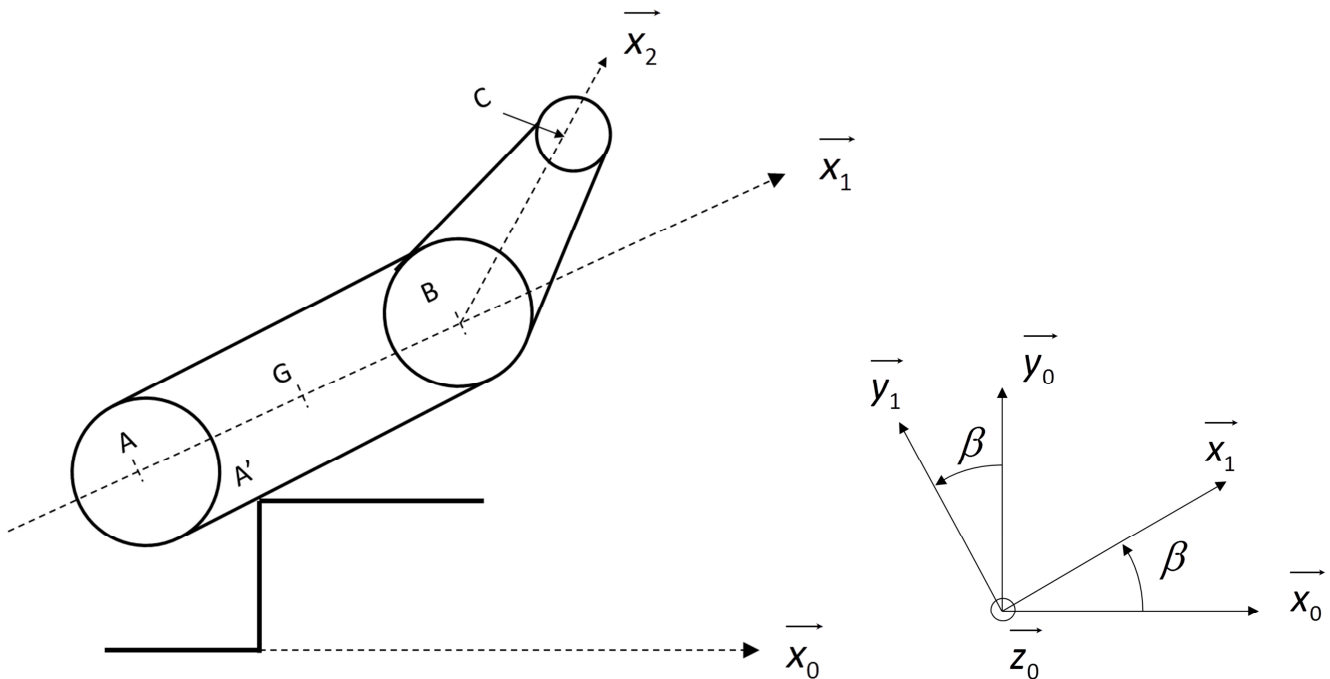
$$C_m = (T_A + T_B) \cdot R = \frac{M.g\sqrt{2}}{2} \cdot R = 30,1 \text{ Nm}$$

Q10. En regard des réponses aux questions Q5 et Q9, donner le couple moteur maximal que doit fournir le moteur sur les roues motrices.

Le couple maximum est de 30,1 N.m.

