



Session : **Juin 2007** Concours : **MP & PC**  
Epreuve de : **Sciences et Techniques de l'Ingénieur (STI)** .....  
Nom : ..... Prénoms : .....  
Institution d'origine : .....  
Identifiant : [ ] [ ] [ ] [ ] Série : [ ] [ ] [ ] [ ]

Numéro de la  
double feuille  
**1**  
Total des doubles  
feuilles  
**4**



**CORRIGE**

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



Session : ..... Concours : .....  
Epreuve de : **Sciences et Techniques de l'Ingénieur (STI)**

Numéro de la double feuille	Total des doubles feuilles
... 1 ...	... 4 ...



**DOSSIER**

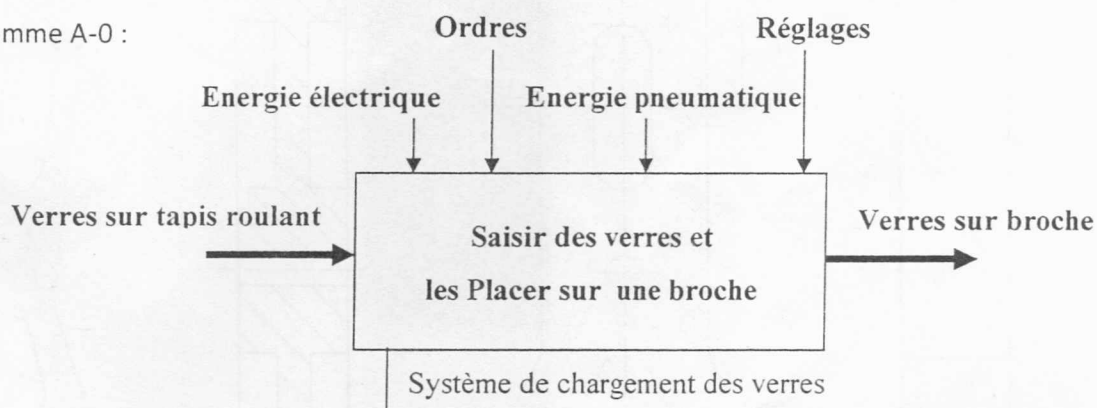
**DOCUMENT REPONSE**

- ✓ Ce dossier comporte 13 pages numérotées de 1 à 13
- ✓ Un seul dossier document réponse est fourni au candidat et doit être rendu, totalité, même sans réponses à la fin de l'épreuve.
- ✓ Le renouvellement de ce dossier est interdit

