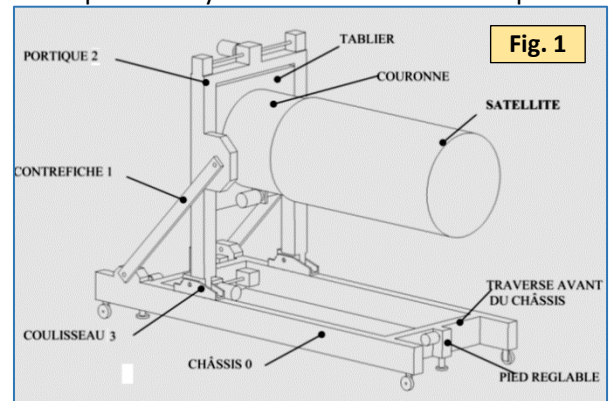


Exercice 1

Les chariots d'intégration (Fig. 1) sont utilisés lors de l'assemblage des satellites. Ils permettent aux techniciens d'accéder aisément à toutes les parties du satellite. La position du satellite est assurée par trois systèmes fonctionnels indépendants (Fig. 2) :



- **Un système de basculement du portique (2)** actionné par un moteur électrique (M). Le mouvement de rotation de l'arbre moteur est transformé en mouvement de translation suivant la direction (F, \vec{x}_0) par l'intermédiaire d'un système vis-écrou (liaison hélicoïdale d'axe (F, \vec{x}_0) de la vis de commande (4) par rapport au coulisseau (3)). Le déplacement du point A entraîne grâce au système à barres [portique (2) et contrefiche (1)] le basculement du satellite (6) et ainsi permet de passer le satellite d'une position verticale à une position horizontale ou tout autre position intermédiaire,
- **Un système de déplacement en translation du tablier (5)** actionné par un second moteur électrique. Ce système comporte également un transformateur de mouvement (non étudié ici) et assure le positionnement en translation du tablier et donc de l'ensemble (couronne + satellite (6)) par rapport au portique (2),
- **Un système de pivotement** de l'ensemble (couronne + satellite (6)) composé simplement d'un troisième moteur qui permet de faire pivoter l'ensemble « couronne + satellite » par rapport au tablier sur une amplitude de 360°.

On donne ci-dessous un extrait du cahier des charges fonctionnel du chariot d'intégration des satellites :

Fonction	Critère	Niveau
Permettre le basculement du portique (2).	Temps de basculement (t) entre $\beta = 0$ et $\beta = \frac{\pi}{2}$	$t \leq 15 \text{ min}$

Soient les repères $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$, $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ respectivement liés aux solides (0), (1) et (2).

On donne :

