

Contrôle continu de cinématique

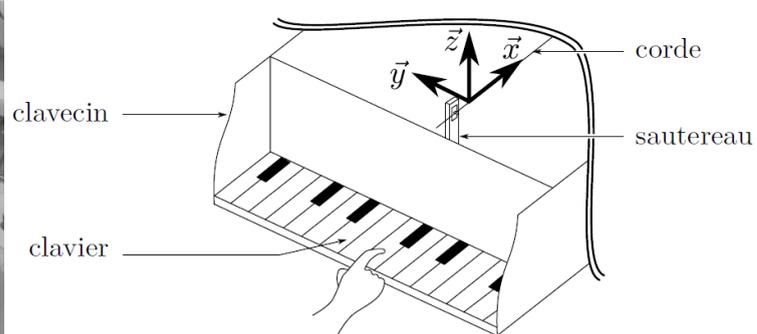
Plate-forme DRoPiC pour l'étude du clavecin

Dans le domaine musical, la robotique est utilisée pour deux cas d'application distincts :

- jouer d'un ou de plusieurs instrument(s) de musique pour les robots musiciens ;
- reproduire les gestes musicaux pour les robots d'étude des instruments.

Selon les cas, les robots développés peuvent être inspirés de l'être humain (anthropomorphes) ou d'architecture plus libres.

Les robots d'étude des instruments permettent d'analyser et de comprendre l'interaction complexe qui existe entre le musicien et son instrument, en réalisant de nombreuses mesures, afin d'en extraire les paramètres pertinents. L'étude se focalisera ici sur le clavecin, instrument à cordes pincées et à clavier. L'enfoncement des touches du clavier du clavecin permet d'actionner un sautereau, qui vient alors pincer la corde (**figure ci-après**).



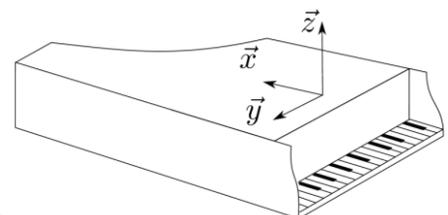
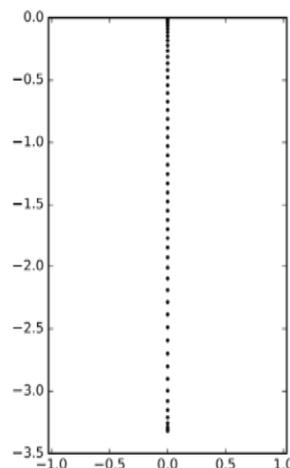
Les robots d'étude sont capables :

- de générer les trajectoires réalistes d'un doigt de joueur de clavecin, ce qui permet plutôt d'analyser les efforts articulaires mis en jeu dans le doigt pendant un morceau de musique ;
- d'imposer directement les conditions initiales idéales, indépendamment des trajectoires, ce qui permet d'obtenir un outil juste et répétable d'étude du clavecin, utilisable par exemple pour son harmonisation (processus de réglage).