## A - TECHNOLOGIE DE CONCEPTION

### A-1- ANALYSE FONCTIONNELLE

#### A-1-1- Actigramme A-0 :



A-1-2- L'organe « effecteur » est : **la ventouse**

A-1-3- Le vérin pneumatique est un : Préactionneur ☐ Actionneur ☒ Distributeur ☐

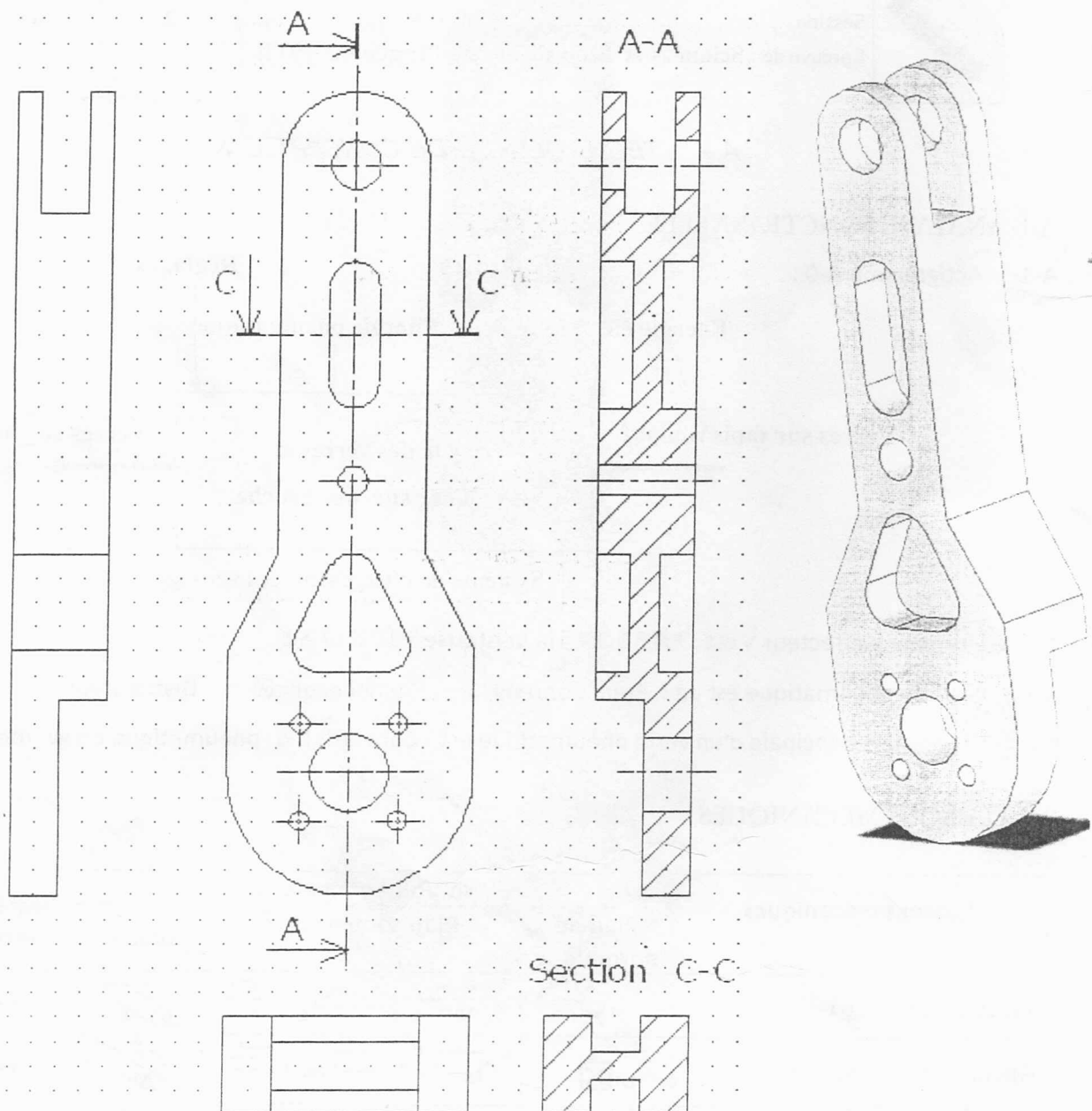
A-1-4- La fonction principale d'un vérin pneumatique est : **Convertir l'W. pneumatique en W. mécanique**

### A-2- LIAISONS MECANQUES :

Liaisons mécaniques	Symboles normalisés			Degrés de liberté
	Plan de normale $\vec{x}$	Plan contenant $\vec{x}$	Spatial	
Pivot d'axe ( $M, \vec{x}$ )				Rx
Glissière d'axe ( $M, \vec{x}$ )				Tx
Linéaire annulaire d'axe ( $M, \vec{x}$ )				Rx, Ry, Rz Tx

# Ne rien écrire ici

## A-3- ETUDE GRAPHIQUE :







Epreuve de : **Sciences et Techniques de l'Ingénieur (STI)** .....

Nom : ..... Prénoms : .....

Institution d'origine : .....

Identifiant : ..... Série : .....

Signature des  
surveillants

Numéro de la  
double feuille

3

Total des doubles  
feuilles

4

**CORRIGE**

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



Session : ..... Concours : .....

Epreuve de : Sciences et Techniques de l'Ingénieur (STI)

Numéro  
double feuille

Total des  
doubles feuilles

... 3 ...

... 4 ...

