

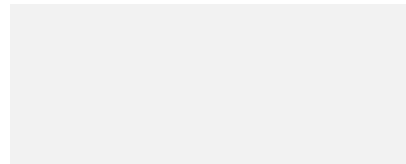
**Date :** 19 janvier 2017

**Durée :** 2 heures

# Version A


Nom \_\_\_\_\_  
Prénom \_\_\_\_\_  
SCIPER \_\_\_\_\_

Signature :




**Attendez le début de l'épreuve avant de tourner la page. Ce document est imprimé recto-verso, il contient 8 pages. Ne pas dégrafer.**

- Posez votre carte d'étudiant sur la table.
- Les seuls documents autorisés sont 3 pages A4 recto-verso de notes personnelles.
- L'utilisation d'une calculatrice et de tout outil électronique est interdite pendant l'épreuve.
- Pour les questions à choix multiple, on comptera :
  - +2 points si la réponse est correcte,
  - 0 point si la question n'est pas répondue, s'il y a plusieurs croix ou si la réponse est incorrecte.
- Pour les questions de type vrai-faux, on comptera :
  - +1 point si la réponse est correcte,
  - 0 point si la question n'est pas répondue, s'il y a plusieurs croix ou si la réponse est incorrecte.
- Utilisez un crayon papier et gomez proprement si nécessaire.
- Si une question est erronée, l'enseignant se réserve le droit de l'annuler.
- Répondez aux questions libres directement sur les feuilles de la donnée de l'examen
- Respectez les consignes suivantes pour marquer vos choix sur **vosre feuille de réponse** :

 oui | ja | sì | yes



 non | nein | non | no



### Exercice 1. Questions Vrai ou Faux (15 pts)

Merci de cocher  V ou  F sur votre feuille de réponse.

- 1.1** | Un robot sériel est une structure à chaîne cinématique fermée.
- 1.2** | En général, un robot angulaire est plus précis qu'un robot cartésien.
- 1.3** | En général, un robot parallèle est plus rigide qu'un robot sériel.
- 1.4** | Le gain dérivateur d'un contrôleur PD sert à annuler l'écart statique.
- 1.5** | Le gain proportionnel d'un contrôleur PD permet de réduire l'écart statique.
- 1.6** | Le couple électromagnétique d'un moteur à courant continu est toujours proportionnel au courant d'entrée du moteur.
- 1.7** | Le facteur de régulation d'un moteur à courant continu est indépendant de la charge.
- 1.8** | Le modèle dynamique d'un robot met en relation les positions articulaires avec les couples articulaires.
- 1.9** | Le profil de positionnement d'un moteur à courant continu n'a aucun effet sur les pertes énergétiques du moteur.
- 1.10** | Le rapport de réduction optimal, correspondant à l'adaptation optimale d'un moteur-réducteur-charge, permet de minimiser les pertes énergétiques de l'entraînement.
- 1.11** | Le rapport de réduction optimal, correspondant à l'adaptation optimale d'un moteur-réducteur-charge, permet de maximiser la vitesse de l'entraînement.
- 1.12** | Un robot redondant possède plus de degrés de liberté que de moteurs.
- 1.13** | La matrice Jacobienne d'un robot met en relation la force appliquée au niveau de l'outil avec les couples articulaires.
- 1.14** | La matrice Jacobienne d'un robot met en relation la position au niveau de l'outil avec les positions articulaires.
- 1.15** | La matrice Jacobienne d'un robot met en relation les positions articulaires avec les couples articulaires.

## Exercice 2 (12 pts)

L'axe moteur de la deuxième rotation d'un robot SCARA est réalisé par la combinaison d'un moteur et d'un réducteur avec les spécifications suivantes :