Validation du système anti-tilt

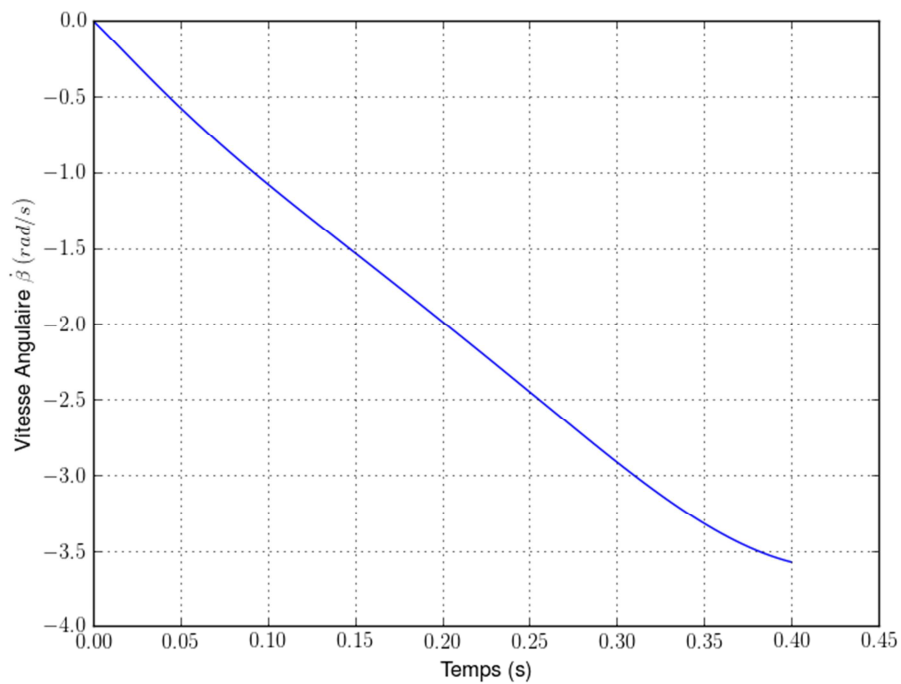
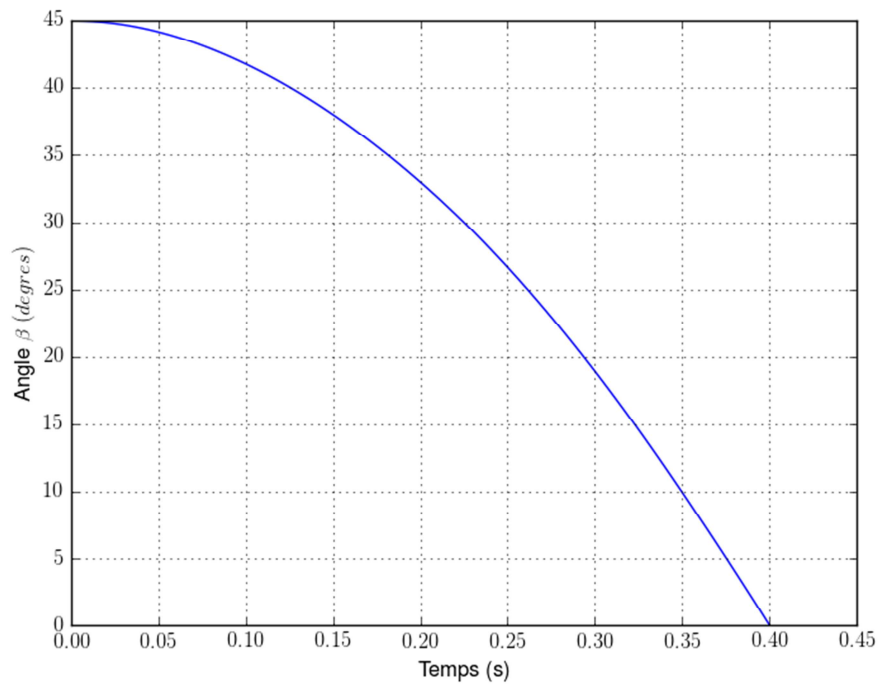
On considère maintenant le robot dans la phase (d). Le seul point de contact entre le robot et le sol est le point D. Le robot commence à basculer lorsque le point G passe à la verticale du point A'. Le robot va progressivement tomber sur le sol, jusqu'à ce que se produise un choc. Pour dimensionner au plus juste les liaisons dans le robot, la connaissance de la vitesse d'impact est nécessaire. On note l'angle $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$.



Q11. Déterminer l'angle β au début du mouvement.

$$\beta = 45^\circ$$

Le calcul analytique de la chute du robot est suffisamment complexe pour faire appel à une simulation. Les courbes suivantes montrent l'évolution de l'angle formé entre le châssis du robot et l'horizontale ainsi que la vitesse angulaire $\dot{\beta}$ en fonction du temps.



