Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2020, filière PSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 4 heures

Ce que traite le sujet

- Partie I : présentation du contexte et des exigences du robot
- Partie II : architecture du robot et modèles géométrique et cinématique
- Partie III : modèle d'un mécanisme à levier et poussoir, détermination de l'effort de contact
- Partie IV : modèle dynamique du robot
- Partie V : modèle des asservissements du robot
- Partie VI : comparaison avec les essais et validation

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/ccinp/psi/2020/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS COMMUN INP

ÉPREUVE MUTUALISÉE AVEC E3A-POLYTECH

ÉPREUVE SPÉCIFIQUE - FILIÈRE PSI

SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Jeudi 7 mai : 8 h - 12 h

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

RAPPEL DES CONSIGNES

- *Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; d'autres couleurs, excepté le vert, peuvent être utilisées, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.*
- *Ne pas utiliser de correcteur.*
- *Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.*

Les calculatrices sont autorisées

Le sujet, constitué de quatorze pages d'énoncé et de cinq pages d'**annexes**, comporte six **parties** indépendantes.

Seul le **Document Réponse** est à rendre.

Plate-forme DRoPiC pour l'étude du clavecin

La **partie I** présente le contexte et les exigences du système étudié.
La **partie II** porte sur la modélisation cinématique et l'architecture générale du système.
La **partie III** porte sur la détermination de l'effort à fournir par le système.
La **partie IV** porte sur la modélisation dynamique du système.
La **partie V** porte sur le réglage de l'asservissement du système.
La **partie VI** présente les résultats expérimentaux.

Partie I - Présentation du contexte et des exigences du robot

I.1 - Robots d'étude des instruments

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. Il s'agit notamment de quantifier et de reproduire les sollicitations des instruments, par exemple la pression et le débit pour les instruments à vents ou encore le déplacement et la vitesse pour les instruments à cordes. 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 1**).

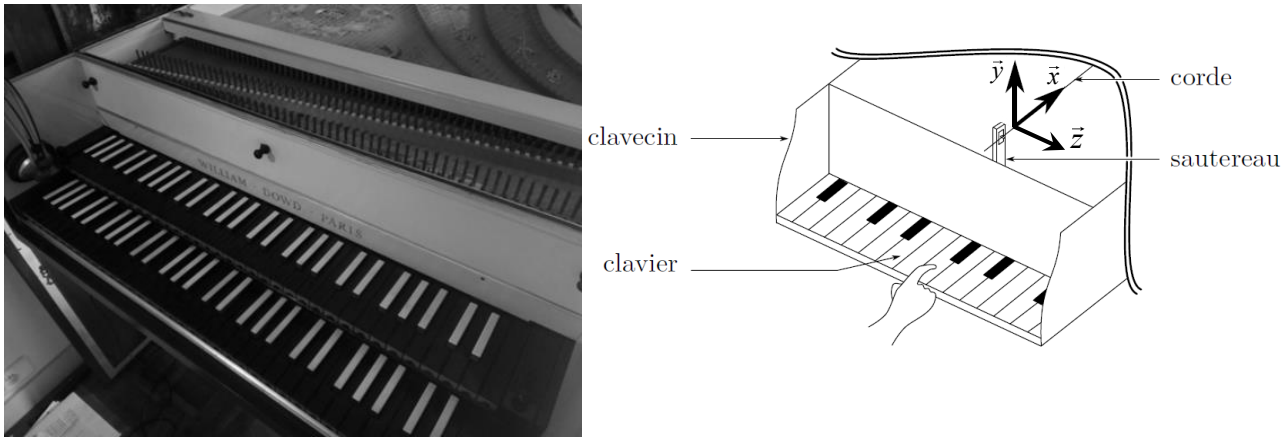


Figure 1 - Clavecin

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).

I.2 - Exigences de la plate-forme robotisée

Des mesures ont été réalisées sur une musicienne jouant du clavecin afin de déterminer les performances attendues du robot d'étude. Le geste de la claveciniste selon $\vec{z}$ n'a aucune influence sur l'élévation du sautereau (**figure 1**). Les mouvements utiles à reproduire sont donc contenus dans le plan $(\vec{x},\vec{y})$; un robot plan est alors suffisant. De plus, l'orientation du doigt n'est pas prise en compte dans ces expériences, seul l'enfoncement de la touche est mesuré, ce qui correspond à des trajectoires rectilignes (**figure 2**). Néanmoins, le choix de deux degrés de liberté pour le robot permettra son utilisation pour d'autres instruments à cordes pincées, telle la harpe.

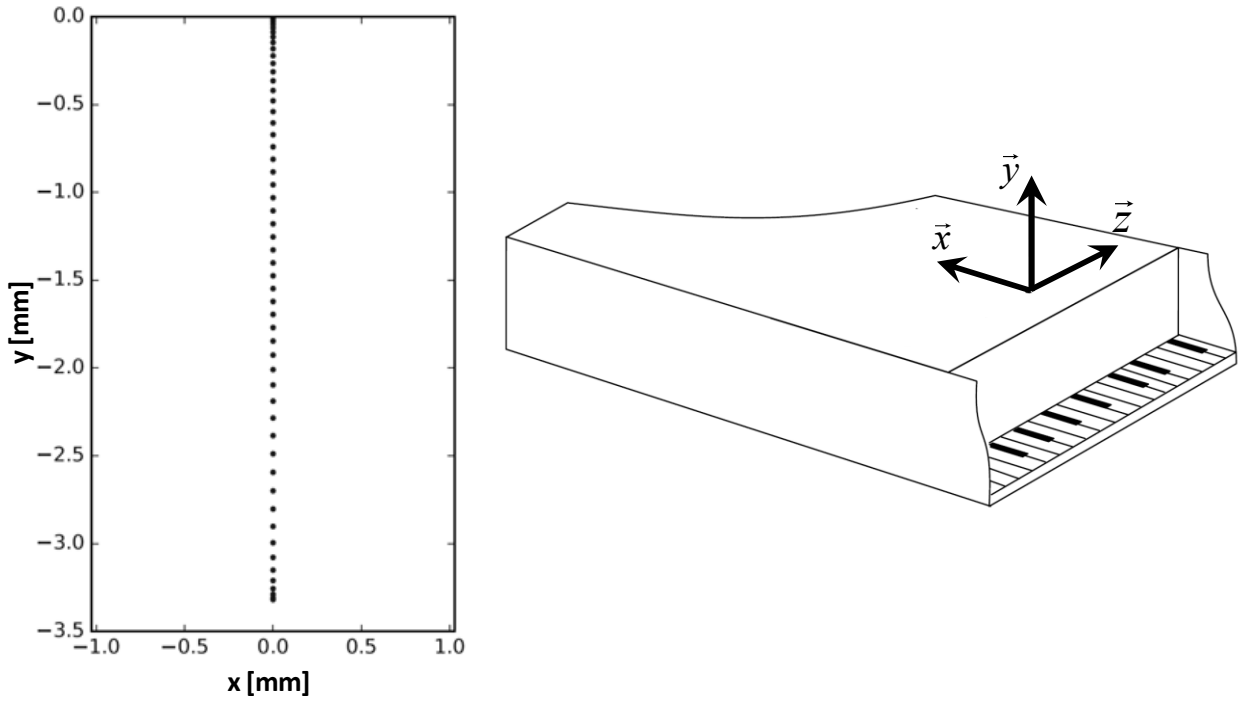


Figure 2 - Exemple de trajectoire sur le clavecin dans le plan $(\vec{x},\vec{y})$

Pour deux tempos différents, les trajectoires de jeu ont été mesurées par vibromètre laser au niveau de la touche du clavecin pour quatre sautereaux (**figure 3)**. Les données de la campagne de mesures ont été analysées afin d'établir le diagramme SysML partiel des exigences selon 5 critères (**figure 13, annexe 1**). On peut noter sur le graphique A de la **figure 3** que l'enfoncement de la touche ne dépasse pas 5 mm.

Le critère de surface de travail du robot est basé sur le déplacement maximal en considérant qu'elle correspond à l'aire d'un carré dont le côté est le déplacement maximal (graphique A de la **figure 3**). Le critère de durée des trajectoires (graphique B de la **figure 3**) est déterminant afin de fixer une limite supérieure à la période d'échantillonnage de la commande du robot, permettant de reproduire avec une précision suffisante les trajectoires mesurées.

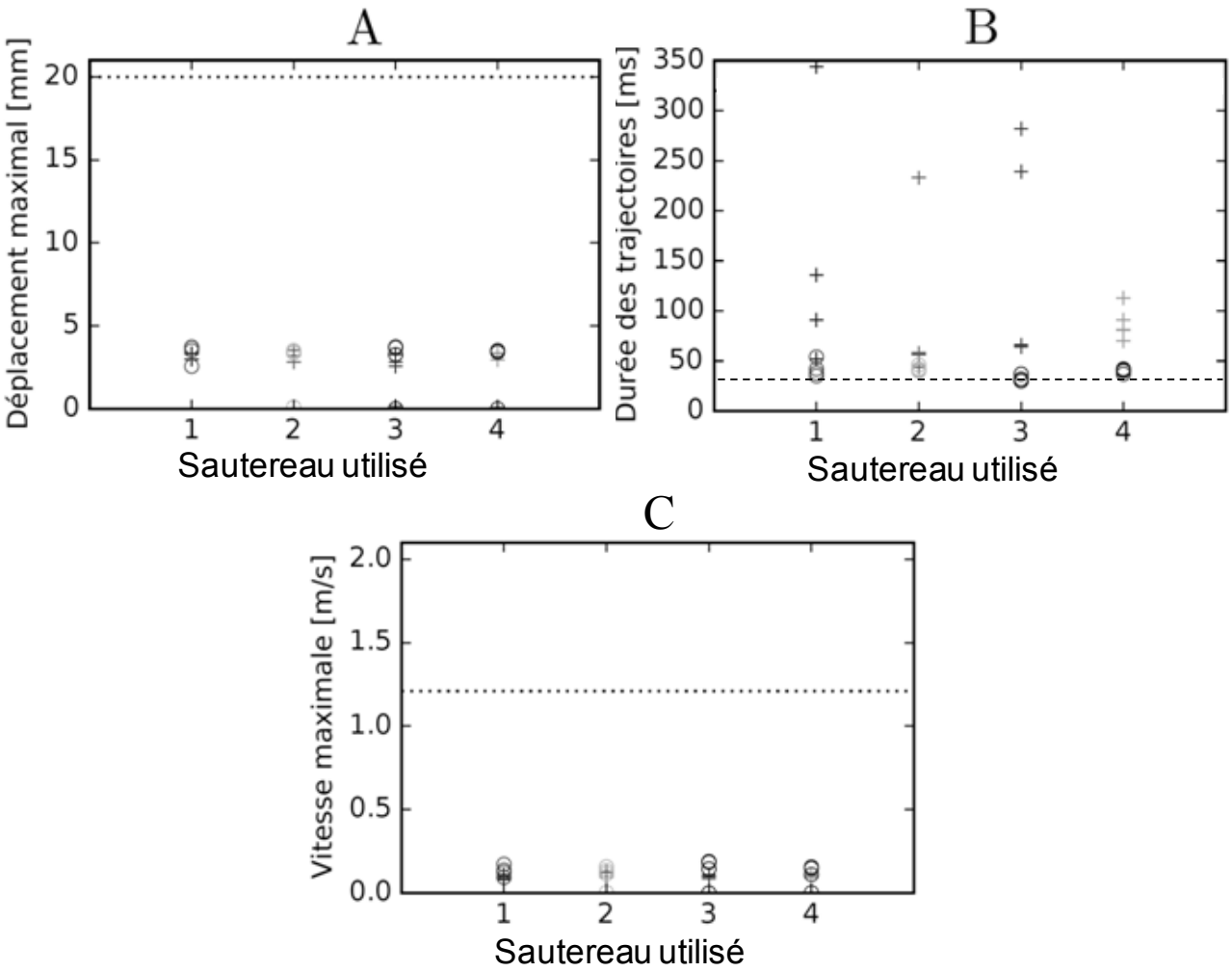


Figure 3 - Caractéristiques des trajectoires mesurées sur une claveciniste en situation de jeu, pour 4 sautereaux numérotés de 1 à 4 et pour deux tempos différents (les marqueurs '+' correspondent à un tempo lent de 230 battements par minute et les marqueurs '○' à un tempo rapide de 440 bpm). Les traits en pointillés correspondent aux valeurs retenues des exigences.

