

Devoir en temps libre n°2

Le sujet comporte 2 exercices indépendants.

- Exercice 1 : Robot à géométrie variable..... 1
- Exercice 2 : Robot pour construction laser additive directe 3

Exercice 1 : Robot à géométrie variable

Certains robots mobiles terrestres actuels ont pour vocation d'évoluer dans un milieu inconnu et imprévisible ; ces contraintes nécessitent une automatisation afin de s'adapter aux circonstances d'utilisation et permettre à un seul opérateur de gérer plusieurs robots à la fois. Afin d'accroître les capacités de franchissement des UGVs (« Unmanned Ground Vehicles » - Véhicules terrestre sans pilote) non déformables, une alternative efficace consiste à développer des robots à géométrie variable. Munis plus souvent de chenilles que de roues, ces UGVs peuvent être distingués par l'acronyme anglais VGTVs pour « Variable Geometry Tracked Vehicles ». C'est de cette famille dont fait partie le robot B2P2 élaboré au laboratoire LARIS d'Angers et présenté sur la figure 1.

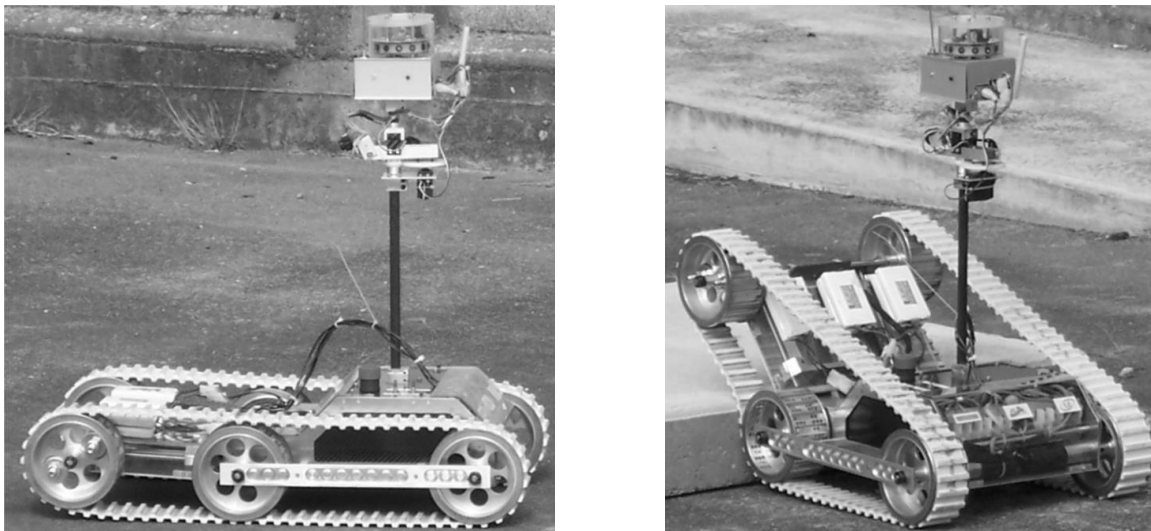


Figure 1 : Robot B2P2 en position repos et en situation de franchissement

Objectif : établir la condition de compatibilité géométrique entre l'élongation et l'inclinaison de la partie avant du robot B2P2.

La longueur des deux chenilles étant constante (les chenilles étant considérées inextensibles), le robot doit s'adapter afin de maintenir la tension dans la chenille lorsque θ évolue lors du franchissement d'une marche et éviter de décheniller.

Les figures 2 et 3 correspondent aux modèles cinématique et géométrique dans le plan médian du robot et présentent le paramétrage de l'étude. Les points A, B et C sont positionnés à l'intersection du plan médian et des axes de rotation des essieux. On a $\vec{z}_0 = \vec{z}_1 = \vec{z}_2$

Le repère $R_0 = (A, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est associé au châssis du robot.

Le repère $R_1 = (A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$, obtenu par rotation d'angle α du repère $R_0 = (A, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est associé à la partie haute de la chenille.