Q12. Déterminer l'instant t_c et la vitesse angulaire $\dot{\beta}(t_c)$ du robot lors du contact avec le sol.

Le contact avec le sol a lieu à 0,4s après le début de la chute. La vitesse angulaire est environ -3,6 rad/s.

La chenille ne glisse pas sur la marche autour du point A' et le châssis se translate par rapport à la chenille à une vitesse de $V_c = 2 \text{ km/h}$.

Q13. Déterminer $\overrightarrow{V_{G,1/0}}$ la vitesse de G appartenant au châssis au moment du choc en fonction de t_c , V_c et $\dot{\beta}(t_c)$ en projection dans la base $(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0})$. Faire l'application numérique. On notera V la valeur absolue de la composante de $\overrightarrow{V_{G,1/0}}$ sur $\overrightarrow{y_0}$.

Le châssis du robot a avancé par rapport à la chenille d'une distance égale à $t_c \cdot V_c = 0,4 \cdot 2 \cdot \frac{1000}{3600} = 0,22 \text{ m}$.

Ainsi $\overrightarrow{V_{G,1/0}}(t_c) = V_c \overrightarrow{x_0} + t_c \cdot V_c \cdot \dot{\beta}(t_c) \overrightarrow{y_0} = 0,55 \overrightarrow{x_0} - 0,9 \overrightarrow{y_0}$ en m/s.

Les systèmes électroniques et de contrôle ne sont pas prévus pour subir n'importe quel choc. L'ensemble de ces systèmes est donc monté sur des plots amortissants en polyuréthane (voir Figure 3 et Figure 4) que l'on peut modéliser par un matériau viscoélastique. Il existe un de ces systèmes à protéger au voisinage du point G.

On souhaite que l'accélération subie par l'instrument à protéger par rapport au sol soit au maximum de 20 m/s^2 .

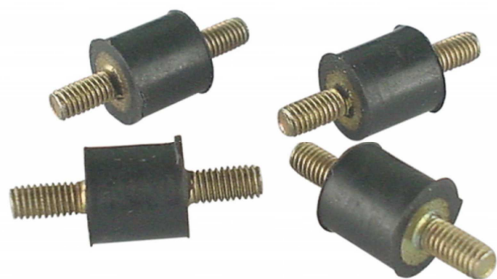


Figure 3 : Amortisseurs en polyuréthane

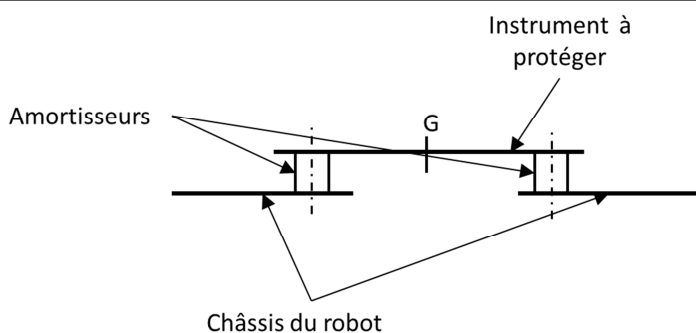
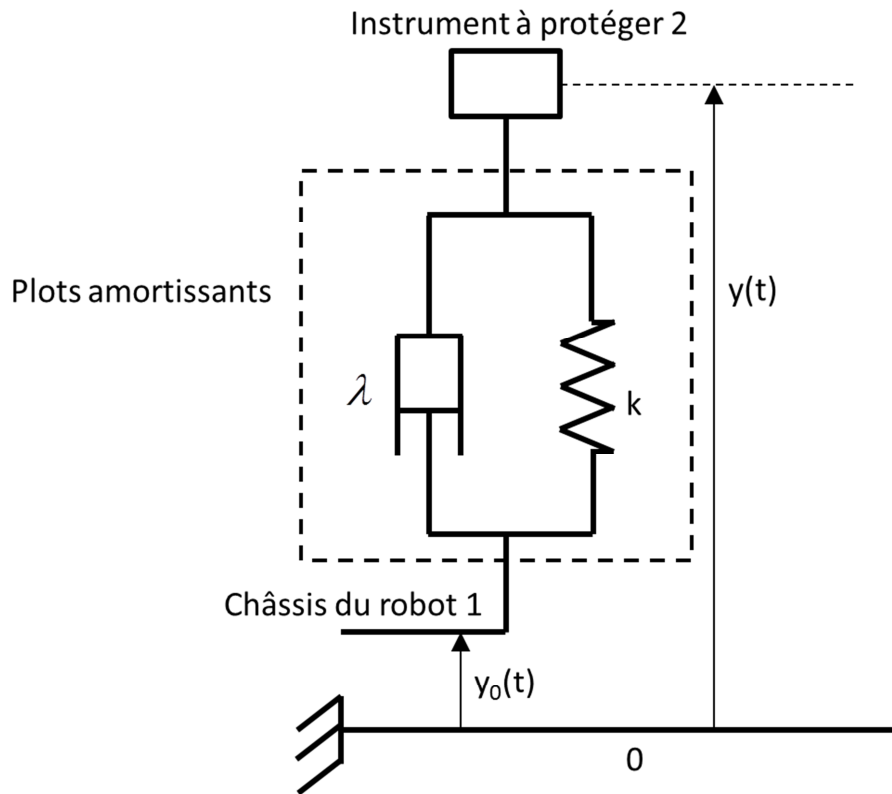


