

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
MOTEURS À COMBUSTION INTERNE
SESSION 2016

E4 - ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS

Durée : 6 heures - Coefficient : 4

Éléments de Correction

CODE ÉPREUVE : 1606MOEDC		EXAMEN BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR		SPÉCIALITÉ : MOTEURS À COMBUSTION INTERNE	
SESSION 2016	SUJET	ÉPREUVE : E4 – ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS			
Durée : 6 h	Coefficient : 4	CORRIGÉ N°07ED15	14 Pages		

PROPOSITION DE BARÈME

1^{ère} Partie 16 points

1-1-1- : 1 point

1-1-2- : 1 point

1-1-3- : 3 points

1-1-4- : 1 point

1-2-1- : 2 points

1-2-2- : 2 points

1-2-3- : 2 points

1-2-4- : 2 points

1-2-5- : 2 points

2^{ème} Partie 14 points

2-1- : 2 points

2-2- : 5 points

2-3- : 1 point

2-4- : 3 points

2-5- : 1 point

2-6- : 2 points

3^{ème} Partie 9 points

3-1-1- : 2 points

3-1-2- : 1 point

3-2-1- : 4 points

3-2-2- : 2 points

4^{ème} Partie 10 points

5^{ème} Partie 13 points

5-1- : 1 point

5-2-1- : 1 point

5-2-2- : 2 points

5-2-3- : 3 points

5-2-4- : 1 point

5-3-1- : 2 points

5-3-2- : 1 point

5-3-3- : 2 points

6^{ème} Partie 18 points

6-1- : 4 points

6-2- : 14 points

**1^{ère} PARTIE : MISE EN ÉVIDENCE DU 1^{er} PHÉNOMÈNE VIBRATOIRE À SIMULER :
ACYCLISME ⇒ VIBRATIONS TORSIONNELLES**

1-1- Détermination de la loi entrée sortie du système bielle manivelle

1-1-1- $x_B = R \cos \theta + L \cos \beta$

1-1-2- $R \sin \theta = L \sin \beta$

$$\sin \beta = \frac{R}{L} \sin \theta \Rightarrow \sin \beta = \frac{1}{d} \sin \theta$$

1-1-3 On sait que $\cos^2 \beta = 1 - \sin^2 \beta$

$$\Rightarrow \cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta}$$

$$\text{avec } \sin^2 \beta = \frac{\sin^2 \theta}{d^2}$$

$$\text{d'où } x_B = R \cos \theta + L \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{d^2}}$$

$$\text{or } \frac{L}{R} = d \Rightarrow L = dR$$

$$\text{d'où } x_B = R \cos \theta + dR \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{d^2}}$$

1-1-4 Vitesse.

$$v_B = \frac{dx_B}{dt} = -R \dot{\theta} \sin \theta - \frac{R}{2d} \dot{\theta} \sin 2\theta$$

1-2- Détermination des vitesses et accélération maxi

1-2-1. Echelle des temps.

en rad $\theta = \frac{\pi N}{30} t \Rightarrow T = \frac{30 \theta_{rad}}{\pi N}$

Soit pour 1 tour : $T = 30 \times 360$

Soit $t = \frac{30 \times \theta_{deg} \times \pi}{\pi N \times 180} \Rightarrow T = \frac{\theta_{deg}}{6N}$

Soit pour 1 tour : $T = \frac{60}{N} = 0,03 \text{ s}$

1-2-2. Par dérivat^o graphique.

$$v_{max} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-90 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{\frac{(152^\circ - 25^\circ)}{6N}} = \frac{-8,5 \text{ m/s}}{2000 \text{ tr/min}}$$

1-2-3- Accélération maxi. (en ≤ 0 ici)

$$\delta_{\max} = \frac{\Delta N_B}{\Delta t} = \frac{-10 \text{ m/s}}{\frac{52^\circ}{6 \times N}} \approx -2308 \text{ m/s}^2$$

\uparrow 2000 t/min.