Le repère $R_2 = (B, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$; obtenu par rotation d'angle θ du repère $R_0 = (A, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, est associé à la partie avant du robot.

L'élongation, notée $e(\theta)$ est telle que $\overrightarrow{BC} = L_2\vec{x}_2 + e(\theta)\vec{x}_2$; on prendra $e(0) = 0$.

On définit également $\overrightarrow{AC} = L(\theta)\vec{x}_1$ et $\overrightarrow{AB} = L_1\vec{x}_0$. Enfin, D est le diamètre de la roue et L_c la longueur totale de la chenille qui est constante.

Question 1 : Distinguer parmi les paramètres L_1 , L_2 , e , L , θ et α ceux qui sont des paramètres constants et ceux qui sont des paramètres variables.

Question 2 : Dans la situation où $\theta = \alpha = 0$, faire un croquis et exprimer la relation entre L_1 , L_2 , D et L_c .

Question 3 : À l'aide de la figure 2 et sachant que la longueur de la chenille est constante, indiquer la relation entre les grandeurs L_1 , L_2 , e , L , D et L_c dans le cas général.

Question 4 : En associant les deux relations obtenues dans les deux questions précédentes, montrer que $L(\theta) + e(\theta) = \text{cste}$ et préciser cette constante en fonction des données du problème.

Question 5 : Donner la fermeture géométrique entre les points A , B et C sous forme vectorielle, ainsi que les deux projections dans la base (\vec{x}_0, \vec{y}_0) .

Question 6 : À l'aide des deux relations scalaires précédentes, exprimer la relation $L(\theta)^2$ en fonction de L_1 , L_2 , $e(\theta)$ et de θ .

Question 7 : En utilisant la relation mise en place précédemment, exprimer la relation $e(\theta)$ en fonction de L_1 , L_2 et de θ en la mettant sous la forme : $e(\theta) = \frac{F(1-\cos(\theta))}{G+H \cos(\theta)}$. On explicitera F , G et H en fonction de L_1 et de L_2 .

Fort de la connaissance de la relation $e(\theta)$, nous allons pouvoir étudier les performances du système de commande de la structure à géométrie variable.

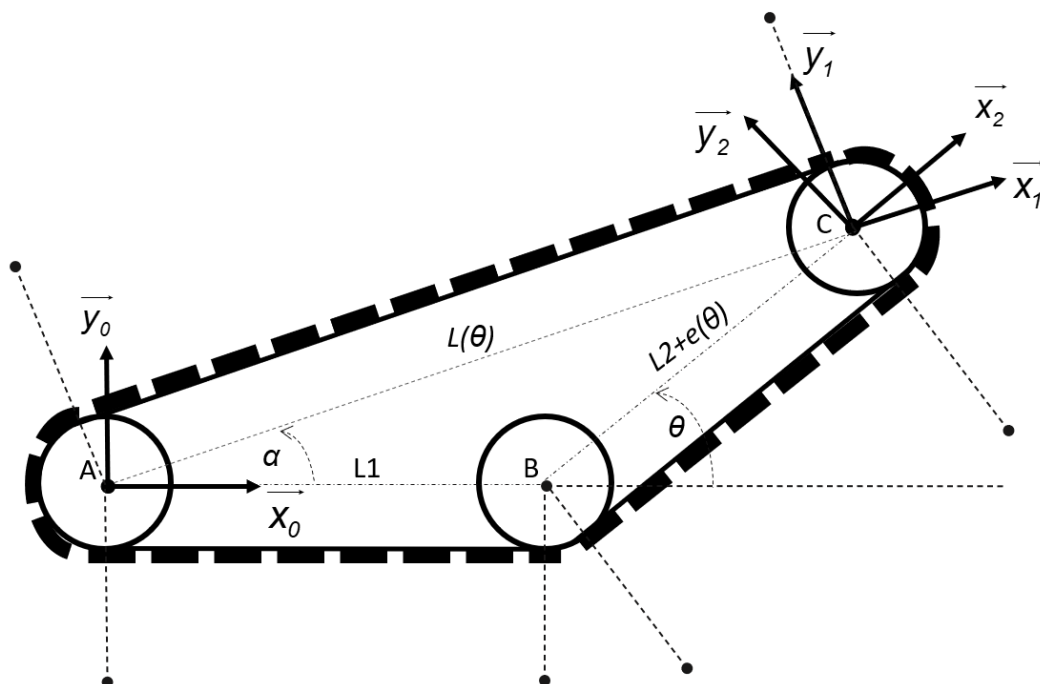


Figure 2 : Modèle géométrique du robot B2P2 (avec les poulies et la chenille)