$$\vec{OA} = \lambda(t)\vec{x}_0 ;$$

$$\vec{OC} = a\vec{x}_1 ;$$

$$\vec{AB} = b\vec{y}_2 ;$$

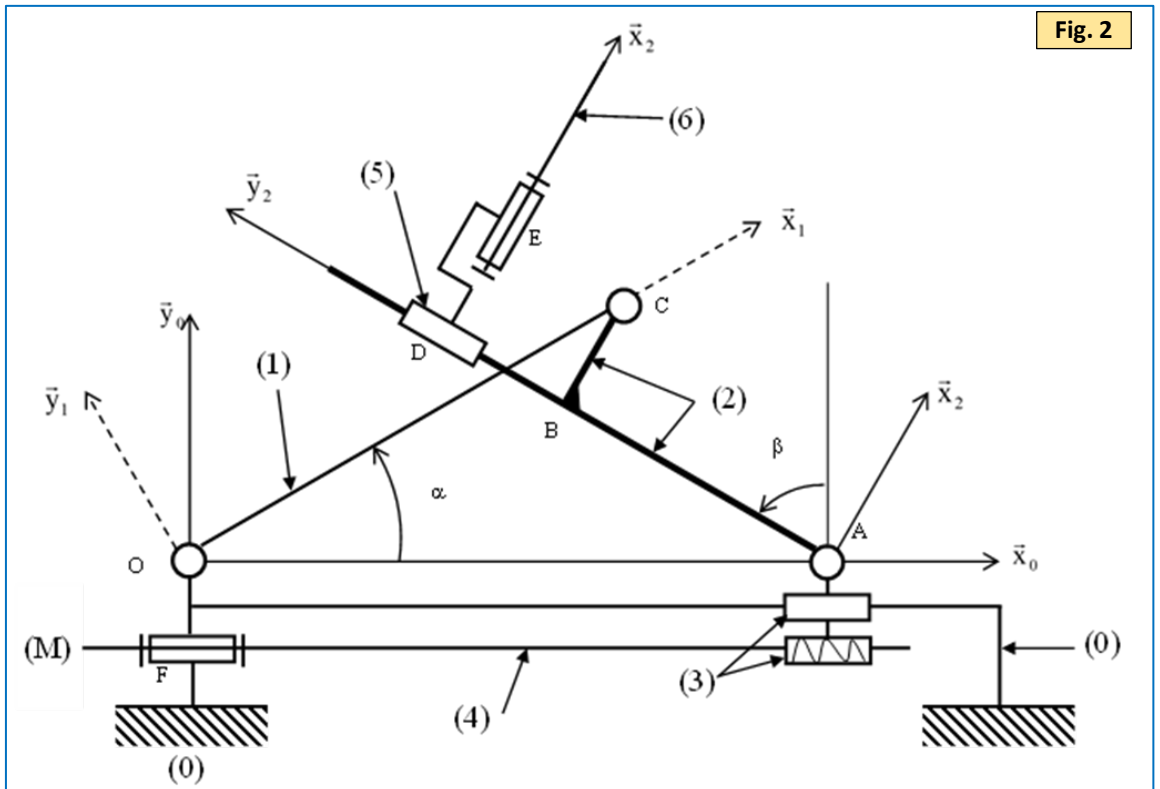
$$\vec{BC} = h\vec{x}_2 ;$$

$$\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) \text{ et}$$

$$\beta = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$$

avec a, b et h des constantes.

La vis de commande (4) a un pas p égal à 9mm et tourne à une fréquence uniforme $\omega_{4/0} = 2,62 \text{ rd/s}$.



- 1) Tracer le graphe de liaison du système et donner son type.

- 2) Ecrire, sous forme de relation vectorielle, une fermeture géométrique relative au cycle permettant le basculement du satellite. En déduire une relation entre le paramètre λ de déplacement du coulisseau (4) et l'angle β
- 3) Déterminer la variation de déplacement du coulisseau (4) pour passer d'une position du satellite (6) horizontale à une position verticale (on donne $a=2,5$, $b=2 \text{ m}$ et $h=0,3 \text{ m}$).
- 4) Sachant que $\dot{\lambda} = \frac{p}{2\pi} \omega_{4/0}$, calculer (en m/s) la valeur de $\dot{\lambda}$. En déduire le temps de basculement du satellite entre $\beta = 0$ et $\beta = \frac{\pi}{2}$ et conclure par rapport aux exigences du cahier des charges.

Exercice 2

Le mécanisme de la (Fig. 3) représente une partie d'un manipulateur utilisé sur une machine-outil. Ce manipulateur assure l'alimentation en pièces à usiner et l'évacuation des pièces finies et ce, à l'aide du déplacement du coulisseau (4). Le mécanisme étudié permet l'obtention du déplacement de ce coulisseau par la transformation du mouvement du vérin (1+2).

Le système mécanique proposé dans cette étude est composé essentiellement des éléments suivants :

- Un corps de vérin (1) en liaison pivot d'axe (A, \vec{z}_0) avec le bâti (0).
- Une tige de vérin (2) en liaison pivot glissant d'axe (A, \vec{x}_1) par rapport à (1) et en liaison pivot d'axe (C, \vec{z}_0) avec le levier de renvoi (3).
- Un levier de renvoi (3) en liaison pivot d'axe (D, \vec{z}_0) avec le bâti (0). Le mouvement de rotation du levier de renvoi (3) est engendré par le déplacement de la tige du vérin (2).
- Un coulisseau (4), en liaison linéique rectiligne d'axe (I, \vec{z}_0) par rapport à un galet (5) et également en liaison glissière suivant l'axe (H, \vec{y}_0) avec le bâti (0).
- Un galet (5) de rayon R en liaison pivot d'axe (E, \vec{z}_0) avec le levier de renvoi (3).