Q1. À partir du diagramme SysML des exigences (**figure 13, annexe 1**) et de la **figure 3**, conclure quant au choix du niveau des critères de surface de travail, de durée des trajectoires et de vitesse maximale de l'effecteur.

La **figure 4** présente les estimations des tensions des cordes et des efforts de pincement, pour différents matériaux de cordes, en fonction des fréquences fondamentales. La corde n'est pas excitée directement par le robot mais par l'intermédiaire du mécanisme touche-sautereau. L'étude qui sera menée **partie III** permettra d'en déduire l'effort de contact entre le doigt du robot et la touche du clavecin.

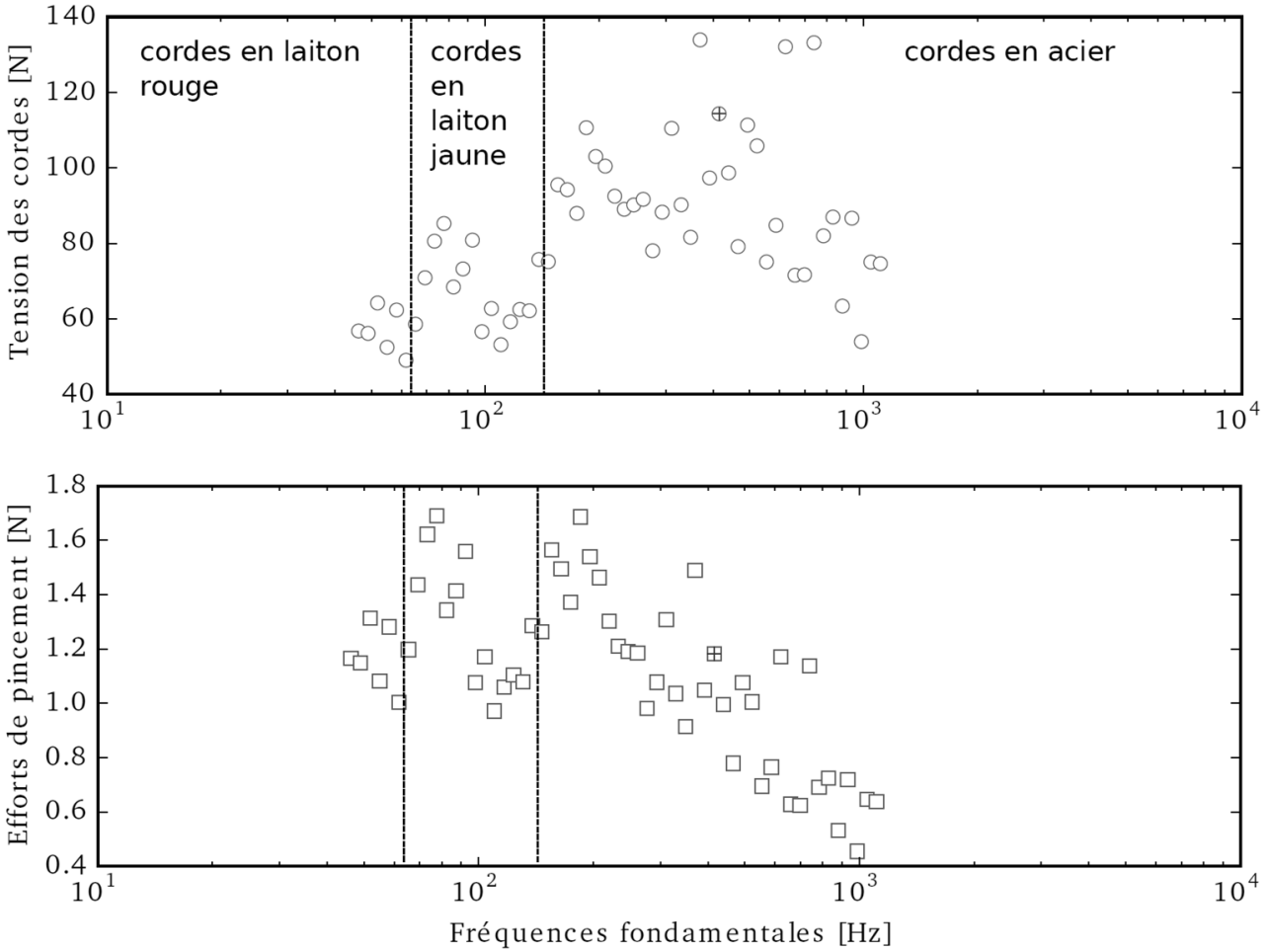


Figure 4 - Tension des cordes (marqueurs '○') et efforts de pincement (marqueurs '□') en fonction des fréquences fondamentales (le point mis en évidence '+' correspond à la corde n°37)

Partie II - Architecture du robot DRoPiC et modèles géométrique et cinématique

Les modèles géométrique et cinématique, ainsi que les données utiles à la résolution des questions de cette **partie,** sont représentés en **annexes 2** et **3**.
Le robot DRoPiC, schématisé **figure 5,** 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 $C_{r1}\vec{z}_0$ sur le doigt 1.
Le doigt 2 est en liaison pivot avec le doigt 1 d'axe $(O_2, \vec{z}_0)$, 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 $C_{r2}\vec{z}_0$ 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.

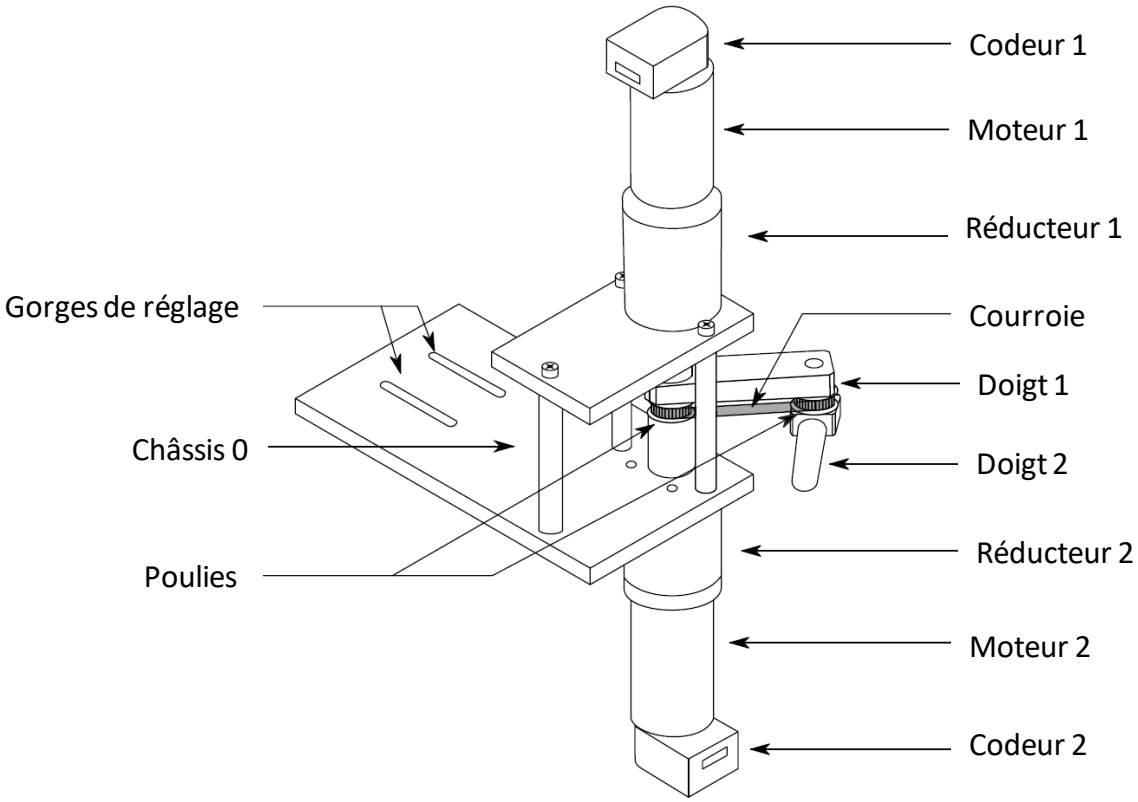


Figure 5 - Schéma d'ensemble du robot DRoPiC

II.1 - Validation de l'exigence de surface de travail

Afin de limiter les interférences avec l'environnement de travail du robot, l'espace dans lequel les doigts 1 et 2 du robot évoluent est limité par deux butées représentées sur le **document réponse**. L'ensemble des points constituant les doigts 1 et 2 (seuls les segments $[O_1O_2]$ et $[O_2P]$ seront pris en compte) doivent être contenus entre les deux droites $(O_1, \vec{x}_0)$ et $(O_1, \vec{y}_0)$.

Q2. Représenter, sur le **document réponse** à l'échelle 1 : 2, l'enveloppe de la surface atteignable par le point P, extrémité du doigt 2. Déterminer l'aire de travail du robot et conclure quant au respect de l'exigence de surface de travail.

II.2 - Modèles géométriques et cinématiques

On se reportera à la **figure 15, annexe 2** et à l'**annexe 3** pour le modèle cinématique et les données et paramétrages utiles.
On note $x(t)$ et $y(t)$ les coordonnées cartésiennes du point P telles que :

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

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 :

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

Q3. Exprimer la matrice jacobienne $[J]$ en fonction de l_1, l_2, $\theta_1(t)$ et $\theta_2(t)$.

Q4. Exprimer la norme de la vitesse $\left\|\vec{V}(P,2/0)\right\|$ notée V_P en fonction de l_1, l_2, $\theta_1(t)$, $\theta_2(t)$ et leurs dérivées.

II.3 - Validation de l'exigence de vitesse maximale

Les caractéristiques des groupes motoréducteur 1 et 2 sont données **figure 14, annexe 1.**
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.