1-2-4- Comparaison.

On a $N_{B \max}$ pour $\theta \approx 72^\circ$

Soit d'après 1-1-5.

$$N_{B \max} = \left(-0,04025 \times \frac{\pi \times 2000}{30} \right) \left(\sin 72 + \frac{\sin 144}{2 \times 3,28} \right)$$

Soit $\underline{N_{B \max} = -8,77 \text{ m/s}}$.

Donc ordre de grandeur OK.


1-2-5- % d'acyclisme. (Cf DT3)

$$\% \text{ acyclisme} = \frac{\Delta N_{\text{moteur}}}{N_{\text{moteur}}} \approx \frac{2036 - 1964}{2000}$$

Soit $\underline{\% \text{ acyclisme} \approx 3,6 \%}$

2^{ème} PARTIE : MISE EN ÉVIDENCE DU 2^{ème} PHÉNOMÈNE VIBRATOIRE À SIMULER :
VIBRATIONS AXIALES DU VOLANT MOTEUR

2-1. Les effets dynamiques étant négligés, on peut considérer que la bielle doit être en équilibre. Celle-ci n'étant soumise qu'aux actions mécaniques du piston $\vec{F}_{p/b}$ appliquée en C et du vilebrequin $\vec{F}_{v/b}$ appliquée en B.



Ces 2 actions mécaniques doivent donc être directement opposées de direction BC

2.2. Etude dynamique du piston (ϕd)



$$\left\{ \mathcal{Y}_{(gaz \rightarrow piston)} \right\} = \begin{Bmatrix} \vec{F}_{g/p} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 & c \\ -P_{max} \times \frac{\pi d^2}{4} & 0 & a \\ 0 & 0 & a \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -72583 & 0 \\ c & a \end{Bmatrix}$$

$$\left\{ \mathcal{Y}_{(cyl \rightarrow piston)} \right\} = \begin{Bmatrix} \vec{F}_{c/p} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_{cp} & 0 \\ -f x_{cp} & 0 \\ 0 & a \end{Bmatrix}$$

$$\left\{ \mathcal{Y}_{(bielle \rightarrow piston)} \right\} = \begin{Bmatrix} \vec{F}_{b/p} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{bp} \sin 2,1 & 0 \\ F_{bp} \cos 2,1 & 0 \\ 0 & a \end{Bmatrix}$$

2.3. Torsion dynamique.

$$\left\{ \mathcal{A}_{(piston/R)} \right\} = \begin{Bmatrix} M_{\vec{a}_{piston/R}} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ m \gamma_B & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -0,609 \times (2000) & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

$$\Rightarrow \{A, piston\}_C = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -1399 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$

2-4 - Appliquons le PFD

$$\{T_C(piston \rightarrow piston)\} = \{A, piston\}_R$$

$$\Rightarrow \sum \vec{F}_{ext/piston} = m \vec{\Gamma}_{G,piston}$$

$$\text{en proj / } x : -x_{cp} + F_{b/p} \sin 2,1 = 0$$

$$\text{en proj / } y : -72583 - x_{cp} + F_{bp} \cos 2,1 = -1399$$

$$\Rightarrow -72583 + F_{b/p} \sin 2,1 + F_{bp} \cos 2,1 = -1399$$

$$\Rightarrow F_{b/p} = \frac{72583 - 1388}{0,1 \sin 2,1 + \cos 2,1} \Rightarrow F_{b/p} = 70983 \text{ N}$$