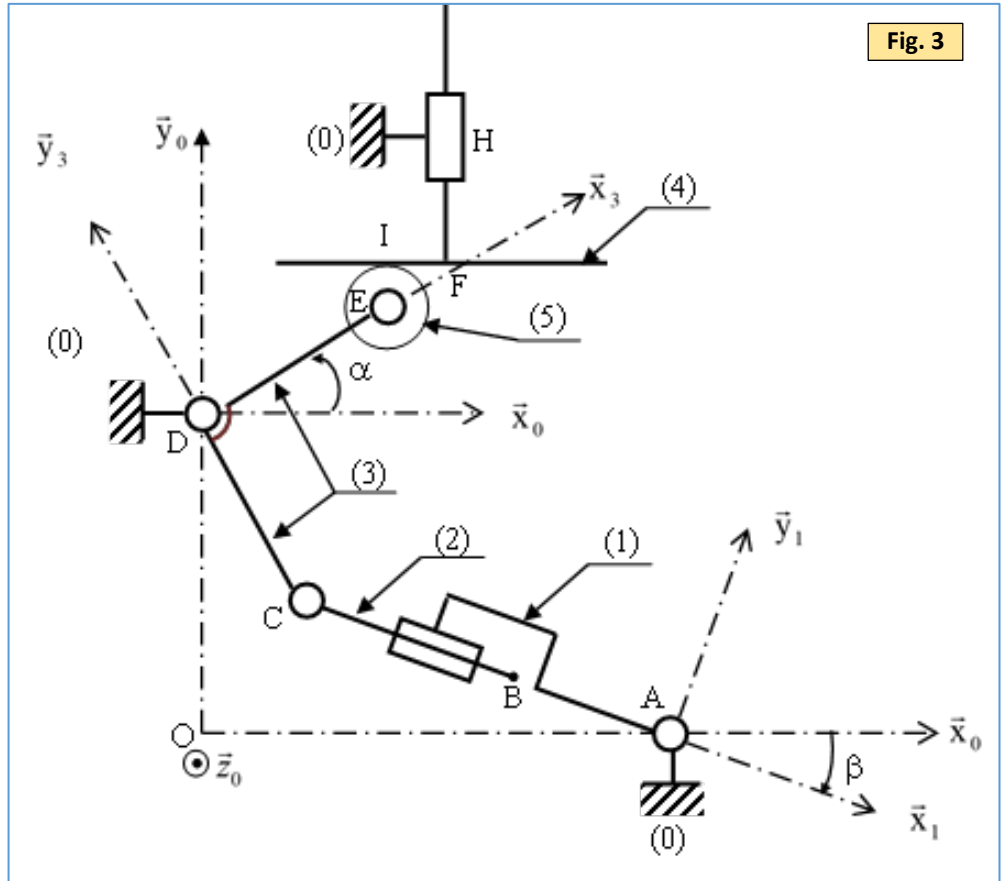


Fig. 3

On donne ci-dessous un extrait du cahier des charges fonctionnel du mécanisme :

Fonction	Critère	Niveau
Alimentation en pièces à usiner et évacuation des pièces finies.	Déplacement du coulisseau (4).	$14 \text{ cm} \leq \eta(t) \leq 35 \text{ cm}$

Soient les repères $R_0 (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$; $R_1 (A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$; $R_3 (D, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$ respectivement liés aux solides (0), (1) et (3).