Q5. 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.

Q6. Déduire des questions précédentes si l'exigence de vitesse maximale peut être vérifiée par les moteurs.

II.4 - Validation de l'exigence de résolution spatiale

Les caractéristiques des groupes motoréducteur 1 et 2 sont données **figure 14, annexe 1.**
On définit ici la résolution spatiale notée Δ_P (en mètre) comme la distance parcourue par le point P entre deux incréments successifs des codeurs. On définit la résolution des codeurs notée $\Delta\theta_{Ci}$ (en radian) comme la plus petite variation angulaire détectable par le codeur sur l'axe moteur.

Q7. On considère tout d'abord que seul le doigt 2 est actionné ; le doigt 1 est donc immobile. Établir la relation entre la résolution spatiale notée Δ_P et la résolution du codeur lié au doigt 2 notée $\Delta\theta_{C2}$. Conclure quant au respect de l'exigence.

Q8. En considérant maintenant la situation "doigts tendus" $\theta_1(t)=\theta_2(t)$, établir la relation entre la résolution spatiale notée Δ_P et la résolution du codeur lié au doigt 1 notée $\Delta\theta_{C1}$. Conclure quant au respect de l'exigence.

Partie III - Modèle du mécanisme d'excitation de la corde : détermination de l'effort de contact

La touche et le sautereau du clavecin seront notés respectivement 3 et 4. On s'intéresse dans cette **partie** à la détermination de l'effort de contact entre la touche 3 et le doigt 2. On considère que le contact se fait au niveau de l'extrémité du doigt 2, le point P est donc confondu avec le point A, point d'application de l'effort de contact. Le modèle de l'ensemble étudié est présenté **figure 16, annexe 2** et en **annexe 3**.

On isole l'ensemble E constitué de la touche 3 et du sautereau 4. Les liaisons entre solides sont considérées comme parfaites.

Q9. Exprimer l'énergie cinétique $E_C(4/0)$ du sautereau 4 par rapport au bâti 0 en fonction du paramètre cinématique $\dot{y}_4(t)$ et des autres données utiles.

Q10. Exprimer l'énergie cinétique $E_C(3/0)$ de la touche 3 par rapport au bâti 0 en fonction du paramètre cinématique $\dot{\theta}_3(t)$ et des autres données utiles.

Q11. Exprimer l'énergie cinétique $E_C(E/0)$ de l'ensemble E par rapport au bâti 0 en fonction des paramètres cinématiques $\dot{\theta}_3(t)$, $\dot{y}_4(t)$ et des autres données utiles.

Q12. Exprimer la puissance P_{int} des inter-efforts de l'ensemble E .

Q13. Exprimer la puissance par rapport au bâti 0 des actions extérieures $P_{ext\to E/0}$ s'exerçant sur l'ensemble E .

Q14. L'angle $\theta_3(t)$ restant petit au cours du mouvement de la touche, donner une relation linéaire liant $y_4(t)$ et $\theta_3(t)$. Montrer alors que l'on peut obtenir l'équation de mouvement suivante où vous expliciterez les termes A_1 , A_2 , A_3 et A_4 :

$$A_1\ddot{\theta}_3 + A_2\theta_3 = A_3F_t + A_4 .$$

On résout numériquement l'équation de mouvement obtenue. La **figure 6** présente le mouvement imposé de l'angle de la touche $\theta_3(t)$ et l'effort simulé de contact sur la touche.

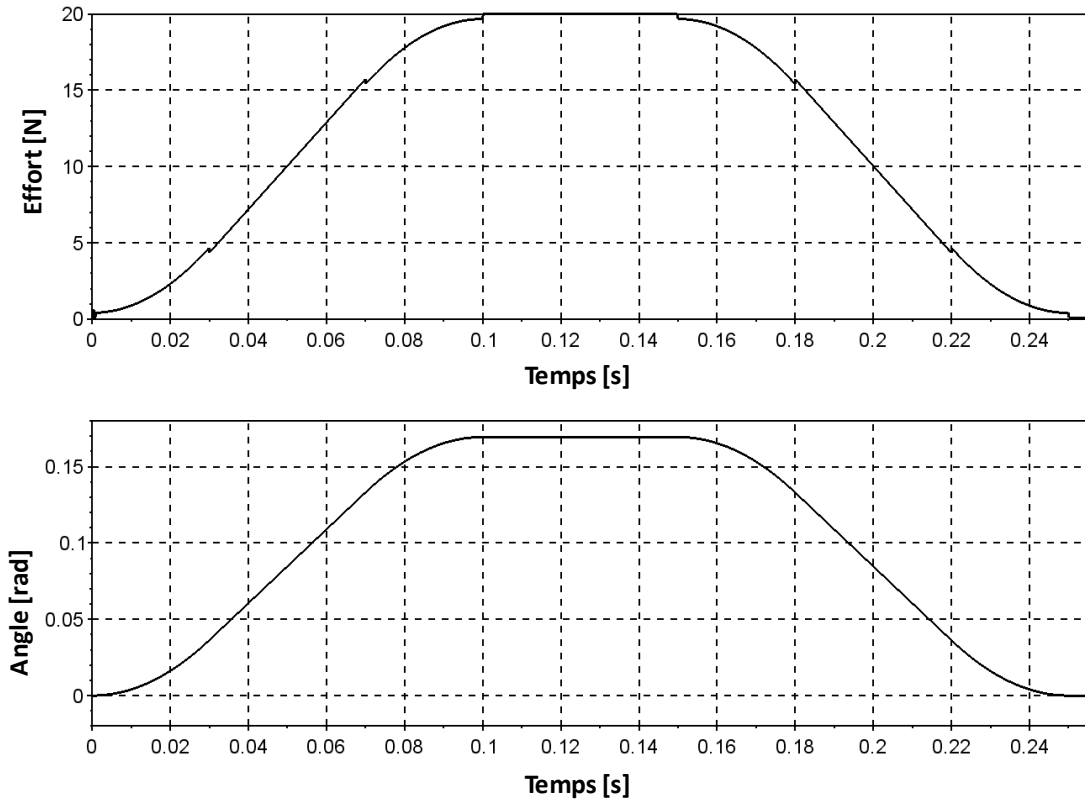


Figure 6 - Effort de contact sur la touche et angle de la touche

Q15. Commenter la courbe d'effort de contact vis-à-vis des exigences du robot.

Partie IV - Modèle dynamique du robot DRoPiC

L'objectif de cette **partie** est de réaliser un modèle dynamique du robot afin, d'une part, de prévoir son comportement lorsqu'il est asservi en position et, d'autre part, de valider le choix des groupes motoréducteurs.
On se reportera à la **figure 15, annexe 2** et à l'**annexe 3** pour le modèle cinématique et les données et paramétrages utiles. Les liaisons entre solides sont considérées comme parfaites.

Q16. Isoler le solide 2 et exprimer les moments des actions extérieures à l'isolement au point O_2. On exprimera l'effort de la touche en fonction de F_x et F_y.

Q17. Appliquer au solide 2 le théorème du moment dynamique exprimé au point O_2 en projection sur $\vec{z}_0$. En déduire l'expression du couple en sortie du groupe motoréducteur 2 $C_{r2}(t)$.

Le couple en sortie du groupe motoréducteur 1 $C_{r1}(t)$ s'exprime par :

$$C_{r1}(t) = \left(I_1 + m_1 c_1^2 + m_2 l_1^2\right)\ddot{\theta}_1 + m_2 l_1 c_2 \cos\left(\theta_2 - \theta_1\right)\ddot{\theta}_2 - m_2 l_1 l_2 \sin\left(\theta_2 - \theta_1\right)\dot{\theta}_2^2 +$$
$$m_1 c_1 \cos\left(\theta_1\right) g + m_2 l_1 \cos\left(\theta_1\right) g - l_1 \cos\left(\theta_1\right) F_y + l_1 \sin\left(\theta_1\right) F_x.$$

Q18. Expliquer de manière détaillée (système isolé, points et projections éventuels) quel(s) théorème(s) de dynamique permettrai(en)t d'obtenir le plus simplement cette équation.

On obtient alors la structure du modèle représenté **figure 7** ci-dessous. Les entrées du modèle sont les efforts extérieurs dus aux actions de pesanteur et de contact avec la touche, notés $[F_{ext}]$ et les tensions des groupes motoréducteurs, notées U_1 et U_2.

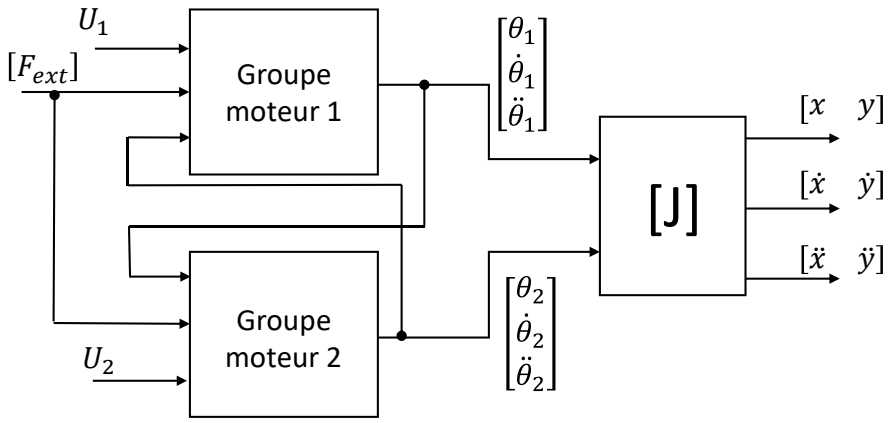


Figure 7 - Modèle de comportement

Q19. Expliquer succinctement ce qui rend difficile la résolution des équations associées au modèle de la **figure 7** et quels moyens et/ou hypothèses vous mettriez en œuvre pour les résoudre.

Q20. En considérant la situation $\theta_1(t) = \theta_2(t) = 0\ rad$ et le réducteur de rendement unitaire, établir l'expression du couple statique $C_{r1}(t)$ puis du couple statique $C_{m1}(t)$.

Q21. Conclure quant à la capacité des moteurs à imposer l'effort maximal sur la touche.

Partie V - Modèle des asservissements du robot DRoPiC

V.1 - Modèle complet

Afin de suivre les trajectoires de consigne, les deux axes du robot sont commandés par l'intermédiaire d'un asservissement de position articulaire. L'intensité dans les moteurs est contrôlée par une boucle d'asservissement de courant. L'**annexe 4** et la **figure 17, annexe 5** présentent cette structure de commande pour l'axe 2, identique à celle de l'axe 1. Pour toute la **partie V**, l'axe 1 est considéré comme immobile, seul l'axe 2 est en mouvement.

Q22. À partir des caractéristiques du réducteur planétaire et du système poulies-courroie données dans le diagramme de définition de blocs (**figure 14, annexe 1** et **figure 15, annexe 2**), déterminer le gain R_2 du transmetteur situé entre l'axe moteur et l'axe 2.

Le réducteur planétaire et le système poulies-courroie sont considérés de rendement unitaire.