Figure 4 : Montage des amortisseurs et de l'instrument à protéger

On modélise le système comme comprenant le châssis, l'instrument et les amortisseurs par un ensemble masse-ressort-amortisseur comme sur la figure suivante :



Le solide 0 représente le sol sur lequel le châssis du robot 1 tombe. L'instrument à protéger 2 est lié au châssis 1 par l'ensemble ressort-amortisseur avec les constantes suivantes :

- La masse de l'instrument à protéger est notée m_i ;
- La raideur des plots est notée k ;
- Le coefficient de viscosité de l'amortisseur est noté λ .

On suppose les conditions initiales suivantes :

- $y_0(t) > 0$, $y(t) = y_0(t) + e$ pour $t < 0$, avec e l'épaisseur des plots amortissants non déformés ;
- $\dot{y}(t) = \dot{y}_0(t) = -V < 0$ pour $t \leq 0$, V étant issue de la réponse à la question Q13 ;
- $y_0(t) = 0$ pour $t \geq 0$.

Q14. Que vaudrait l'accélération du châssis du robot 1 par rapport au sol avec ces conditions ? Quel est l'intérêt des plots amortissants ?

Si on dérive deux fois $y_0(t)$ par rapport au temps, on obtient que l'accélération tend vers l'infini. Le rôle des plots amortissants est de ne pas faire subir cette accélération aux parties fragiles du robot.

Q15. Déterminer l'équation différentielle reliant $y(t)$ et $y_0(t)$.

En appliquant le Principe Fondamental de la Dynamique à la masse m_i , on obtient :

$$m_i \ddot{y} = -k(y - y_0 - e) - \lambda(\dot{y} - \dot{y}_0) - m_i g = -k(y - e) - \lambda \dot{y} - m_i g .$$

