

# **SESSION DE 2009**

---

Concours externe de  
recrutement de professeurs agrégés

---

## **Sections :**

- **Génie mécanique**
- **Mécanique**

**Analyse et conception de systèmes**

**Proposition de correction**

# 1-VERIFICATION DU COMPORTEMENT DU MECANISME

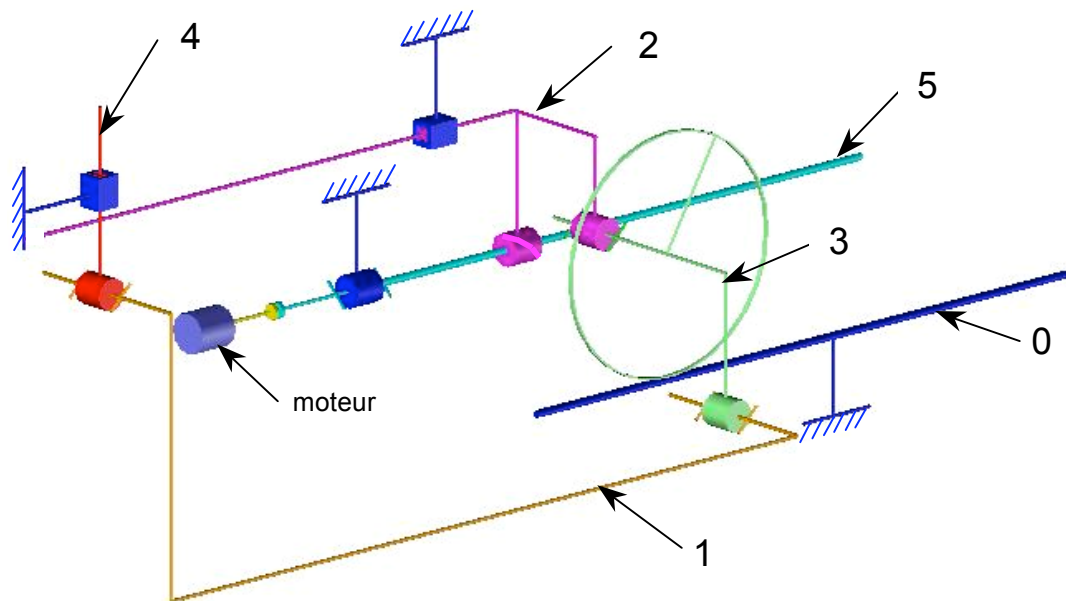
## 1-1 ANALYSE PRELIMINAIRE

### Question 1

- bâti 0 : 1, 28, 27
- bras principal 1 : 101, 102, 103
- pivot transmission de mvt 2 : 10, 11, 24, 22
- roue d'entraînement 3 : 7, 3, 4,
- pivot supérieur 4 : 29, 23
- vis à billes 5 : 25, 26
- galet 6 : 30

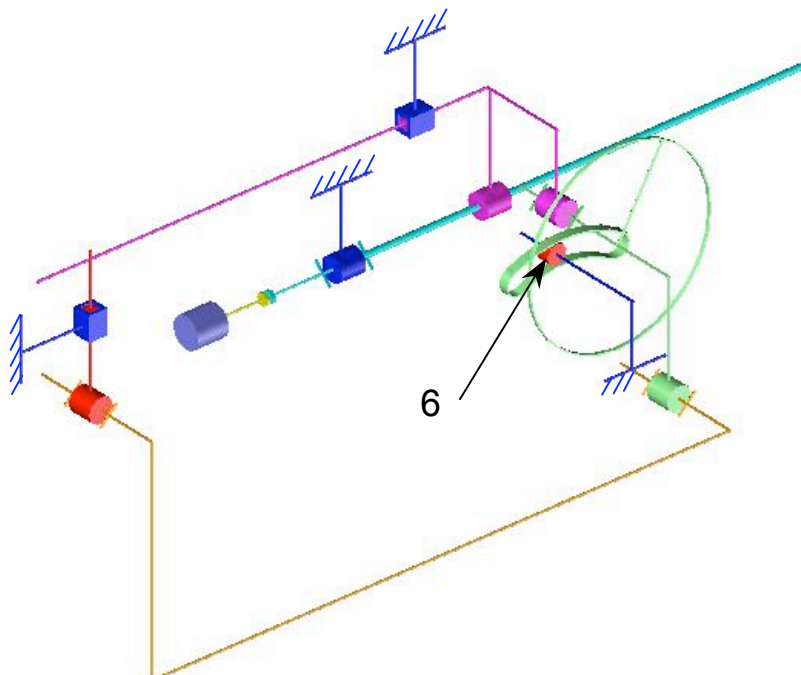
### Question 2 :

