

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée aux Cycles  
de Formation d'Ingénieurs  
Session 2015



الجمهورية التونسية  
وزارة التعليم العالي  
والتكنولوجيا

المنافسات الوطنية للدخول  
إلى مراحل تكوين المهندسين

دورة 2015

**Concours Mathématiques - Physique & Physique - Chimie**

Épreuve de Sciences et Techniques de l'Ingénieur

**Date :** Vendredi 12 Juin 2015

**Heure :** 8 Heures

**Durée :** 3 Heures

**Barème :** Partie A : 3 points

Partie B : 10 points

Partie C : 7 points

- L'épreuve comporte les trois parties suivantes :

**Partie A- Technologie de conception**

**Partie B- Mécanique des solides indéformables**

**Partie C- Automatique**

- Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte deux dossiers :

**1- Présentation, Données et Hypothèses**

**2- Document Réponses**

- Aucun autre document n'est autorisé.
- L'utilisation des calculatrices de poche non programmables est autorisée.
- Les différentes parties sont indépendantes et doivent être traitées sur le document réponses.
- Il n'est fourni au candidat qu'un **seul et unique** « dossier document réponses » qui doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses.



REPUBLIQUE TUNISIENNE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Conseil National d'Études aux Cycles  
de Formation et de Recherche  
Session 2012

## DOSSIER

# PRESENTATION, DONNEES ET HYPOTHESES

Ce dossier comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12

- Présentation : Page 1/12 ;
- Données et hypothèses Partie A : Pages 2/12 à 4/12;
- Données et hypothèses Partie B : Pages 5/12 à 7/12;
- Données et hypothèses Partie C : Pages 8/12 à 12/12;



## UNITE DE TRAITEMENT DE MARBRE

### MISE EN SITUATION

Le **recyclage** est un procédé de traitement des déchets industriels ou des ordures ménagères (recyclage des bouteilles plastiques, recyclage du verre, traitement des eaux usées, ...). Il présente deux avantages écologiques majeures :

- La réduction du volume des déchets et donc de la pollution ;
- La préservation des ressources naturelles (réutilisation de la matière recyclée).

Bien que ses ressources soient limitées, l'eau représente un bien naturel indispensable à la vie. C'est pourquoi une partie de l'eau consommée est recyclée et redistribuée. En effet, une bonne quantité d'eau utilisée en industrie et en agriculture est issue d'eaux usées assainies. La gestion et l'exploitation de ce recyclage, confiées à des entreprises spécialisées, nécessite des infrastructures lourdes.

L'industrie de traitement des marbres est l'une des plus polluantes en termes d'eau usée. Ainsi, nous en ferons notre sujet d'étude. On se propose alors d'étudier une chaîne de production de plaques gravées en marbre composée de quatre unités :

- Unité de découpage des plaques ;
- Unité de transfert et manipulation ;
- Unité de gravure et de polissage (objet d'étude des parties A et B) ;
- Unité de traitement des eaux usées (objet d'étude de la partie C).

Dans l'unité de gravure et de polissage, les plaques en marbre sont destinées à recevoir des textes et des motifs décoratifs, réalisés par enlèvement de matière. L'un des mécanismes utilisés dans cette est un manipulateur des plaques en marbre (figure 1) du présent document. Il s'agit d'un mécanisme permettant de :

- Déplacer et positionner la plaque par rapport à l'opérateur, pour lui faciliter les opérations à réaliser ;
- Maintenir la plaque en toute sécurité dans la position choisie, pendant le travail.

Ainsi, trois déplacements indépendants peuvent être donnés à la plaque :

- Elévation et inclinaison réalisées à l'aide de deux vérins hydrauliques ;
- Orientation réalisée manuellement.

Dans l'unité de traitement des eaux usées, l'extraction des déchets (boues) est réalisée par décantation et centrifugation (figure 2). Les opérations de traitement des eaux usées passent par les étapes principales suivantes :

- Traitement préliminaire (dégrillage, dessablage, dégraissage...) ;
- Décantation et centrifugation.

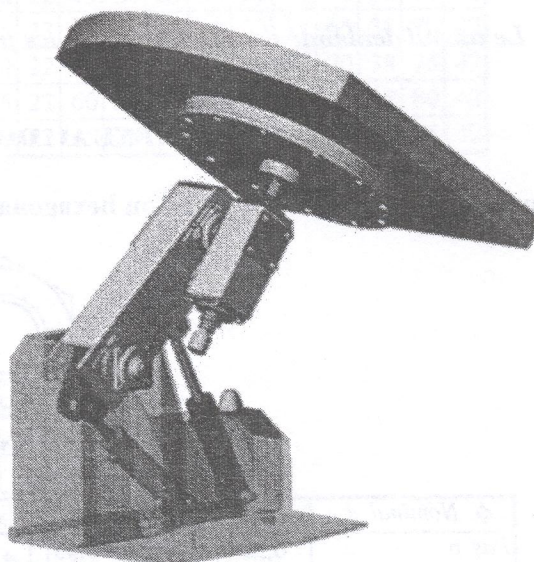


Figure 1 : Manipulateur de plaque en marbre.

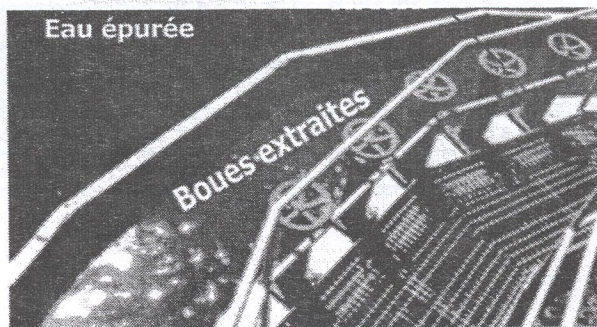


Figure 2 : Extraction des boues et des eaux.



**PARTIE A : TECHNOLOGIE DE CONCEPTION**

Cette partie est dédiée à :

- L'analyse fonctionnelle du manipulateur ;
- L'étude graphique d'un manchon représenté par la figure A.1 (deux vues en perspective.) ;
- Assemblage, par des éléments standards, des manchons d'un accouplement élastique (figure A.2). Le document technique nécessaire au dimensionnement des éléments normalisés requis pour l'assemblage est fourni en annexe A1 ci-dessous.

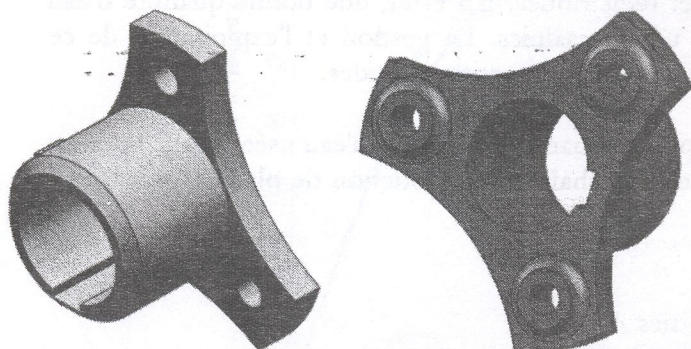


Figure A.1 : Vues en perspective du manchon.

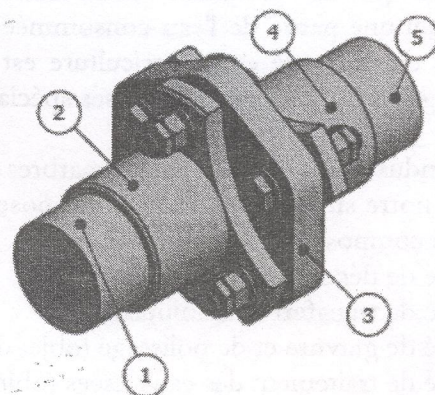
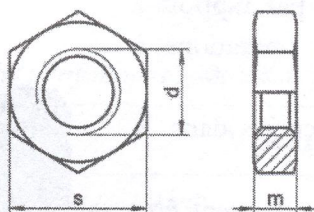


Figure A.2 : Accouplement élastique type STARFLEX.

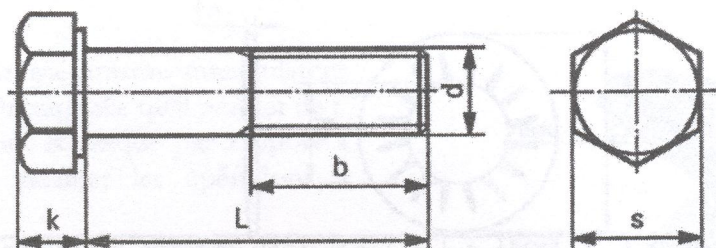
Le travail demandé est explicité dans les pages de 1/20 à 3/20 du dossier document réponses.

**ANNEXE A1 : DOCUMENT TECHNIQUE****1- Dimensions normalisées d'un écrou hexagonal**

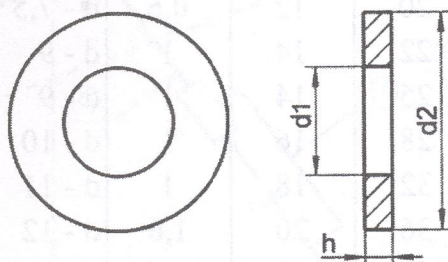
| $\phi$ Nominal d | M1,6 | M2  | M2,5 | M3  | M3,5 | M4  | M5  | M6  | M8   | M10 |
|------------------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|
| Pas p            | 0,35 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,6  | 0,7 | 0,8 | 1   | 1,25 | 1,5 |
| s                | 3,2  | 4   | 5    | 5,5 | 6    | 7   | 8   | 10  | 13   | 16  |
| Epaisseur m      | 1,3  | 1,6 | 2    | 2,4 | 2,8  | 3,2 | 4,7 | 5,2 | 6,8  | 8,4 |

| Dia. Nominal d | M10 | M12  | M14  | M16  | M20 | M24  | M30  | M36 |
|----------------|-----|------|------|------|-----|------|------|-----|
| Pas p          | 1,5 | 1,75 | 2    | 2    | 2,5 | 3    | 3,5  | 4   |
| s              | 16  | 18   | 21   | 24   | 30  | 36   | 46   | 55  |
| Epaisseur m    | 8,4 | 10,8 | 12,8 | 14,8 | 18  | 21,5 | 25,6 | 31  |