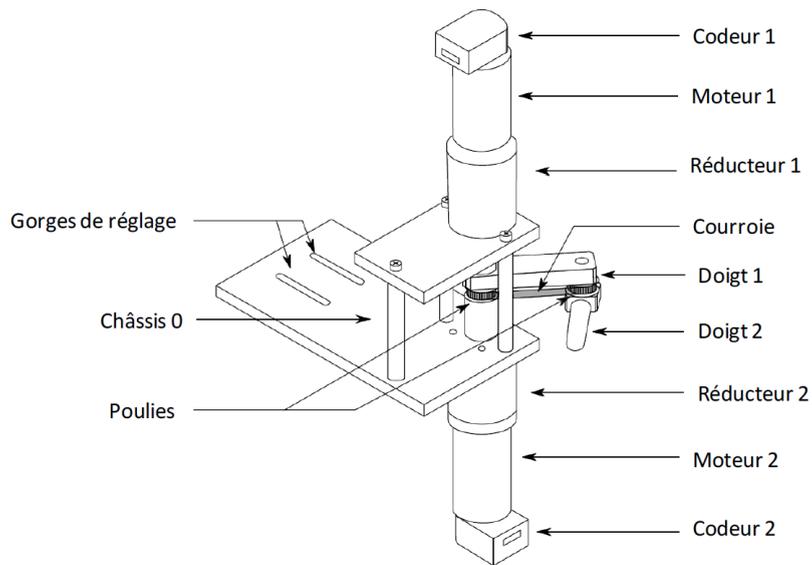
Exigences de la plate-forme robotisée

Des mesures ont montré que geste de la claveciniste selon \vec{z} n'a aucune influence sur l'élévation du sautereau. Les mouvements utiles à reproduire sont donc contenus dans le plan (\vec{x}, \vec{y}) ; un robot plan est alors suffisant.

De plus, seul l'enfoncement de la touche est mesuré, ce qui correspond à des trajectoires rectilignes (figure ci-contre). Néanmoins, le choix de deux degrés de liberté pour le robot permettra son utilisation pour d'autres instruments à cordes pincées, telle la harpe.

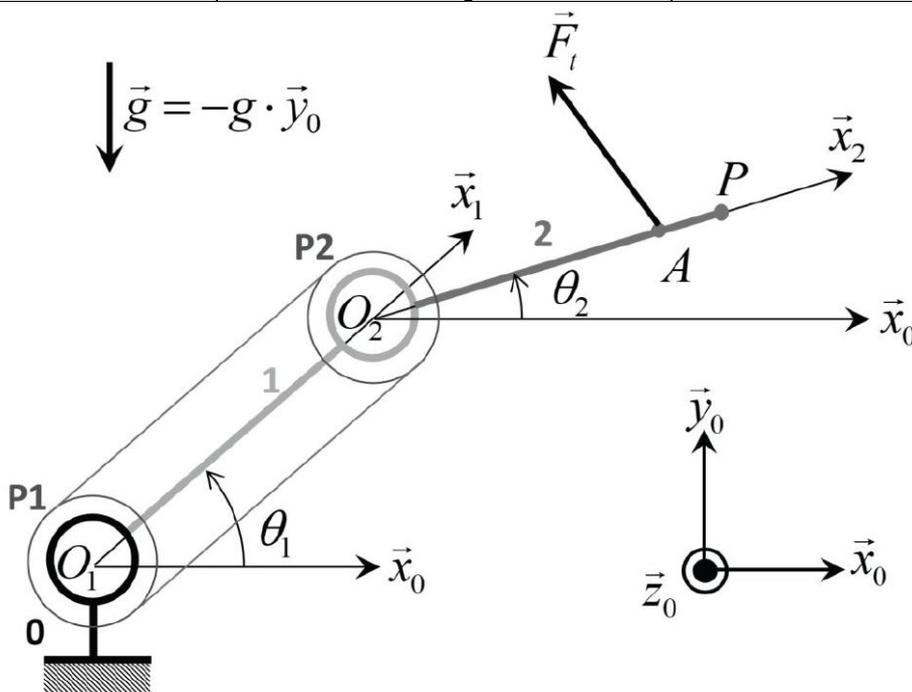


Architecture du robot DRoPiC et modèles géométrique et cinématique



Paramétrage géométrique et cinétique

Solides	1	2
Paramétrage géométrique	$\vec{O_1O_2} = l_1 \cdot \vec{x}_1$	$\vec{O_2P} = l_2 \cdot \vec{x}_2$ $\vec{O_2A} = a_2 \cdot \vec{x}_2$
	$l_1 = 45 \text{ mm}$	$l_2 = 45 \text{ mm}$
Centre de gravité	$\vec{O_1G_1} = c_1 \cdot \vec{x}_1$	$\vec{O_2G_2} = c_2 \cdot \vec{x}_2$
	$c_1 = \frac{l_1}{2}$	$c_2 = \frac{l_2}{2}$



Modèle géométrique du robot DroPiC

Le robot DRoPiC, schématisé sur la figure page précédente, est constitué de deux doigts notés 1 et 2.

