

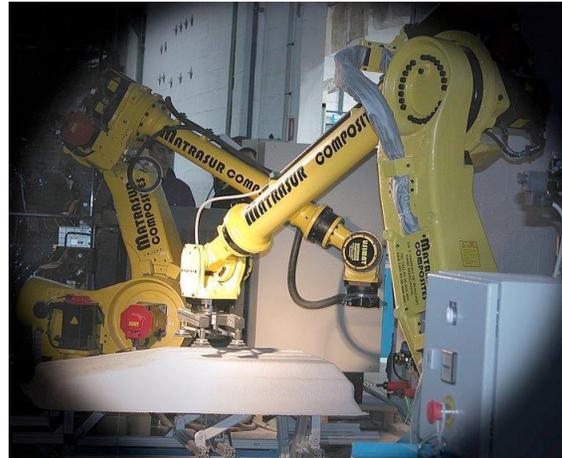
TD 4

Robot de découpe

La société MATRASUR, spécialisée dans les matériaux composites propose une gamme de robots dont les fonctions permettent la réalisation de pièces composites. Parmi ceux-ci, il existe des robots de projection, de manutention, de découpe, de dépose...

Nous nous intéressons dans cette partie au robot de découpe, dont la fonction principale est de détourer (découper les bordures) des pièces en composite brutes.

Le robot est supposé être constitué de 4 segments (ou solides) articulés entre eux, le premier solide étant articulé sur un solide fixe S_0 . Le robot est de type RRRT, où R désigne un mouvement relatif de type Rotation entre deux segments consécutifs et T désigne un mouvement relatif de type Translation. Ce dernier segment porte en son extrémité l'outil de découpe.



Le solide S_0 , appelé **base**, est fixé au sol de l'atelier. Soit $R_0 (O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ un repère lié à la base.

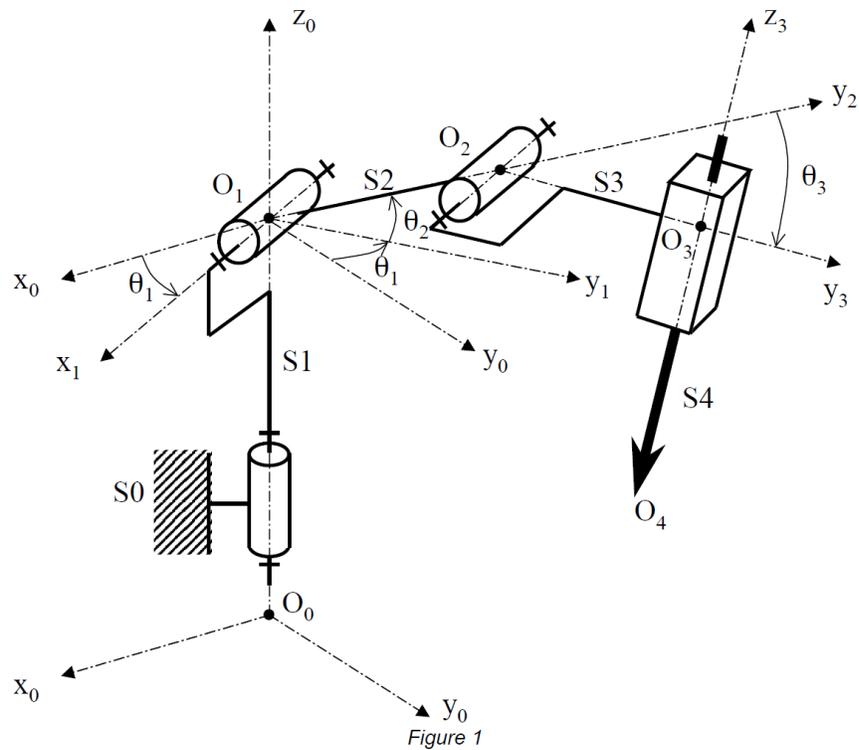
Le solide S_1 , appelé **fût**, est animé d'un mouvement de rotation autour de l'axe (O_0, \vec{z}_0) par rapport à la base S_0 . Ce mouvement de rotation est assuré par un moteur M_1 non représenté. Soit $R_1 (O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ un repère lié au fût. On pose $\theta_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$ et $\vec{O}_0\vec{O}_1 = L_0\vec{z}_0$ avec $L_0 = 50$ cm.