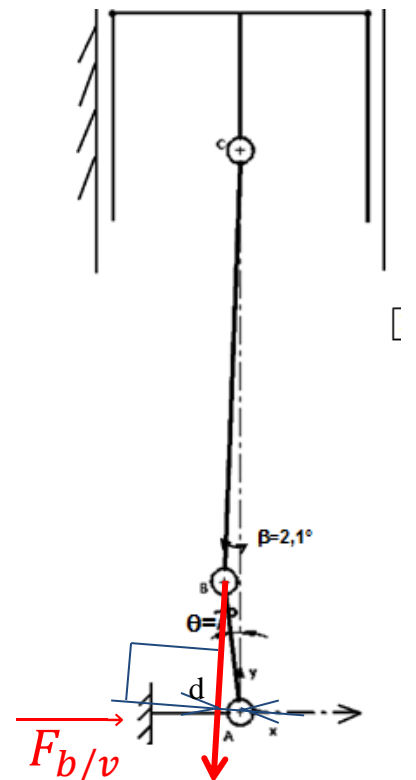
2-5- On : $\|\vec{F}_{b/p}\| = 70000 \text{ N}$ donc : $\|\vec{F}_{b/v}\| = 70000 \text{ N}$

2-6- Couple instantané

On a $d = 6 \text{ mm}$

Soit $C = F_{b/v} \cdot d = 70000 \times 0,006$

Soit un couple instantané de 420 N.m



3^{ème} PARTIE : VALIDATION DE LA SOLUTION CONSTRUCTIVE PERMETTANT DE GÉNÉRER L'ACYCLISME

3-1-1- Sauf pour un angle de brisure de 0° , on constate une variation de vitesse de la vitesse de sortie lorsque celle d'entrée est constante. Cette variation est d'autant plus prononcée que l'angle de brisure est important.

3-1-2- On peut donc générer de l'acyclisme avec un angle de brisure non nul.

3-2-1- Calcul du pourcentage d'acyclisme :

$$\text{cas 1 : } 3^\circ : \frac{\Delta N}{N} = \frac{20}{2000} = 1\%$$

$$\text{cas 2 } 6^\circ : \frac{\Delta N}{N} = \frac{40}{2000} = 2\%$$

$$\text{cas 3 } 9^\circ : \frac{\Delta N}{N} = \frac{60}{2000} = 3\% \Rightarrow \text{solution à retenir}$$

$$\text{cas 4 } 13^\circ : \frac{\Delta N}{N} = \frac{80}{2000} = 4\%$$

$$\text{cas 5 } 18^\circ : \frac{\Delta N}{N} = \frac{120}{2000} = 6\%$$

Les fourchettes de l'arbre intermédiaire doivent donc être décalées de 9° .

3-2-2- Pour pouvoir faire varier ou supprimer l'acyclisme, il faudrait faire varier l'angle d'inclinaison entre les 2 fourchettes. Actuellement ce n'est pas possible. Pour ce faire il faudrait que l'arbre intermédiaire du cardan double soit en 2 parties.

4^{ème} PARTIE : DISSOCIATION DES PHÉNOMÈNES VIBRATOIRES

Cf DR3

5^{ème} PARTIE : VALIDATION DE LA SOLUTION CONSTRUCTIVE PERMETTANT DE SIMULER LA VIBRATION AXIALE DU VILEBREQUIN PAR FLEXION DE L'ARBRE DE SORTIE

5-1 – Justifier la réduction de vitesse entre l'arbre d'entrée et l'arbre intermédiaire

Le 4^{ème} piston n'étant moteur qu'une fois par cycle, il faut simuler son cycle tous les 2 tours du banc de simulation.

5-2-1- Excentration de $3 \times$ la déformée maxi de l'arbre de sortie car hypothèse d'égalité des déformations des arbres intermédiaire, sortie et mielle.

$$\text{Soit } e \approx 3 \times 0,214 \Rightarrow e = \underline{0,642 \text{ mm}}$$

5-2-2- D'après le graphe des efforts tranchants, $F = 3000 \text{ N}$.