Moteur :  $J_m = 625 \text{ g.cm}^2$ ,

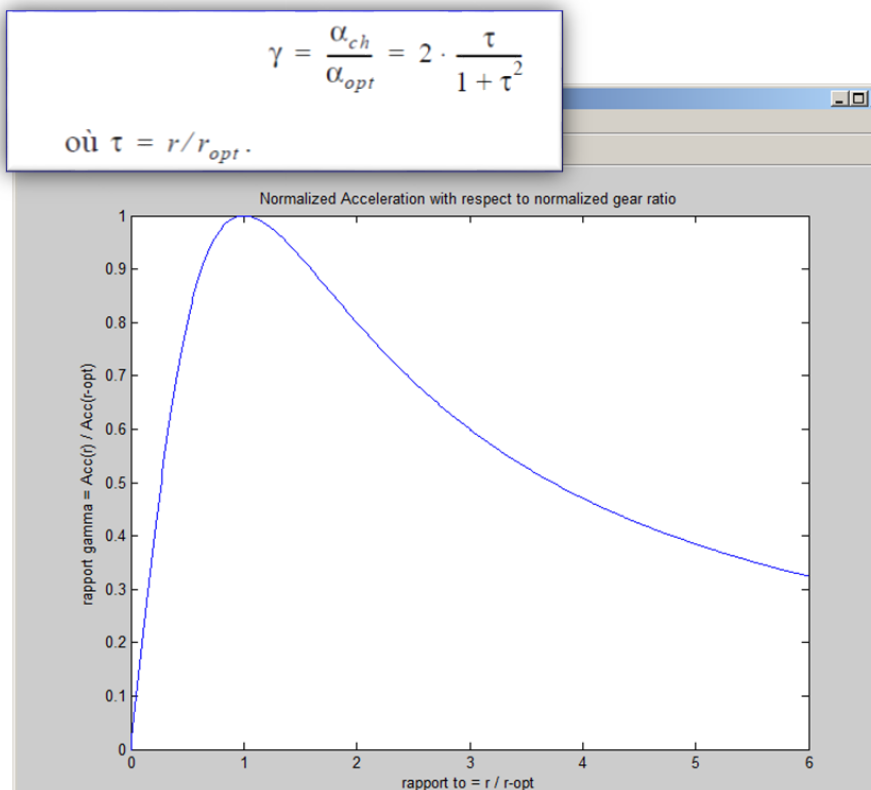
Réducteur : rapport de réduction = **180**,

L'inertie du bras du robot vaut :  $J_{bras} = 0.1 \text{ kgm}^2$ .

2.1 Le rapport de réduction optimal pour le segment considéré est égal à :

- (A) 20            (B) 40            (C) 1600            (D) 80

Voici la courbe  $\gamma(\tau)$  :



2.2 Relativement à l'accélération optimale, quel est le taux d'accélération admissible avec la transmission utilisée par rapport au cas où le rapport de réduction serait optimal ?

- (A) ~ 25%            (B) ~ 35%            (C) ~ 45%            (D) ~ 55%

2.3 En considérant la construction telle que proposée en début de l'énoncé, le capteur accouplé au moteur est un encodeur incrémental de 1000 périodes quadrature. La meilleure résolution possible au niveau de la charge est de

- (A) 0.09°            (B) 0.0005°            (C) 0.002°            (D) 0.008°

2.4 La fréquence d'échantillonnage du contrôle est de 2 kHz et la vitesse angulaire est calculée grâce à une dérivation sur une période d'échantillonnage. La résolution de la vitesse est de :

- (A) 4°/sec            (B) 1°/sec            (C) 180°/sec            (D) 16°/sec

2.5 On désire réaliser le même robot avec un actionnement direct. Un capteur absolu de 20 bits est utilisé. La résolution au niveau de la charge est de

- (A)  $\sim(0.36 \times 10^{-3})^\circ$       (B)  $\sim(90 \times 10^{-6})^\circ$       (C)  $\sim(1.44 \times 10^{-3})^\circ$       (D)  $\sim(2 \times 10^{-6})^\circ$

2.6 La fréquence d'échantillonnage du contrôle est de 1 kHz avec cet encodeur de 20 bits. La vitesse angulaire est calculée grâce à une dérivation sur une période d'échantillonnage. La résolution de la vitesse est de :

- (A)  $\sim 0.36^\circ/\text{sec}$       (B)  $\sim 1.44^\circ/\text{sec}$       (C)  $\sim(2 \times 10^{-3})^\circ/\text{sec}$       (D)  $(90 \times 10^{-3})^\circ/\text{sec}$

### **Exercice 3 (18 pts)**

Nous désirons contrôler les axes d'une machine cartésienne à 3 degrés de liberté en translation. Le vecteur de la gravitation est donné par  $[g]=[0,0,-g_0]'$  dans le référentiel de base du robot ( $g_0=9.8\text{m/s}^2$ ).

3.a Ecrire le modèle géométrique direct et déduire la matrice jacobienne de ce robot (2.5 pt)

3.b Les moteurs sont commandés en couple. Quel est le contrôleur minimal qui fonctionnerait pour la commande en position, pour chacun des 3 axes du robot : **P , PI , PD ou PID ? Expliquez pour chacun des axes!** (3 pts)

3.c Effectuez le schéma du contrôleur de la question (3.b) pour la commande en position d'un des axes de votre choix (2pts)

Les axes de la structure sont pilotés par des moteurs linéaires (actionnement direct). Les masses rapportées à chaque moteur linéaire sont  $m_x$ ,  $m_y$  et  $m_z$ . Les coefficients de viscosité pour chaque axe sont respectivement  $kv_x$ ,  $kv_y$  et  $kv_z$ . Le frottement sec n'est pas considéré.