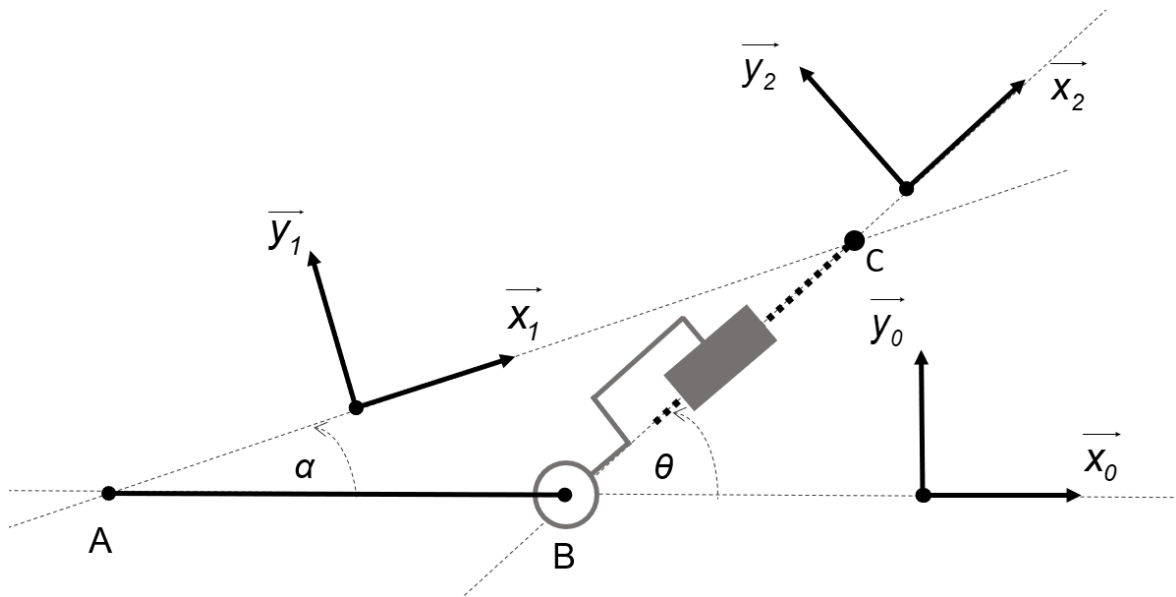


Figure 3 : Modèle cinématique du robot B2P2 de la structure (sans poulie et chenille)

Exercice 2 : Robot pour construction laser additive directe

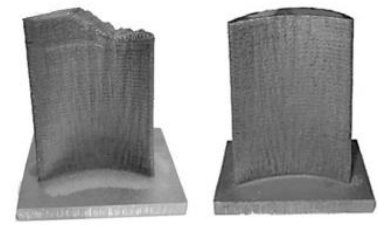
Ces dernières années, l'essor des procédés d'impression 3D métallique, qui font partie des procédés de fabrication additive, a permis de développer de nouvelles applications industrielles jusqu'alors non réalisables. Trois applications industrielles innovantes se démarquent : l'ajout de fonction technique sur une pièce existante, la création de géométrie complexe impossible à réaliser avec des procédés traditionnels et la réparation de pièces métalliques, voir la figure 1.



(a) Création de structure¹.



(b) Ajout de fonction technique sur une pièce existante².



(c) Réparation d'aubes de moteur³.

Figure 1 : Exemples d'applications innovantes réalisées en impression 3D métallique.

