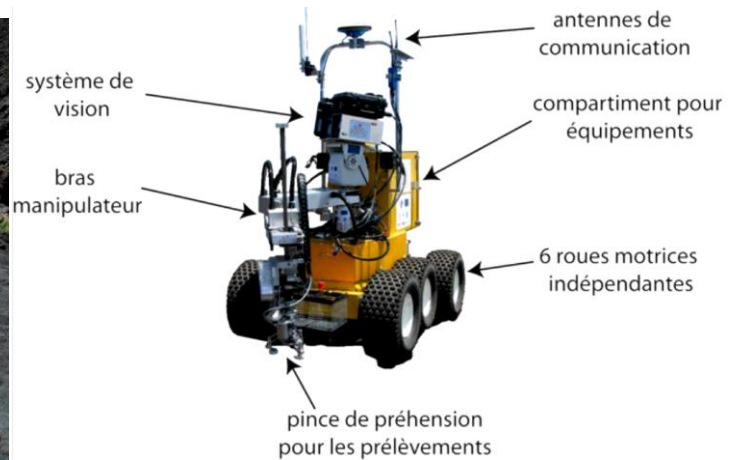


Robot d'exploration volcanique



1 - Étude du bras manipulateur

Le package scientifique équipant ROBOVOLC est formé d'un bras manipulateur et d'une pince servant d'effecteur pour collecter des échantillons rocheux et poser/prendre des instruments sur le sol. Ces organes sont pilotés par des moteurs à courant continu contrôlés par des modules électroniques.

Le système est en outre constitué d'un système d'échantillonnage des gaz (avec sonde) qui ne sera pas étudié ici.

L'objectif de cette partie est de vérifier les efforts et de vérifier leur compatibilité avec le critère suivant du cahier des charges :

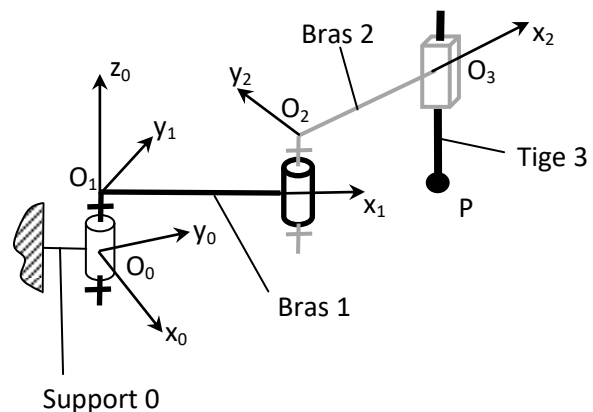
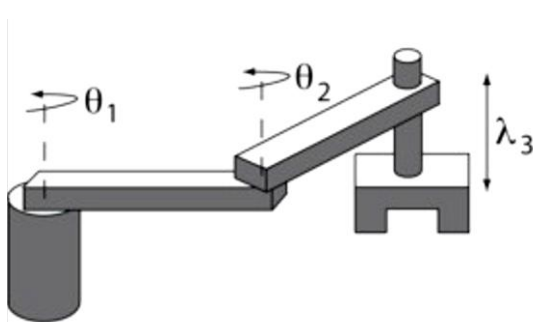
Extrait du cahier des charges : masse maximale des objets à saisir 2,5 kg

Modélisation du système

Le bras manipulateur est de type SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) ; c'est un système mécanique poly-articulé avec trois axes parallèles et une architecture en série (Figure ci-dessous). Il présente plusieurs avantages, notamment sa précision, sa rapidité, et sa très grande rigidité verticale.

L'ensemble est constitué de trois pièces assimilées à des solides indéformables :

- le bras 1, de masse m_1 , auquel on associe un repère $(O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$;
- le bras 2, de masse m_2 , auquel on associe un repère $(O_2, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$;
- la tige 3 au bout de laquelle se situe la pince et éventuellement l'objet saisi. La masse m_3 de ce sous-ensemble est supposée ponctuelle au point P correspondant à la position de la pince.