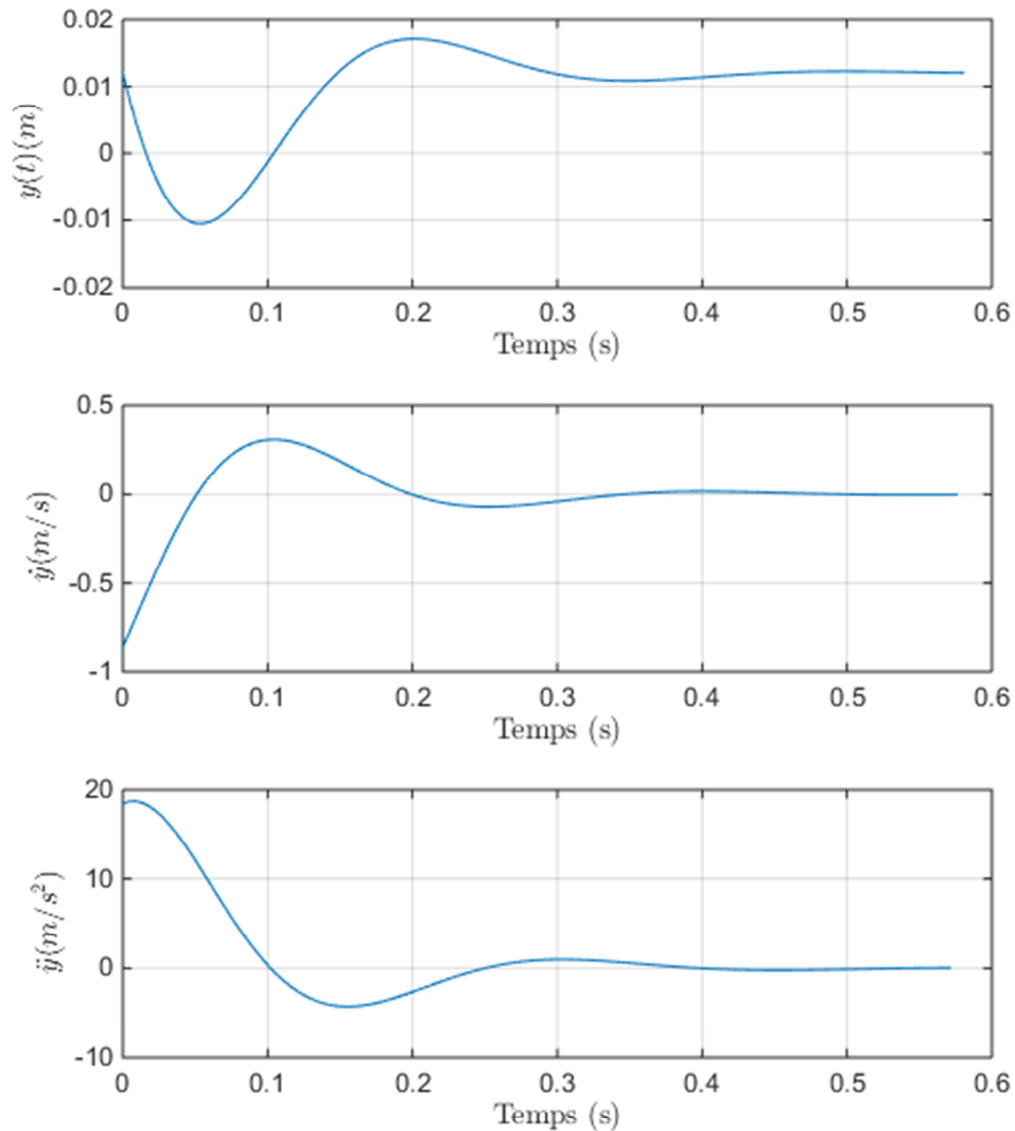
$$\text{A } t=0, y(0) = e \text{ et } \dot{y}(0) = -V = -0,9 \text{ m/s}$$

Q16. Résoudre l'équation différentielle précédente, compte tenu des conditions initiales.

En posant $\Delta = \lambda^2 - 4mi.k$ le discriminant de l'équation, on trouve $y(t) = e + A.\exp\left(\frac{-\lambda}{2mi}t\right)\sin(\sqrt{\Delta}t)$ avec

$$A = \frac{V}{\sqrt{\Delta}}$$

La figure suivante montre l'évolution de $y(t)$, $\dot{y}(t)$ et $\ddot{y}(t)$ en fonction du temps.



Q17. Vérifier que la solution est cohérente avec les conditions initiales énoncées en Q15.

A $t=0$, $y(0) = e$ et $\dot{y}(0) = -V = -0,9 \text{ m/s}$ qui est vérifié.

Q18. Déterminer la valeur absolue maximale de l'accélération de l'instrument par rapport au sol.
Conclure.

L'accélération maximale est inférieure à 20 m/s^2 . L'instrument est protégé.

FIN DE L'ÉPREUVE