La matière ajoutée est apportée par un outil, appelé tête d'impression, sous forme de fil ou de particules métalliques de très faible diamètre, de l'ordre de 15 à 45 μm .

Afin de déplacer la tête d'impression, celle-ci est fixée sur un bras robotisé. La structure utilisée sur le système de cette étude utilise un bras robotisé constitué de 6 axes rotatifs, désignés articulations par la suite (figure 3).

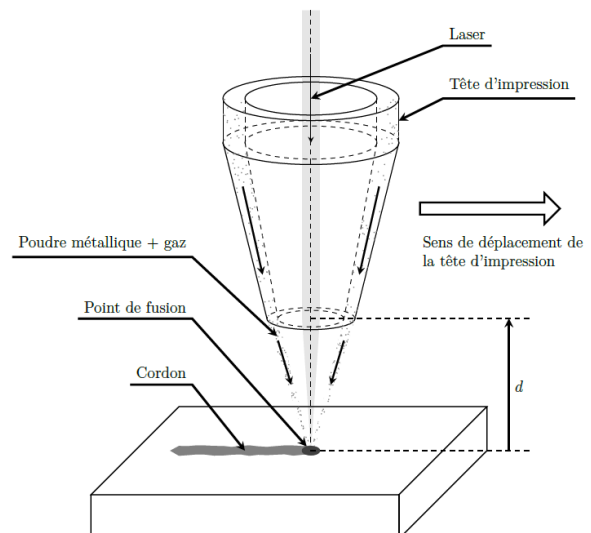


Figure 2 : Principe de fusion du métal du procédé Directed Energy Deposition.

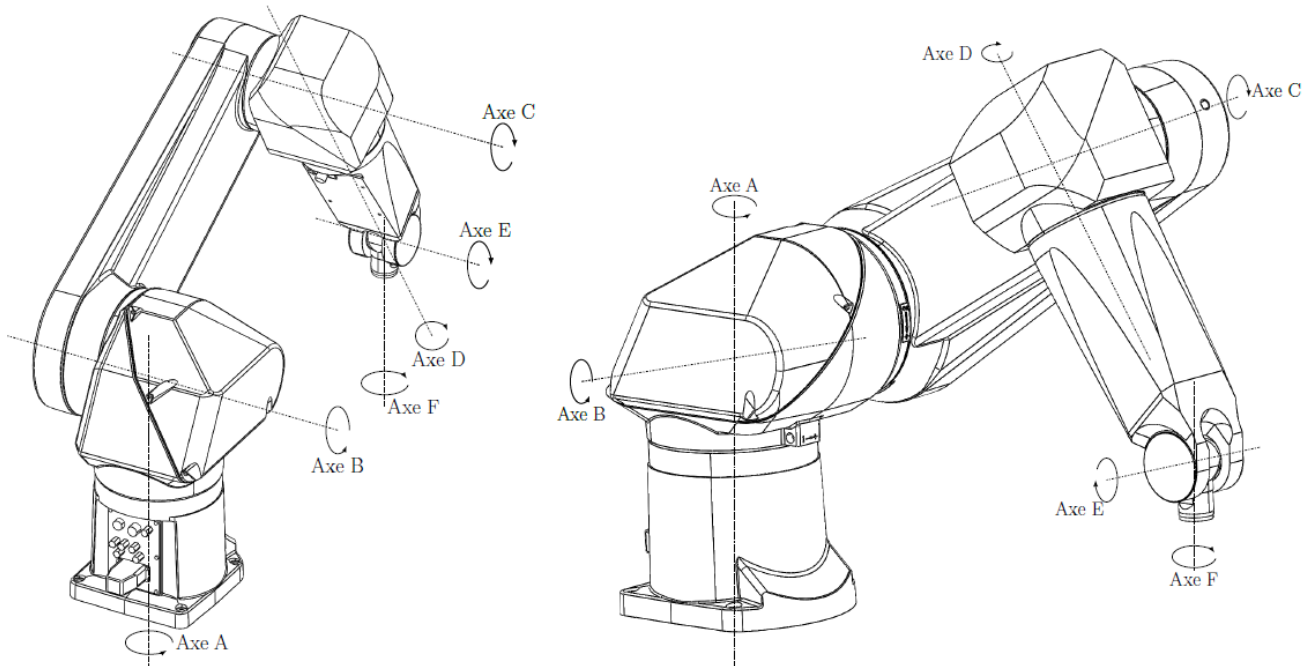


Figure 3 : Définition des axes rotatifs (articulations) du bras articulé robotisé.