Schéma cinématique phases 1 et 2 (entraînement par pignon-crémaillère)



### Question 3 :

Schéma cinématique phase 3 (entraînement par galet-came)



## 1-2 ANALYSE CINÉMATIQUE DE L'ENSEMBLE

### Question 4

Durée d'un cycle :  $T = 3600/5000 = 0,72s$

Pour le chargement de la bouteille  $t = 0,36s$  ( $180^\circ$  de came virtuelle).

Instants :

$t_1$  pour  $15^\circ$

$t_1+t_2$  pour  $165^\circ$

$t_3$  pour  $180^\circ$

$$t_3 = 2t_1+t_2 = 0,36$$

$$t_2 = t_1 \cdot 150/15$$

$$t_1 = 0,03s \quad \text{et} \quad t_2 = 0,3s$$

- Vitesse de translation maxi du chariot sur le secteur de  $150^\circ$  :

$N_{\text{maxi moteur}} = 3000 \text{ tr/min}$  pas de la vis à billes  $p = 25\text{mm}$

$$V_{\text{max}} = N_{\text{maxi moteur}} \cdot p / 60 = 3000 \cdot 25 / 60 = 1250 \text{ mm/s} = 1,25 \text{ m/s}$$

- Accélération entre  $0$  et  $15^\circ$

$$V_{\text{maxi}} = a \cdot t_1 \quad a = 1,25 / 0,03 = 41,7 \text{ m/s}^2$$

### Question 5 (voir DR2 fig 1)

Mouvements:

- mvt 1/0 : mvt plan dans  $(x,y)$
- mvt 2/0 :  $T_x$
- mvt 4/0 :  $T_y$
- mvt 3/2 :  $R_z$  centre B
- mvt 3/0 : mvt plan
- mvt 3/1 :  $R_z$  centre C
- mvt 4/1 :  $R_z$  centre A

$$\overrightarrow{VA,4/0} = \overrightarrow{VA,1/0} \quad A_y$$

$$\overrightarrow{VB,2/0} = \overrightarrow{VB,3/0} \quad B_x$$

$$\overrightarrow{VC,3/0} = \overrightarrow{VC,1/0}$$

$$I_{3/0} \text{ contact roue/crémaillère}$$

$$\text{Dir } \overrightarrow{VC,3/0} \text{ normal à } CI_{3/0}$$

$I_{1/0}$  est sur la normale à  $\overrightarrow{VA,1/0}$  et à  $\overrightarrow{VC,1/0}$

Les directions de  $\overrightarrow{VM,1/0}$  et de  $\overrightarrow{VK,1/0}$  sont très proches de  $M_y$  et  $K_y$ .