**2- Dimensions normalisées des vis à tête hexagonale ISO 4014**

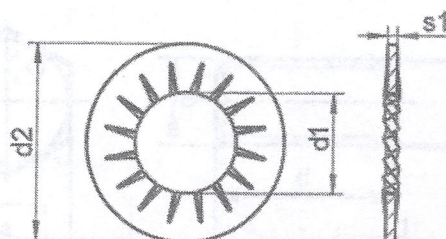
| $\phi$ . Nominal $d$   | M3  | M4  | M5  | M6  | M8   | M10 | M12  | M14  | M16  | M20  |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|------|
| Pas $p$                | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 1   | 1,25 | 1,5 | 1,76 | 2    | 2    | 2,5  |
| Epaisseur $k$          | 2   | 2,8 | 3,5 | 4   | 5,3  | 6,4 | 7,5  | 8,8  | 10   | 12,5 |
| $s$                    | 5,5 | 7   | 8   | 10  | 13   | 16  | 18   | 21   | 24   | 30   |
| Trou Lisse moyenne $D$ | 3,4 | 4,5 | 5,5 | 6,6 | 9    | 11  | 13,5 | 15,5 | 17,5 | 22   |
|                        | $L$ | $b$ | $L$ | $b$ | $L$  | $b$ | $L$  | $b$  | $L$  | $b$  |
|                        | 6   |     | 8   |     | 10   |     | 12   |      | 16   |      |
|                        | 8   |     | 10  |     | 12   |     | 16   |      | 20   |      |
|                        | 10  |     | 12  |     | 16   |     | 20   |      | 25   |      |
|                        | 12  |     | 16  |     | 20   |     | 25   |      | 30   |      |
|                        | 16  |     | 20  |     | 25   |     | 30   |      | 35   |      |
|                        | 20  | 12  | 25  | 14  | 30   | 16  | 35   | 18   | 40   | 22   |
|                        | 25  | 12  | 30  | 14  | 35   | 16  | 40   | 18   | 45   | 22   |
|                        | 30  | 12  | 35  | 14  | 40   | 16  | 45   | 18   | 50   | 22   |
|                        |     | 40  | 14  | 45  | 16   | 50  | 18   | 55   | 22   | 60   |
|                        |     |     |     | 50  | 16   | 55  | 18   | 60   | 22   | 65   |
|                        |     |     |     |     |      |     |      |      |      |      |

**3- Dimensions et caractéristiques des rondelles courantes****3.1- Rondelle plate (moyenne)**

| $\phi$ nominal $d$ | 1,6 | 2   | 2,5 | 3   | 3,5 | 4   | 5   | 6   | 8   | 10   | 12  | 14 | 16 | 18 | 20  | 22 |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|----|----|-----|----|
| $d1$               | 1,7 | 2,2 | 2,7 | 3,2 | 3,7 | 4,3 | 5,3 | 4,6 | 8,4 | 10,5 | 12  | 15 | 17 | 19 | 21  | 23 |
| $d2$               | 4   | 6   | 5   | 8   | 9   | 10  | 12  | 14  | 20  | 25   | 30  | 36 | 40 | -  | 50  | -  |
| Epaisseur $h$      | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1   | 1,2 | 1,6 | 2    | 2,5 | 3  | 3  | -  | 0,3 | -  |



## 3.2- Rondelle à dents intérieures



| diam. nominal $d$ | 2    | 2,5  | 3    | 4   | 5   | 6   | 8   | 10   | 12   | 14   | 16   | 20   | 24   | 30   |
|-------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| $d1$              | 2,05 | 2,55 | 3,05 | 4,1 | 5,1 | 6,1 | 8,2 | 10,2 | 12,3 | 14,3 | 16,3 | 20,5 | 24,5 | 30,6 |
| $d2$              | 4,5  | 5,5  | 6    | 8   | 9,2 | 11  | 14  | 18   | 20   | 24   | 26   | 32,5 | 38   | 48   |
| Epaisseur $s1$    | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9  | 1    | 1,1  | 1,2  | 1,4  | 1,5  | 1,6  |

## 4- Dimensions normalisées des clavettes de forme A

| $d$                    | $a$ | $b$ | $s$  | $j$       | $k$        |
|------------------------|-----|-----|------|-----------|------------|
| <b>De 6 à 8 inclus</b> | 2   | 2   | 0,16 | $d - 1,2$ | $d + 1$    |
| <b>8 à 10</b>          | 3   | 3   | 0,16 | $d - 1,8$ | $d + 1,4$  |
| <b>10 à 12</b>         | 4   | 4   | 0,16 | $d - 2,5$ | $d + 1,8$  |
| <b>12 à 17</b>         | 5   | 5   | 0,25 | $d - 3$   | $d + 2,3$  |
| <b>17 à 22</b>         | 6   | 6   | 0,25 | $d - 3,5$ | $d + 2,8$  |
| <b>22 à 30</b>         | 8   | 7   | 0,25 | $d - 4$   | $d + 3,3$  |
| <b>30 à 38</b>         | 10  | 8   | 0,4  | $d - 5$   | $d + 3,3$  |
| <b>38 à 44</b>         | 12  | 8   | 0,4  | $d - 5$   | $d + 3,3$  |
| <b>44 à 50</b>         | 14  | 9   | 0,4  | $d - 5,5$ | $d + 3,8$  |
| <b>50 à 58</b>         | 16  | 10  | 0,6  | $d - 6$   | $d + 4,3$  |
| <b>58 à 65</b>         | 18  | 11  | 0,6  | $d - 7$   | $d + 4,4$  |
| <b>65 à 75</b>         | 20  | 12  | 0,6  | $d - 7,5$ | $d + 4,9$  |
| <b>75 à 85</b>         | 22  | 14  | 1    | $d - 9$   | $d + 5,4$  |
| <b>85 à 95</b>         | 25  | 14  | 1    | $d - 9$   | $d + 5,4$  |
| <b>95 à 110</b>        | 28  | 16  | 1    | $d - 10$  | $d + 6,4$  |
| <b>110 à 130</b>       | 32  | 18  | 1    | $d - 11$  | $d + 7,4$  |
| <b>130 à 150</b>       | 36  | 20  | 1,6  | $d - 12$  | $d + 8,4$  |
| <b>150 à 170</b>       | 40  | 22  | 1,6  | $d - 13$  | $d + 9,4$  |
| <b>170 à 200</b>       | 45  | 25  | 1,6  | $d - 15$  | $d + 10,4$ |
| <b>200 à 230</b>       | 50  | 28  | 1,6  | $d - 17$  | $d + 11,4$ |



## PARTIE B : MÉCANIQUE DES SOLIDES INDÉFORMABLES

### PRESENTATION

L'étude porte sur le mécanisme manipulateur de plaque (figure B.1). On rappelle qu'il permet de :

- Déplacer et positionner la plaque par rapport à l'opérateur, pour lui faciliter les opérations à réaliser ;
- Maintenir la plaque en toute sécurité dans la position choisie, pendant le travail.

La figure B.2 représente le schéma cinématique minimal du manipulateur. Trois déplacements indépendants peuvent être donnés à la plaque :

- Elévation et inclinaison réalisées à l'aide de deux vérins hydrauliques ;
- Orientation réalisée manuellement.

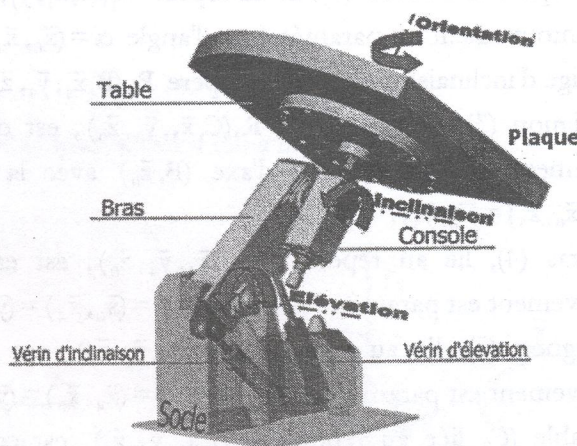


Figure B.1 : Schéma du manipulateur.

### SCHEMA CINEMATIQUE ET REPERAGE

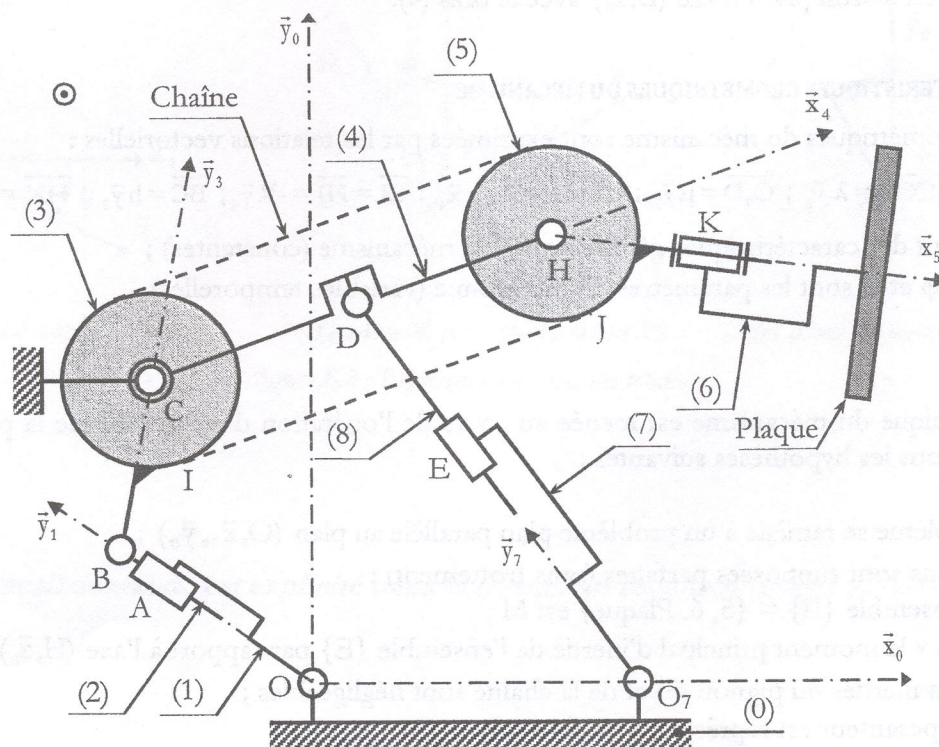


Figure B.2 : Schéma cinématique minimal du manipulateur de plaque en marbre.



Le mécanisme est composé de :

- Socle (0) auquel est lié le repère  $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  supposé galiléen.
- Corps d'inclinaison (1), lié au repère  $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ , 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'inclinaison (2), liée au repère  $R_2(B, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ , est en liaison glissière d'axe  $(A, \vec{y}_1)$  avec le corps (1).
- Pignon (3), lié au repère  $R_3(C, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$ , est en liaison pivot d'axe  $(C, \vec{z}_0)$  avec le socle (0). Il est également en liaison pivot d'axe  $(B, \vec{z}_0)$  avec la tige (2). Son mouvement est paramétré par l'angle  $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$ .
- Bras (4), lié au repère  $R_4(C, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$ , 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 repère  $R_5(H, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$ , est en liaison pivot d'axe  $(H, \vec{z}_0)$  avec le bras (4). Son mouvement est paramétré par l'angle  $\theta = (\vec{x}_4, \vec{x}_5) = (\vec{y}_4, \vec{y}_5)$ .
- Table (6), liée au repère  $R_6(K, \vec{x}_5, \vec{y}_6, \vec{z}_0)$ , est en liaison pivot d'axe  $(K, \vec{x}_5)$  avec le pignon (5). Son mouvement est paramétré par l'angle  $\varphi = (\vec{y}_5, \vec{y}_6) = (\vec{z}_0, \vec{z}_6)$ .
- Corps de levage (7), lié au repère  $R_7(O, \vec{x}_7, \vec{y}_7, \vec{z}_0)$ , est en liaison pivot d'axe  $(O, \vec{z}_0)$  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), liée au repère  $R_8(D, \vec{x}_7, \vec{y}_7, \vec{z}_0)$ , 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).

