

TP 10.2 Robot Ericc Corrigé

- 1) Paramétrage du robot.
- 2) Objectifs du TP et sommaire.
- 3) Étude cinématique expérimentale.
- 31) Découverte.

Question 1 : Conclure sur la facilité d'utilisation des différents pilotages.

A première vue, on aurait pu penser qu'il était plus facile de piloter le robot avec les 5 coordonnées directes θ_i . Or, c'est tout à fait le contraire.

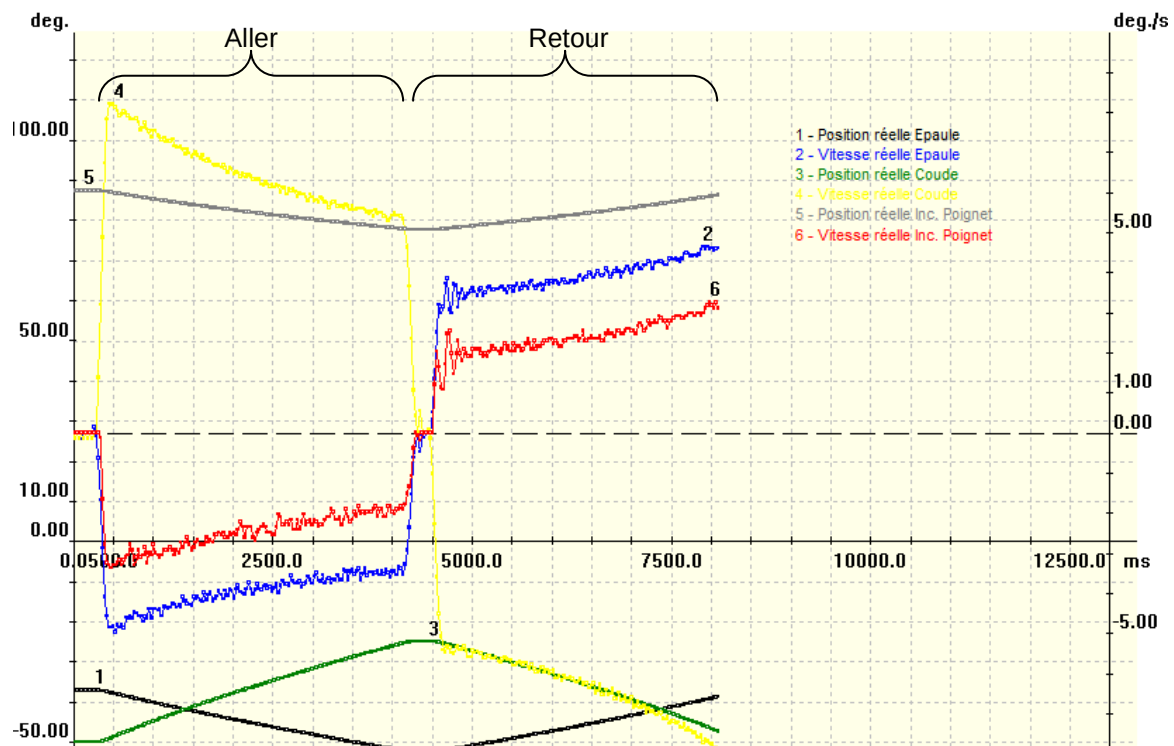
L'utilisation des coordonnées directes n'est pas très pratique car il est difficile d'établir des relations entre celles-ci et un mouvement recherché.

NB1 : Pour que le logiciel puisse reconnaître les 5 coordonnées inverses X, Y, Z, β, γ , il a fallu programmer les relations entre les 2 types de coordonnées...

NB2 : Ce type de pilotage est aussi utilisé pour la plate-forme 6 axes. Et là aussi, il est plus aisé de piloter la plate-forme avec les coordonnées inverses (positionnement et orientation de la plate-forme/socle plutôt qu'avec les coordonnées directes : les 6 longueurs des 6 vérins)... N'hésitez pas à prendre 1 minute, pour aller jeter un coup d'œil à la plate-forme.

32) Étude expérimentale.

Question 2 : Pour la position particulière où $\theta_2 = -40^\circ$, déterminer $\theta_3, \theta_4, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3$ et $\dot{\theta}_4$, puis réaliser et compléter le tableau de la partie 5) bilan.