### Question 6 (voir DR2 fig 2)

$$\overrightarrow{VB,2/0} = \overrightarrow{VB,3/0} = 1,25 \vec{x}$$

- Equiprojectivité aux points B et C dans le mvt 3/0

- Equiprojectivité aux points A et C dans le mvt 1/0

- Double équiprojectivité aux points K et C et aux points K et A dans le mvt 1/0

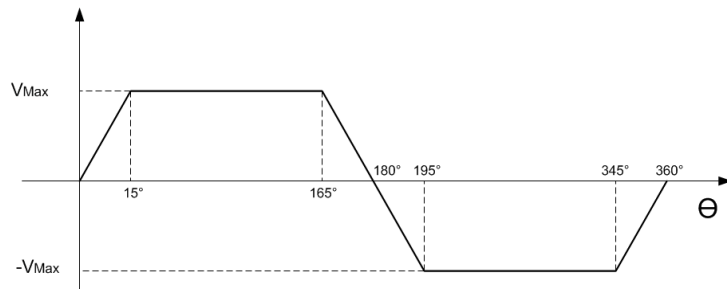
- Double équiprojectivité aux points M et C et aux points M et A dans le mvt 1/0

$$\|\overrightarrow{VA,1/0}\| = 0,35 \text{ m/s} \quad \|\overrightarrow{VC,1/0}\| = 0,29 \text{ m/s} \quad \|\overrightarrow{VK,1/0}\| = 0,29 \text{ m/s} \quad \|\overrightarrow{VM,1/0}\| = 0,29 \text{ m/s}$$

### Question 7

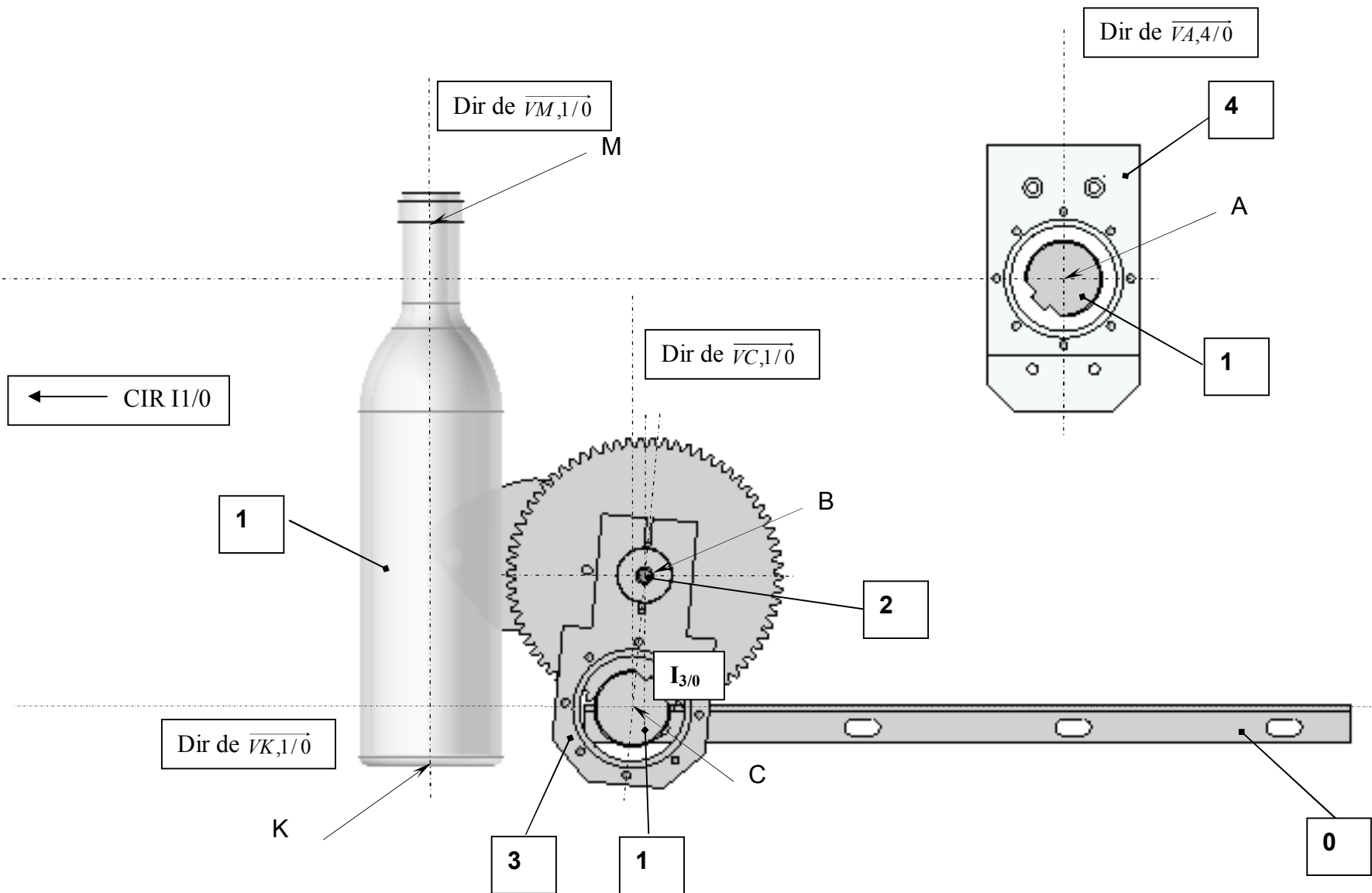
Trajectoire du point M : verticale ascendante qui assure le décollement de la bouteille du tapis roulant