#### DONNEES ET CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU MECANISME

- Les données géométriques du mécanisme sont exprimées par les relations vectorielles :

$$\overrightarrow{OO_7} = l \vec{x}_0 ; \overrightarrow{OB} = \lambda \vec{y}_1 ; \overrightarrow{O_7D} = \mu \vec{y}_7 ; \overrightarrow{CD} = \overrightarrow{DH} = a \vec{x}_4 ; \overrightarrow{CI} = \overrightarrow{HJ} = -R \vec{y}_4 ; \overrightarrow{BC} = h \vec{y}_3 ; \overrightarrow{HK} = d \vec{x}_5$$

- $l, a, R, h$  et  $d$  sont des caractéristiques géométriques du mécanisme (constantes) ;
- $\lambda, \mu, \alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$  et  $\psi$  sont les paramètres du mécanisme (variables temporelles).

#### HYPOTHESES

L'étude dynamique du mécanisme est menée au cours de l'opération d'inclinaison de la plaque. Dans ce cas, nous adoptons les hypothèses suivantes :

- L'étude du problème se ramène à un problème plan parallèle au plan  $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$  ;
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites (sans frottement) ;
- La masse de l'ensemble  $\{E\} = \{5, 6, \text{Plaque}\}$  est  $M$  ;
- On note par «  $I_z$  » le moment principal d'inertie de l'ensemble  $\{E\}$  par rapport à l'axe  $(H, \vec{z}_0)$  ;
- Les masses et les inerties du pignon (3) et de la chaîne sont négligeables ;
- Le champ de la pesanteur est représenté par  $\vec{g} = -g \vec{y}_0$  ;
- La tige du vérin (2) exerce sur le pignon (3) un effort axial au point B défini par :  $\vec{F}(2 \rightarrow 3) = F \vec{y}_1$  ;
- L'action d'un solide (i) sur un solide (j) au centre géométrique de la liaison  $Q_i$ , exprimée dans la base  $\mathcal{B}_i$

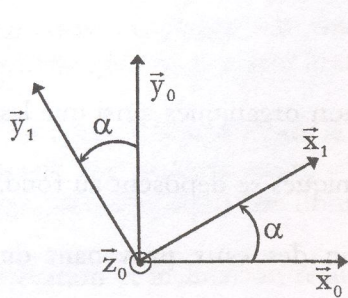
est modélisée par le torseur  $\{\tau(i \rightarrow j)\}_{Q_i} = \begin{Bmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{Bmatrix}_{Q_i} ;$



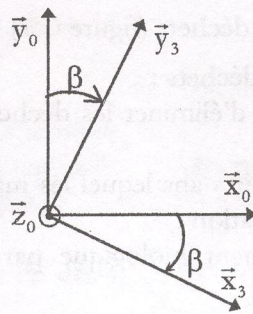
L'action de la chaîne sur la roue (5) au point J est modélisée par le torseur glisseur

$$\{\tau(\text{Chaîne} \rightarrow 5)\}_E = \begin{Bmatrix} -\frac{4}{3} T \vec{x}_4 \\ -\frac{2}{3} R T \vec{z}_0 \end{Bmatrix}_E$$

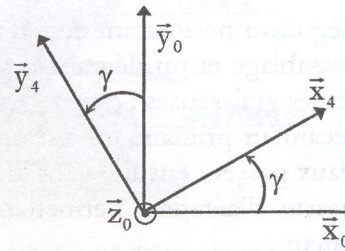
Les représentations planes des rotations  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$  et  $\psi$  sont définies dans la figure B.3.



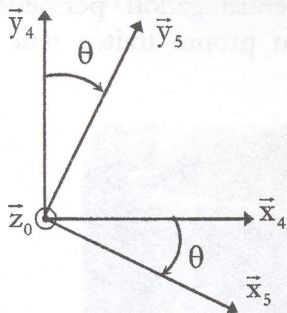
(a) La base  $\mathcal{B}_1$  par rapport à la base  $\mathcal{B}_0$ .



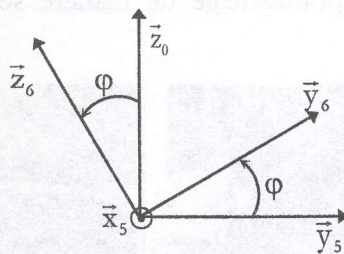
(b) La base  $\mathcal{B}_3$  par rapport à la base  $\mathcal{B}_0$ .



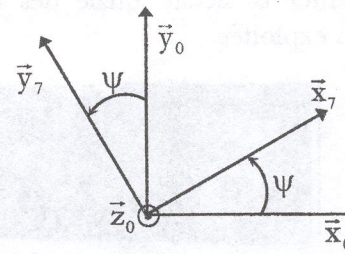
(c) La base  $\mathcal{B}_4$  par rapport à la base  $\mathcal{B}_0$ .



(d) La base  $\mathcal{B}_5$  par rapport à la base  $\mathcal{B}_4$ .



(e) La base  $\mathcal{B}_6$  par rapport à la base  $\mathcal{B}_5$ .



(f) La base  $\mathcal{B}_7$  par rapport à la base  $\mathcal{B}_0$ .

Figure B.3 : Représentation plane des rotations.

**Le travail demandé est explicité dans le document réponses (pages 04/20 - 12/20)**



## PARTIE C : AUTOMATIQUE

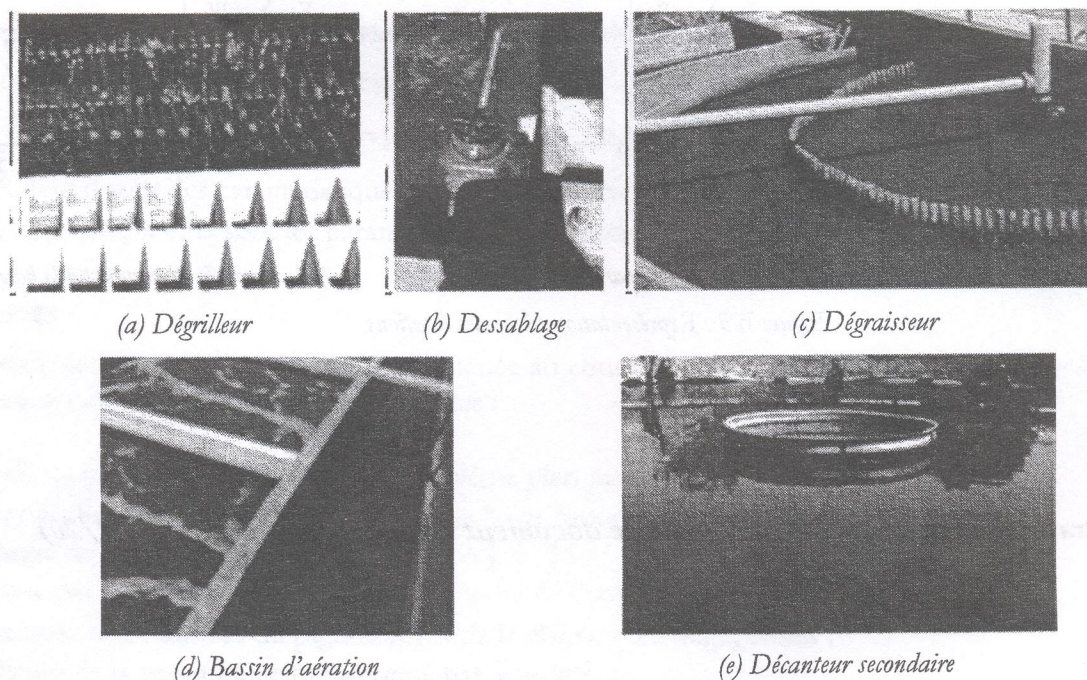
### PRESENTATION

L'objet de cette étude est d'élaborer une commande séquentielle d'un système d'extraction des boues, des eaux et des déchets de l'unité de traitement des eaux usées et d'effectuer un asservissement de vitesse du moteur d'entraînement de la vis d'Archimède destinée à la recirculation des boues.

L'unité de traitement des eaux usées et des déchets (figure C.1) comporte :

- Un dégrilleur permettant de retenir les gros déchets ;
- un dessablage et un dégraisseur permettent d'éliminer les déchets solides non organiques ainsi que les particules graisseuses ;
- un décanteur primaire qui est un grand bassin dans lequel les matières organiques se déposent au fond. Les eaux passent ensuite dans le bassin d'aération ;
- un bassin d'aération permettant le traitement biologique par oxygénation des eaux provenant du décanteur ;
- un décanteur secondaire qui est un bassin circulaire équipé des racleurs où s'effectue la séparation par décantation des boues issues du bassin d'aération et de l'eau traitée.

Les boues extraites du décanteur secondaire sont déshydratées par centrifugation permettant d'augmenter la siccité finale des boues (pourcentage de matière sèche). L'eau propre traitée sera de nouveau exploitée.

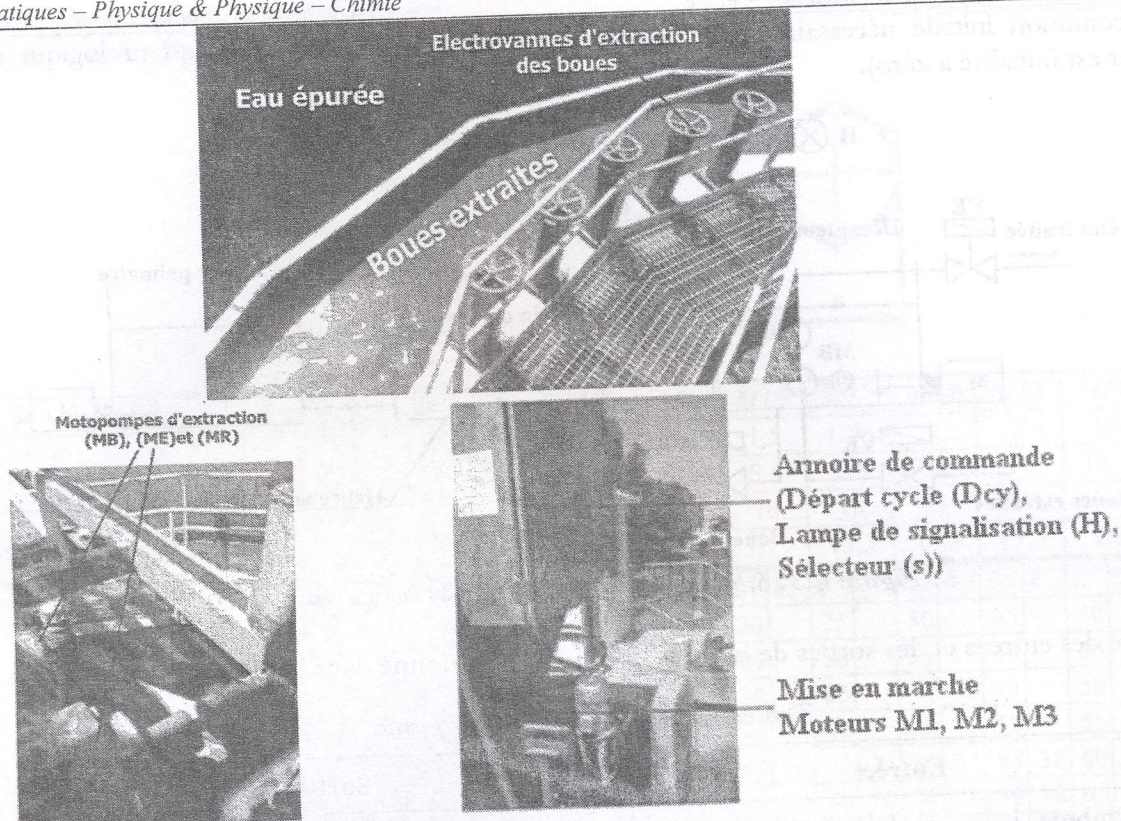


**Figure C.1 :** Unité de traitement des eaux usées et des déchets  
Station d'épuration Charguia-Tunisie

### C.1- COMMANDE SEQUENTIELLE D'EXTRACTION DES BOUES ET DES EAUX DU DECANTEUR

Le décanteur secondaire est un bassin (figure C.2) équipé des électrovannes, des motopompes et des racleurs immergés dans le bassin où s'effectue la séparation par décantation des boues issues du bassin d'aération et de l'eau traitée.