## B - MECANIQUE

### B-I- IDENTIFICATION DES PARAMETRES DE MOUVEMENT :

#### B-I-1- Etude de la chaîne 0-1-2-3-0 : Identification de $\beta$ et de $\lambda$ :

##### B-I-1.1. Fermeture géométrique de la chaîne :

$$\vec{OO} = \dots \vec{OA} + \vec{AB} + \vec{BO} = \vec{0} \dots$$

Ce qui donne :

$$\lambda = \dots r \cos \alpha + L_2 \cos \beta \dots (1)$$

$$\sin \beta = \dots \frac{r}{L_2} \sin \alpha \dots (2)$$

##### B-I-1.2. Torseurs cinématiques : (Les détails de calcul ne sont pas demandés)

**Notation :** première colonne vecteur rotation et deuxième colonne vecteur vitesse.

$$a - \{V(1/0)\} = \begin{pmatrix} 0 & -r\dot{\alpha}\sin\alpha \\ 0 & r\dot{\alpha}\cos\alpha \\ \dot{\alpha} & 0 \end{pmatrix}_A$$

$$b - \{V(2/0)\} = \begin{pmatrix} 0 & -r\dot{\alpha}\sin\alpha - L_2\dot{\beta}\sin\beta \\ 0 & r\dot{\alpha}\cos\alpha - L_2\dot{\beta}\cos\beta \\ -\dot{\beta} & 0 \end{pmatrix}_B$$

$$c - \{V(3/0)\} = \begin{pmatrix} 0 & \dot{\lambda} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_B$$

# Ne rien écrire ici

## B-I-1.3. Relations entre $\alpha$ , $\beta$ et $\lambda$ :

$$\vec{V}(B \in 2/0) = \dots \vec{V}(B \in 2/3) + \vec{V}(B \in 3/0) \dots \text{et} \dots \vec{V}(B \in 2/3) = \vec{0} \text{ (C.L. Pivot)}$$

Ce qui donne :

$$\dot{\lambda} = \dots - r\dot{\alpha}\sin\alpha - L_2\dot{\beta}\sin\beta \dots \dots (1)$$

$$\dot{\beta} = \dots \dots \frac{r}{L_2} \dot{\alpha} \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \dots \dots (2)$$

## B-I-2- Etude de la chaîne 0-4-6-7-3-0 : Identification $\dot{\theta}$ et de $\dot{\varphi}$ :

### B-I-2.1. Torseurs cinématiques : (Les détails de calcul ne sont pas demandés)

$$a - \{V(4/0)\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\gamma} \end{Bmatrix} \begin{vmatrix} -L_4\dot{\gamma}\cos\gamma \\ -L_4\dot{\gamma}\sin\gamma \\ 0 \end{vmatrix}_D$$

$$b - \{V(6/0)\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\gamma} - \dot{\theta} \end{Bmatrix} \begin{vmatrix} -L_4\dot{\gamma}\cos\gamma - L_6(\dot{\gamma} - \dot{\theta})\sin(\gamma - \theta) \\ -L_4\dot{\gamma}\sin\gamma + L_6(\dot{\gamma} - \dot{\theta})\cos(\gamma - \theta) \\ 0 \end{vmatrix}_E$$

$$c - \{V(7/0)\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\dot{\varphi} \end{Bmatrix} \begin{vmatrix} \dot{\lambda} + b_7\dot{\varphi}\cos\varphi \\ -b_7\dot{\varphi}\sin\varphi \\ 0 \end{vmatrix}_E$$

### B-I-2.2. Relations entre $\dot{\lambda}$ , $\dot{\gamma}$ , $\dot{\theta}$ et $\dot{\varphi}$ :

$$\vec{V}(E \in 7/0) = \dots \vec{V}(E \in 7/6) + \vec{V}(E \in 6/0) \dots \text{et} \dots \vec{V}(E \in 7/6) = \vec{0} \text{ (C.L. Pivot)}$$

Ce qui donne :

$$\dot{\lambda} + b_7\dot{\varphi}\cos\varphi = -L_4\dot{\gamma}\cos\gamma - L_6(\dot{\gamma} - \dot{\theta})\sin(\gamma - \theta) \quad (1)$$

$$-b_7\dot{\varphi}\sin\varphi = -L_4\dot{\gamma}\sin\gamma + L_6(\dot{\gamma} - \dot{\theta})\cos(\gamma - \theta) \quad (2)$$

## B-I-3- Etude de la chaîne 3-7-8-9-3 : Identification de $\dot{\delta}$ et de $\dot{\psi}$ :

### B-I-3-1. Fermeture géométrique de la chaîne :

$$\vec{FI} = \dots \vec{FK} + \vec{KJ} + \vec{JI} = a_3\vec{x}_0 - b_3\vec{y}_0 \dots \dots \dots$$



Epreuve de : **Sciences et Techniques de l'Ingénieur (STI)** .....

