INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES D'INGENIEUR DE SFAX	**S**ystèmes **T**echniques **A**utomatisés - (MP1/PC1)
Examen de Fin du 1er semestre 2020-2021	**Mécanique des solides indéformables**

Répondez de façon claire et brève sur les pages 3 à 6 – Justifiez vos réponses – Soignez la présentation !!!
Les questions sont groupées en 3 blocs indépendants : [1 à 2] ; [3 à 13] et [14 à 17]

Unités de traitement de marbre

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 figure 1 et qui est le sujet de notre étude.

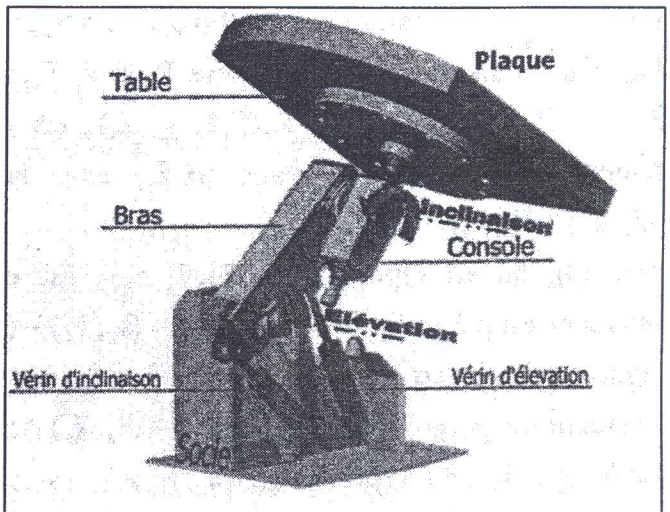


Figure 1 : Schéma du manipulateur.

Ce mécanisme, dont un schéma cinématique est donné à la figure 2 ci-dessous, permet de déplacer et de positionner la plaque par rapport à l'opérateur pour lui faciliter les opérations à réaliser.