**Figure C.2 :** Extraction des boues et des eaux du décanteur  
Station d'épuration Charguia-Tunisie

Sur un ordre de départ cycle (**Dcy**), l'hélice aérateur et les racleurs (bras) du décanteur primaire sont simultanément mis en rotation par la mise en marche des moteurs  $M_1$  (**KM1=1**) et  $M_2$  (**KM2=1**). La séquence « extraction des boues » ou la séquence « extraction des eaux » est alors exécutée selon la position choisie d'un sélecteur **s** et les moteurs  $M_1$  et  $M_2$  sont arrêtés (**KM1=0**) et (**KM2=0**) (figure C.3). Une lampe de signalisation **H** s'allume (**H=1**) au cours de l'exécution de la séquence « extraction des eaux ».

Si **s = 1**, la séquence « extraction des boues » est la suivante :

- Ouverture de la vanne d'extraction des boues (**VB<sup>+</sup>**) et mise en rotation des racleurs du décanteur secondaire par le moteur  $M_3$  (**KM3=1**) ;
- Rotation de la motopompe d'extraction des boues (**MB**) pendant 40s ;
- Fermeture de la vanne d'extraction des boues (**VB<sup>-</sup>**) et arrêt du moteur  $M_3$  (**KM3=0**).

Si **s = 0**, la séquence « extraction des eaux » est la suivante :

- Ouverture de la vanne extraction des eaux (**VE<sup>+</sup>**) ;
- Rotation de la motopompe extraction des eaux (**ME**) pendant 20s ;
- Fermeture de la vanne extraction des eaux (**VE<sup>-</sup>**) et ouverture de la vanne recirculation des boues (**VR<sup>+</sup>**) ;
- Rotation de la motopompe recirculation des boues pendant 10s (**MR**) ;
- Fermeture de la vanne recirculation des boues (**VR<sup>-</sup>**).

Le cycle « extraction des eaux » et les rotations de bras décanteur primaire et l'hélice d'aération (moteurs  $M_1$  et  $M_2$ ) sont exécutés 5 fois et ceci est testé par un capteur logique **c** indiquant l'état du compteur (**c=1** si la séquence est exécutée 5 fois, **c=0** sinon).



La condition initiale nécessaire pour l'amorçage du cycle automatique : Capteur logique  $c=0$  (le compteur est initialisé à zéro).

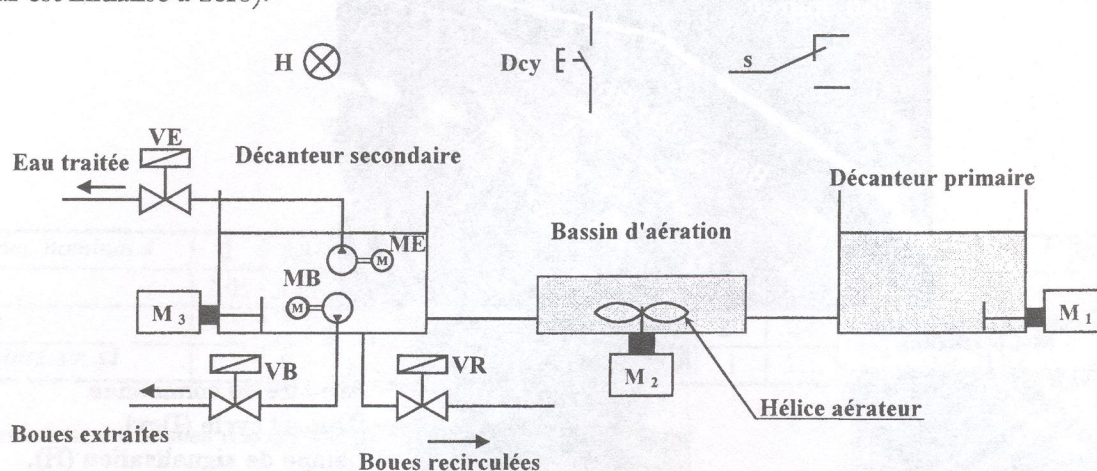


Figure C.3 : Schéma synoptique d'extraction des boues et des eaux

Le repérage des entrées et des sorties de la partie commande est donné dans le **tableau C.1**.

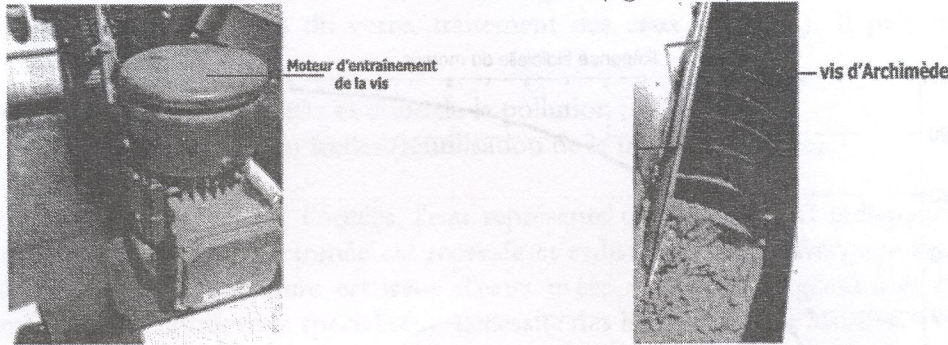
Tableau C.1 : Repérage des entrées / sorties

| Entrées |                                              | Sorties         |                                                                                   |
|---------|----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Symbole | Désignation                                  | Symbole         | Désignation                                                                       |
| Dcy     | Bouton poussoir départ du cycle              | KM1             | Commande du moteur M <sub>1</sub> rotation racleur (bras) du décantateur primaire |
| veo     | Vanne extraction boues ouverte               | KM2             | Commande du moteur M <sub>2</sub> rotation hélice aérateur                        |
| vef     | Vanne extraction boues fermée                | KM3             | Commande du moteur M <sub>3</sub> rotation racleur du décantateur secondaire      |
| vo      | Vanne extraction eaux ouverte                | VB <sup>+</sup> | Ouverture vanne extraction boues                                                  |
| vf      | Vanne extraction eaux fermée                 | VB <sup>-</sup> | Fermeture vanne extraction boues                                                  |
| c       | Capteur logique indiquant l'état du compteur | MB              | Rotation motopompe extraction boues                                               |
| vro     | Vanne recirculation boues ouverte            | VR <sup>+</sup> | Ouverture vanne recirculation boues                                               |
| vrf     | Vanne recirculation boues fermée             | VR <sup>-</sup> | Fermeture vanne recirculation boues                                               |
| s       | Sélecteur à deux positions                   | MR              | Rotation motopompe recirculation boues                                            |
|         |                                              | VE <sup>+</sup> | Ouverture vanne extraction eaux                                                   |
|         |                                              | VE <sup>-</sup> | Fermeture vanne extraction eaux                                                   |
|         |                                              | ME              | Rotation motopompe extraction eaux                                                |
|         |                                              | H               | Lampe de signalisation                                                            |



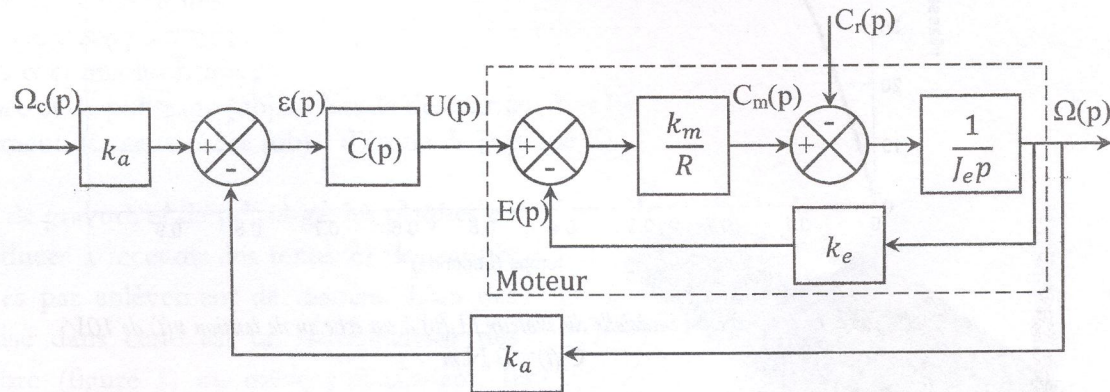
**C.2- ASSERVISSEMENT DE VITESSE DU MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT DE LA VIS D'ARCHIMÈDE**

On s'intéressera ici à l'asservissement de vitesse du moteur d'entraînement de la vis d'Archimède destinée à la recirculation des boues vers le bassin d'aération (figure C.4).



**Figure C.4 :** Moteur d'entraînement de la vis d'Archimède destinée à la recirculation des boues vers le bassin d'aération - Station d'épuration Charguia-Tunisie

La structure de l'asservissement en vitesse de la rotation de la vis est donnée par la **figure C.5**.



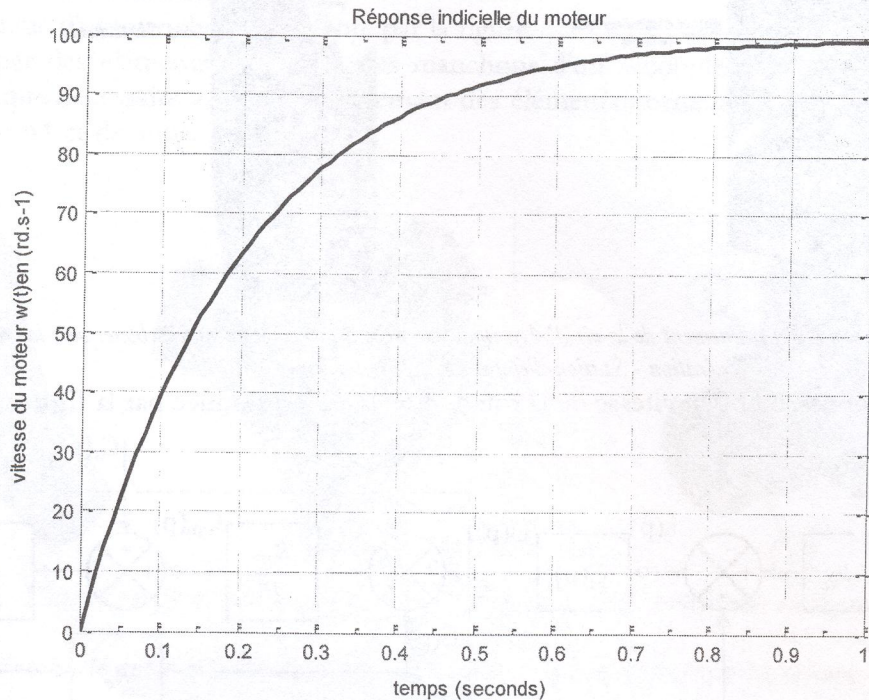
**Figure C.5 :** Schéma fonctionnel d'asservissement en vitesse.