Nom : ..... Prénoms : .....

Institution d'origine : .....

Identifiant : ..... Série : .....

Numéro de la  
double feuille

4

Total des doubles  
feuilles

4



**CORRIGE**

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



Session : ..... Concours : .....

Epreuve de : Sciences et Techniques de l'Ingénieur (STI)

Numéro de la  
double feuille

... 4 ...

Total des  
doubles feuilles

... 4 ...

Ce qui donne :

$$.....a_7 \cos \varphi - a_8 \cos \psi - b_9 \sin \delta = a_3 ..... (1)$$

$$...-a_7 \sin \varphi + a_8 \sin \psi - b_9 \cos \delta = -b_3 ..... (2)$$

B-I-3.2. Relations entre  $\psi$ ,  $\delta$  et  $\varphi$  :

$$.....-a_7 \dot{\varphi} \sin \varphi + a_8 \dot{\psi} \sin \psi - b_9 \dot{\delta} \cos \delta = 0 ... (1)$$

$$.....-a_7 \dot{\varphi} \cos \varphi + a_8 \dot{\psi} \cos \psi + b_9 \dot{\delta} \sin \delta = 0 ... (2)$$

B-II- EQUILIBRAGE STATIQUE ET DYNAMIQUE DU PLATEAU (1) :

B-II-1. Densité surfacique :

$$\sigma = ..... \frac{m_1}{S_1} .....$$

$$\sigma = ... \frac{m_1}{\pi(R^2 - r_1^2 - r_2^2)} .....$$

B-II-2. Centre d'inertie du plateau :

$$.....(O, \vec{x}_1) ... \text{Axe de symétrie} \Leftrightarrow G_1 \in (O, \vec{x}_1) \Leftrightarrow \overrightarrow{OG}_1 = x_G \vec{x}_1 . .....$$

$$S_1 \cdot \overrightarrow{OG}_1 = S \cdot \overrightarrow{OG} - S' \cdot \overrightarrow{OG'} - S'' \cdot \overrightarrow{OG''} \Leftrightarrow \pi(R^2 - r_1^2 - r_2^2)x_G = \pi R^2 d_1 - \pi r_1^2 \cdot 0 - \pi r_2^2 d_2$$

$$\overrightarrow{OG}_1 = \frac{d_1 R^2 - d_2 r_2^2}{R^2 - r_1^2 - r_2^2} \vec{x}_1$$



# Ne rien écrire ici

## B-II-3. Equilibrage statique :

$$\dots\dots\dots S_1 \overrightarrow{OG_1} - S_0 \overrightarrow{OC_0} = \vec{0} \dots \Leftrightarrow \dots \overrightarrow{OC_0} = \frac{S_1}{S_0} \overrightarrow{OG_1} = d_0 \vec{x}_1 \dots \Leftrightarrow \dots C_0 \in (O, \vec{x}_1) \dots$$

$$\dots\dots\dots d_0 = \frac{S_1}{S_0} x_G = \frac{\pi(R^2 - r_1^2 - r_2^2)}{\pi r_0^2} \frac{d_1 R^2 - d_2 r_2^2}{R^2 - r_1^2 - r_2^2} \dots\dots$$

$$d_0 = \frac{d_1 R^2 - d_2 r_2^2}{r_0^2}$$

## B-II-4. Eléments d'inertie qui doivent être nuls:

.....D et E.....

## B-II-5. Justification que ces éléments d'inertie sont effectivement nuls :

Disque mince  $\Leftrightarrow \forall P \in (1), z_P = 0$  ou  $(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$  plan de symétrie  $\Leftrightarrow D = E = 0$ .

Ou  $(O, \vec{x}_1)$  est un axe de symétrie  $\Leftrightarrow D = E = F = 0$ .