Dans cette étude, le châssis de ROBOVOLC constitue le bâti 0 auquel on associe un repère (fixe) $(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$. On suppose par la suite que le sol est plan et horizontal ; la direction $\vec{z}_0 = \vec{x}_1 = \vec{z}_2$ correspond donc à la verticale. On suppose également que le référentiel lié au bâti est galiléen.

L'accélération de la pesanteur est telle que : $\vec{g} = -g \vec{z}_0$

Le positionnement horizontal de la pince dans le plan $(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$ est obtenu par deux rotations indépendantes :

- celle du bras 1 en liaison pivot d'axe (O_1, \vec{z}_0) par rapport au bâti 0, on note $\theta_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$ l'angle correspondant ;
- celle du bras 2 en liaison pivot d'axe (O_2, \vec{z}_0) par rapport au bras 1, on note $\theta_2 = (\vec{x}_1, \vec{x}_2)$ l'angle correspondant.

Le positionnement vertical de la pince est quant à lui obtenu par une liaison glissière de direction \vec{z}_0 entre la tige 3 et le bras 2.

Toutes les liaisons sont supposées parfaites.

On note : $\vec{O}_0\vec{O}_1 = d_1\vec{z}_0$; $\vec{O}_1\vec{O}_2 = L_1\vec{x}_1 + d_2\vec{z}_0$; $\vec{O}_2\vec{P} = L_2\vec{x}_2 - \lambda_3\vec{z}_0$;

G_1 : centre de gravité du bras 1 avec : $\vec{O}_1\vec{G}_1 = Lg_1\vec{x}_1$

G_2 : centre de gravité du bras 2 avec : $\vec{O}_2\vec{G}_2 = Lg_2\vec{x}_2$

Les 3 degrés de liberté du bras sont donc θ_1 , θ_2 et λ_3 .

Le débattement permis pour les deux liaisons pivot est $\pm 150^\circ$ (limitation par des butées).

On donne de plus :

$d_1 = 500$ mm, $d_2 = 30$ mm, $L_1 = 500$ mm, $L_2 = 500$ mm, $m_1 = 2$ kg, $m_2 = 2$ kg,

$m_3 = 6$ kg (incluant un objet saisi de masse 2,5 kg).

Questions

1) Faire le graphe des liaisons du système en précisant le nom des liaisons, leur axe principal ainsi que leur centre

2) Ecrire les torseurs :

- $\{\mathcal{T}_{g \rightarrow 1}\}$ torseur du poids de 1 exprimé au point G_1

- $\{\mathcal{T}_{g \rightarrow 2}\}$ torseur du poids de 2 exprimé au point G_2

- $\{\mathcal{T}_{g \rightarrow 3}\}$ torseur du poids de 3 exprimé au point P

3) Ecrire les torseurs $\{\mathcal{T}_{g \rightarrow 1}\}$, $\{\mathcal{T}_{g \rightarrow 2}\}$, $\{\mathcal{T}_{g \rightarrow 3}\}$ exprimés au point O_0

4) Par application du principe fondamental de la statique (PFS), déterminer l'expression du torseur de l'action de liaison en O_0 . Pour cela on précisera le ou les solides à isoler et les conditions d'application du PFS

2 - Étude de l'action de préhension

L'objectif de cette partie est de valider les performances de serrage de la pince et de vérifier les critères suivants du cahier des charges :