Q23. À partir des caractéristiques de l'axe 2 données dans le diagramme de définition de blocs (**figure 14, annexe 1**), exprimer l'énergie cinétique $E_C\left(\Sigma/0\right)$ de l'ensemble de l'axe 2 mis en mouvement par le moteur, par rapport au châssis du robot. En déduire l'inertie équivalente $J_{éq}$ ramenée au moteur. Faire l'application numérique.

Q24. À partir des caractéristiques du codeur incrémental données dans le diagramme de définition de blocs (**figure 14, annexe 1**), déterminer le gain K_{cod} du codeur incrémental.

Q25. Exprimer l'écart $\varepsilon_P(p)$ en sortie du comparateur de l'asservissement de position en fonction de la consigne de position angulaire $\theta_{2c}(p)$ et de la position angulaire de l'axe 2 $\theta_2(p)$. En déduire le réglage du gain K_{conv} du convertisseur de consigne afin d'asservir correctement la position angulaire de l'axe 2. Faire l'application numérique.

V.2 - Boucle d'asservissement du courant

On s'intéresse dans cette **sous-partie** au réglage et à la validation des performances de l'asservissement du courant du moteur de l'axe 2 (**figure 18, annexe 5**). Le caractère numérique de la baie de commande introduit un échantillonnage de période $40\,\mu s$ dans cette boucle d'asservissement, qui est modélisé par un filtre passe-bas (Butterworth d'ordre 4), non représenté sur le schéma bloc (**figure 18, annexe 5**). La correction est réalisée par un correcteur de type proportionnel intégral :

$$C_I(p) = K_{pI} + \frac{K_{iI}}{p}.$$

Dans toute cette phase de réglage, le couple de perturbation dû aux actions de pesanteur et de contact avec la touche (phase de fonctionnement) sera considéré comme nul :

$$C_{pert}(p) = 0.$$

Q26. À partir du schéma bloc de la commande de l'axe 2 (**figure 17, annexe 5**), déterminer la fonction de transfert du moteur complet, sous forme canonique :

$$M(p) = \frac{I(p)}{U_m(p)}.$$

Q27. Le réglage de la boucle d'asservissement du courant est réalisé en bloquant la rotation du moteur ($\Omega_m(p)=0$). En déduire l'expression simplifiée de la fonction de transfert du moteur :

$$M_{rég}(p)=\frac{I(p)}{U_m(p)}.$$

Le **document réponse** donne les diagrammes de Bode en gain et en phase de la fonction de transfert en boucle ouverte de l'asservissement de courant en l'absence de correction ($K_{pI}=1\ \text{V/A}$ et $K_{iI}=0\ \text{V/(A}\cdot\text{s)}$) et avec rotation bloquée ($\Omega_m(p)=0$).

Q28. À partir de ces diagrammes de Bode, en faisant apparaître clairement les constructions graphiques sur le document, déterminer le réglage du gain proportionnel K_{pI} afin de respecter l'exigence de marge de gain de la boucle de courant du diagramme des exigences (**figure 13, annexe 1**). Conclure pour ce réglage quant au respect de l'exigence de marge de phase, en précisant la valeur relevée sur les diagrammes de Bode et en faisant apparaître clairement les constructions graphiques sur le document réponse.

La correction intégrale est ajoutée en fixant le gain intégral par rapport au gain proportionnel réglé, soit $K_{iI}=\frac{4}{7}K_{pI}$.

Q29. Préciser en le justifiant l'exigence (ou les exigences) que permettra (ou permettront) de respecter cet ajout de correction intégrale.

Q30. Tracer sur le document réponse les diagrammes asymptotiques de Bode en gain et en phase du correcteur proportionnel intégral $C_I(p)$, ainsi que l'allure des diagrammes réels.

Q31. Conclure quant à l'effet de l'ajout de l'action intégrale dans le correcteur vis-à-vis du respect des exigences de marges de gain et de phase de la boucle de courant.

La **figure 8** présente la mesure en courant dans le moteur suite à une consigne en échelon.

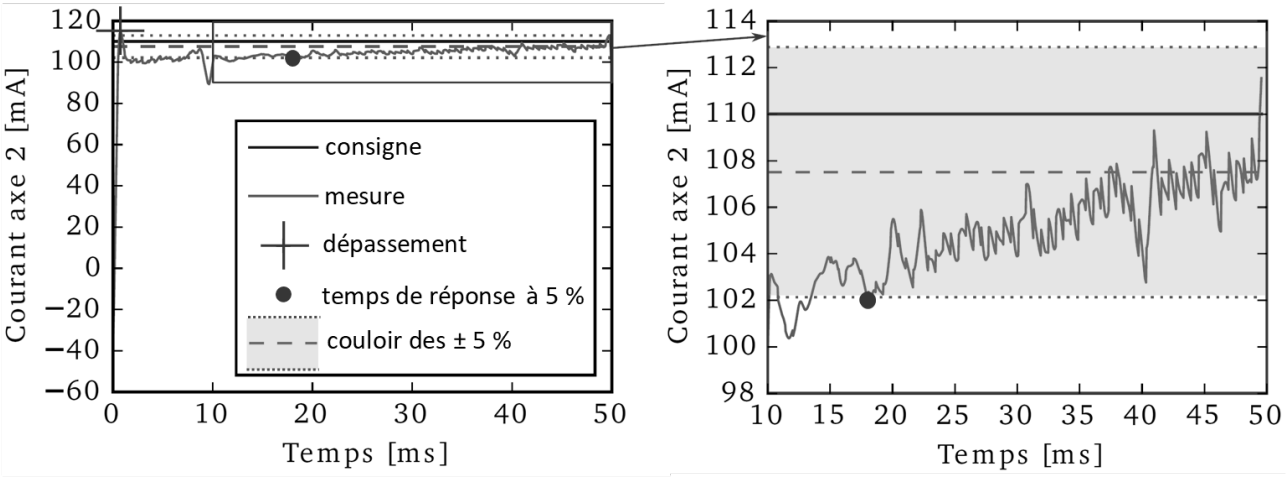


Figure 8 - Mesure de courant en réponse à un échelon de 110 mA

Q32. En précisant les valeurs, relever sur la **figure 8** les performances mesurées. Comparer aux performances du modèle étudié dans les questions précédentes, ainsi qu'aux performances souhaitées de la boucle de courant du diagramme des exigences (**figure 13, annexe 1**).

V.3 - Boucle d'asservissement en position

La boucle d'asservissement de courant étant réglée, on s'intéresse dans cette **sous-partie** à la validation des performances de l'asservissement de position du moteur de l'axe 2 (**figure 17, annexe 5**). Le caractère numérique du codeur incrémental et de la baie de commande introduit un échantillonnage de période $1\,\text{ms}$ dans cette boucle d'asservissement, qui est aussi modélisé par un filtre passe-bas (Butterworth d'ordre 4), non représenté sur le schéma bloc (**figure 17, annexe 5**).

On considère d'abord que la correction est réalisée par un correcteur de type proportionnel intégral dérivé :

$$C_P(p) = K_{pP} + \frac{K_{iP}}{p} + K_{dP}p\,.$$

Q33. En considérant le système non perturbé $\left(C_{pert}(p) = 0\right)$, déterminer l'écart statique ε_s, suite à une entrée de type échelon, ainsi que l'écart de traînage ε_v, suite à une entrée de type rampe. En supposant à présent une perturbation constante $\left(C_{pert}(p) \neq 0\right)$, préciser en le justifiant l'exigence (ou les exigences) que permettra de respecter l'action intégrale contenue dans le correcteur $C_P(p)$. Préciser également l'exigence (ou les exigences) que permettra de respecter l'action dérivée contenue dans le correcteur $C_P(p)$.

On considère ensuite que la correction est plutôt réalisée par un correcteur de type proportionnel intégral dérivé approché :

$$C_P(p) = K_{pP}\frac{\left(1+\tau_n p\right)^2}{1+\tau_d p} \text{ avec } K_{pP} = 0,79 \text{ A/inc},\ \tau_n = 0,048\,\text{s} \text{ et } \tau_d = 1,75\,\text{s}\,.$$

Le **document réponse** donne les diagrammes de Bode en gain et en phase de la fonction de transfert en boucle ouverte de l'asservissement de position.

Q34. À partir de ces diagrammes de Bode, en faisant apparaître clairement les constructions graphiques sur le **document réponse**, déterminer les valeurs des marges de stabilité (gain et phase). Conclure quant au respect des exigences de marges de gain et de phase de la boucle de position du diagramme des exigences (**figure 13, annexe 1**).

La **figure 9** présente les courbes simulées de la tension et de l'intensité au niveau de l'induit du moteur suite à une entrée de type échelon de position de 20°.

Q35. En comparant aux caractéristiques du moteur à courant continu données dans le diagramme de définition de blocs (**figure 14, annexe 1**), analyser les niveaux de tension et d'intensité atteints. Conclure quant à la représentativité du modèle vis-à-vis du fonctionnement du système réel. D'après la structure de commande présentée **figure 17, annexe 5**, préciser le(s) grandeur(s) physique(s) devant faire l'objet d'une limitation (saturation) dans le modèle.

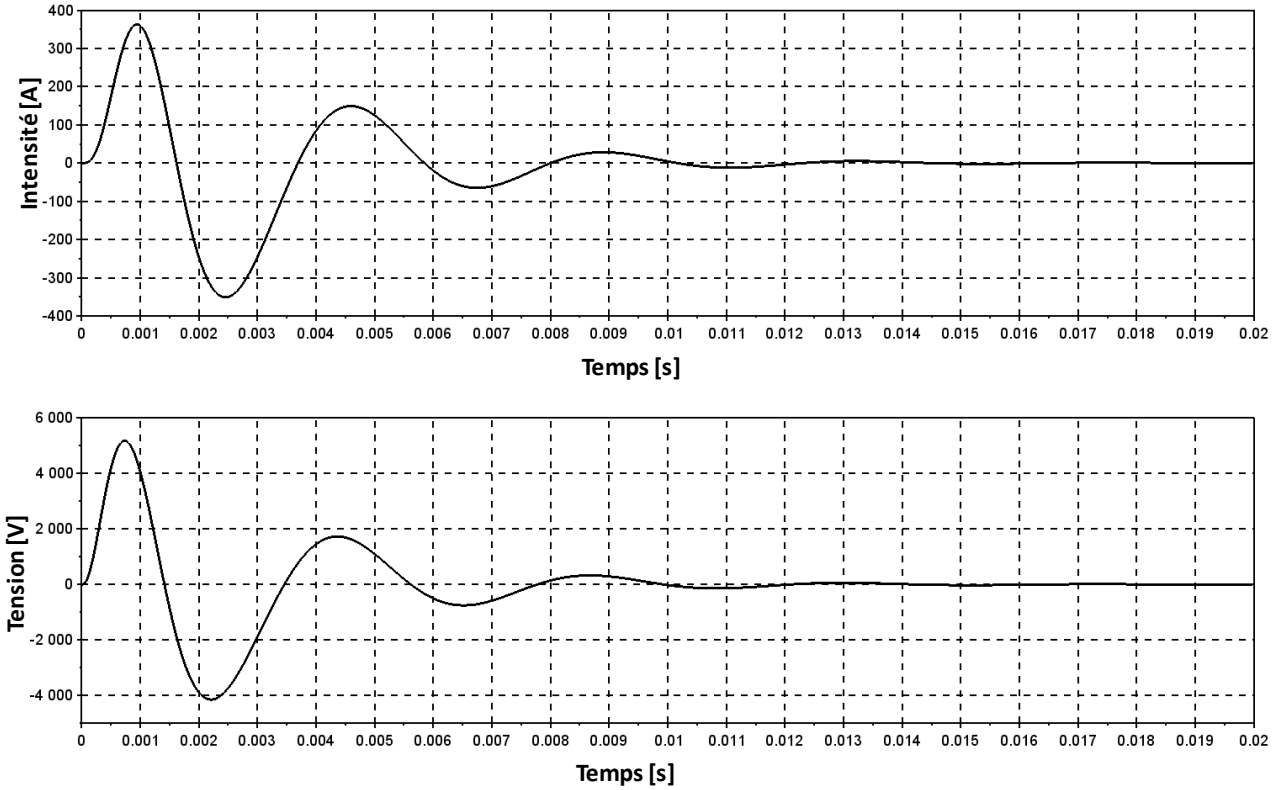


Figure 9 - Simulation pour un échelon de 20° de position pour la boucle d'asservissement de position

Les **figures 10** et **11** présentent les mesures en position angulaire de l'axe 2 suite à des signaux de consigne respectivement de type carré et de type triangulaire.