5-2-3- Contrainte maxi en flexion.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{f3 \max} \times \frac{d}{2}}{I_{Gz}} \quad \text{avec } d = 25 \text{ mm}$$

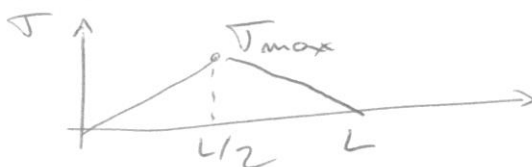
$$I_{Gz} = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$\Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{M_{f3 \max} \times 64 \times \frac{d}{2}}{\pi d^4}$$

$$\text{Soit } \sigma_{\max} = \frac{M_{f3 \max} \times 32}{\pi d^3} = \frac{1,8 \cdot 10^5 \times 32}{\pi \times 25^3}$$

$$\Rightarrow \underline{\sigma_{\max} = 117,3 \text{ MPa}}$$

5-2-4- Evolut' de σ sur fibre inférieure.



C'est la courbe du moment de flexion car la contrainte est fonction de celui-ci.

5-3-1- Contrainte maxi en torsion.

$$\tau_{\max} = \frac{M_t \times d}{I_o \times 2} \quad \text{avec} \quad I_o = \frac{\pi d^4}{32}$$

$$\tau_{\max} = \frac{16 M_t}{\pi d^3} = \frac{16 \times 240.000}{\pi \times 25^3} \Rightarrow \underline{\tau_{\max} = 78,2 \text{ MPa}}$$

5-3-2- D'après le critère de Von Mises.

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\sigma_{\text{max}}^2 + 3 \tau_{\max}^2} = \sqrt{117,3^2 + 3 \times 78,2^2}$$