Le solide S_2 , appelé **bras**, est animé d'un mouvement de rotation autour de l'axe (O_1, \vec{x}_1) par rapport au fût S_1 . Ce mouvement de rotation est assuré par un moteur M_2 non représenté. Soit $R_2 (O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ un repère lié au bras. On pose $\theta_2 = (\vec{y}_1, \vec{y}_2) = (\vec{z}_0, \vec{z}_2)$ et $\vec{O}_1\vec{O}_2 = L_1\vec{y}_2$ avec $L_1 = 70$ cm.

Le solide S_3 , appelé **avant-bras**, est animé d'un mouvement de rotation autour de l'axe (O_2, \vec{x}_1) par rapport au bras S_2 . Ce mouvement de rotation est assuré par un moteur M_3 non représenté. Soit $R_3 (O_2, \vec{x}_1, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ un repère lié à l'avant-bras. On pose $\theta_3 = (\vec{y}_2, \vec{y}_3) = (\vec{z}_2, \vec{z}_3)$ et $\vec{O}_2\vec{O}_3 = L_2\vec{y}_3$ avec $L_2 = 60$ cm.

Le solide S_4 , appelé **organe terminal**, est animé d'un mouvement de translation suivant la direction \vec{z}_3 par rapport à l'avant-bras S_3 . Ce mouvement de translation est assuré par un vérin linéaire V_4 non représenté. Soit $R_4 (O_4, \vec{x}_1, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ un repère lié à l'organe terminal. On pose $\vec{O}_4\vec{O}_3 = L_3\vec{z}_3$.

Les mouvements du robot sont étudiés dans le repère $R_0 (O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié à la base et supposé galiléen. L'axe (O_0, \vec{z}_0) est vertical ascendant.



Modélisation du robot de découpe

Un extrait du cahier des charges donne les performances attendues du robot de découpe :

Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
Assurer la précision de la découpe	Précision orthoradiale bars déplié	0.1 mm	0
	Précision angulaire moteur	$0.01 \cdot 10^{-3}$ rad	0
	Précision radiale	0.05 mm	0
	Précision normale	0.05 mm	0
Assurer la rapidité de la découpe	Vitesse de rotation	> 0.2 rad/s	0

1 – Vérification des performances

Dans cette partie, on cherche à vérifier les performances du cahier des charges en ce qui concerne la précision du positionnement de l'outil lors de la phase de découpe. En effet, la rigidité des liaisons n'étant pas parfaite, l'effort à exercer pour assurer la découpe du matériau composite tend à décaler la position du bras.

L'objectif de ce TD est donc de vérifier si la rigidité du bras de robot est suffisante pour satisfaire le critère de précision de positionnement ortho-radiale du cahier des charges.

On fera les hypothèses suivantes pour l'ensemble de l'étude :

- les solides sont considérés comme indéformables
- les liaisons sont considérés comme parfaites
- le référentiel d'étude (lié à la terre) est considéré comme Galiléen
- les géométries des différentes pièces sont considérées comme parfaites

Pour les masses des différents solides, on les notera m_i en référence au solide i . Les centres de gravité se situent par hypothèse aux centres géométriques des solides considérés et seront notés G_i .

2 – Modélisation

Q1 : Mettre en place les 3 figures de projection relatives aux rotations $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$.