Diamètre des objets à saisir entre 40 mm et 300 mm

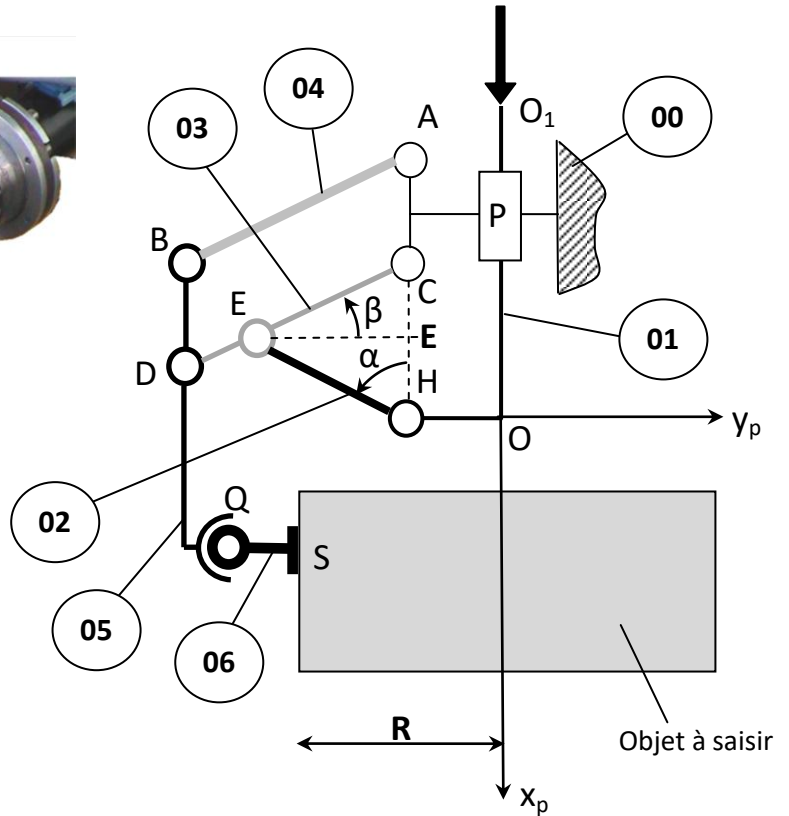
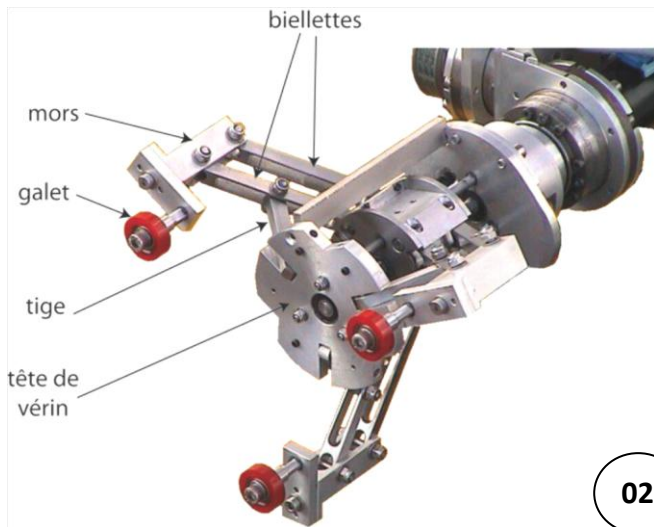
Masse maximale des objets à saisir 2,5 kg

Actions mécaniques dans la pince

Dans cette sous-partie, on établit la transmission des actions mécaniques entre l'actionneur et l'effecteur et on quantifie les actions à fournir par l'actionneur pour respecter le cahier des charges.

La pince de préhension, servant à collecter les échantillons de roche ou à poser/prendre des instruments sur le sol, est une pince à trois doigts (préhenseur tridigital, voir figure page suivante).

Par symétrie, on restreint l'étude à un seul doigt.



La chaîne cinématique correspondante est schématisée (modélisation plane) sur la figure ci-dessus ; elle est constituée :

- du bâti 00 lié au bras manipulateur du système ROBOVOLC, auquel on associe le repère $(P, \vec{x}_p, \vec{y}_p, \vec{z}_p)$ avec \vec{x}_p la verticale descendante ;
- d'une **tige de vérin 01** ;
- d'une **tige 02** ;
- de deux **biellettes 03 et 04** ;
- d'un **mors 05** ;
- d'un **galet 06** en contact avec l'objet à saisir.

Les points A, B, C, D forment un parallélogramme.