Trajectoire du point K : verticale ascendante et vers  $\vec{x}$  qui assure le décollement de la bouteille du tapis ainsi que son dégagement par rapport à la bouteille suivante.

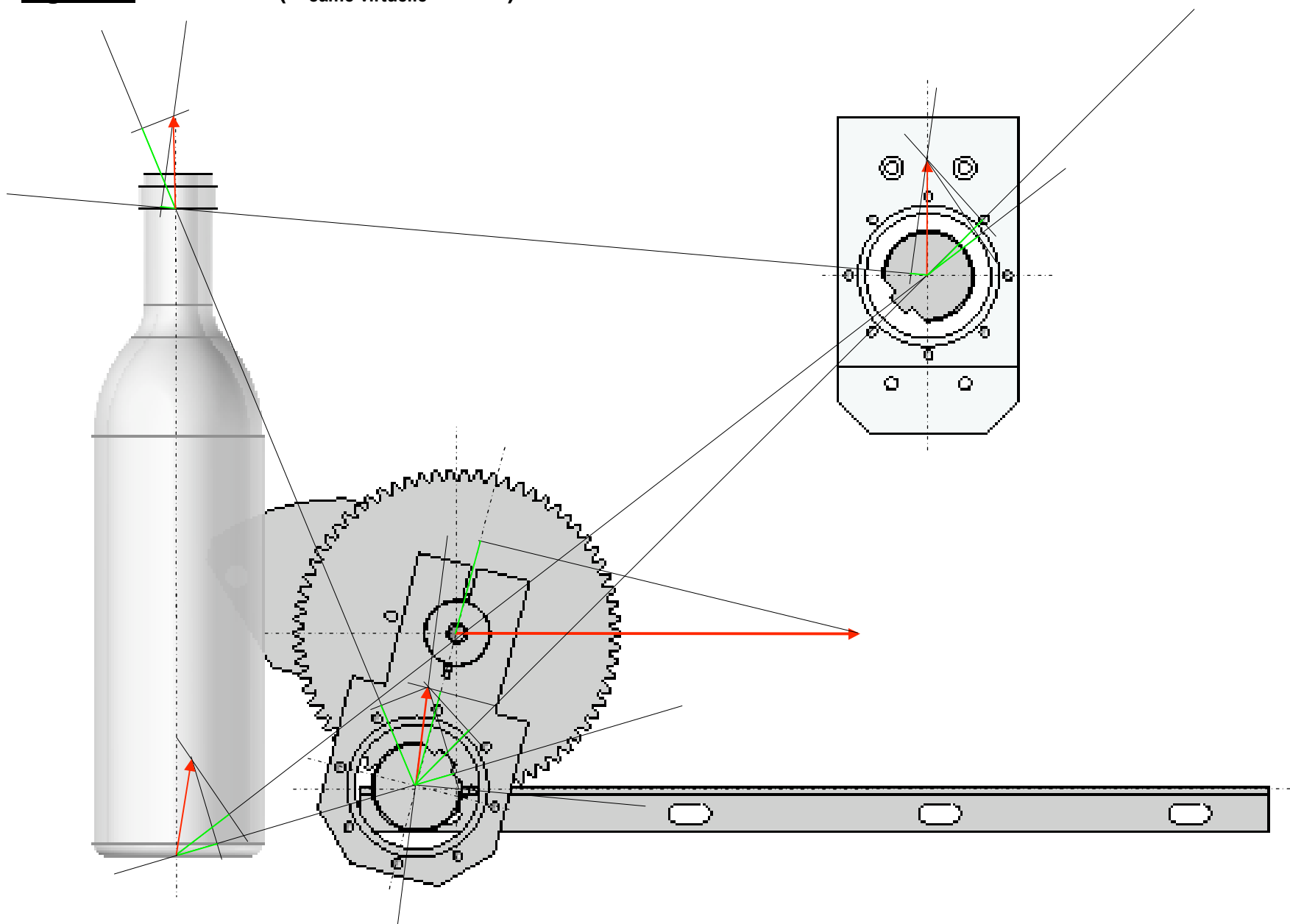