$$\Rightarrow \underline{\sigma_{\text{eq}} = 179,2 \text{ MPa}}$$

5-3-3-

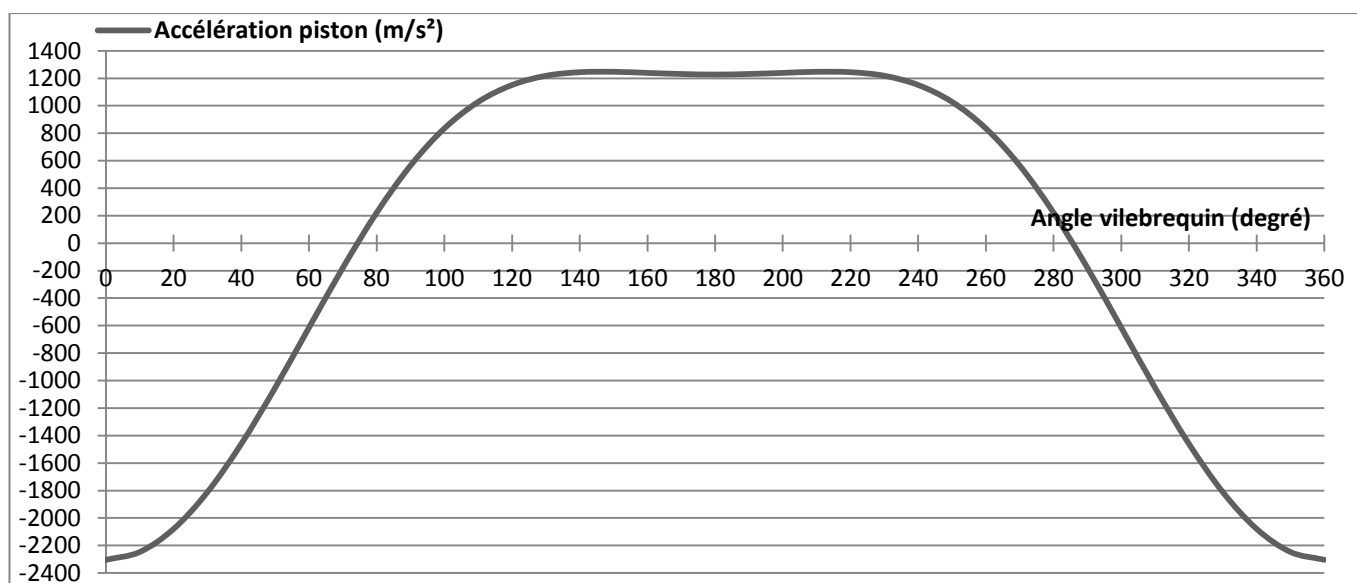
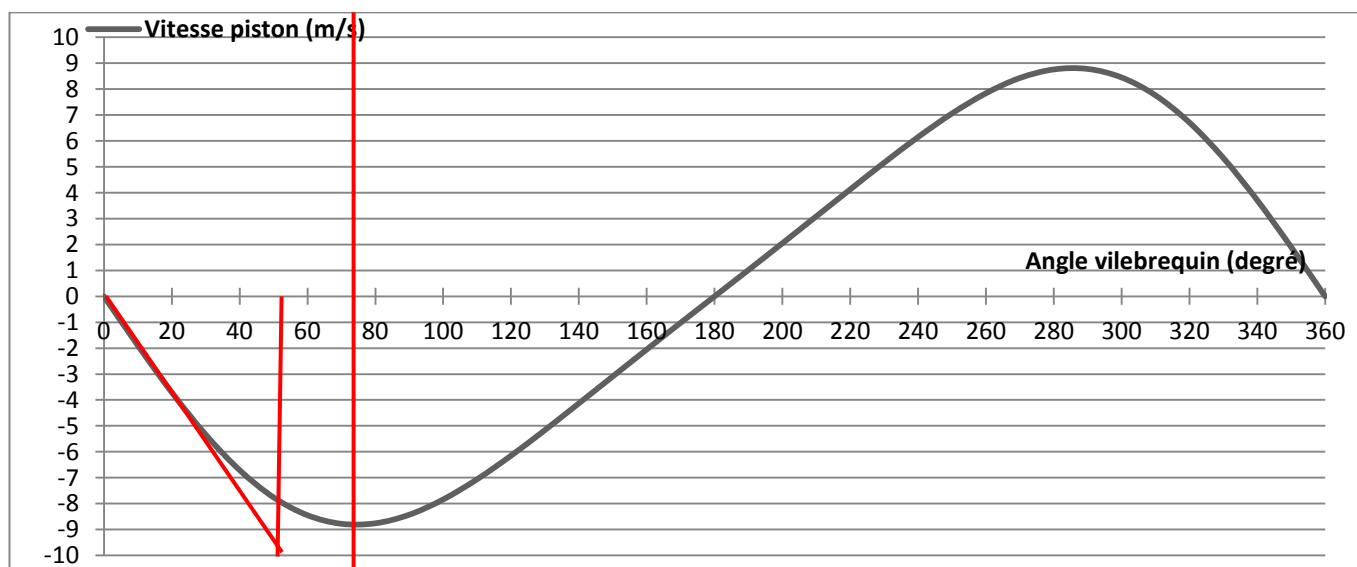