Avec :

- $p$  : Opérateur de Laplace
- $\Omega_c(p)$  : Transformée de Laplace de  $\omega_c(t)$ ,  $\mathcal{L}(\omega_c(t)) = \Omega_c(p)$
- $\omega_c(t)$  : Vitesse de consigne en (rd.s<sup>-1</sup>)
- $\omega(t)$  : Vitesse de rotation de l'arbre moteur en (rd.s<sup>-1</sup>),  $\mathcal{L}(\omega(t)) = \Omega(p)$
- $C_m(t)$  : Couple moteur en (N.m),  $\mathcal{L}(C_m(t)) = C_m(p)$
- $C_r(t)$  : Couple résistant sur l'arbre de sortie moteur en (N.m),  $\mathcal{L}(C_r(t)) = C_r(p)$
- $u(t)$  : Tension aux bornes de l'induit en (V),  $\mathcal{L}(u(t)) = U(p)$
- $e(t)$  : Force contre électromotrice (f.c.e.m) en (V),  $\mathcal{L}(e(t)) = E(p)$
- $k_m$  : Constante de couple ( $k_m$  en (N.m/A))
- $k_e$  : Constante de f.c.e.m ( $k_e$  en (V/rd.s<sup>-1</sup>)), ( $k_m = k_e$ )
- $R$  : Résistance de l'induit en ( $\Omega$ ),  $R = 1\Omega$
- $k_a$  : Gain du capteur de vitesse (constante d'adaptation) en (V/rd.s<sup>-1</sup>),  $k_a = 0.25 \text{ V/rd.s}^{-1}$
- $J_e$  : Inertie équivalente ramenée à l'axe de rotation de l'arbre moteur en (kg.m<sup>2</sup>)



Le relevé de la réponse indicielle du moteur pour un échelon en tension d'amplitude 10V est donné par la figure C.6.



**Figure C.6 :** Réponse indicielle du moteur  $H_1(p)$  à un échelon de tension  $u(t)$  de 10V  
 $C_r(t) = 0 \text{ N.m}$

L'asservissement de vitesse du moteur d'entraînement de la vis d'Archimède doit respecter les performances décrites dans le **Tableau C.2**.

**Tableau C.2 :** Performances souhaitées du système

| Performances | Valeurs souhaitées                                                                              |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stabilité    | Marge de Gain $M_G$ (valeur minimale) = 15dB<br>Marge de Phase $M_\phi$ (valeur minimale) = 60° |
| Précision    | Erreur statique nulle pour une entrée en échelon                                                |
| Rapidité     | Temps de réponse $t_r(\pm 5\%) \leq 0.3s$<br>Dépassement ( $D\%$ ) inférieur à 15%              |

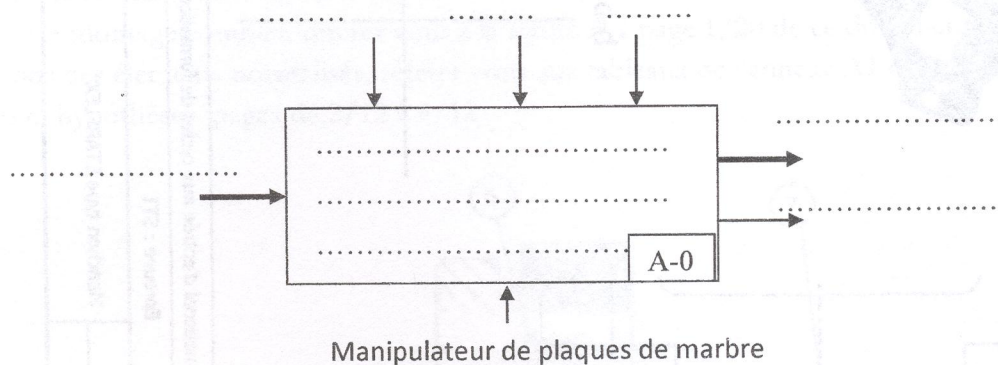
*Le travail demandé est explicité dans le document réponses (pages 13/20 - 20/20)*



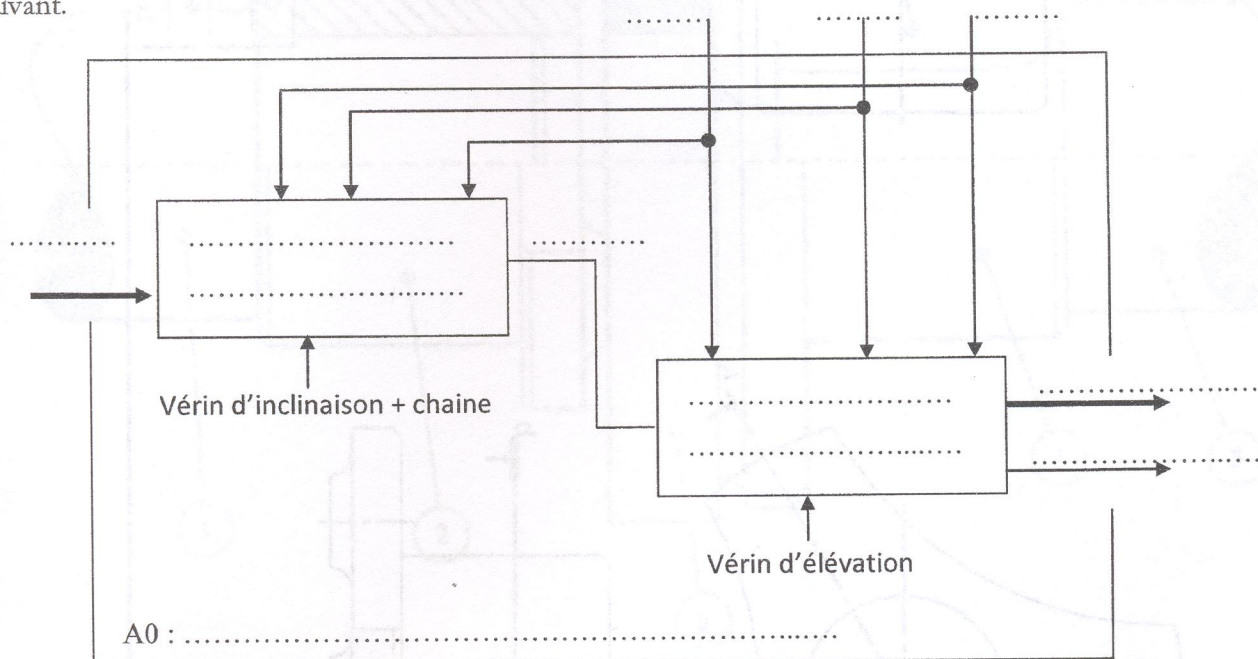
## PARTIE A : TECHNOLOGIE DE CONCEPTION

### A.1- ANALYSE FONCTIONNELLE

A.1.1- Modéliser le système « manipulateur de plaque de marbre » en complétant l'actigramme A-0 suivant.



A.1.2- Modéliser le système « manipulateur de plaque de marbre » en complétant l'actigramme A0 suivant.



### A.2- PROJECTION ORTHOGONALE, COUPE ET SECTIONS

Compléter, sur le document réponses page 2/20, le dessin de la pièce 2 de la figure A-1 (Manchon type STARFLEX) :

- La vue de face ;
- La vue de dessus ;
- La vue de gauche en coupe brisée A-A ;
- la section sortie b-b.

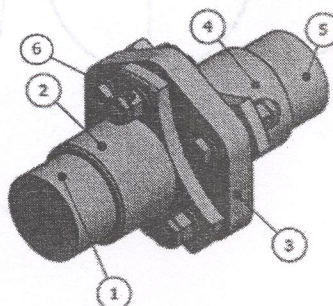
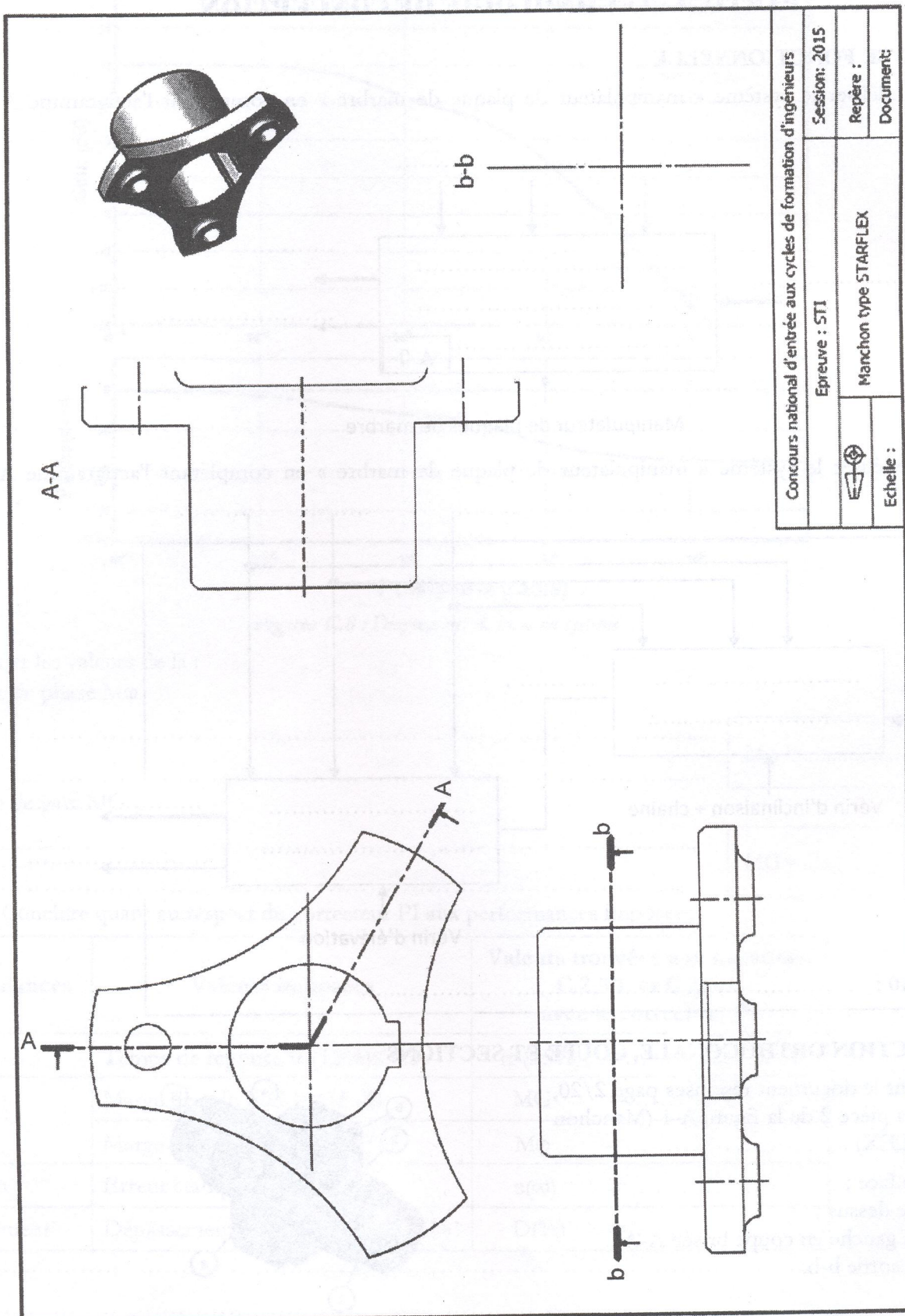