**CINEMATIQUE – PHASE 1**  
**PRISE DE LA BOUTEILLE SUR LE TAPIS ROULANT**

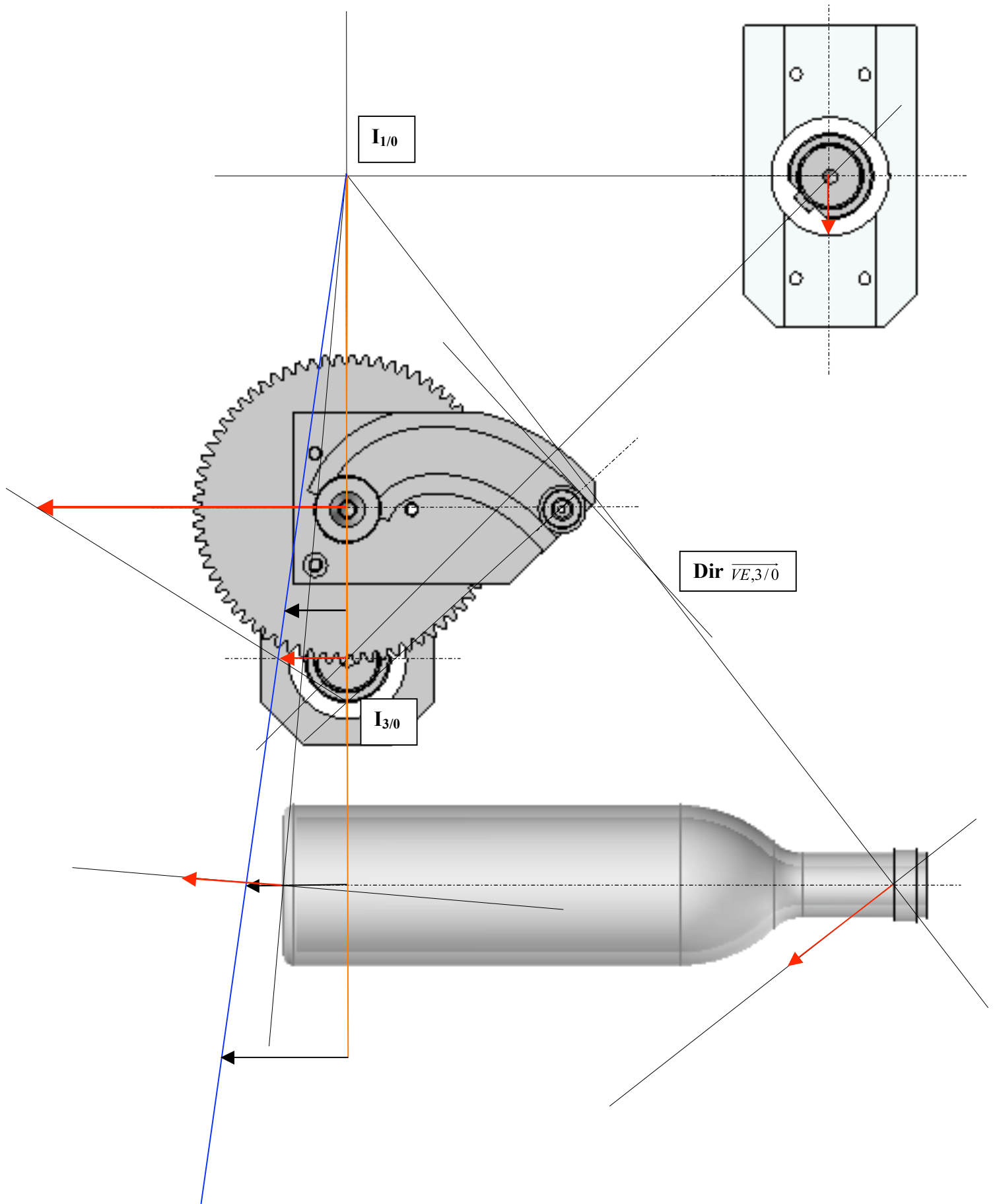
**Figure 1 : PHASE 1 (  $\theta_{\text{came virtuelle}} = 3^\circ$  )**