Q36. En précisant les valeurs, relever sur la **figure 10** les performances mesurées. Comparer aux performances souhaitées de la boucle de position du diagramme des exigences (**figure 13, annexe 1**).

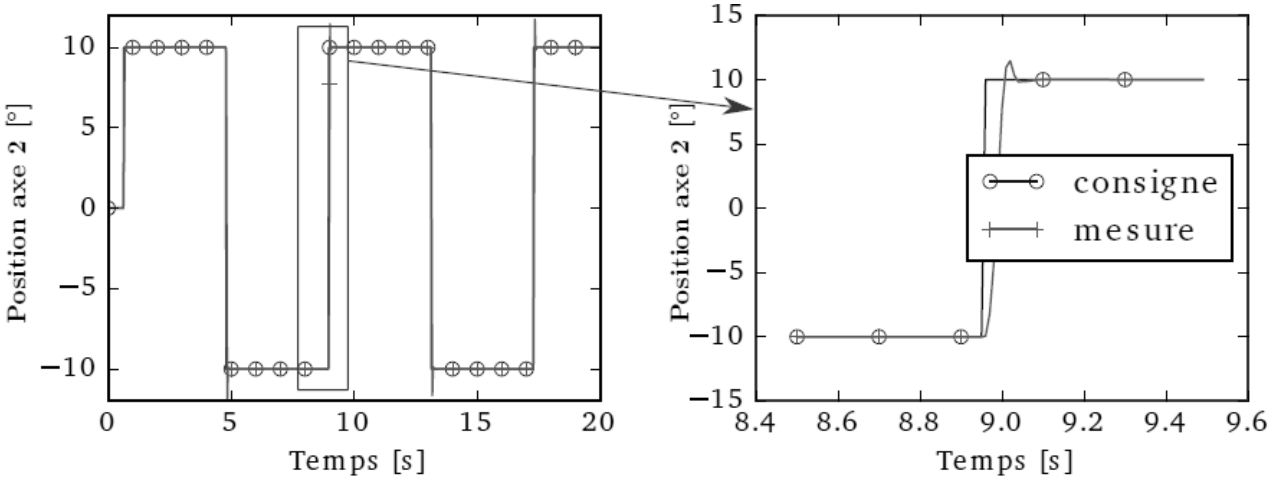


Figure 10 - Mesure de la position en réponse à un signal carré de $\pm$ 10°

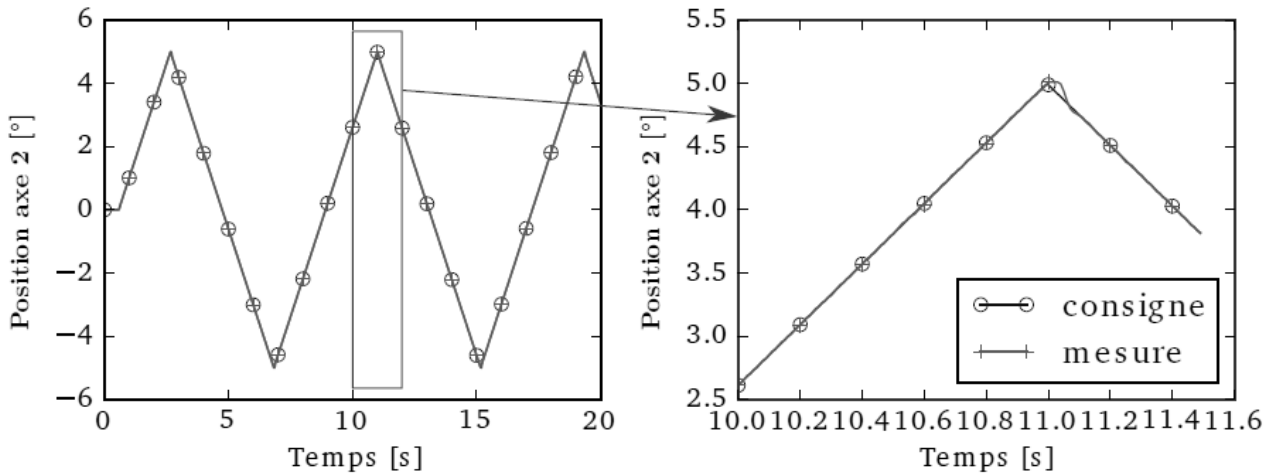


Figure 11 - Mesure de la position en réponse à un signal triangulaire de $\pm$ 5°

Partie VI - Comparaison avec les essais et validation

Les courbes ci-après **figure 12** donnent le tracé de la consigne et de la réponse du robot correspondant à la trajectoire utilisée pour enfoncer une touche d'un clavecin de 10 mm avec une vitesse de 0,1 $m \cdot s^{-1}$ (graphe B) et pour actionner la corde d'une harpe pour jouer un accord (graphe A).
On trace également l'incertitude de mesure avec un coefficient de confiance de 95 %.

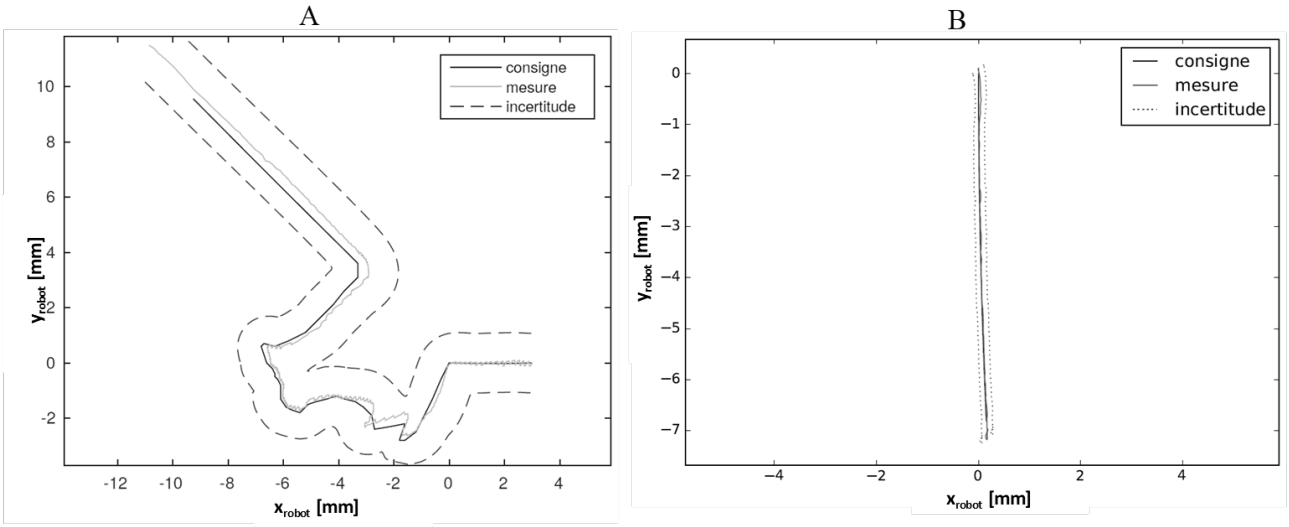


Figure 12 - Mesure de la position en réponse à une consigne d'enfoncement de touche (graphe A pour la harpe et graphe B pour le clavecin)

Q37. En analysant les courbes de la **figure 12**, conclure quant aux choix des paramètres effectués dans la **partie V**.