## B-II-6. Moment d'inertie $C = I_{O\vec{z}}(1)$ :

$$I_{O\vec{z}}(1) = \left( \frac{mR^2}{2} + md_1^2 \right) - \frac{m'r_1^2}{2} - \left( \frac{m''r_2^2}{2} + m''d_2^2 \right) - \left( \frac{m_0r_0^2}{2} + m_0d_0^2 \right)$$

$$I_{O\vec{z}}(1) = \pi\sigma \left[ R^2 \left( \frac{R^2}{2} + d_1^2 \right) - \frac{r_1^4}{2} - r_2^2 \left( \frac{r_2^2}{2} + d_2^2 \right) - r_0^2 \left( \frac{r_0^2}{2} + d_0^2 \right) \right]$$

$$C = I_{O\vec{z}}(1) = \pi\sigma \left[ R^2 \left( \frac{R^2}{2} + d_1^2 \right) - \frac{r_1^4}{2} - r_2^2 \left( \frac{r_2^2}{2} + d_2^2 \right) - r_0^2 \left( \frac{r_0^2}{2} + d_0^2 \right) \right].$$

## B-III- CHOIX DU MOTOREDUCTEUR D'ENTRAINEMENT DU PLATEAU (1) :

### B-III-1. Energie cinétique du système (S) en mouvement par rapport à $R_0$ :

$$Ec(S/R_0) = Ec(1/R_0) + Ec(3/R_0) + Ec(8/R_0)$$

$$Ec(1/R_0) = \frac{1}{2} I_1 \dot{\alpha}^2 ; \quad Ec(3/R_0) = \frac{1}{2} m_3 \dot{\lambda}^2 ; \quad Ec(8/R_0) = \frac{1}{2} [I_8 \dot{\psi}^2 + m_8 (U_8^2 + V_8^2)]$$

$$Ec(S/R_0) = \frac{1}{2} [I_1 \dot{\alpha}^2 + m_3 \dot{\lambda}^2 + I_8 \dot{\psi}^2 + m_8 (U_8^2 + V_8^2)]$$

# Ne rien écrire ici

## B-III-2. Actions mécaniques extérieures exercées sur le système (S) :

Actions de contact :

$$\{T(\text{Moteur} \rightarrow 1)\} = \begin{pmatrix} \dots 0 \dots & \dots 0 \dots \\ \dots 0 \dots & \dots 0 \dots \\ \dots 0 \dots & \dots C_m \dots \end{pmatrix}_{R_0} ; \{T(0 \rightarrow 1)\} = \begin{pmatrix} X_{01} & L_{01} \\ Y_{01} & M_{01} \\ Z_{01} & 0 \end{pmatrix}_O$$

$$\{T(0 \rightarrow 3)\} = \begin{pmatrix} 0 & L_{03} \\ Y_{03} & M_{03} \\ Z_{03} & N_{03} \end{pmatrix}_{R_0} ; \{T(0 \rightarrow 4)\} = \begin{pmatrix} X_{04} & L_{04} \\ Y_{04} & M_{04} \\ Z_{04} & 0 \end{pmatrix}_C$$

Actions à distance :

$$\{T(\vec{g} \rightarrow 1)\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -m_1 g & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{R_0} ; \{T(\vec{g} \rightarrow 3)\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -m_3 g & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{G_3}$$

$$\{T(\vec{g} \rightarrow 8)\} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -m_8 g & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{G_8} ; \dots\dots\dots$$

## B-III-3. Puissance des actions mécaniques extérieures :

Les liaisons avec (0) sont supposées parfaites  $\rightarrow P(0 \rightarrow 1/R_0) = P(0 \rightarrow 3/R_0) = P(0 \rightarrow 4/R_0) = 0$ .

$$P(\vec{g} \rightarrow 1/R_0) = P(\vec{g} \rightarrow 3/R_0) = 0.$$

$$P(\vec{S} \rightarrow S/R_0) = C_m \dot{\alpha} - m_8 g V_8.$$

$$P(\vec{S} \rightarrow S/R_0) = C_m \dot{\alpha} - m_8 g V_8$$



# Ne rien écrire ici

## B-III-4. Couple moteur :

$$\frac{dEc(S/R_0)}{dt} = P(\bar{S} \rightarrow S/R_0) + P(int \rightarrow S)$$

Les liaisons internes sont supposées parfaites  $\rightarrow P(int \rightarrow S) = 0$ .

$$C_m = I_1 \ddot{\alpha} + \frac{1}{\ddot{\alpha}} [m_3 \dot{\lambda} \ddot{\lambda} + I_8 \dot{\psi} \ddot{\psi} + m_8 (U_8 \dot{U}_8 + V_8 \dot{V}_8 + g V_8)]$$