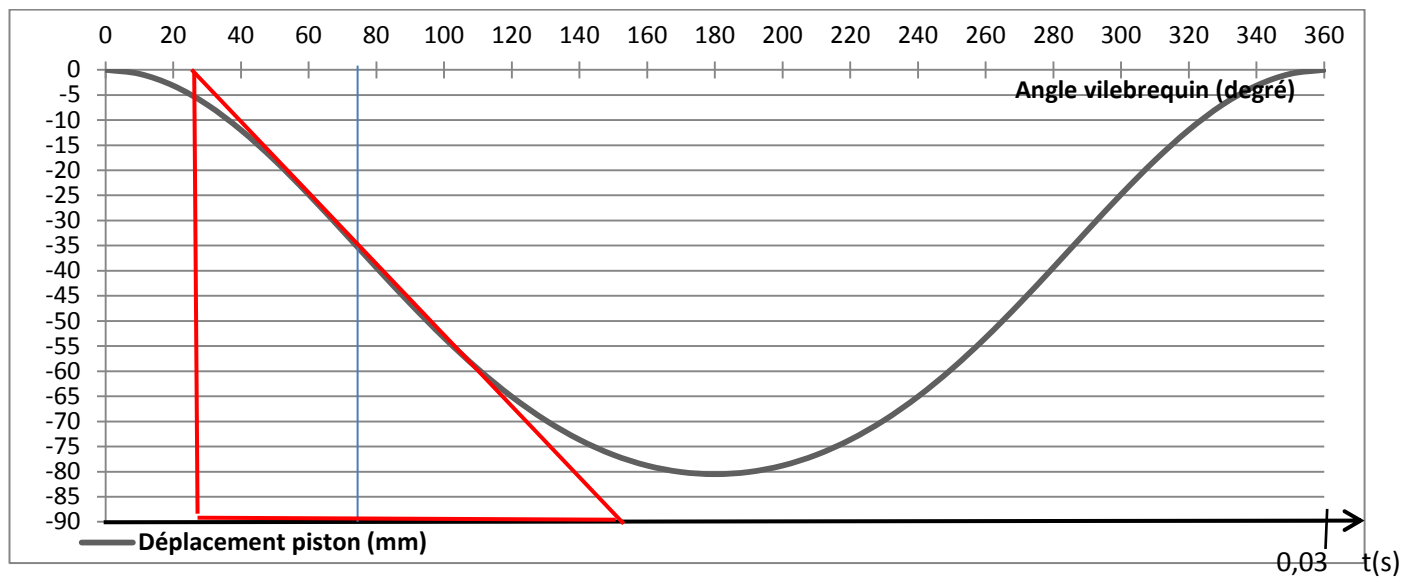
Coeff. de sécurité: $s = \frac{R_e}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{700}{179,2} \Rightarrow \underline{s = 3,9}$