ANNEXE 1
Diagrammes SysML

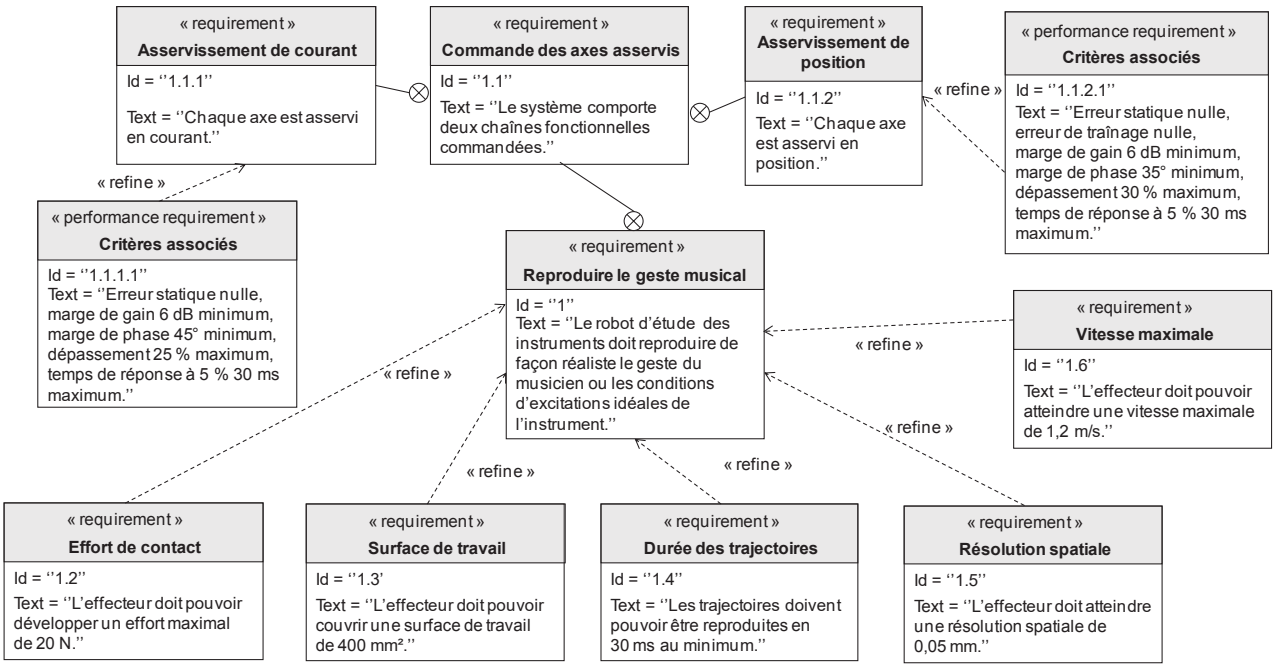


Figure 13 - Diagramme SysML partiel des exigences

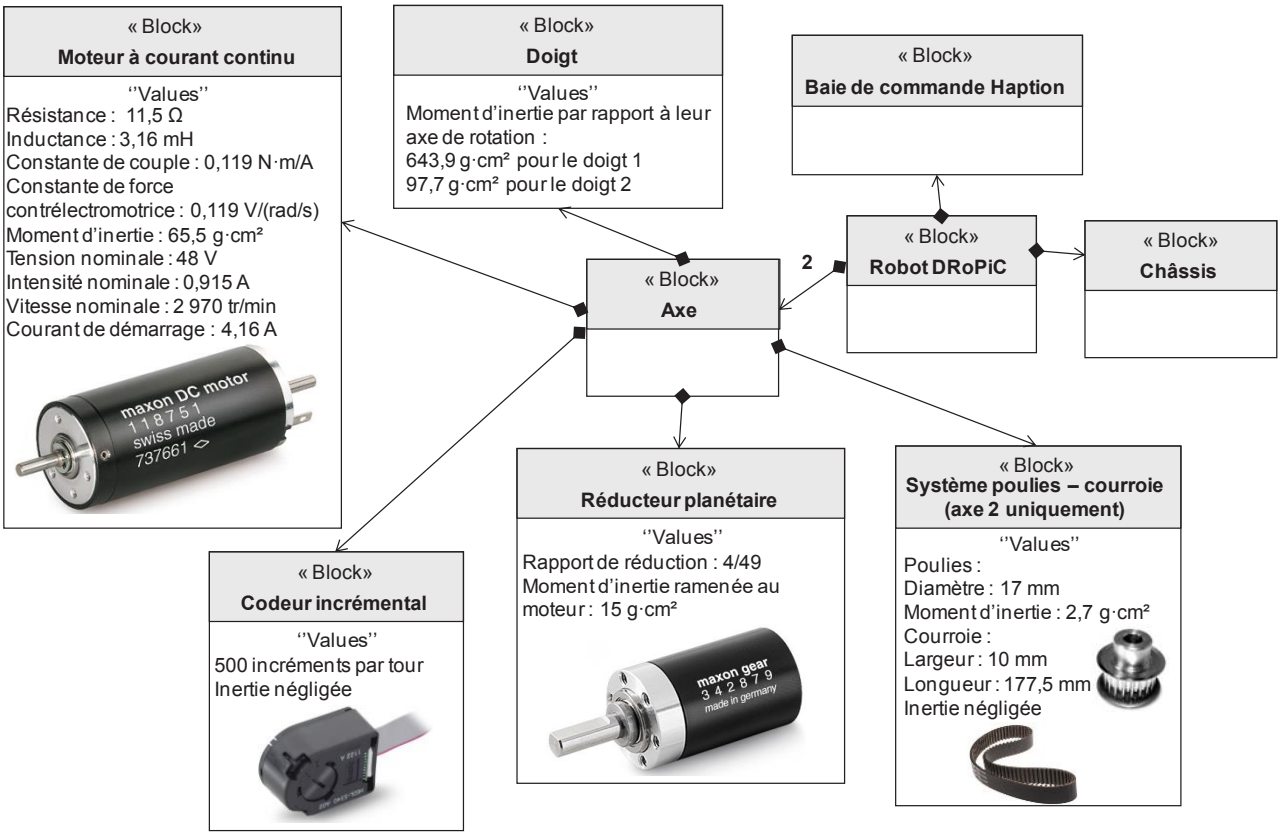


Figure 14 - Diagramme SysML de définition de blocs

ANNEXE 2
Modèles mécaniques

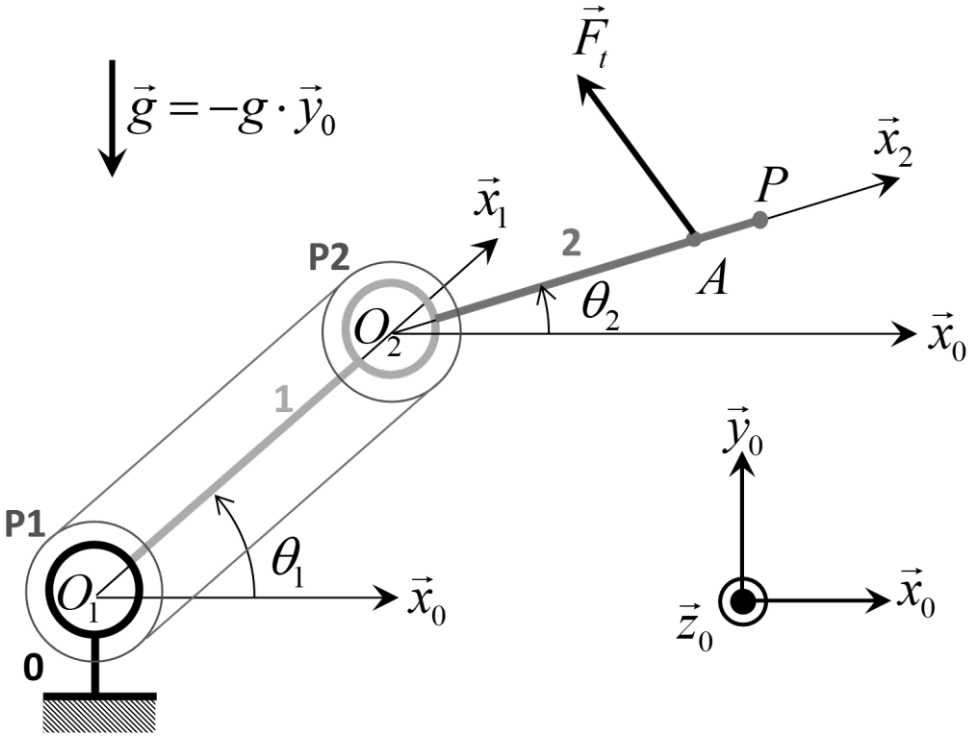


Figure 15 - Modèle géométrique du robot DroPiC

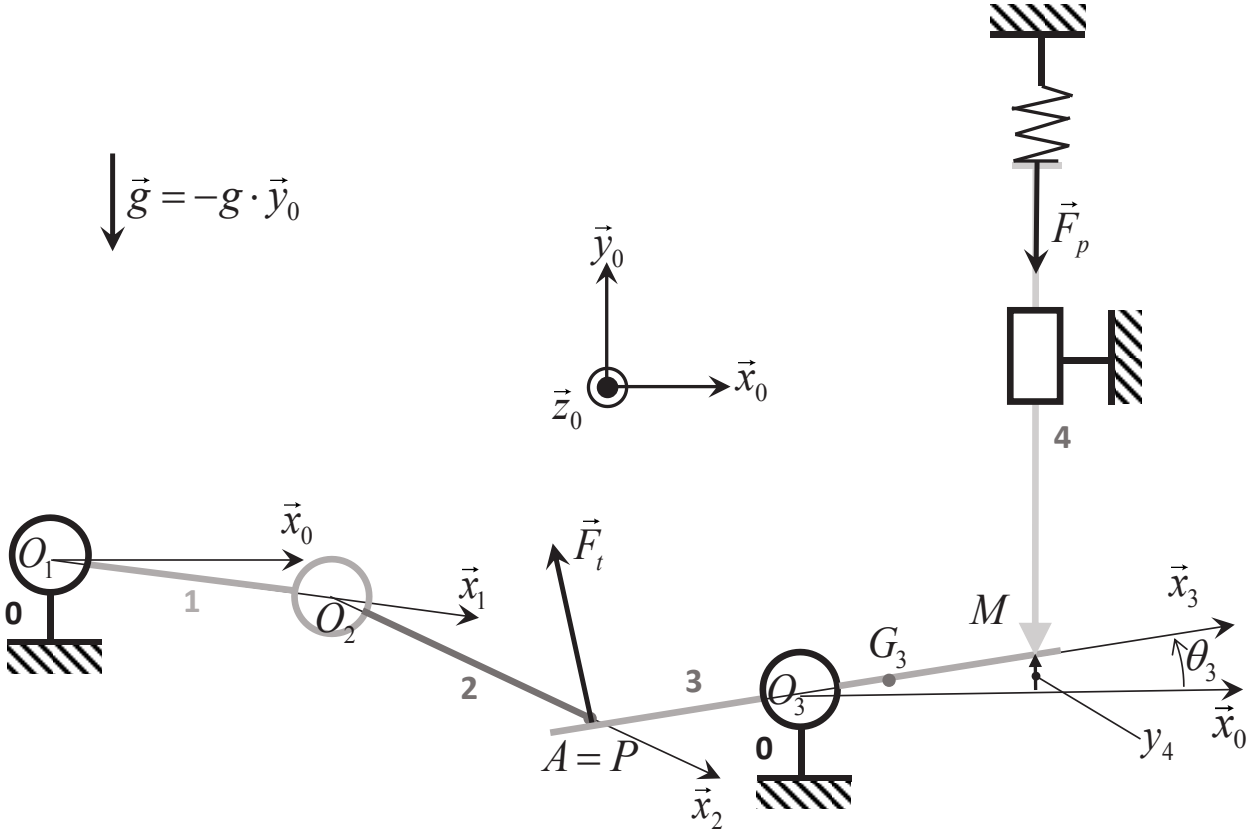


Figure 16 - Modèle de l'ensemble robot + clavecin

ANNEXE 3
Tableau des données des modèles mécaniques

Paramétrage géométrique et cinétique

Solides	**1**	**2**	**3**	**4**
Paramétrage géométrique	$\overrightarrow{O_1O_2} = l_1\vec{x}_1$	$\overrightarrow{O_2P} = l_2\vec{x}_2$ $\overrightarrow{O_2A} = a_2\vec{x}_2$	$\overrightarrow{O_3P} = -l_3\vec{x}_3$ $\overrightarrow{O_3M}.\vec{x}_0 = a_3$	-
	$l_1 = 45$ mm	$l_2 = 45$ mm	$l_3 = 120$ mm $a_3 = 210$ mm	-
Centre de gravité	$\overrightarrow{O_1G_1} = c_1\vec{x}_1$	$\overrightarrow{O_2G_2} = c_2\vec{x}_2$	$\overrightarrow{O_3G_3} = c_3\vec{x}_3$	-
	$c_1 = \frac{l_1}{2}$	$c_2 = \frac{l_2}{2}$	$c_3 = 32,8$ mm	-
Masses	$m_1 = 22,3\cdot10^{-3}$ kg	$m_2 = 22,3\cdot10^{-3}$ kg	$m_3 = 4,78\cdot10^{-2}$ kg	$m_4 = 4,93\cdot10^{-3}$ kg
Moment d'inertie	I_1 selon l'axe $(G_1,\vec{z}_0)$	I_2 selon l'axe $(G_2,\vec{z}_0)$	I_3 selon l'axe $(G_3,\vec{z}_0)$	-
	$I_1 = 4\cdot10^{-6}$ kg·m^2	$I_2 = 4\cdot10^{-6}$ kg·m^2	$I_3 = 4\cdot10^{-4}$ kg·m^2	-