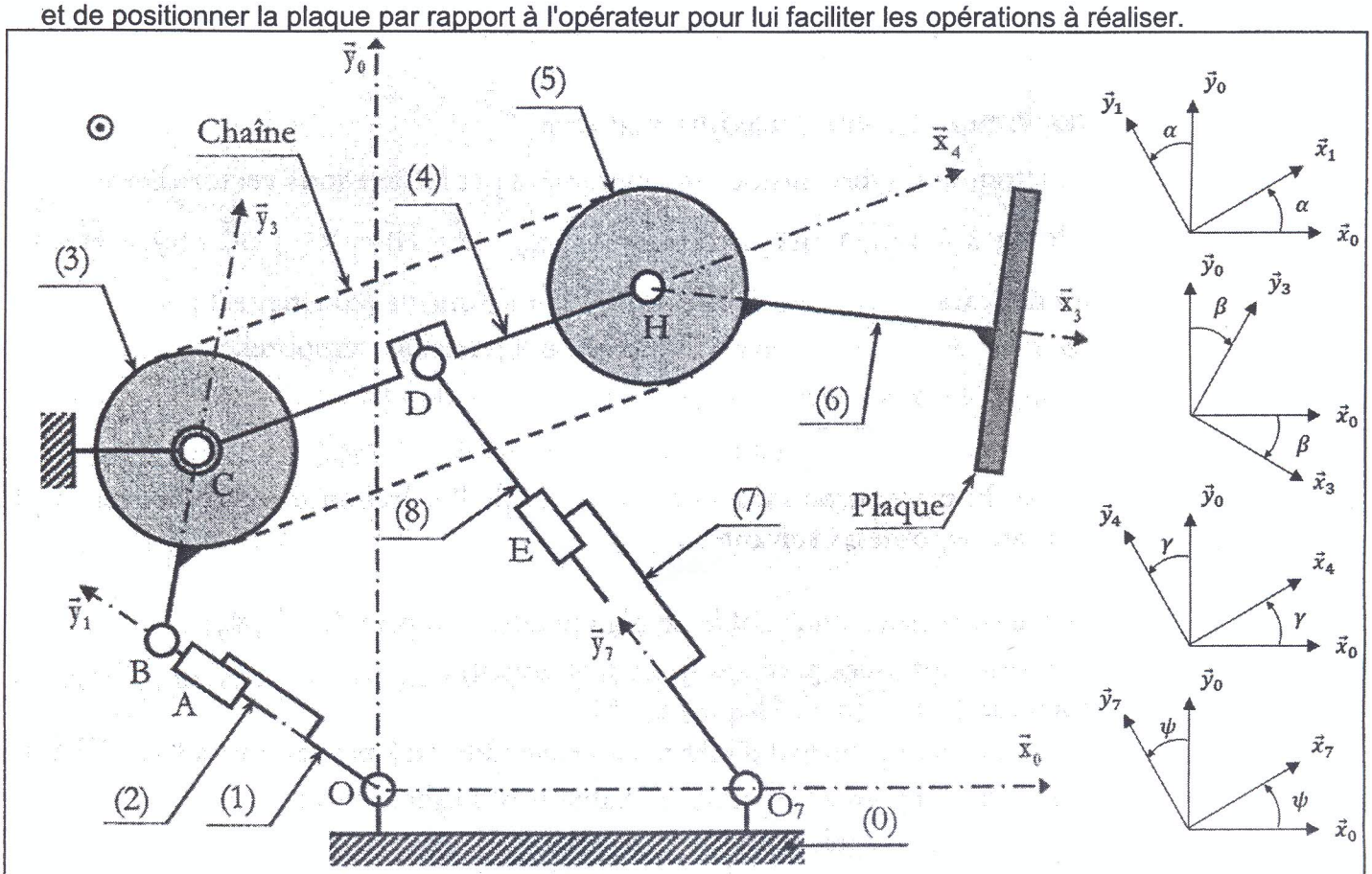


Figure 2 : Schéma cinématique minimal du manipulateur de plaque en marbre.

Ce système est composé des éléments suivants :

- Socle (0) auquel est lié le référentiel $R_0(O,\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{z_0})$ supposé galiléen.
- Corps d'inclinaison (1), lié au référentiel $R_1(O,\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z_0})$, est en liaison pivot d'axe $(O,\overrightarrow{z_0})$ avec le socle (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\alpha = (\widehat{\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{x_1}}) = (\widehat{\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{y_1}})$.
- Tige d'inclinaison (2), liée au référentiel $R_2(B,\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z_0})$, est en liaison glissière d'axe $(A,\overrightarrow{y_1})$ avec le corps (1).
- Pignon (3), lié au référentiel $R_3(C,\overrightarrow{x_3},\overrightarrow{y_3},\overrightarrow{z_0})$, est en liaison pivot d'axe $(C,\overrightarrow{z_0})$ avec le socle (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\beta = (\widehat{\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{x_3}}) = (\widehat{\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{y_3}})$. Ce pignon est également en liaison pivot d'axe $(B,\overrightarrow{z_0})$ avec la tige (2).
- Bras (4), lié au référentiel $R_4(C,\overrightarrow{x_4},\overrightarrow{y_4},\overrightarrow{z_0})$, est en liaison pivot d'axe $(C,\overrightarrow{z_0})$ avec le socle (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\gamma = (\widehat{\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{x_4}}) = (\widehat{\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{y_4}})$.
- Pignon (5), lié au référentiel $R_5(H,\overrightarrow{x_3},\overrightarrow{y_3},\overrightarrow{z_0})$, est en liaison pivot d'axe $(H,\overrightarrow{z_0})$ avec le bras (4). Comme (3), le mouvement de (5) est paramétré par l'angle $\beta = (\widehat{\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{x_3}}) = (\widehat{\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{y_3}})$ (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 $R_7(O_7,\overrightarrow{x_7},\overrightarrow{y_7},\overrightarrow{z_0})$, est en liaison pivot d'axe $(0_7,\overrightarrow{z_0})$ avec le socle (0). Son mouvement est paramétré par l'angle $\psi = (\widehat{\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{x_7}}) = (\widehat{\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{y_7}})$.
- Tige de levage (8), lié au référentiel $R_8(D,\overrightarrow{x_7},\overrightarrow{y_7},\overrightarrow{z_0})$, est en liaison glissière d'axe $(E,\overrightarrow{y_7})$ avec le corps (7). Elle est également en liaison pivot d'axe $(D,\overrightarrow{z_0})$ avec le bras (4).

De plus, on donne les caractéristiques géométriques du mécanisme :

- $\overrightarrow{OO_7} = l\overrightarrow{x_0}$; $\overrightarrow{O_7C} = -b\overrightarrow{x_0} + c\overrightarrow{y_0}$; $\overrightarrow{O_7D} = \mu\overrightarrow{y_7}$; $\overrightarrow{CD} = \overrightarrow{DH} = a\overrightarrow{x_4}$; $\overrightarrow{OB} = \lambda\overrightarrow{y_1}$ et $\overrightarrow{BC} = h\overrightarrow{y_3}$.
- $l, a, b, c\ et\ h$ sont des caractéristiques géométriques du mécanisme (constantes).
- $\lambda, \mu, \alpha, \beta, \gamma\ et\ \psi$ 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'inclinaison) cette étape est réalisée à l'aide du vérin hydraulique (7,8).
- Etape 2 : réglage de l'inclinaison 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 1.

Fonction	Critère	Niveaux
FS1. Positionner la plaque par rapport à l'opérateur	Angle d'élévation	$0° \leq \gamma \leq 90°$
FS2. Assurer la sécurité de l'opérateur	Vitesse d'élévation	$\dot{\gamma} \leq 0{,}314\ rad/s$

Tableau 1. Extrait de cahier des charges fonctionnel

INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES D'INGENIEUR DE SFAX (MP1/PC1) - **STA/ MSI** (EFS 1 - 2020/2021)			
Nom :	Prénom :	Classe :	CIN/Pass : .....