Figure A-1 : Accouplement élastique type STARFLEX





Concours national d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Session: 2015

Epreuve : STI

Repère :

Manchon type STARFLEX

Document:



Echelle :



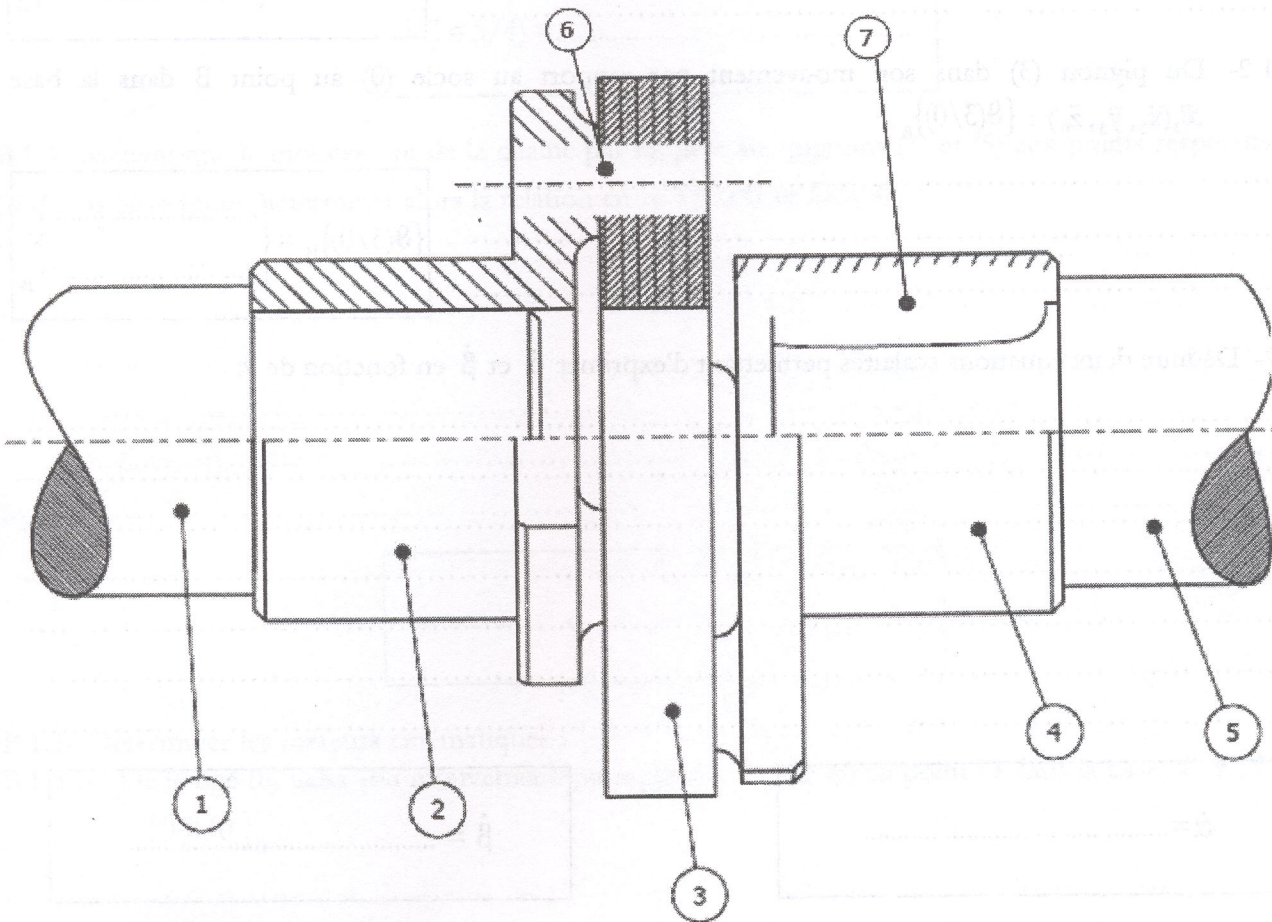
**A-3 – ELEMENTS NORMALISES**

Compléter sur le dessin d'ensemble suivant :

A.3.1- Le montage du boulon (6) ;

A.3.2- Le montage de la clavette (7).

Pour voir le montage complet, référer vous à la figure A.1 page 1/20 de ce document. Pour Choisir les dimensions des éléments normalisés, référer vous aux tableaux de l'annexe A1 du dossier présentation, données et hypothèses pages de 2/12 à 4/12





**PARTIE B : MECANIQUE DES SOLIDES INDEFORMABLES****B.1- ETUDE CINEMATIQUE**

B.1.1- Déterminer les torseurs cinématiques :

B.1.1.1- De la tige (2) dans son mouvement par rapport au socle (0) au point B, dans la base  $\mathcal{B}_1(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$  :

$$\{\mathcal{G}(2/0)\}_B.$$

.....

.....

.....

$$\{\mathcal{G}(2/0)\}_B = \left\{ \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}_B$$

B.1.1.2- Du pignon (3) dans son mouvement par rapport au socle (0) au point B dans la base

$$\mathcal{B}_3(\vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0) : \{\mathcal{G}(3/0)\}_B.$$

.....

.....

.....

$$\{\mathcal{G}(3/0)\}_B = \left\{ \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}_B$$

B.1.2- Dédurre deux équations scalaires permettant d'exprimer  $\dot{\alpha}$  et  $\dot{\beta}$  en fonction de  $\dot{\lambda}$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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

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

B.1.3- Déterminer les vecteurs vitesses :

B.1.3.1- Du point I du pignon (3) dans son mouvement par rapport au bras (4) dans la base  $\mathcal{B}_4(\vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$  :

$$\vec{V}(I \in 3/4).$$

.....

.....

.....

.....

$$\vec{V}(I \in 3/4) = \text{.....}$$



B.1.3.2- Du point J du pignon (5) dans son mouvement par rapport au bras (4) dans la base  $\mathcal{B}_4(\vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$ :  
 $\vec{V}(J \in 5/4)$ .

$$\vec{V}(J \in 5/4) = \dots\dots\dots$$

B.1.4- Sachant que le mouvement de la chaîne par rapport aux pignons (3) et (5) aux points respectifs I et J est sans glissement, déterminer alors la relation entre  $\vec{\Omega}(3/4)$  et  $\vec{\Omega}(5/4)$ .

$$\dots\dots\dots$$

B.1.5- Déterminer les torseurs cinématiques :

B.1.5.1- De la tige (8) dans son mouvement par rapport au socle (0) au point D dans la base  $\mathcal{B}_7(\vec{x}_7, \vec{y}_7, \vec{z}_0)$   
 $: \{\mathcal{G}(8/0)\}_D$ .

$$\{\mathcal{G}(8/0)\}_D = \left\{ \begin{array}{l} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_D$$

B.1.5.2- Du bras (4) dans son mouvement par rapport au socle (0) au point D dans la base  $\mathcal{B}_7(\vec{x}_7, \vec{y}_7, \vec{z}_0)$  :  
 $\{\mathcal{G}(4/0)\}_D$ .



$$\{\mathfrak{g}(4/0)\}_D = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_D$$

B.1.6- Dédurre deux équations scalaires permettant d'exprimer  $\dot{\psi}$  et  $\dot{\gamma}$  en fonction de  $\dot{\mu}$ .

$$\dot{\psi} = \dots\dots\dots$$

$$\dot{\gamma} = \dots\dots\dots$$

On considère  $E = \{5, 6, \text{Plaque}\}$  l'ensemble cinématiquement lié à la plaque. Soit G le centre d'inertie de  $\{E\}$  défini par  $\overline{HG} = L \vec{x}_5$ .

B.1.7- Au moment de l'opération de levage du bras (4) le vérin d'inclinaison  $V_1 = \{1, 2\}$  constitué par le corps (1) et la tige (2) est bloqué (lié au socle (0)). Dans ce cas, déterminer :

B.1.7.1- Le vecteur rotation du pignon (5) lors de son mouvement par rapport au socle (0). En déduire la nature du mouvement de  $\{E\}$  par rapport au socle (0).

$$\vec{\Omega}(5/0) = \dots\dots\dots$$

**Nature de mouvement de  $\{E\}$  par rapport au socle (0) :** .....

B.1.7.2- Le vecteur vitesse du centre d'inertie G de  $\{E\}$  lors de son mouvement par rapport au socle (0) dans la base  $\mathcal{B}_4(\vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_0)$ .



$$\vec{V}(G/0) = \dots\dots\dots$$

B.1.8- Au moment de l'opération d'inclinaison de la plaque le vérin de levage  $V_2 = \{7, 8\}$  constitué par le corps (7) et la tige (8) est bloqué (lié au socle (0)). Dans ce cas, déterminer le vecteur vitesse du centre d'inertie G de {E} au cours de son mouvement par rapport au socle (0).

$$\vec{V}(G/0) = \dots\dots\dots$$

## B.2- ETUDE DYNAMIQUE

Cette étude est menée au cours de l'opération d'inclinaison de la plaque. Nous rappelons que dans ce cas, le vérin de levage  $V_2 = \{7, 8\}$  constitué du corps (7) et de la tige (8) est bloqué. En conséquence, le bras (4) est immobile par rapport au socle (0). Les hypothèses à prendre en considération lors de l'étude figurent à la page 6/12 du document « Présentation, Données et Hypothèses ».