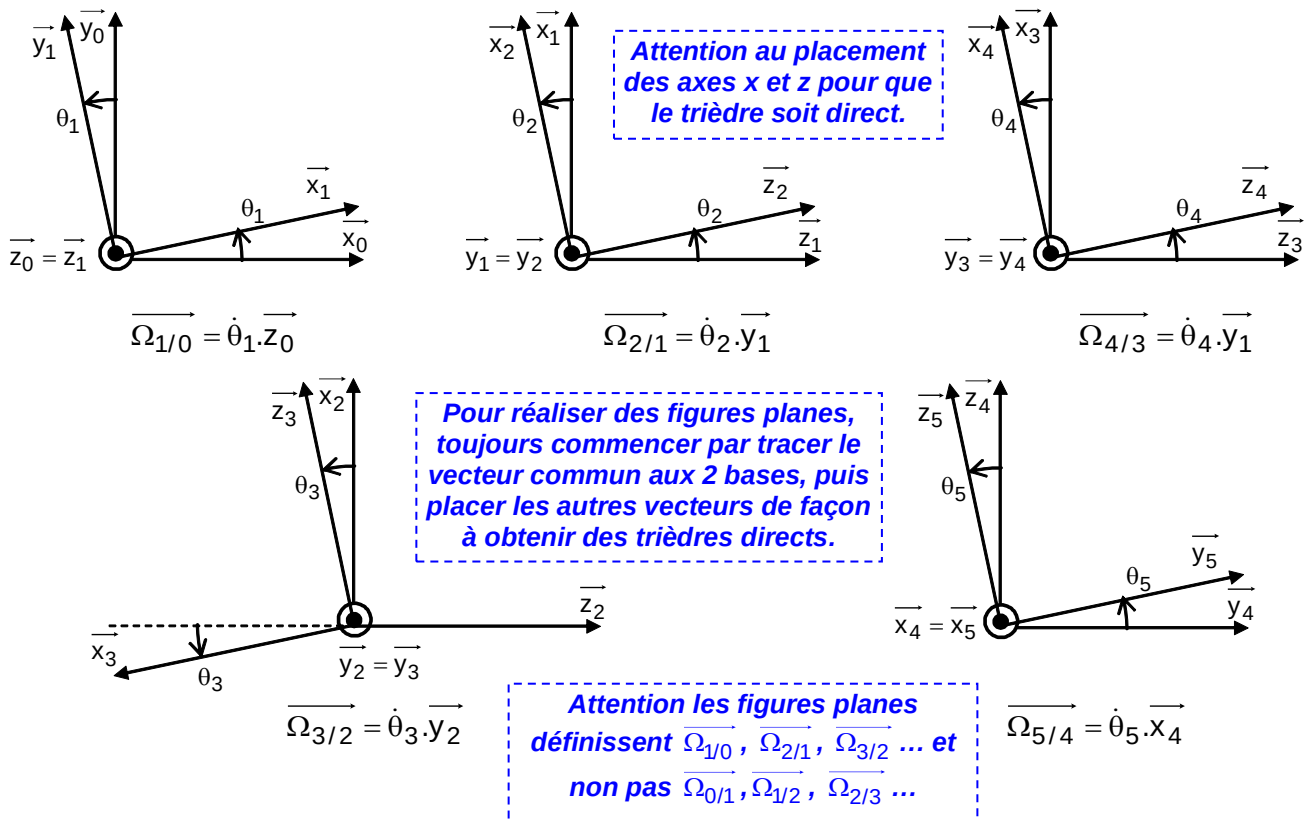


4) Étude cinématique analytique.

Question 3 : Réaliser des figures planes illustrant les paramètres d'orientation.

Question 4 : En déduire sous chaque figure, le vecteur rotation traduisant la figure.

Appeler le professeur pour valider cette question.



Question 5 : Donner la valeur que doit prendre θ_1 pour satisfaire à la 1ère condition du mouvement particulier. En déduire $\dot{\theta}_1$.

La pince 5 a un mouvement de translation de direction $\vec{x}_0$ par rapport au socle 0, donc $B_0=B_1$, et donc $\theta_1 = 0$, ce qui entraîne aussi $\dot{\theta}_1 = 0$.

Question 6 : Donner la valeur en degré de l'angle $(\vec{x}_1, \vec{x}_4)$ pour satisfaire à la 2^{ème} condition du mouvement particulier.

L'axe de la pince $(O_5, \vec{x}_4)$ est vertical descendant, donc l'angle $(\vec{x}_0, \vec{x}_4)$, c'est-à-dire $(\vec{x}_1, \vec{x}_4)$ vaut $+90^\circ$.