On introduit le paramétrage suivant :

$$\overline{HP} \cdot \vec{y}_p = \overline{AP} \cdot \vec{y}_p = \overline{CP} \cdot \vec{y}_p = d$$

$$CE = EH = L_2, AC = BD = L_3, AB = CD = L_4$$

$$\overline{DQ} = L_5 \cdot \vec{x}_p + d_5 \cdot \vec{y}_p, \overline{QS} = d_6 \cdot \vec{y}_p$$

$$\overline{O_1O} = L \cdot \vec{x}_p; \overline{O_1P} = L_p \cdot \vec{x}_p; \overline{OH} = -d \cdot \vec{y}_p; \overline{OS} = -d_7 \cdot \vec{x}_p - R \cdot \vec{y}_p$$

$$\alpha = (\overline{HC}, \overline{HE}) \text{ et } \beta = (\overline{y}_p, \overline{EC})$$

On donne $d = 50 \text{ mm}$, $L_2 = 100 \text{ mm}$, $L_4 = 150 \text{ mm}$, $d_5 = 20 \text{ mm}$, $d_6 = 15 \text{ mm}$.

Le **contact** entre le **galet 06** et l'**objet** est modélisé par une **liaison linéaire rectiligne d'axe (S, \vec{x}_p)** et de normale \vec{y}_p . Dans une première approche, on considère que toutes les liaisons sont parfaites.

De plus, le poids des pièces composant la pince est négligé.

L'objet à saisir est modélisé par un cylindre à base circulaire de rayon R .

5) Faire le graphe des liaisons du système en précisant le nom des liaisons, leur axe principal ainsi que centre

6) Donner le lien entre les angles α et β

Par l'écriture d'une fermeture géométrique, démontrer que l'on peut établir la relation : $R = -d_6 - d_5 + L_4 \cos\beta + d$

7) Justifier pourquoi :

- Les actions de liaison en A et en B sont portées par la droite (AB) ;
- Les actions de liaison en E et en H sont portées par la droite (EH) .

En déduire une relation entre X_B , Y_B et β ainsi qu'une relation entre X_H , Y_H et α

L'ouverture/fermeture de la pince est réalisée par un moteur électrique et un système vis-écrou fournissant un effort de poussée $\vec{F}_p = F_p \vec{x}_p$ sur la tige de vérin 01 en amont de la pince.

D'autre part, on introduit à présent un modèle de frottement au contact entre le galet 06 et l'objet à saisir.

Ce modèle se traduit au niveau de la liaison équivalente entre le mors 05 et l'objet à saisir par un torseur statique de la forme :

$$\{\mathcal{T}_{05 \rightarrow \text{objet}}\} = \left\{ \begin{array}{c} -F_{Sx} \vec{x}_p + F_{Sy} \vec{y}_p \\ \vec{0} \end{array} \right\}_S$$

F_{Sx} est l'effort tangentiel et F_s

F_{Sy} est l'effort normal (ou de serrage) au contact.

L'effort de liaison en H de 02 sur 01 sera noté : $\{\mathcal{T}_{H 02 \rightarrow 01}\} = \left\{ \begin{array}{c} X_H \vec{x}_p + Y_H \vec{y}_p \\ \vec{0} \end{array} \right\}_H$

Sur 01 il s'applique un effort \vec{F}_p tel que : $\{\mathcal{T}_{P \text{moteur} \rightarrow 01}\} = \left\{ \begin{array}{c} F_p \vec{x}_p \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{O_1}$

8) Proposer une démarche (solide à isoler, théorème à appliquer..) pour exprimer les composantes X_H et Y_H en fonction de F_p et des données géométriques

Etablir les équations puis les résoudre

L'effort de liaison en B de 04 sur 05 sera noté : $\{\mathcal{T}_{B 04 \rightarrow 05}\} = \left\{ \begin{array}{c} X_B \vec{x}_p + Y_B \vec{y}_p \\ \vec{0} \end{array} \right\}_B$

L'effort de liaison en D de 03 sur 05 sera noté : $\{\mathcal{T}_{D 03 \rightarrow 05}\} = \left\{ \begin{array}{c} X_D \vec{x}_p + Y_D \vec{y}_p \\ \vec{0} \end{array} \right\}_D$