B.2.1- Déterminer le torseur cinétique, au point H, de l'ensemble {E} au cours de son mouvement par rapport au socle (0) dans la base  $\mathcal{B}_5(\vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$ .

$$\{\mathcal{C}(E/0)\}_H = \left\{ \begin{array}{l} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_H$$

B.2.2- Déterminer le torseur dynamique, au point H, de l'ensemble {E} au cours de son mouvement par rapport au socle (0) dans la base  $\mathcal{B}_5(\vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_0)$ .



$$\{\mathcal{D}(E/0)\}_H = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_H$$

B.2.3- Tracer le graphe d'interaction et faire le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées sur l'ensemble  $\{E\}$ . Exprimer le torseur  $\{\tau(\bar{E} \rightarrow E)\}_H$  dans la base  $\mathcal{B}_4(\bar{x}_4, \bar{y}_4, \bar{z}_0)$ .

$$\bullet \dots \{\tau(\dots \rightarrow \dots)\}_{\dots} = \dots$$

$$E = \{5, 6, \text{Plaque}\}$$

$$\Rightarrow \{\tau(\bar{E} \rightarrow E)\}_H = \left\{ \begin{array}{c} \bar{R}(\bar{E} \rightarrow E) \\ \bar{M}_H(\bar{E} \rightarrow E) \end{array} \right\}_H \quad \text{Avec :}$$



$$\bar{\mathbf{R}}(\bar{\mathbf{E}} \rightarrow \mathbf{E}) = \begin{pmatrix} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_4} \quad \text{et} \quad \bar{\mathbf{M}}_H(\bar{\mathbf{E}} \rightarrow \mathbf{E}) = \begin{pmatrix} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{pmatrix}_{\mathcal{B}_4}$$

B.2.4- Ecrire les équations scalaires déduites de l'application du PFD à l'ensemble  $\{\mathbf{E}\}$  au cours de son mouvement par rapport au socle (0). Déduire alors la tension  $\mathbf{T}$  exercée par la chaîne sur le pignon (5) ainsi que les autres composantes inconnues des actions mécaniques.

**Les inconnues des actions mécaniques :**

$\mathbf{T} =$  .....

B.2.5- Tracer le graphe d'interaction et faire le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées sur le pignon (3). Exprimer le torseur  $\{\tau(\bar{3} \rightarrow 3)\}_c$  dans la base  $\mathcal{B}_0(\bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$ .



(3)

$$\bullet \dots \{ \tau(\dots \rightarrow \dots) \} \dots = \dots$$

$$\Rightarrow \{ \tau(\bar{3} \rightarrow 3) \}_c = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(\bar{3} \rightarrow 3) \\ \vec{M}_c(\bar{3} \rightarrow 3) \end{array} \right\}_c \text{ Avec :}$$

$$\vec{R}(\bar{3} \rightarrow 3) = \left( \begin{array}{c} \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \right)_{\mathcal{R}_0}$$

$$\text{et } \vec{M}_c(\bar{3} \rightarrow 3) = \left( \begin{array}{c} \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \right)_{\mathcal{R}_0}$$

B.2.6- Ecrire les équations scalaires déduites de l'application du PFD au pignon (3) au cours de son mouvement par rapport au socle (0). Dédurre alors l'effort F exercée par la tige (2) sur le bras (3) ainsi que les autres composantes inconnues des actions mécaniques.



**Les inconnues des actions mécaniques :**

**F =** .....

B.2.7- On considère le système  $\{\Sigma\} = \{3, \text{chaîne}, E\}$ . Déterminer l'énergie cinétique de  $\{\Sigma\}$  dans son mouvement par rapport au socle (0).

$E_c(\Sigma/0) =$  .....

B.2.8- Déterminer les puissances développées par les actions mécaniques extérieures et intérieures au système  $\{\Sigma\}$  au cours de son mouvement par rapport au socle (0).



$$\mathcal{P}_{\text{int}} = \dots\dots\dots$$

$$P(\bar{\Sigma} \rightarrow \Sigma/0) = \dots\dots\dots$$

B.2.9- Appliquer le théorème de l'énergie cinétique au système au système  $\{\Sigma\}$  au cours de son mouvement par rapport au socle (0). En déduire l'expression de l'effort  $F$  qu'exerce la tige (2) sur le bras (3) en fonction de la masse  $M$  et des données du problème.

NB : Il faudra tenir compte de la réponse à la question B.1.4.

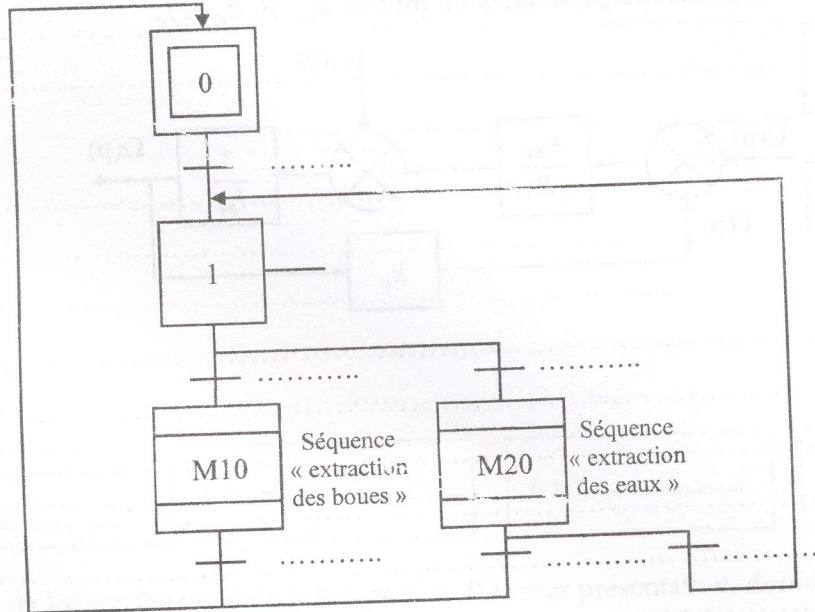
$$F = \dots\dots\dots$$



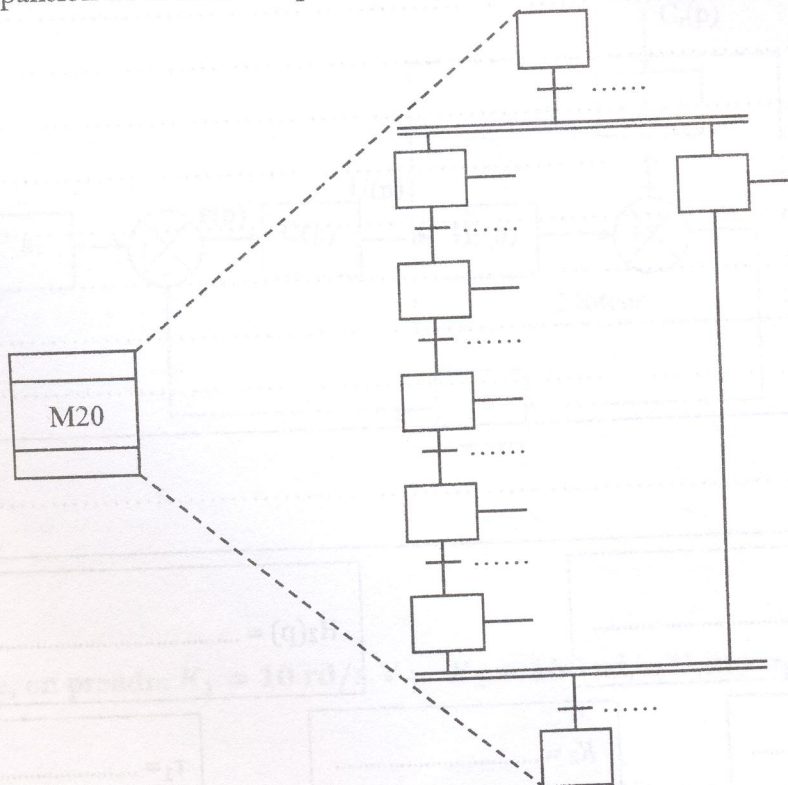
## PARTIE C : AUTOMATIQUE

### C.1- COMMANDE SEQUENTIELLE D'EXTRACTION DES BOUES ET DES EAUX DU DECANTEUR

C.1.1- Compléter le Grafcet suivant (réceptivités et actions) de la partie commande d'extraction des boues et des eaux du décanteur : (Grafcet point de vue commande (niveau 2)).



C.1.2- Compléter l'expansion de la macro-étape M20 séquence « extraction des eaux » suivante :



Expansion de la macro-étape M20 « extraction des eaux »



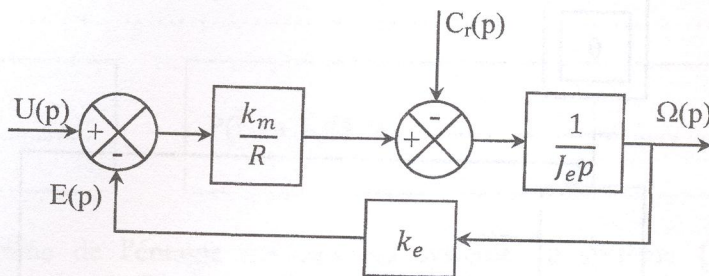
## C.2. ASSERVISSEMENT DE VITESSE DU MOTEUR D'ENTRAÎNEMENT DE LA VIS D'ARCHIMEDE

### C.2.1- Modélisation du moteur

C.2.1.1- A partir du schéma bloc du moteur de la figure ci dessous, exprimer la vitesse  $\Omega(p)$  en fonction de  $U(p)$  et de  $C_r(p)$  :  $\Omega(p) = H_1(p)U(p) - H_2(p)C_r(p)$ .

Déterminer  $H_1(p)$  et  $H_2(p)$ , les mettre sous forme canonique :  $H_1(p) = \frac{K_1}{1+\tau_1 p}$  ;  $H_2(p) = \frac{K_2}{1+\tau_1 p}$ .

Exprimer  $K_1$ ,  $K_2$  et  $\tau_1$  en fonction des paramètres du moteur  $k_m$ ,  $R$ ,  $k_e$  et  $J_e$ .



$$H_1(p) = \dots\dots\dots$$

$$H_2(p) = \dots\dots\dots$$

$$K_1 = \dots\dots\dots$$

$$K_2 = \dots\dots\dots$$

$$\tau_1 = \dots\dots\dots$$



C.2.1.2- Pour  $\mathbf{C}_r(\mathbf{t}) = 0 \text{ N.m}$  et à partir de la réponse indicielle du moteur  $H_1(p)$  à un échelon de tension  $u(t)$  de 10V (**figure C.6** du dossier présentation, données et hypothèses), identifier les valeurs de  $K_I$  et  $\tau_1$  de la fonction de transfert  $H_1(p)$ .

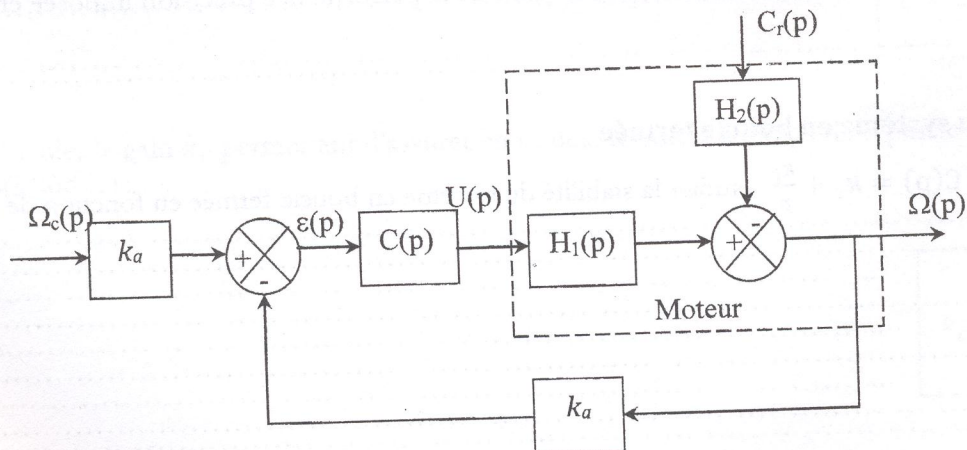
On considère  $R = 1\Omega$ , déduire alors les valeurs numériques des paramètres  $k_e$ ,  $k_m$  et  $J_e$  du moteur et le gain statique  $K_2$  de  $H_2(p)$ .