## B-IV- CHOIX DE LA VENTOUSE :

### B-IV-1. Accélération de centre d'inertie G du verre (10) :

$$\vec{\Gamma}(G \in 10/R_0) = \frac{d\vec{V}(G \in 10/R_0)}{dt} /_{R_0} = \frac{d\vec{V}(G \in 10/R_0)}{dt} /_{R_8} + \vec{\Omega}(R_8/R_0) \wedge \vec{V}(G \in 10/R_0)$$

$$\vec{\Gamma}(G \in 10/R_0) = \dot{U} \vec{x}_8 + \dot{V} \vec{y}_8 - U \dot{\psi} \vec{y}_8 + V \dot{\psi} \vec{x}_8$$

$$\vec{\Gamma}(G \in 10/R_0) = (\dot{U} + V \dot{\psi}) \vec{x}_8 + (\dot{V} - U \dot{\psi}) \vec{y}_8$$

### B-IV-2. Torseur dynamique :

$$\{D(10/R_0)\}_{R_8} = \begin{Bmatrix} m(\dot{U} + V \dot{\psi}) & 0 \\ m(\dot{V} - U \dot{\psi}) & 0 \\ 0 & -I_8 \ddot{\psi} \end{Bmatrix}_G$$

### B-IV-3. Torseur des actions mécaniques extérieures :

$$\{T(8 \rightarrow 10)\}_{R_8} = \begin{Bmatrix} X & L \\ Y & M \\ Z & N \end{Bmatrix}_P = \begin{Bmatrix} X & L \\ Y & M + bZ \\ Z & N - bY \end{Bmatrix}_G ; \quad \{T(\bar{g} \rightarrow 10)\}_{R_8} = \begin{Bmatrix} mg \sin \psi & 0 \\ -mg \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_G$$

$$\{T(\bar{10} \rightarrow 10)\}_{R_8} = \begin{Bmatrix} X + mg \sin \psi & L \\ Y - mg \cos \psi & M + bZ \\ Z & N - bY \end{Bmatrix}_G$$

# Ne rien écrire ici

**B-IV-4. PFD et détermination de l'action exercée par la ventouse sur le verre :**

$R_0$  est supposé galiléen  $\Leftrightarrow \{T(\overline{10} \rightarrow 10)\}_P = \{D(10/R_0)\}_P \forall P \in (10) \text{ et } \forall t$

$$X = m(\dot{U} + V\dot{\psi} - g\sin\psi)$$

$$Y = m(\dot{V} - U\dot{\psi} + g\cos\psi)$$

$$Z = 0$$

$$L = 0$$

$$M = 0$$

$$N = bm(\dot{V} - U\dot{\psi} + g\cos\psi) - I_8\ddot{\psi}$$

**B-IV-4. Condition sur le coefficient d'adhérence pour le choix de la ventouse :**

Adhérence entre la ventouse et le verre (10)  $\Leftrightarrow \frac{\|\vec{T}(8 \rightarrow 10)\|}{\|\vec{N}(8 \rightarrow 10)\|} \leq f$

Avec

$$\|\vec{N}(8 \rightarrow 10)\| = |X| = m|\dot{U} + V\dot{\psi} - g\sin\psi|$$

$$\|\vec{T}(8 \rightarrow 10)\| = |Y| = m|\dot{V} - U\dot{\psi} + g\cos\psi|$$

$$f \geq \frac{|\dot{V} - U\dot{\psi} + g\cos\psi|}{|\dot{U} + V\dot{\psi} - g\sin\psi|}$$

# Ne rien écrire ici

## C - AUTOMATIQUE

### C.1. Modélisation du moteur

#### C.1.1.

En appliquant la transformation de Laplace :