De plus, on donne :

$$\begin{aligned} \vec{OA} &= a\vec{x}_0 & ; & \quad \vec{OD} = b\vec{y}_0 & \quad ; & \quad \vec{AB} = -\lambda(t)\vec{x}_1 & \quad ; & \quad \vec{BC} = -c\vec{x}_1 & \quad ; & \quad \vec{CD} = d\vec{y}_3 & \quad ; & \quad \vec{DE} = d\vec{x}_3 & \quad ; & \quad \vec{EI} = R\vec{y}_0 & ; \\ \vec{IF} &= \mu(t)\vec{x}_0 & ; & \quad \vec{FH} = \eta(t)\vec{y}_0 & ; & \quad \vec{DH} = e\vec{x}_0 + f\vec{y}_0 & ; & \quad \alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) & ; & \quad \beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) & ; \end{aligned}$$

1) Donner le graphe de liaison du système et donner son type.

2) Donner le paramètre d'entrée et le paramètre de sortie de ce système.

3) Ecrire, l'équation vectorielle traduisant la fermeture géométrique (0-3-5-4-0). En déduire une relation entre le paramètre de déplacement $\eta(t)$ du coulisseau (4), l'angle $\alpha(t)$ et les données géométriques dimensionnelles.

4) Ecrire, l'équation vectorielle traduisant la fermeture géométrique (0-1-2-3-0). En déduire une relation entre le paramètre de déplacement de la tige du vérin, l'angle $\alpha(t)$ et les données géométriques dimensionnelles

5) Déterminer la course maximale de la tige du vérin (2) permettant de respecter le cahier de charge.

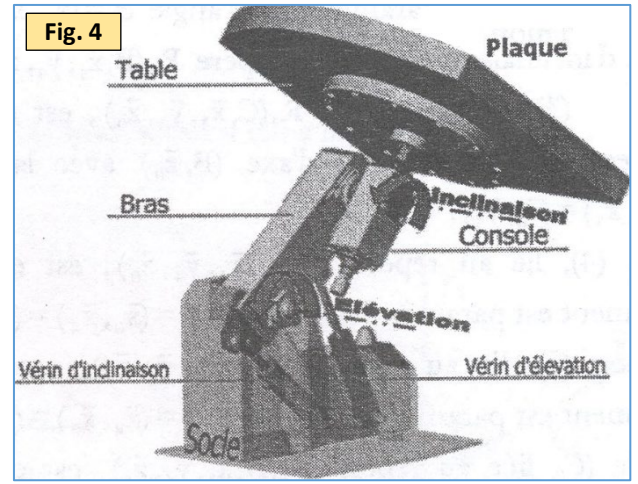
On donne $a = b = 50 \text{ cm}$, $d = 30 \text{ cm}$, $c = 35 \text{ cm}$, $e = 60 \text{ cm}$, $f = 40 \text{ cm}$ et $R = 5 \text{ cm}$.

Exercice 3

Une industrie de traitement de marbre comporte quatre unités: **1-** Unité de découpage **2-** Unité de transfert et de manipulation **3-** Unité de gravure et de polissage **4-** Unité de traitements des eaux usées (utilisées lors du découpage et du polissage).

Au niveau de l'unité de gravure et de polissage les plaques de marbre déjà découpées sont destinées à recevoir des textes et des motifs décoratifs par enlèvement de matière. Un des mécanismes utilisés dans cette unité est le manipulateur montré à la (Fig. 4) et qui est le sujet de notre étude.

Ce mécanisme, dont un schéma cinématique est donné à la (Fig.5) ci-dessous, permet de déplacer et de positionner la plaque par rapport à l'opérateur pour lui faciliter les opérations à réaliser.



Ce système est composé des éléments suivants :