Le **doigt 1** est en liaison pivot avec le bâti 0 d'axe (O_1, \vec{z}_0) , il dispose donc d'un degré de liberté noté $\theta_1(t)$ par rapport à 0. La rotation est actionnée par un motoréducteur 1 exerçant un couple $C_{r1} \cdot \vec{z}_0$ sur le doigt 1.

Le **doigt 2** est en liaison pivot avec le doigt 1 d'axe (O_1, \vec{z}_0) , il dispose donc d'un degré de liberté noté $\theta_2(t)$ par rapport à 0. La rotation est actionnée par un motoréducteur 2 exerçant un couple $C_{r2} \cdot \vec{z}_0$ sur le doigt 2 par l'intermédiaire d'une transmission à poulies-courroie. Le stator du groupe motoréducteur 2 est donc solidaire du bâti 0.

1) A partir du modèle géométrique, réaliser les figures de changement de repère faisant apparaître les angles θ_1 et θ_2

2) Déterminer les vecteurs rotation $\vec{\Omega}_{1/0}$, $\vec{\Omega}_{2/0}$ et $\vec{\Omega}_{2/1}$

On note $x(t)$ et $y(t)$ les coordonnées cartésiennes du point P telles que :

$$\vec{O_1P} = x(t) \cdot \vec{x}_0 + y(t) \cdot \vec{y}_0$$

Il est courant en robotique de nommer les angles $\theta_1(t)$ et $\theta_2(t)$ les coordonnées articulaires du robot.

La commande de trajectoire du point P nécessite d'établir un modèle géométrique et cinématique entre les coordonnées articulaires et cartésiennes du robot.

On cherche alors un modèle sous la forme ci-dessous, où $[J]$ est appelée matrice jacobienne du modèle :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \end{bmatrix} = [J] \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1(t) \\ \dot{\theta}_2(t) \end{bmatrix}$$

Qui traduit les relations entre $\dot{x}(t)$, $\dot{y}(t)$, $\dot{\theta}_1(t)$ et $\dot{\theta}_2(t)$ de la forme :

$$\dot{x}(t) = f_1(l_1, \theta_1) \cdot \dot{\theta}_1(t) + f_2(l_2, \theta_2) \cdot \dot{\theta}_2(t)$$

$$\dot{y}(t) = g_1(l_1, \theta_1) \cdot \dot{\theta}_1(t) + g_2(l_2, \theta_2) \cdot \dot{\theta}_2(t)$$

Où f_1, f_2, g_1, g_2 sont des fonctions de $l_1, l_2, \theta_1, \theta_2$

3) Ecrire le vecteur $\vec{O_1P}$ dans la base (\vec{x}_0, \vec{y}_0) en fonction de $l_1, l_2, \theta_1, \theta_2$

4) Déterminer le vecteur vitesse $\vec{V}_{P2/0}$ par dérivation dans la base (\vec{x}_0, \vec{y}_0)

5) Retrouver ce résultat par changement de point (avec le point O_2)

6) En déduire $\dot{x}(t)$ et $\dot{y}(t)$ puis exprimer les fonctions f_1, f_2, g_1, g_2 afin de compléter la matrice $[J]$

7) Exprimer la norme de la vitesse $\vec{V}_{P2/0}$

Validation de l'exigence de vitesse maximale

Caractéristiques des groupes motoréducteur 1 et 2 :

- Vitesse nominale du moteur : $N_m = 2970 \text{ tr/mn}$
- Rapport de réduction du réducteur : $r = 4/49$

La vitesse maximale du point P dans son mouvement par rapport au bâti 0 doit pouvoir être atteinte lorsque chaque moteur fonctionne seul ($\omega_{m1}(t) = 0$ si $\omega_{m2}(t) \neq 0$ et vice-versa). On considère de plus que la situation la plus défavorable correspond à la situation où seul le doigt 2 est actionné.

8) Déterminer la relation entre la vitesse de rotation ω_{m2} de l'axe moteur et la norme de la vitesse V_P du point P

9) Par application numérique, vérifier que la vitesse maximale à atteinte est de 1,2 m/s

10) Déterminer le vecteur accélération $\vec{\Gamma}_{P2/0}$ par dérivation dans la base (\vec{x}_0, \vec{y}_0)