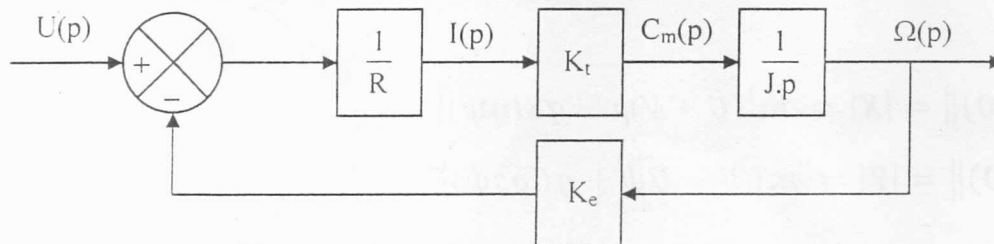
$$E(p) = U(p) - R.I(p)$$

$$E(p) = K_e . \Omega(p)$$

$$C_m(p) = K_t . I(p)$$

$$C_m(p) = J.p.\Omega(p)$$

#### C.1.2.



#### C.1.3.

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{\frac{K_t}{R.J.p}}{1 + \frac{K_t.K_e}{R.J.p}} = \frac{K_t}{R.J.p + K_e.K_t} \Rightarrow H(p) = \frac{\frac{1}{K_e}}{1 + \frac{R.J}{K_t.K_e}p}$$



# Ne rien écrire ici

C.1.4.

Ordre du système : **premier**

Constante de temps :  $\frac{1}{\tau} = 20 \text{ rad.s}^{-1} \Rightarrow \tau = 0,05 \text{ s}$

Gain statique :  $20.\log(K_S) = -6 \text{ dB} \Rightarrow K_S = 0,5 \text{ rad.s}^{-1}.\text{V}^{-1}$

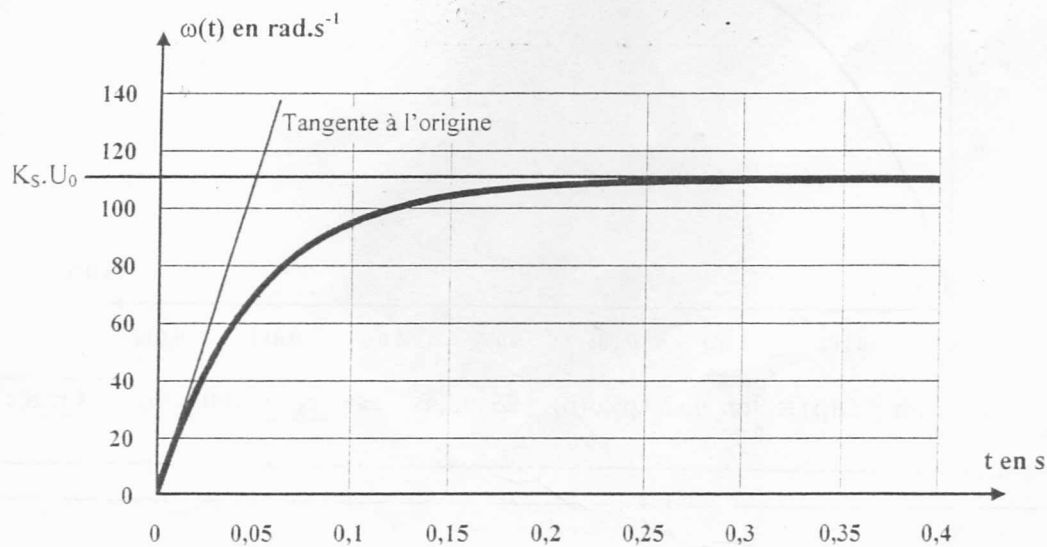
Forme canonique :  $H(p) = \frac{0,5}{1 + 0,05.p}$

C.1.5.

$K_S = \frac{1}{K_e} \Rightarrow K_e = \frac{1}{K_S} \Rightarrow K_e = 2 \text{ V.s.rad}^{-1}$

$\tau = \frac{R.J}{K_t.K_e} \Rightarrow J = \frac{\tau.K_t.K_e}{R} \Rightarrow J = 2,5.10^{-2} \text{ kg.m}^2$

C.1.6.