- Socle (0) auquel est lié le référentiel $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ supposé galiléen.
- Corps d'inclinasion (1), lié au référentiel $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$, est en liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_0) avec le socle (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$
- Tige d'inclinasion (2), liée au référentiel $R_2(B, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$, est en liaison glissière d'axe (A, \vec{y}_1) avec le corps (1).
- Pignon (3), lié au référentiel $R_3(C, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$, est en liaison pivot d'axe (C, \vec{z}_0) avec le socle (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$. Ce pignon est également en liaison pivot d'axe (B, \vec{z}_0) avec la tige (2).
- Bras (4), lié au référentiel $R_4(C, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$, est en liaison pivot d'axe (C, \vec{z}_0) avec le socle (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\gamma = (\vec{x}_0, \vec{x}_4) = (\vec{y}_0, \vec{y}_4)$
- Pignon (5), lié au référentiel $R_5(H, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$, est en liaison pivot d'axe (H, \vec{z}_0) avec le bras (4). Comme (3), le mouvement de (5) est paramétré par l'angle $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$ (entraînement par la chaîne et rayons identiques)
- Table (6), encastrée au pignon (5). La plaque est également immobile par rapport à (6).
- Corps de levage (7), lié au référentiel $R_7(O_7, \vec{x}_7, \vec{y}_7, \vec{z}_0)$, est en liaison pivot d'axe (O_7, \vec{z}_0) avec le socle (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\psi = (\vec{x}_0, \vec{x}_7) = (\vec{y}_0, \vec{y}_7)$
- Tige de levage (8), lié au référentiel $R_8(D, \vec{x}_7, \vec{y}_7, \vec{z}_0)$, est en liaison glissière d'axe (E, \vec{y}_7) avec le corps (7). Elle est également en liaison pivot d'axe (D, \vec{z}_0) avec le bras (4).

De plus, on donne les caractéristiques géométriques du mécanisme :

- $\vec{OO}_7 = l\vec{x}_0$; $\vec{O}_7\vec{C} = -b\vec{x}_0 + c\vec{y}_0$; $\vec{O}_7\vec{D} = \mu\vec{y}_7$; $\vec{CD} = \vec{DH} = a\vec{x}_4$; $\vec{OB} = \lambda\vec{y}_1$ et $\vec{BC} = h\vec{y}_3$
- l, a, b, c et h sont des caractéristiques géométriques du mécanisme (constantes).
- $\lambda, \mu, \alpha, \beta, \gamma$ et ψ sont des paramètres du mécanisme (variables temporelles).

Le système est utilisé par l'opérateur en deux étapes séparées :

- Etape 1 : réglage de l'élévation uniquement (sans changement d'inclinasion) cette étape est réalisée à l'aide du vérin hydraulique (7,8)
- Etape 2 : réglage de l'inclinasion uniquement (une fois l'élévation réglée) cette étape réalisée à l'aide du vérin hydraulique (1,2)

Les caractéristiques globales que le système doit respecter lors de ses déplacements sont définies dans l'extrait de cahier des charges fonctionnel présenté au tableau ci-dessous :

Fonction	Critère	Niveaux
FS1. Positionner la plaque par rapport à l'opérateur	Angle d'élévation	$0^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$

- 1) Dresser le graphe de liaisons du manipulateur et donner la nature de la chaîne. [Remarque : on ne représentera pas la table (6) ainsi que la plaque puisque ces deux solides sont encastrés au pignon (5) et on ne représentera pas également la chaîne métallique qui assure la transmission de mouvement entre les 2 pignons]
- 2) Donner le(s) paramètre(s) d'entrée et le(s) paramètre(s) de sortie du système pendant les deux étapes
- 3) Ecrire l'équation vectorielle traduisant la fermeture géométrique de la chaîne appropriée à l'étude de la phase d'et déduire le système d'équations scalaires qui en découle.
- 4) Montrer que $\mu = \sqrt{K - L \cos \gamma + M \sin \gamma}$ et déduire l'expression de K, L et M en fonction de a, b et c .
- 5) Déterminer μ_{max} et μ_{min} ainsi que la course du vérin ($\Delta\mu = \mu_{max} - \mu_{min}$) qui vérifie le critère de l'angle d'élévation imposé par le cahier de charge.

On donne $K = 0,935$; $L = 0,525$ et $M = 0,35$

[Les résultats trouvés seront exprimés en mètres.]