Le bras articulé robotisé, utilisé dans le laboratoire de mécanique des contacts et des structures (LaMCoS), permet des déplacements dans une sphère de rayon 1,6 m en portant une charge utile de 20 kg.

L'étude porte sur la réalisation d'un cordon de référence rectiligne de direction \vec{x}_1 , les trois segments, numérotés 2, 3 et 6, se déplaçant dans le plan $(B, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$.

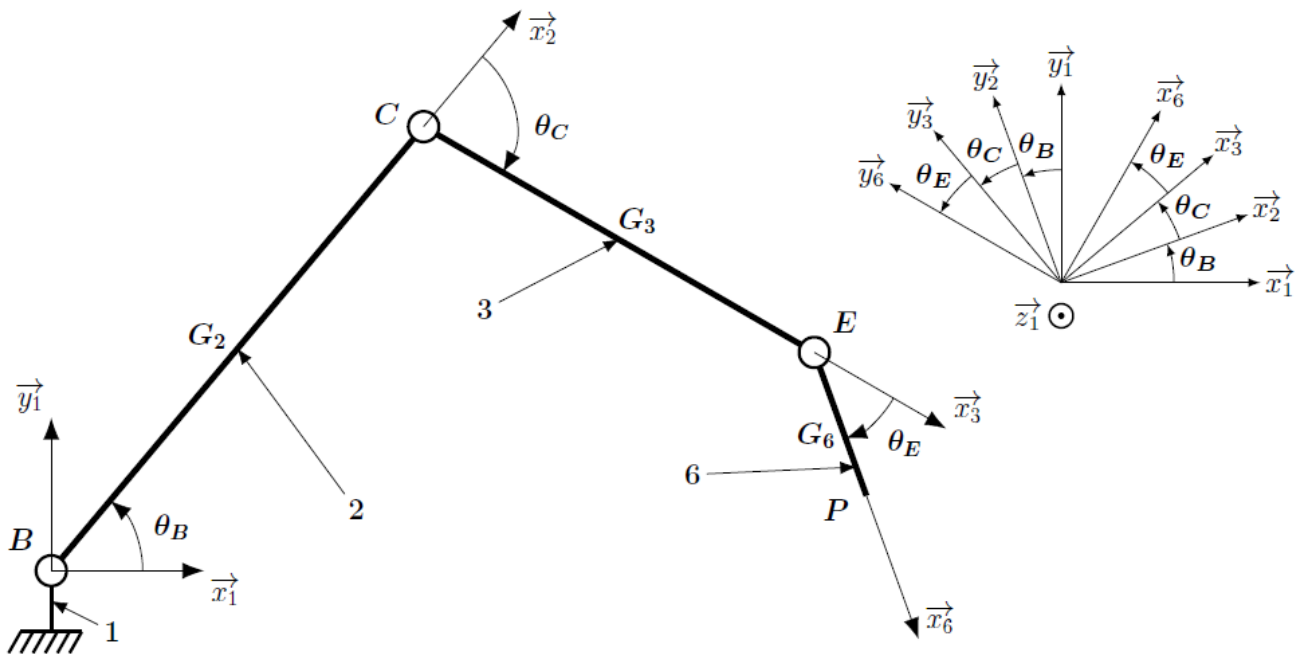


Figure 4 : Schéma cinématique du bras articulé et figure de changement de bases

$$\overrightarrow{BP} = x(t)\vec{x}_1 + y(t)\vec{y}_1; \quad \overrightarrow{BC} = l_2\vec{x}_2; \quad \overrightarrow{CE} = l_3\vec{x}_3; \quad \overrightarrow{EP} = l_6\vec{x}_6; \quad \overrightarrow{EG_6} = \frac{l_6}{2}\vec{x}_6;$$

$$(\vec{x}_1, \vec{x}_2) = \theta_B(t); \quad (\vec{x}_2, \vec{x}_3) = \theta_C(t); \quad (\vec{x}_3, \vec{x}_6) = \theta_E(t);$$

$$l_2 = 825 \text{ mm}; \quad l_3 = 625 \text{ mm}; \quad l_6 = 300 \text{ mm}; \quad (\text{P est le point de fusion})$$