# Ne rien écrire ici

## C.2. Asservissement de la vitesse de rotation du moteur

### C.2.1. Cas d'un régulateur proportionnel $R(p) = K_a$ :

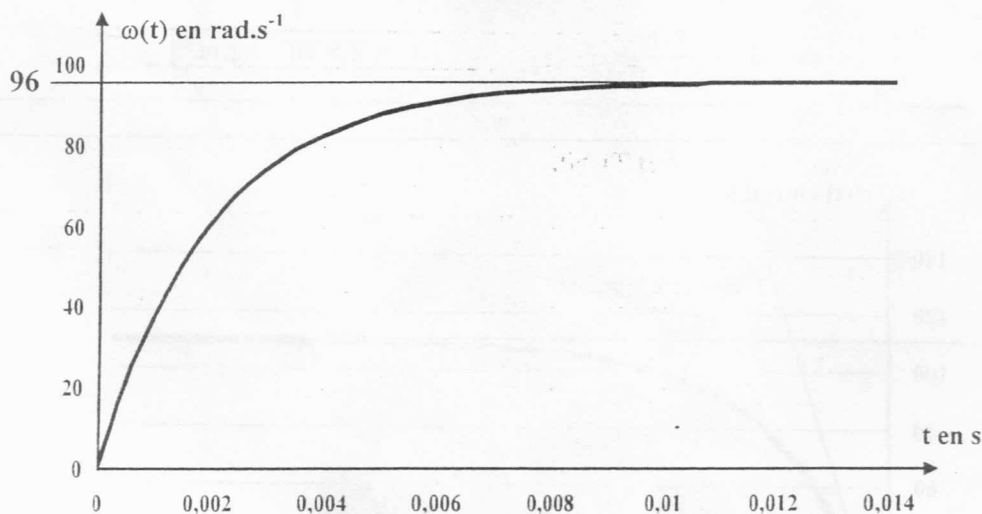
#### C.2.1.1.

$$F(p) = \frac{\Omega(p)}{\Omega_c(p)} = K_c \frac{K_a \cdot H(p)}{1 + K_a \cdot K_c \cdot H(p)} = \frac{\frac{0,03 \cdot K_a}{1 + 0,05 \cdot p}}{1 + \frac{0,03 \cdot K_a}{1 + 0,05 \cdot p}} = \frac{0,03 \cdot K_a}{1 + 0,03 \cdot K_a + 0,05 \cdot p}$$

$$\Rightarrow F(p) = \frac{\frac{0,03 \cdot K_a}{1 + 0,03 \cdot K_a}}{1 + \frac{0,05}{1 + 0,03 \cdot K_a} p}$$

#### C.2.1.2.

$$K_a = 800 \Rightarrow F(p) = \frac{0,96}{1 + 0,002 \cdot p}$$



$$\omega(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \Omega(p) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \Omega_c(p) \cdot F(p) = 96 \text{ rad.s}^{-1} \Rightarrow \varepsilon_s = 100 - 96 = 4 \text{ rad.s}^{-1}$$

#### C.2.1.3.

$$\varepsilon_s \leq 2\% \Rightarrow [\Omega_c - \lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t)] \leq 2 \text{ rad.s}^{-1} \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) \geq 98 \text{ rad.s}^{-1}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \frac{0,03 \cdot K_a}{1 + 0,03 \cdot K_a} \cdot \Omega_c \Rightarrow \frac{3 \cdot K_a}{1 + 0,03 \cdot K_a} \geq 98 \Rightarrow K_a \geq 1633$$

# Ne rien écrire ici

C.2.2. Cas d'un régulateur proportionnel intégral  $R(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot p} \right)$  :

C.2.2.1.

$$\begin{aligned}
 F(p) = \frac{\Omega(p)}{\Omega_c(p)} &= K_c \frac{R(p) \cdot H(p)}{1 + K_c \cdot R(p) \cdot H(p)} = \frac{\frac{0,03 \cdot K_p \cdot (1 + T_i \cdot p)}{T_i \cdot p \cdot (1 + 0,05 \cdot p)}}{1 + \frac{0,03 \cdot K_p \cdot (1 + T_i \cdot p)}{T_i \cdot p \cdot (1 + 0,05 \cdot p)}} \\
 &= \frac{0,03 \cdot K_p \cdot (1 + T_i \cdot p)}{0,03 \cdot K_p \cdot (1 + T_i \cdot p) + T_i \cdot p \cdot (1 + 0,05 \cdot p)} \\
 \Rightarrow F(p) &= \frac{0,03 \cdot K_p \cdot (1 + T_i \cdot p)}{0,03 \cdot K_p + (0,03 \cdot K_p + 1) \cdot T_i \cdot p + 0,05 \cdot T_i \cdot p^2}
 \end{aligned}$$

C.2.2.2

Le système est stable pour  $K_p > 0$  et  $T_i > 0$ .

C.2.2.3

Le correcteur **PI** annule l'erreur statique.