Pour la suite de l'étude, on fera les hypothèses suivantes (induites par le fait que le bras est déplié) :

- $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0^\circ$, $\dot{\theta}_2 = \dot{\theta}_3 = 0 \text{ rad/s}$ et $\dot{\theta}_1 \neq 0$ (le bras ne se déplace que par l'action du moteur électrique M_1 entre S_0 et S_1).
- à l'instant considéré, on suppose donc que l'outil se déplace selon l'axe \vec{x}_0 .

Lors du déplacement continu de l'outil de découpe (généralement une fraise), il est possible de modéliser l'action mécanique entre l'outil et le composite de la manière suivante :

La résultante normale de l'action mécanique du robot sur le composite est dirigée verticalement vers le bas et possède une intensité de 50 N

La résultante tangentielle de l'action mécanique du composite sur le robot peut être modélisée comme un effort de frottement de coefficient $f = 0,9$.

Le contact entre l'outil et le matériau sera considéré comme ponctuel.

Q2 : Représenter le bras de robot dans la position considérée.

Q3 : Déterminer le torseur représentant l'action mécanique du composite sur l'outil du robot au point O_4 .

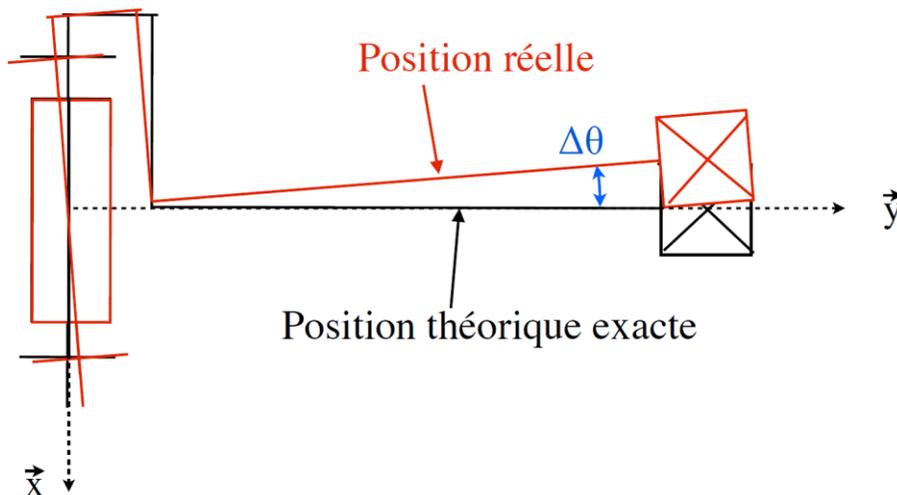
3 – Vérification du cahier des charges

Q4 : Donner le graphe des liaisons du système de découpe, et représenter sur celui-ci les différentes actions mécaniques qui s'exercent sur le robot.

On considère que la rigidité des liaisons pivots en O_1 et O_2 n'est pas parfaite. En effet, celle-ci sont réalisées par deux roulements à billes qui ne peuvent être considérés comme indéformables, étant donné la précision exigée par le cahier des charges.

Ce manque de rigidité est tel que l'on a $\Delta\theta = k \cdot C_v$ avec $\Delta\theta$ le déplacement angulaire dû au manque de rigidité de la liaison et C_v la norme du moment appliqué sur cette liaison selon l'axe \vec{z} . k est un coefficient de proportionnalité calculé pour la liaison considérée.

On supposera que ces déplacements angulaires n'existent que selon l'axe \vec{z} .



Prise en compte de la rigidité des liaisons

On prendra pour le reste de l'étude $k = 1,5 \cdot 10^{-6}$ rad / (N.m).

Q5 : Déterminer le déplacement angulaire dû au manque de rigidité dans les liaisons entre S_1 et S_2 et entre S_2 et S_3 lorsque le bras de robot est déplié. Pour cela, calculer le moment selon \vec{z} de la liaison considérée, ce qui revient à calculer N_{21} et N_{23} .

Q6 : En déduire la précision ortho-radiale du positionnement du bras de robot.

Q7 : Conclure vis-à-vis du cahier des charges.