1) Dresser le graphe de liaisons du manipulateur et donner la nature de la chaîne. [*Remarque : la table (6) et la plaque sont encastrés au pignon (5) ils seront représentés par la classe d'équivalence (5) alors que la chaine métallique qui assure la transmission de mouvement entre les 2 pignons ne sera pas représenté dans le graphe de liaisons*].

1 0 7

Nature de la chaîne : .....

2) Donner le(s) paramètres d'entrée et le(s) paramètres de sortie du système pendant les deux étapes

	Paramètre(s) d'entrée	Paramètre(s) de sortie
Etape d'élévation	.....	.....

	Paramètre(s) d'entrée	Paramètre(s) de sortie
Etape d'inclinaison	.....	.....

I. Etude de la phase d'élévation

L'objet de cette partie est de déterminer la course du vérin (7-8) et de vérifier les critères du cahier de charge. Dans cette phase le vérin (1,2) est au repos.

3) Ecrire l'équation vectorielle traduisant la fermeture géométrique de la chaîne appropriée à l'étude de cette phase et déduire le système d'équations scalaires qui en découle.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

NE RIEN ECRIRE ICI

4) Montrer que $\mu = \sqrt{\mathbf{K} - \mathbf{L}\cos\gamma + \boldsymbol{M}\sin\gamma}$ et déduire l'expression de $\boldsymbol{K}, \boldsymbol{L}$ *et* $\boldsymbol{M}$ en fonction de a, b *et* c.

.....

.....

.....

$\boldsymbol{K} =$.....	$\boldsymbol{L} =$.....	$\boldsymbol{M} =$.....

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.]

.....

.....

$\mu_{max} =$.....	$\mu_{min} =$.....	$\Delta\mu =$.....

6) Déterminer le torseur cinématique du mouvement de (4) par rapport à (0) au point C $\left\{\vartheta_{(4/0)}\right\}_C$.

.....

.....

❖ Nature de ce torseur : ..... ❖Justification : .....

❖ Nature du mouvement : .....

❖ Axe central du mouvement (s'il existe) : .....

7) Déduire, par cinématique des solides, $\vec{V}(D \in 4/0)$.

.....

.....

8) Déterminer le torseur cinématique du mouvement de (8) par rapport à (7) au point D $\left\{\vartheta_{(8/7)}\right\}_D$.

.....

.....

.....

❖ Nature de ce torseur : ..... ❖Justification : .....

❖ Nature du mouvement : ..... ❖ Axe central du mouvement (s'il existe) : .....

NE RIEN ECRIRE ICI

9) Déterminer le torseur cinématique du mouvement de (7) par rapport à (0) au point O_7 $\{\vartheta_{(7/0)}\}_{O_7}$.

.....

.....

10) Déterminer, par composition des vitesses, $\vec{V}(D \in 8/0)$.

.....

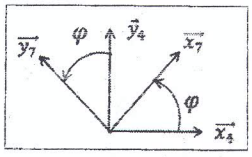
.....

.....

.....

11) A partir de la condition cinématique de la liaison pivot au point D entre (4) et (8), déduire l'expression de $\dot{\psi}$ et de $\dot{\gamma}$ en fonction de $\mu, \dot{\mu}$ et de l'angle $(\varphi = \psi - \gamma)$ et des données géométriques du mécanisme.

.....



.....

.....

.....

$\dot{\psi} =$	$\dot{\gamma} =$ .....

12) Vérifier si le critère de sécurité imposé par le cahier de charge est vérifié lorsque la vitesse de la translation du vérin est égale à $0{,}1\ m/s$, sachant que $-40° \leq \varphi \leq 60°$ et que $a = 0{,}35\ m$.

.....

.....

..... Critère satisfait : oui non

13) Quelle serait la vitesse maximale du vérin permettant de satisfaire ce critère.

.....

.....

..... $V_{max} =$.....

NE RIEN ECRIRE ICI

II. Etude de la phase d'inclinaison

L'objet de cette partie est de déterminer la relation entre la vitesse de translation du vérin (1-2) et la vitesse angulaire d'inclinaison.

14) Remplir le tableau suivant :

$\overrightarrow{\omega_{1/0}}$	$\overrightarrow{\omega_{2/0}}$	$\overrightarrow{\omega_{3/0}}$
.....	.....	.....

15) Déterminer, par dérivation, le vecteur vitesse $\vec{V}(B \in 2/0)$ [exprimer le résultat dans le repère R_1].

.....

.....

.....

16) Déterminer par cinématique le vecteur vitesse $\vec{V}(B \in 3/0)$.

.....

.....

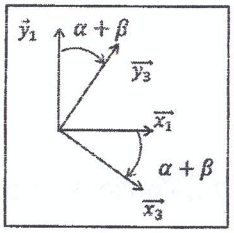
.....

17) Déduire deux équations scalaires permettant d'exprimer $\dot{\alpha}$ et $\dot{\beta}$ en fonction de $\lambda, \dot{\lambda}, \alpha,\ \beta\ et\ h$

.....

.....

.....



.....

.....

.....

.....

.....

$\dot{\alpha} =$	$\dot{\beta} =$ .....

Bon travail !!!