Valeur très satisfaisante en construction mécanique.

6^{ème} PARTIE : ÉTUDE DU GUIDAGE EN ROTATION DE L'ARBRE DE SORTIE

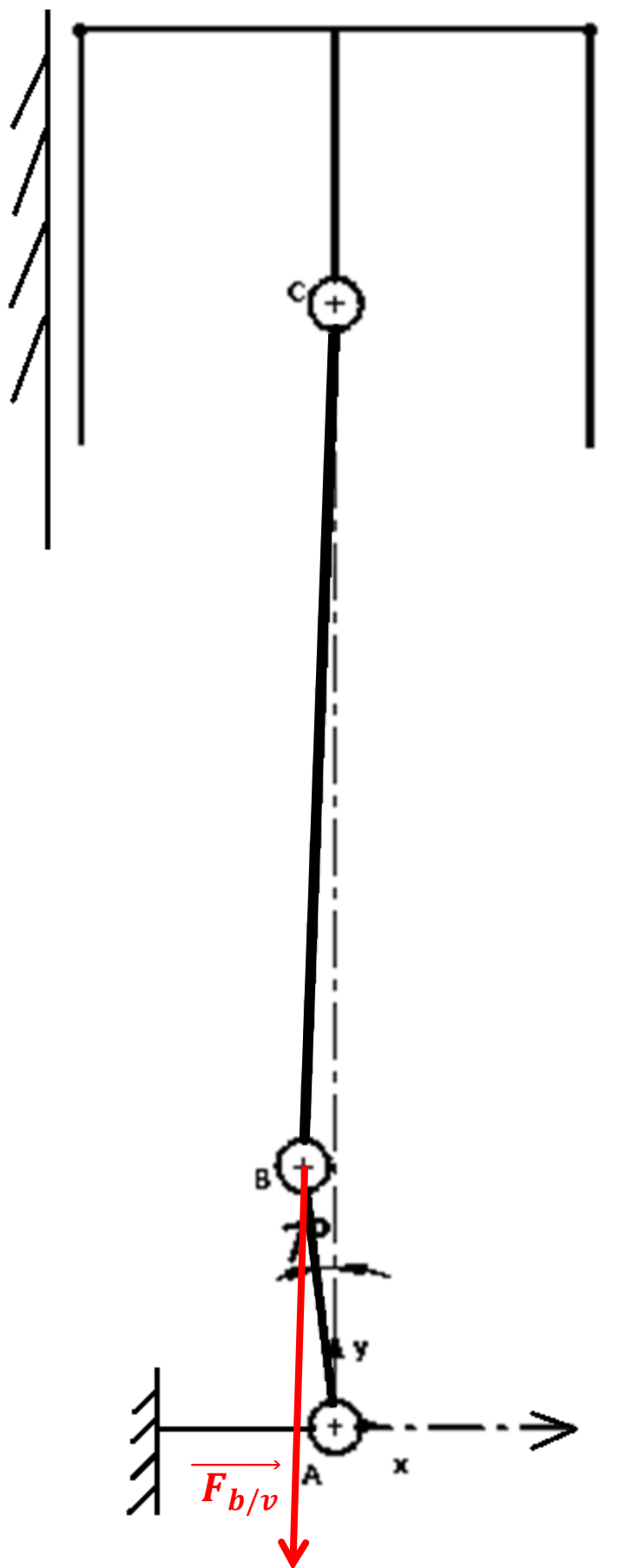
Cf DR4 et DR5

DOCUMENT REPONSE DR1 corrigé