Solides/0	**Mouvements**	**Paramètres**
1/0	Rotation d'axe $(O_1,\vec{z}_0)$	$\theta_1(t) = (\vec{x}_0,\vec{x}_1) = (\vec{y}_0,\vec{y}_1)$
2/0	Rotation d'axe $(O_2,\vec{z}_0)$	$\theta_2(t) = (\vec{x}_0,\vec{x}_2) = (\vec{y}_0,\vec{y}_2)$
3/0	Rotation d'axe $(O_3,\vec{z}_0)$	$\theta_3(t) = (\vec{x}_0,\vec{x}_3) = (\vec{y}_0,\vec{y}_3)$
4/0	Translation de direction $\vec{y}_0$	$y_4(t) = \overrightarrow{O_3M}.\vec{y}_0$

Actions mécaniques

Actions	**Torseurs**
Couple en sortie de réducteur s'exerçant de 0 sur 1	$\{T_{MR0\to1}\} = \left\{\begin{matrix}\vec{0}\\ C_{r1}\vec{z}_0\end{matrix}\right\}_{0_1}$
Couple en sortie de réducteur s'exerçant de 0 sur 2	$\{T_{MR0\to2}\} = \left\{\begin{matrix}\vec{0}\\ C_{r2}\vec{z}_0\end{matrix}\right\}_{0_2}$
Effort de la touche 3 sur 2	$\{T_{3\to2}\} = \left\{\begin{matrix}\overrightarrow{F_t} = F_t\vec{y}_3 = F_x\vec{x}_0 + F_y\vec{y}_0\\ \vec{0}\end{matrix}\right\}_A$
Effort de la corde sur le sautereau 4	$\left\{\begin{matrix}\overrightarrow{F_p} = -F_p\vec{y}_0\\ \vec{0}\end{matrix}\right\}_M$; avec : $F_p(t) = K_{eq}y_4(t)$
	$K_{eq} = 400$ N·m^{-1}

ANNEXE 4
Tableau des données des schémas bloc

Blocs du schéma bloc d'asservissement en position

Éléments modélisés	Caractéristiques ou fonctions de transfert
Convertisseur de consigne de position	K_{conv}
Correcteurs de la boucle de position	$C_P(p) = K_{pP} + \frac{K_{iP}}{p} + K_{dP}p$ ou $C_P(p) = K_{pP}\frac{(1+\tau_n p)^2}{1+\tau_d p}$ avec $\tau_n < \tau_d$
Correcteur de la boucle de courant	$C_I(p) = K_{pI} + \frac{K_{iI}}{p}$
Amplificateur	A_I
Codeur incrémental	K_{cod}
Transmetteur (réducteur planétaire et système poulies - courroie)	R_2
Moteur à courant continu	Résistance électrique de l'induit : R Inductance électrique de l'induit : L Constante de couple : K_c Constante de tension contrélectromotrice : K_e Inertie équivalente ramenée au moteur : $J_{éq}$

Grandeurs physiques du schéma bloc d'asservissement en position

Notations	Grandeurs physiques	Unités
$\theta_{2c}(p)$	Consigne angulaire de l'axe 2	rad
$\theta_2(p)$	Position angulaire de l'axe 2	rad
$N_c(p)$	Consigne angulaire convertie en grandeur numérique	incréments
$N(p)$	Mesure numérique de la position angulaire du moteur	incréments
$\varepsilon_P(p)$	Écart numérique de la boucle de position	incréments
$I_c(p)$	Consigne d'intensité du moteur	A
$\varepsilon_I(p)$	Écart de la boucle d'intensité	A
$U_c(p)$	Tension de commande	V
$U_m(p)$	Tension de l'induit du moteur	V
$E(p)$	Tension contrélectromotrice du moteur	V
$I(p)$	Intensité de l'induit du moteur	A
$C_m(p)$	Couple moteur	$\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$
$C_{pert}(p)$	Couple de perturbation du moteur	$\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}$
$\Omega_m(p)$	Vitesse angulaire du moteur	rad/s
$\theta_m(p)$	Position angulaire du moteur	rad

ANNEXE 5
Schémas bloc

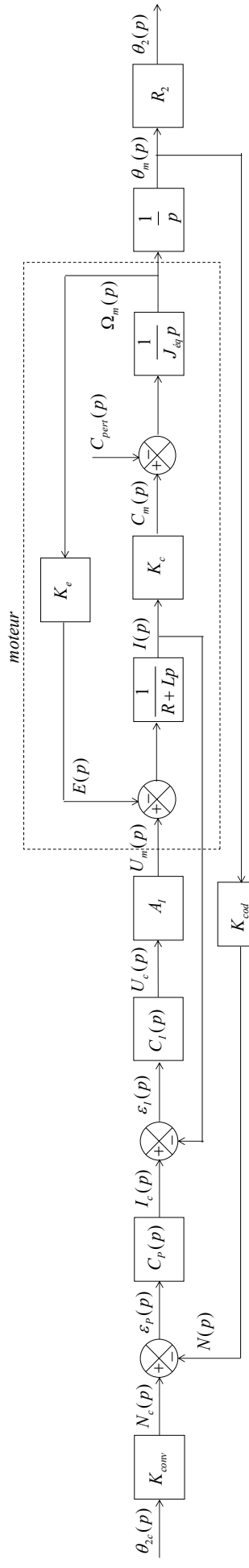


Figure 17 – Schéma bloc de l'asservissement en position

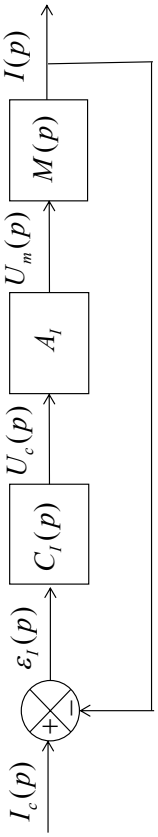


Figure 18 – Schéma bloc de l'asservissement en courant

FIN

IMPRIMERIE NATIONALE – 20 1167 – D'après documents fournis

CONCOURS COMMUN INP

Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom : _____

Prénom : _____

Emplacement QR Code

Filière : PSI

Session : 2020

Épreuve de : Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Consignes

- *Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer*
- *Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir*
- *Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)*
- *Numéroter chaque page (cadre en bas à droite)*
- *Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre*

DOCUMENT RÉPONSE

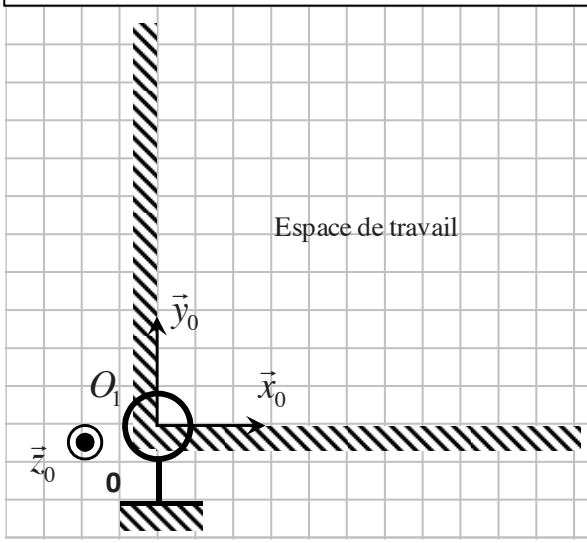
Plate-forme robotisée DRoPiC pour l'étude du clavecin

Partie I - Présentation du contexte et des exigences du robot

Q1.

Partie II - Architecture du robot DRoPiC et modèles géométrique et cinématique

Q2.



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Q3.

Q4.

Q5.

Q6.

Q7.

Q8.

Partie III - Modèle du mécanisme d'excitation de la corde : détermination de l'effort de contact

Q9.

Q10.

Q11.

Q12.

CONCOURS COMMUN INP

Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom :

Prénom :

Emplacement QR Code

Filière : PSI

Session : 2020

Épreuve de : Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Consignes

- *Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer*
- *Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir*
- *Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)*
- *Numéroter chaque page (cadre en bas à droite)*
- *Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre*

Q13.

Q14.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Q15.

Partie IV - Modèle dynamique du robot DRoPiC

Q16.

Q17.

Q18.

Q19.

Q20.

Q21.

Partie V - Modèle des asservissements du robot DRoPiC

Q22.

CONCOURS COMMUN INP

Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom :

Prénom :

Emplacement QR Code

Filière : PSI

Session : 2020

Épreuve de : Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Consignes

- *Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer*
- *Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir*
- *Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)*
- *Numéroter chaque page (cadre en bas à droite)*
- *Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre*

Q23.

Q24.

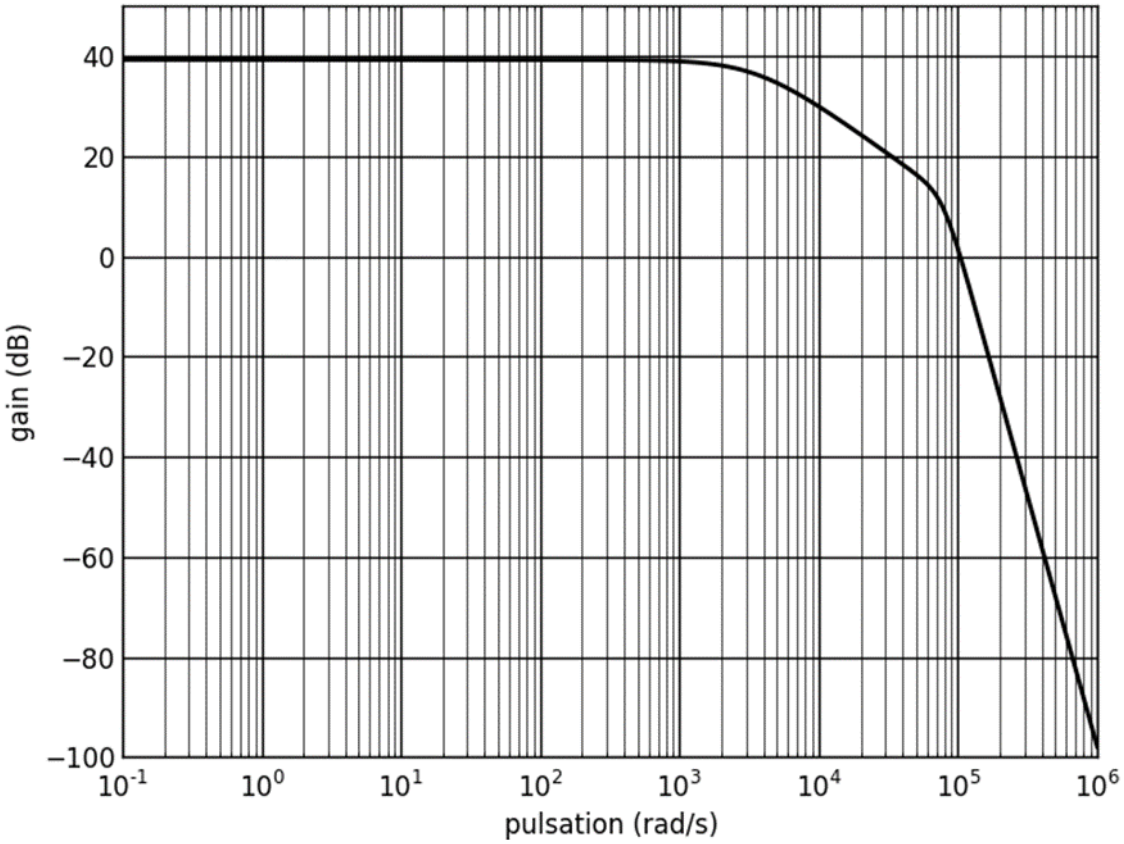
Q25.