9) Proposer une démarche (solide à isoler, théorème à appliquer..) pour exprimer les composantes X_B , Y_B , X_D et Y_D en fonction de F_{Sx} , F_{Sy} et des données géométriques

Etablir les équations puis les résoudre

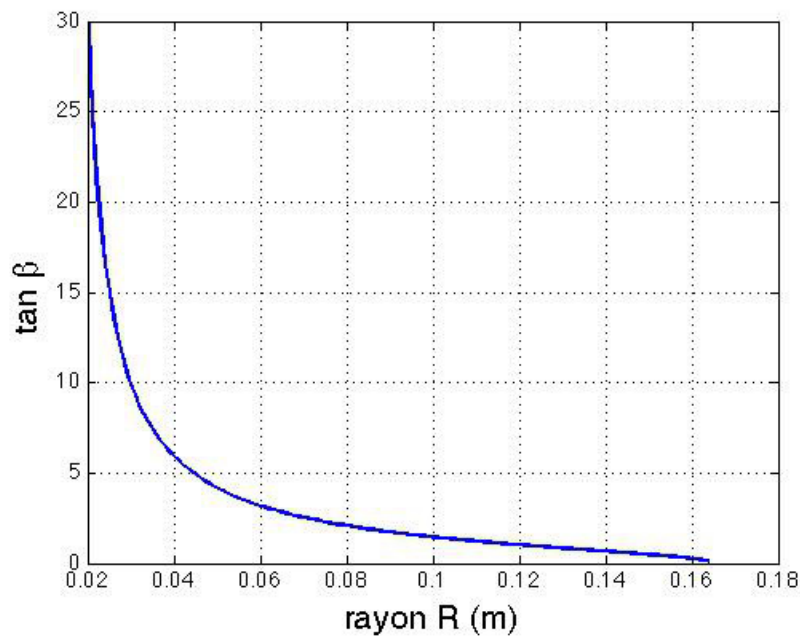
10) Proposer une démarche (solide à isoler, théorème à appliquer..) pour exprimer les composantes X_C , Y_C , X_D et Y_D en fonction de F_p et des données géométriques

Etablir les équations puis les résoudre

11) Montrer que les équations établies en 5) et en 6) permettent d'aboutir à la relation : $F_p = K (\text{tg}\beta \cdot F_{Sy} - F_{Sx})$ o

où l'expression de la constante K est à préciser en fonction de L_2 et L_4 .
Montrer également que cette relation est indépendante de la longueur L_5 et expliquer l'avantage technique de ce résultat.

On représente sur la figure ci-après l'évolution de $\tan \beta$ en fonction du rayon R de l'objet à saisir sur la plage $R = [20 \text{ mm}, 165 \text{ mm}]$.



12) Commenter ce graphe, en particulier pour les valeurs extrêmes du rayon R .

On suppose que l'on a un modèle de frottement de Coulomb (le coefficient de frottement est noté f), qui est basé sur les hypothèses :

- On se place à la limite du glissement
- On utilise le modèle des lois de Coulomb $|F_{Sx}| = f|F_{Sy}|$

13) Montrer que l'objet peut être saisi et soulevé sans aucune action de poussée F_p du moteur lorsque le rayon de l'objet est tel que $R \geq R_{min}$.

Sachant que par une étude géométrique on a pu établir la relation $R = -d_6 - d_5 + L_4 \cos \beta + d_1$, on précisera l'expression de R_{min} , on donnera sa valeur pour $f = 2$, et on commentera ce caractère particulier de la pince en donnant un avantage et un inconvénient.

14) Sachant qu'il y a 3 doigts, pour $R < R_{min}$, donner la relation entre l'effort de poussée F_p et la masse m_{objet} de l'objet à saisir, ainsi qu'entre l'effort de poussée F_p et l'effort de serrage F_{sy} . En déduire la valeur de l'effort de poussée maximal à fournir pour respecter le cahier des charges avec $f = 2$.