Question 7 : Donner, en traduisant le fait que l'angle $(\vec{x}_1, \vec{x}_4) = (\vec{x}_1, \vec{x}_2) + (\vec{x}_2, -\vec{z}_2) + (-\vec{z}_2, \vec{x}_3) + (\vec{x}_3, \vec{x}_4)$, une relation que doivent vérifier les paramètres θ_i . (Cette relation sera nommée Relation 1).

$$(\vec{x}_1, \vec{x}_4) = (\vec{x}_1, \vec{x}_2) + (\vec{x}_2, -\vec{z}_2) + (-\vec{z}_2, \vec{x}_3) + (\vec{x}_3, \vec{x}_4)$$

$$\text{Soit } +90^\circ = \theta_2 + 90^\circ + \theta_3 + \theta_4$$

$$\text{Donc } \boxed{\theta_2 + \theta_3 + \theta_4 = 0} \quad (\text{Relation 1})$$

Question 8 : En déduire une relation entre les vitesses angulaires $\dot{\theta}_i$ (Cette relation sera nommée Relation 2).

$$\Rightarrow \boxed{\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4 = 0} \quad (\text{Relation 2}).$$

Question 9 : Déterminer par la méthode de votre choix l'expression littérale du vecteur vitesse $\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}}$ en fonction des $\dot{\theta}_i$, des θ_i et des L_i .

NB : Tenir compte des simplifications déterminées dans la **relation 2**.

• **Méthode 1 : Cinématique du point.**

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = \overrightarrow{V_{O_5/0}} + "O_5 \in 5" = \overrightarrow{V_{O_5/0}} = \left[\frac{d\overrightarrow{O_0O_5}}{dt} \right]_0 = \left[\frac{d(L_1 \cdot \overrightarrow{z_0} + L_2 \cdot \overrightarrow{x_2} + L_3 \cdot \overrightarrow{x_3} + L_5 \cdot \overrightarrow{x_4})}{dt} \right]_0$$

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = L_1 \cdot \left[\frac{d\overrightarrow{z_0}}{dt} \right]_0 + L_2 \cdot \left[\frac{d\overrightarrow{x_2}}{dt} \right]_0 + L_3 \cdot \left[\frac{d\overrightarrow{x_3}}{dt} \right]_0 + L_5 \cdot \left[\frac{d\overrightarrow{x_4}}{dt} \right]_0$$

$$\left[\frac{d\overrightarrow{z_0}}{dt} \right]_0 = \vec{0}$$

$$\left[\frac{d\overrightarrow{x_2}}{dt} \right]_0 = \overrightarrow{\Omega_{2/0}} \wedge \overrightarrow{x_2} = \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{y_1} \wedge \overrightarrow{x_2} = -\dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2}$$

$$\left[\frac{d\overrightarrow{x_3}}{dt} \right]_0 = \overrightarrow{\Omega_{3/0}} \wedge \overrightarrow{x_3} = [(\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{y_1}] \wedge \overrightarrow{x_3} = -(\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{z_3}$$

$$\left[\frac{d\overrightarrow{x_4}}{dt} \right]_0 = \overrightarrow{\Omega_{4/0}} \wedge \overrightarrow{x_4} = [(\dot{\theta}_4 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{y_1}] \wedge \overrightarrow{x_4} = -(\dot{\theta}_4 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{z_4}$$

$$\text{Donc : } \overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = -L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} - L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{z_3} - L_5 \cdot (\dot{\theta}_4 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{z_4}$$

$$\text{Sachant que } \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4 = 0 \text{ (Relation 2), on obtient } \overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = -L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} - L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{z_3}$$

Toujours calculer les dérivées des vecteurs unitaires en dehors de l'expression globale demandée, cela évite de nombreuses erreurs. De plus, ces dérivées peuvent être réutilisées dans les questions suivantes...

Toujours vérifier que le résultat obtenu est homogène à une vitesse linéaire.

• **Méthode 2 : Cinématique du solide.**

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = \overrightarrow{V_{O_5 \in 5/4}} + \overrightarrow{V_{O_5 \in 4/3}} + \overrightarrow{V_{O_5 \in 3/2}} + \overrightarrow{V_{O_5 \in 2/1}} + \overrightarrow{V_{O_5 \in 1/0}}$$

Avec

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/4}} = \vec{0}$$

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 4/3}} = \overrightarrow{V_{O_4 \in 4/3}} + \overrightarrow{O_5O_4} \wedge \overrightarrow{\Omega_{4/3}} = -L_5 \cdot \overrightarrow{x_4} \wedge \dot{\theta}_4 \cdot \overrightarrow{y_1} = -L_5 \cdot \dot{\theta}_4 \cdot \overrightarrow{z_4}$$