**3.d** Donnez l'expression du modèle dynamique inverse de l'axe X (1 pt)

**3.e** Donnez l'expression du modèle dynamique inverse de l'axe Z (2 pts)

**3.f** Quelle est l'expression du couple généralisé a priori pour les axes X et Z (3 pts)

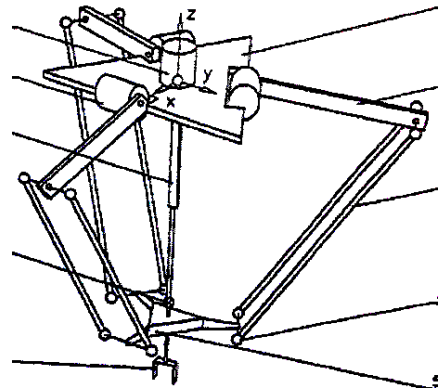
**3.g** Faire le schéma du contrôleur de la réponse **(3.c)** avec un couple généralisé a priori. Quelle est l'expression totale du couple généralisé de commande (3 pts)

**3.h** Citez trois avantages d'une architecture de commande de robots avec bus de terrain (1.5 pts)

--	--	--

**Exercice 4 (15pts)**

Le robot Delta 4 est une structure Delta à 4 degrés de liberté pour les opérations de prise et dépose (ref dessin).  $\{x, y, z\}$  est le référentiel de base de ce robot.  $\theta_x, \theta_y$  et  $\theta_z$  sont les rotations respectives par rapport à chacun de axes de ce repère.



**4.a** Ecrire le vecteur  $[X]$  des coordonnées opérationnelles de ce robot (1 pt)

$X = [ \dots\dots\dots , \dots\dots\dots, \dots\dots\dots, \dots\dots\dots ]$

**4.b** Ecrire le vecteur  $[q]$  des coordonnées généralisées de ce robot et décrire à quoi elles correspondent (2 pts)

$q = [ \dots\dots\dots , \dots\dots\dots, \dots\dots\dots, \dots\dots\dots ]$

--	--	--	--

**4.c** Représentez le schéma cinématique en deux dimensions du Delta 4 afin de pouvoir calculer la mobilité du robot (4 pts)

**4.1** La relation  $q = \phi(X)$  correspond à :

- (A) Modèle géométrique direct
- (B) Modèle géométrique inverse
- (C) Matrice Jacobienne inverse
- (D) à aucun modèle précédent

4.2 Cette structure dispose de combien de boucles cinématiques?

- (A) 3            (B) 4            (C) 5            (D) 6

4.3 La mobilité de ce robot est égale à :

- (A) 4            (B) 9            (C) 10            (D) 11

4.4 Cette structure -:

- (A) est-hyper guidée
- (B) dispose de mobilités internes
- (C) est redondante
- (D) Aucune des situations précédentes

**Exercice 5 (10 pts)**

5.a Enumérez 3 effets physiques à éviter pour le positionnement précis d'un robot (3 pts)

--	--	--

5.b En vous basant sur les micro-actionneurs présentés au cours, listez 4 principes physiques de fonctionnement (4 réponses) (4 pts)

--	--	--	--

5.c Proposez 3 techniques qui permettent d'obtenir une grande course avec des micro-actionneurs (3 pts)

--	--	--

**Exercice 6 (16 pts)**

Nous opérons deux rotations successives 1) une rotation de  $90^\circ$  autour de l'axe x puis 2) Une rotation de  $90^\circ$  autour de l'axe z. Quels sont l'axe et l'angle correspondants à un tel changement d'orientation ?

6.1 L'axe correspondant est :

- (B) [1, 1, 1]'                      (B) [1,-1, 1]'                      (C) [1, 1, -1]'                      (D) [-1, 1, 1]'

6.2 L'angle correspondant est :

- (A)  $90^\circ$                                       (B)  $120^\circ$                                       (C)  $60^\circ$                                       (D)  $-120^\circ$

Même question que 6.1 et 6.2 si nous opérons les rotations précédentes dans l'ordre inverse

6.3 L'axe correspondant est :

- (A) [1,-1, 1]'                      (B) [-1, -1, -1]'                      (C) [1, 1, -1]'                      (D) [-1, 1, 1]'

6.4 L'angle correspondant est :

- (A)  $90^\circ$                                       (B)  $120^\circ$                                       (C)  $60^\circ$                                       (D)  $-120^\circ$

6.5 Quelle est la matrice homogène qui correspond à une translation de longueur 2 en direction de z suivie d'une rotation de  $60^\circ$  autour de l'axe [0, 1, 0] (question compte 4 pts)

- (A)  $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \sqrt{3} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & \sqrt{3} & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$                       (B)  $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \sqrt{3} & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & \sqrt{3} & 2\sqrt{3} \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$                       (C)  $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \sqrt{3} & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ -\sqrt{3} & 0 & 1 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$                       (D)  $\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \sqrt{3} & 2\sqrt{3} \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ -\sqrt{3} & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$

6.a Donnez le modèle géométrique direct d'un robot sphérique (dessin) (4 pts).

$\theta_3 = 0$  au croisement des axes