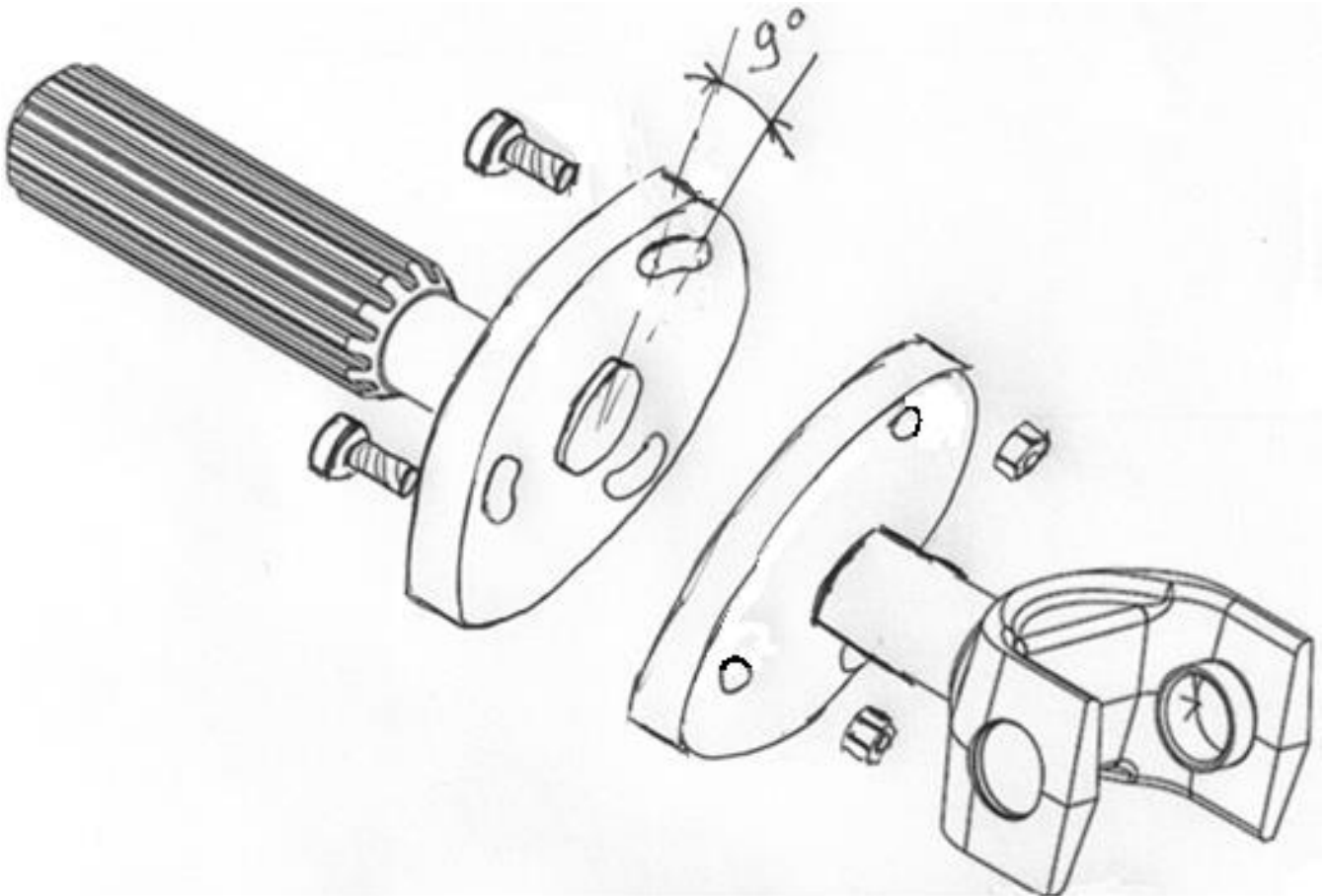


DOCUMENT REPONSE DR2 corrigé

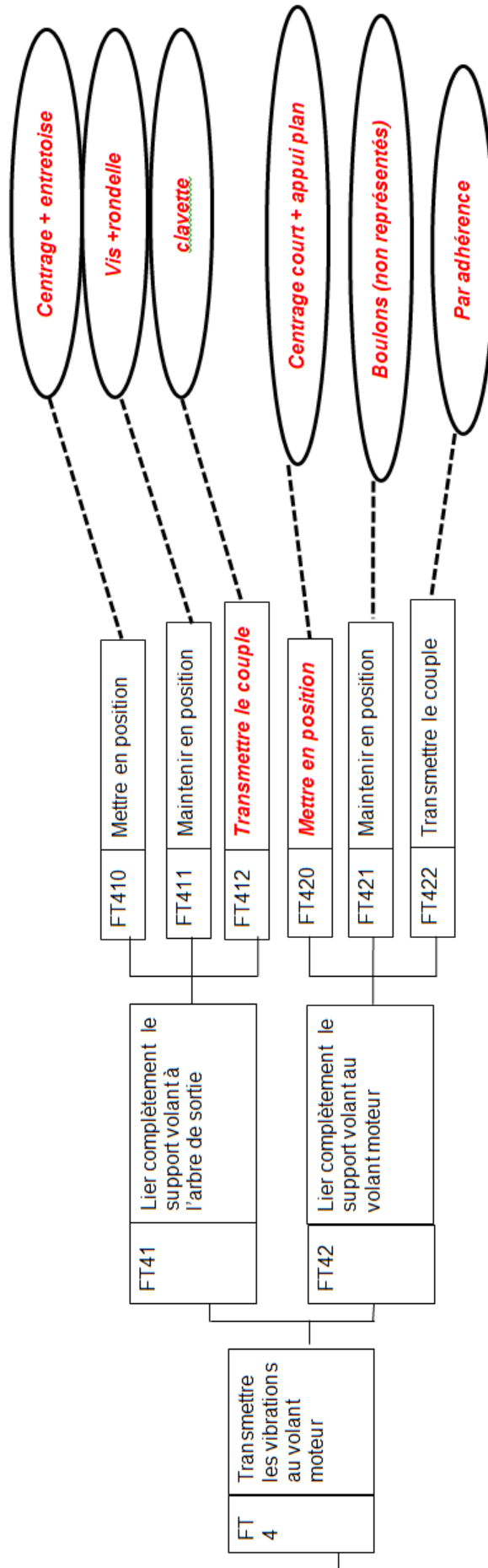
Echelle 1 : 1



DOCUMENT REPONSE DR3 corrigé



DOCUMENT REPONSE DR4 corrigé



DOCUMENT REPONSE DR5 corrigé

A-A