$K_1 = \dots\dots\dots$

$\tau_1 =$

A.N
$$k_e = \dots\dots\dots$$
$$k_m = \dots\dots\dots$$
$$J_e = \dots\dots\dots$$
$$K_2 = \dots\dots\dots$$

Le schéma bloc de l'asservissement de la **figure C.5**. (Dossier présentation, données et hypothèses) est mis sous la forme suivante en tenant compte des résultats de la question C.2.1.1.



Pour toute la suite, on prendra  $K_1 = 10 \text{ rd/s.V}$ ;  $K_2 = 100 \text{ rd/s.N.m}$ ;  $\tau_1 = 0.2 \text{ s}$ ;  $C_r(p)=0$



**C.2.2- Détermination de l'erreur statique**

On souhaite obtenir une erreur statique de position  $\varepsilon$  nulle, deux types de correcteurs sont proposés :

Correcteur à action proportionnelle (P) :  $C(p) = k_c$  et correcteur à action proportionnelle intégrale (PI)

$$C(p) = k_c + \frac{k_i}{p}$$

C.2.2.1- Déterminer l'erreur statique de position  $\varepsilon(\infty)$  à un échelon unitaire pour ces deux types de correcteurs :

➤  $C(p) = k_c$

$\varepsilon(\infty) = \dots\dots\dots$

➤  $C(p) = k_c + \frac{k_i}{p}$

$\varepsilon(\infty) = \dots\dots\dots$

C.2.2.2- Quel est le correcteur qui assure la satisfaction de la performance précision imposée en C.2.2.

**C.2.3- Stabilité du système en boucle fermée**

Dans le cas où  $C(p) = k_c + \frac{k_i}{p}$ , étudier la stabilité du système en boucle fermée en fonction de  $k_c$  et  $k_i$ .



### C.2.4- Réglage des paramètres du correcteur Proportionnel-Intégral (PI) : $C(p) = k_c + \frac{k_i}{p}$ ;

Les performances souhaitées du correcteur  $C(p)$  sont :

- Assurer un temps de réponse  $t_r(\pm 5\%) \leq 0.3s$
- Obtenir un dépassement maximal  $D(\%) = 15\%$

Pour les satisfaire, on se propose de régler les paramètres  $k_c$  et  $k_i$  du correcteur  $C(p)$  en deux temps.

#### C.2.4.1- Réglage du paramètre $k_c$ , ( $C(p) = k_c$ ; $k_i = 0$ )

C.2.4.1.1- Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée  $H(p) = \frac{\Omega(p)}{\Omega_c(p)}$ , la mettre sous la forme canonique  $H(p) = \frac{K_{11}}{1 + \tau p}$ . Exprimer  $K_{11}$  et  $\tau$  en fonction de  $k_c$ ,  $K_1$ ,  $\tau_1$  et  $k_a$ .

$H(p) = \dots\dots\dots$

$K_{11} = \dots\dots\dots$

$\tau = \dots\dots\dots$

C.2.4.1.2- Calculer le gain  $k_c$  permettant d'assurer en boucle fermée un temps de réponse :  $t_r(5\%) = 0.3s$

$k_c = \dots\dots\dots$

A.N.

$k_c = \dots\dots\dots$

#### C.2.4.2- Réglage du paramètre $k_i$ , ( $C(p) = \frac{k_i}{p}$ ; $k_c = 0$ )

C.2.4.1.3- Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée  $H(p) = \frac{\Omega(p)}{\Omega_c(p)}$ , la mettre sous la forme canonique  $H(p) = \frac{K}{\frac{p^2}{\omega_0^2} + \frac{2\xi}{\omega_0}p + 1}$ . Donner les expressions du gain statique  $K$ , de la pulsation propre non amortie  $\omega_0$  et du coefficient d'amortissement  $\xi$  en fonction de  $k_i$ ,  $K_1$ ,  $\tau_1$  et  $k_a$ .

C3.4.2.1-



$H(p) = \dots\dots\dots$

$K = \dots\dots\dots$

$\omega_0 = \dots\dots\dots$

$\xi = \dots\dots\dots$

C.2.4.2.2- Etablir l'expression du gain  $k_i$  permettant d'obtenir un dépassement maximal  $D(\%) = 15\%$ .

$k_i = \dots\dots\dots$

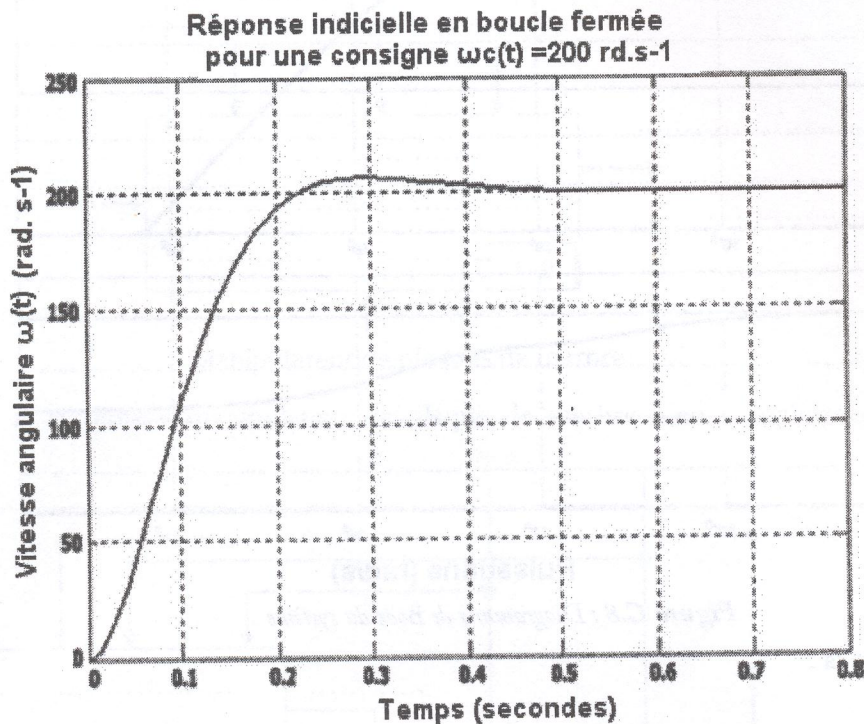
A.N.

$k_i = \dots\dots\dots$



### C.2.5. Validation du choix des paramètres du correcteur PI : $C(p) = k_c + \frac{k_i}{p}$

C.2.5.1- La courbe de la figure C.7 présente la réponse indicielle du système en boucle fermée à un échelon  $\omega_c(t) = 200 \text{ rd.s}^{-1}$  pour les paramètres du correcteur calculés aux questions C.2.4.1.2. et C.2.4.2.2.



**Figure C.7 :** Réponse indicielle du système en boucle fermée à un échelon  $\omega_c(t) = 200 \text{ rd.s}^{-1}$ .

Déterminer les valeurs des :

- Dépassement  $D(\%)$

$D(\%) = \dots\dots\dots$

- Temps de réponse  $t_r (\pm 5\%)$

$t_r (\pm 5\%) = \dots\dots\dots$

- Erreur statique de position

$\epsilon(\infty) = \dots\dots\dots$

C.2.5.2- Les diagrammes de Bode du système pour les paramètres du correcteur calculés aux questions C.2.4.1.2 et C.2.4.2.2 sont représentés par la figure C.8.



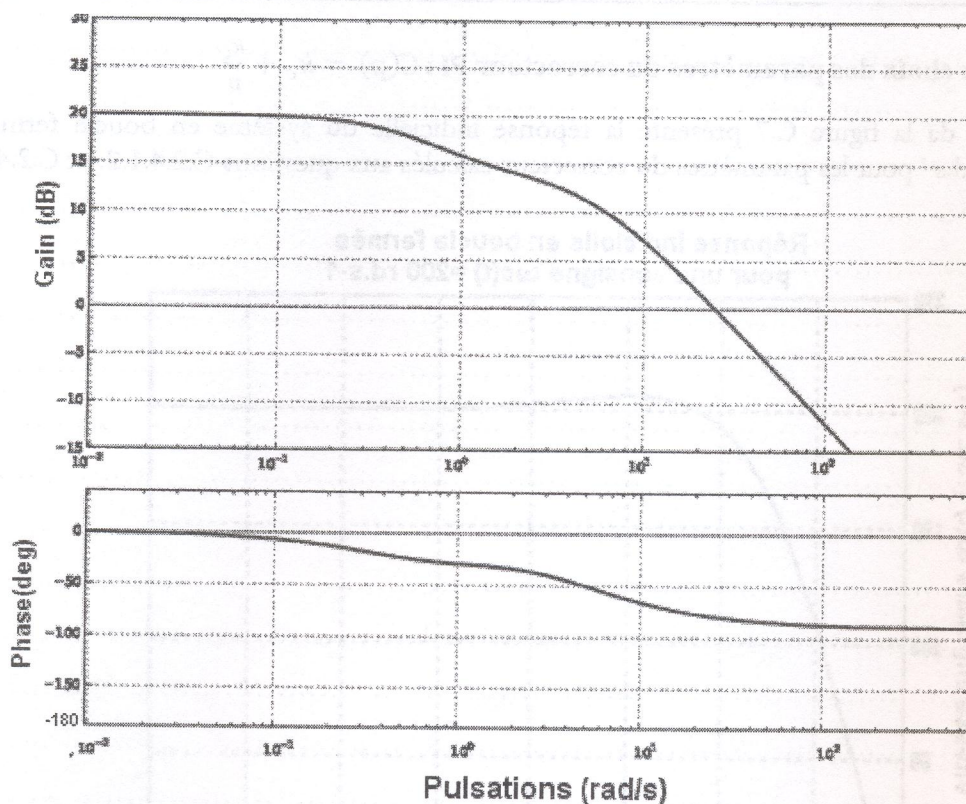


Figure C.8 : Diagrammes de Bode du système

Déterminer les valeurs de la :

- Marge de phase  $M\phi$

$M\phi = \dots\dots\dots$

- Marge de gain  $MG$

$MG = \dots\dots\dots$

C.2.5.3. Conclure quant au respect du correcteur PI aux performances imposées.

| Performances | Valeurs imposées                          | Valeurs trouvées aux questions C.2.5.1. et C.2.5.2. avec le correcteur PI |
|--------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Rapidité     | Temps de réponse $tr (\pm 5\%) \leq 0.3s$ | $tr (\pm 5\%) = \dots\dots\dots$                                          |
| Stabilité    | Marge de gain $MG \geq 15 \text{ dB}$     | $MG = \dots\dots\dots$                                                    |
|              | Marge de phase $M\phi \geq 60^\circ$      | $M\phi = \dots\dots\dots$                                                 |
| Précision    | Erreur statique nulle                     | $\varepsilon(\infty) = \dots\dots\dots$                                   |
| Dépassement  | Dépassement $D(\%)$ inférieur à 15%       | $D(\%) = \dots\dots\dots$                                                 |