Id	Exigence	Critère	Niveau
Id1	Maîtriser la position du point de fusion par rapport au plan de dépose de la matière	Positionnement vertical du point de fusion P	$\overrightarrow{BP} \cdot \vec{y}_1 = -0,311 \text{ m} \pm 150 \mu\text{m}$
		Positionnement angulaire de la tête d'impression par rapport au plan de dépose de la matière	$(-)\frac{\pi}{2} \pm \frac{0,1}{180} \times \pi \text{ rad}$

Figure 5 : Extrait du cahier des charges de réalisation d'un cordon de référence.

Question 8 : Établir le système d'équations exprimant les coordonnées cartésiennes $(x(t), y(t), \theta_6(t))$ en fonction des coordonnées articulaires $(\theta_B(t), \theta_C(t), \theta_E(t))$. Ce système d'équations est appelé modèle direct.

Il serait possible de déterminer le modèle inverse de manière analytique ou algorithmique. Au cours de la réalisation du cordon de référence, la position verticale du point de fusion doit être constante, $y_0 = -0,311 \text{ m}$. Mais, des erreurs de position angulaire placent le bras articulé à la position articulaire $(\theta_{B0} + \Delta\theta_B, \theta_{C0} + \Delta\theta_C, \theta_{E0} + \Delta\theta_E)$ alors qu'il devrait être à la position articulaire $(\theta_{B0}, \theta_{C0}, \theta_{E0})$. L'erreur de position angulaire est supposée être petite et la même pour les trois articulations, $\Delta\theta_B = \Delta\theta_C = \Delta\theta_E$. Ainsi, à l'ordre 1, il est possible d'utiliser les approximations :

$$\cos(\Delta\theta_B) \approx 1 \text{ et } \sin(\Delta\theta_B) \approx \Delta\theta_B$$

Question 9 : Déterminer l'erreur de position verticale linéarisée Δy en fonction de $l_2, l_3, l_6, \theta_{B0}, \theta_{C0}, \theta_{E0}$ et $\Delta\theta_B$. Déterminer la valeur maximale de $\Delta\theta_B$ pour la position articulaire :

$$\left(\theta_{B0} = 50 \frac{\pi}{180} \text{ rad}; \theta_{C0} = -100 \frac{\pi}{180} \text{ rad}; \theta_{E0} = -40 \frac{\pi}{180} \text{ rad} \right)$$

L'erreur angulaire maximale de chaque articulation, calculée précédemment, sera utilisée pour la validation de la commande monovariable des articulations.

Afin d'étudier le comportement dynamique du robot il est nécessaire de déterminer l'accélération des centres d'inertie des différents solides. On se contentera ici de déterminer celle du point G_6 .

Question 10 : Déterminer l'expression de la vitesse de point G_6 appartenant au solide 6 par rapport au référentiel 1 : $\vec{V}_{G_6 \in 6/1}$ (**ne pas projeter !**)

Question 11 : Déterminer l'expression de l'accélération de point G_6 appartenant au solide 6 par rapport au référentiel 1 : $\vec{\Gamma}_{G_6 \in 6/1}$ Mettre le résultat sous la forme suivante en précisant les expressions des différents termes A_i :

$$\vec{\Gamma}_{G_6 \in 6/1} = A_1 \vec{x}_2 + A_2 \vec{y}_2 + A_3 \vec{x}_3 + A_4 \vec{y}_3 + A_5 \vec{x}_6 + A_6 \vec{y}_6$$