Exercice 4

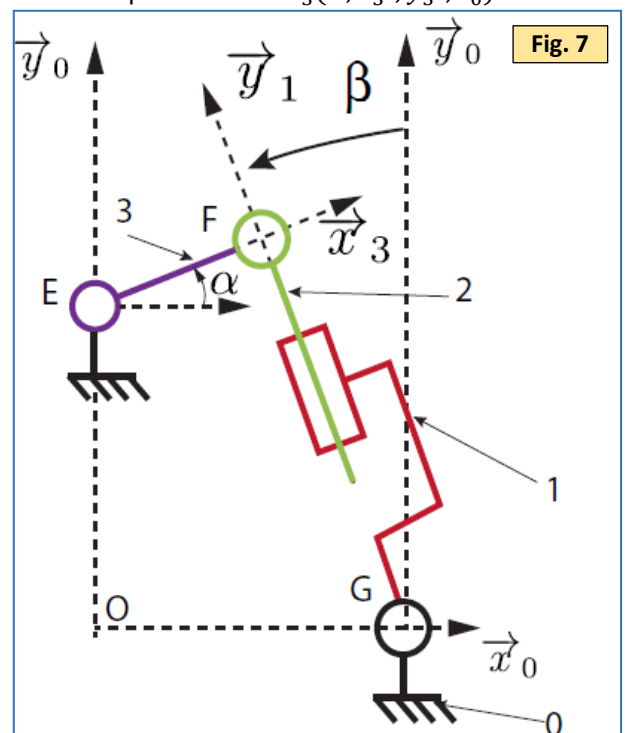
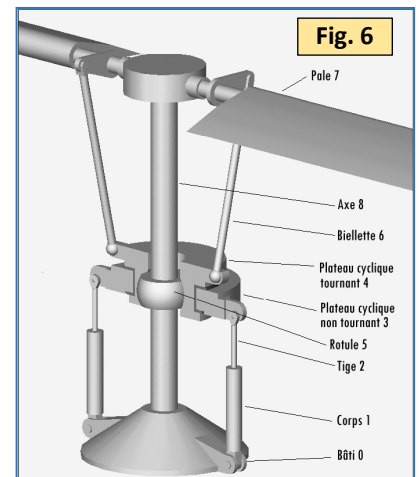
Un hélicoptère crée sa portance grâce au mouvement de rotation du rotor principal entraîné à l'aide de la turbine. Pour permettre à l'hélicoptère de se déplacer suivant les différentes directions, les pales prennent, suivant un axe radial, une incidence qui varie au cours de la rotation du rotor. Le dispositif qui transmet les consignes du pilote et qui permet d'imposer cette variation est le plateau de pas cyclique dont l'orientation est fixée par l'intermédiaire de plusieurs vérins hydrauliques.

La figure (Fig. 6) ci-contre présente le mécanisme complet. Sur ce schéma n'est pas représenté le mécanisme permettant l'entraînement en rotation suivant un axe vertical des solides 4, 5, 6 et 8 qui ne fera pas l'objet de l'étude.

Afin de simplifier l'étude, on construit un modèle plan de ce dispositif (Fig. 7), constitué des solides suivants :

- Bâti 0 : lié au corps de l'hélicoptère. On donne le repère associé $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$
- Un premier vérin permet d'actionner le dispositif :
 - Corps (1) en liaison pivot d'axe (G, \vec{z}_0) avec le bâti 0 et en liaison pivot glissant d'axe (G, \vec{y}_1) avec la tige (2). On donne le repère associé $R_1(G, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$
 - Tige (2) en liaison pivot d'axe (F, \vec{z}_0) avec le plateau 3. On donne le repère associé $R_1(F, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$
- Le plateau (3) est en liaison pivot d'axe (E, \vec{z}_0) avec le bâti. On donne le repère associé $R_3(E, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$

On donne : $\vec{OG} = a \vec{x}_0$; $\vec{GF} = \lambda(t) \vec{y}_1$; $\vec{OE} = b \vec{y}_0$; $\vec{EF} = c \vec{x}_3$; $\beta = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$ et $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_3)$. De plus, a, b et c sont des constantes.



- 1) Tracer le graphe des liaisons. En déduire la nature de la chaîne.
- 2) Donner le paramètre d'entrée et le paramètre de sortie du système.
- 3) Écrire la fermeture géométrique du système. En déduire une relation entre $\lambda(t)$ et $\alpha(t)$
- 4) Sachant que le débattement angulaire du plateau cyclique (3) est $-40^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$, déterminer la course du vérin.

(On donne : $a=25$ mm, $b=30$ mm et $c=20$ mm).