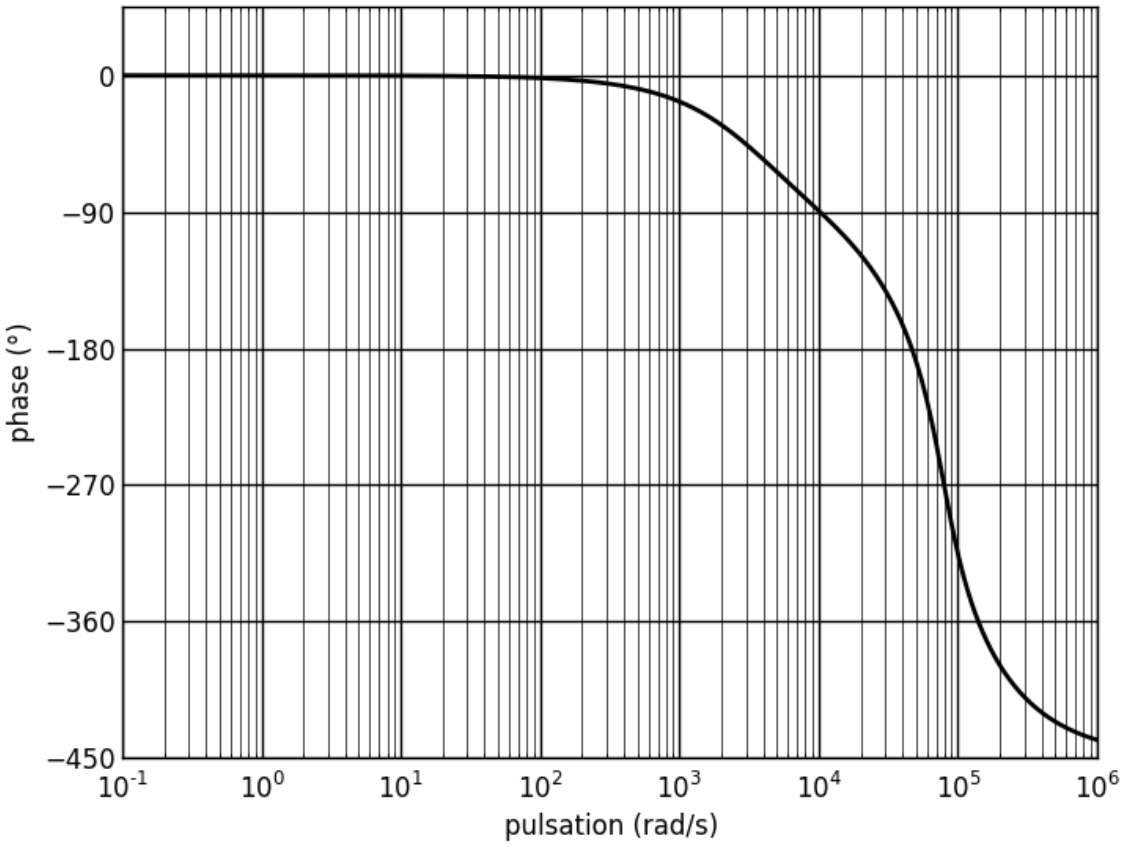
NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Q26.

Q27.

Q28. et Q30.


40
20
0
−20
−40
−60
−80
−100
gain (dB)
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
10^{4}
10^{5}
10^{6}
pulsation (rad/s)


0
−90
−180
−270
−360
−450
phase (°)
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
10^{4}
10^{5}
10^{6}
pulsation (rad/s)

Q28. Justifications

Q29.

Q30. Justifications

CONCOURS COMMUN INP

Numéro d'inscription

Numéro de table

Né(e) le

Nom :

Prénom :

Emplacement QR Code

Filière : PSI

Session : 2020

Épreuve de : Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Consignes

- *Remplir soigneusement l'en-tête de chaque feuille avant de commencer à composer*
- *Rédiger avec un stylo non effaçable bleu ou noir*
- *Ne rien écrire dans les marges (gauche et droite)*
- *Numéroter chaque page (cadre en bas à droite)*
- *Placer les feuilles A3 ouvertes, dans le même sens et dans l'ordre*

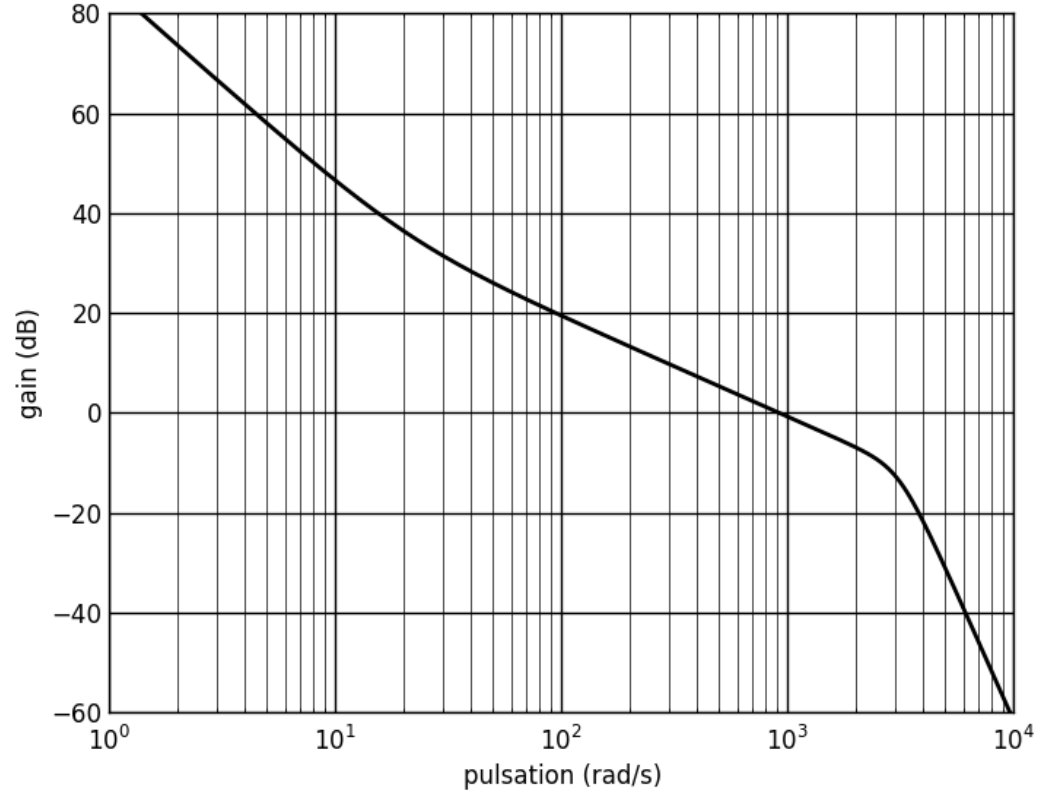
Q31.

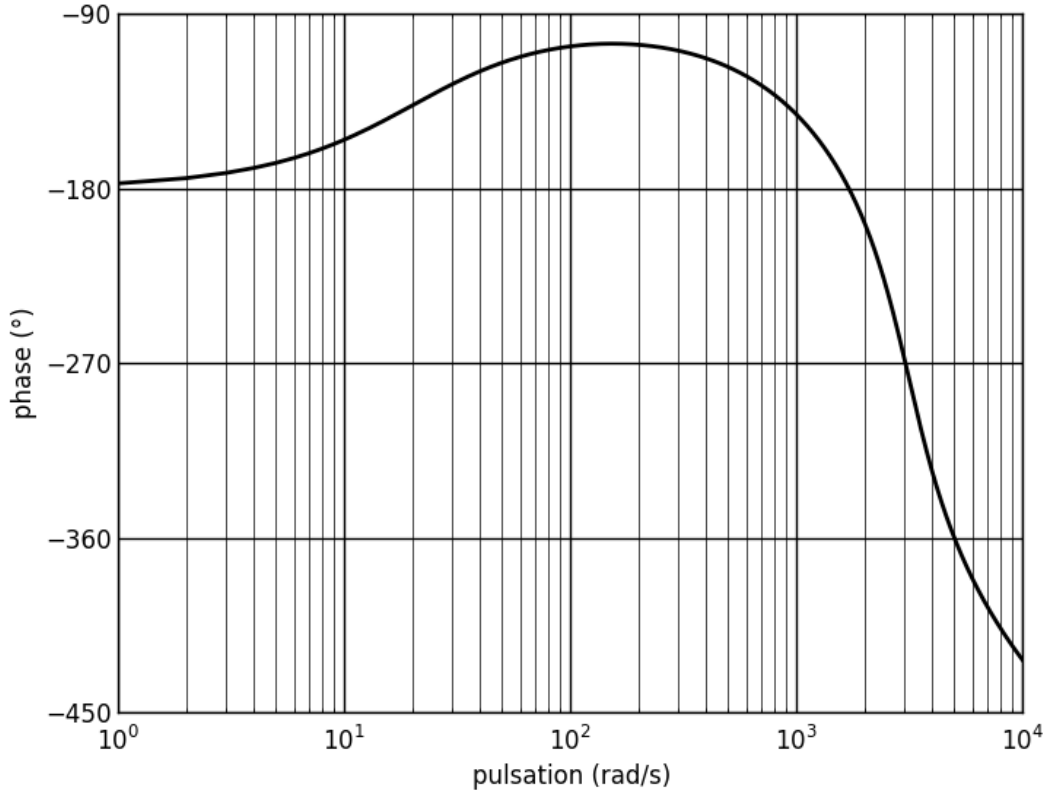
Q32.

Q33.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Q34.





Q34. Justifications

Q35.

Q36.

Partie VI - Comparaison avec les essais et validation

Q37.

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Cinématique du solide : paramétrage, vitesse, taux de rotation et torseur cinématique
- Géométrie des masses : centre d'inertie, matrice d'inertie, théorème de Huygens
- Filtrage linéaire
- Transmetteurs de puissance et trains d'engrenages
- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/psi