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 3/2}} = \overrightarrow{V_{O_3 \in 3/2}} + \overrightarrow{O_5O_3} \wedge \overrightarrow{\Omega_{3/2}} = (-L_5 \cdot \overrightarrow{x_4} - L_3 \cdot \overrightarrow{x_3}) \wedge \dot{\theta}_3 \cdot \overrightarrow{y_1} = -L_5 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \overrightarrow{z_4} - L_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \overrightarrow{z_3}$$

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 2/1}} = \overrightarrow{V_{O_2 \in 2/1}} + \overrightarrow{O_5O_2} \wedge \overrightarrow{\Omega_{2/1}} = (-L_5 \cdot \overrightarrow{x_4} - L_3 \cdot \overrightarrow{x_3} - L_2 \cdot \overrightarrow{x_2}) \wedge \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{y_1} = -L_5 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_4} - L_3 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_3} - L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2}$$

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 1/0}} = \vec{0} \text{ car 1 fixe par rapport à 0.}$$

$$\text{Donc : } \overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = -L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} - L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{z_3} - L_5 \cdot (\dot{\theta}_4 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{z_4}$$

$$\text{Sachant que } \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_4 = 0 \text{ (Relation 2), on obtient } \overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = -L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{z_2} - L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{z_3}$$

Toujours vérifier que le résultat obtenu est homogène à une vitesse linéaire.

Question 10 : Projeter le vecteur $\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}}$ dans la base 0, puis déduire deux nouvelles relations que doivent vérifier les paramètres θ_i , traduisant la 3ème condition du mouvement particulier (Ces relations seront nommées **Relation 3** et **relation 4**).

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = -L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{Z_2} - L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \overrightarrow{Z_3}$$

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = -L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \overrightarrow{Z_2} - L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot (\cos \theta_3 \cdot \overrightarrow{x_2} - \sin \theta_3 \cdot \overrightarrow{z_2})$$

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = -L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \cos \theta_3 \cdot \overrightarrow{x_2} + [L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \sin \theta_3 - L_2 \cdot \dot{\theta}_2] \cdot \overrightarrow{z_2}$$

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = -L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \cos \theta_3 \cdot (\cos \theta_2 \cdot \overrightarrow{x_1} - \sin \theta_2 \cdot \overrightarrow{z_1}) + [L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \sin \theta_3 - L_2 \cdot \dot{\theta}_2] \cdot (\cos \theta_2 \cdot \overrightarrow{z_1} + \sin \theta_2 \cdot \overrightarrow{x_1})$$

$$\overrightarrow{V_{O_5 \in 5/0}} = [-L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) - L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2] \cdot \overrightarrow{x_1} + [L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) - L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \cos \theta_2] \cdot \overrightarrow{z_1}$$

Donc : $-L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) - L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin \theta_2 = -15$ (Relation 3).

Et $L_3 \cdot (\dot{\theta}_3 + \dot{\theta}_2) \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) - L_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \cos \theta_2 = 0$ (Relation 4).

Question 11 : Donner, en traduisant la 4ème condition (c'est-à-dire en imposant que le vecteur $\overrightarrow{O_2 O_5}$ soit toujours colinéaire avec $\overrightarrow{x_0}$), la relation que doivent vérifier les paramètres θ_i . (Cette relation sera nommée **Relation 5**).

$$\overrightarrow{O_2 O_5} = [L_2 \cdot \cos \theta_2 - L_3 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) - L_5 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)] \cdot \overrightarrow{x_1} + [-L_2 \cdot \sin \theta_2 - L_3 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) - L_5 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)] \cdot \overrightarrow{z_1}$$

Ainsi $-L_2 \cdot \sin \theta_2 - L_3 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) - L_5 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) = 0$

Sachant que $\theta_2 + \theta_3 + \theta_4 = 0$ (Relation 1), on obtient $-L_2 \cdot \sin \theta_2 - L_3 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) - L_5 = 0$ (Relation 5).

5) Bilan.

	θ_2	θ_3	θ_4	$\dot{\theta}_2$	$\dot{\theta}_3$	$\dot{\theta}_4$
Calculs	-40°	-45,5°	85,5°	-4,4°/s	7,3°/s	-3,0°/s
Mesures	-40°	-44,5°	85°	-4,4°/s	7,5°/s	-2,9°/s

Question 12 : Comparer les résultats (mesurés et calculés) et expliquer l'origine des écarts éventuels.

Les écarts entre la vitesse de consigne, les vitesses mesurées sont fonction de :

- ⇒ la longueur réelle des bras,
- ⇒ la résolution des capteurs angulaires et linéaire,
- ⇒ la précision dans l'exploitation des courbes,
- ⇒ la qualité des asservissements des axes du robot,
- ⇒ l'influence des déformations des différentes pièces du robot,

AVANT DE PARTIR, RANGER LE POSTE