**Figure 2 : PHASE 1 (  $\theta_{\text{came virtuelle}} = 15^\circ$  )**



**Question 8** (voir DR3 fig 4)



### Mouvements:

- mvt 1/0 : mvt plan dans (x,y)
- mvt 2/0 : Tx
- mvt 4/0 : Ty
- mvt 3/2 : Rz centre B
- mvt 3/0 : mvt plan
- mvt 3/1 : Rz centre C
- mvt 3/6 : roulement sans glissement en E
- mvt 6/0 : Rz centre O

$$\vec{VA}_{4/0} = \vec{VA}_{1/0} \quad A_y$$

$$\vec{VB}_{2/0} = \vec{VB}_{3/0} = 0,5 \cdot 10^{-3} \vec{x}$$

$$\vec{VE}_{6/0} = \vec{VE}_{6/3} + \vec{VE}_{3/0}$$

$$\text{Avec } \vec{VE}_{6/3} = \vec{0} \text{ (rlt ss glst)}$$

$$I_{3/0} \text{ est sur la normale à } \vec{VB}_{3/0} \text{ et à } \vec{VE}_{3/0}$$

$$\text{Dir } \vec{VC}_{3/0} \text{ normal à } CI_{3/0}$$

$$\vec{VC}_{3/0} = \vec{VC}_{1/0}$$

$$I_{1/0} \text{ est sur la normale à } \vec{VA}_{1/0} \text{ et à } \vec{VC}_{1/0}$$

$$\text{Les directions de } \vec{VM}_{1/0} \text{ et de } \vec{VK}_{1/0} \text{ sont normales à de M } I_{1/0} \text{ et K } I_{1/0}.$$

$$\|\vec{VA}_{1/0}\| = 0,1 \text{ mm/s} \quad \|\vec{VC}_{1/0}\| = 0,11 \text{ mm/s} \quad \|\vec{VK}_{1/0}\| = 0,17 \text{ mm/s} \quad \|\vec{VM}_{1/0}\| = 0,2 \text{ mm/s}$$

En fin de phase 3, la direction de  $\vec{VK}_{1/0}$ , obtenue par la came, permet de placer la bouteille dans le culot sans mouvement de celui-ci.

## 1-3 RECHERCHE DE L'EFFORT DE PREHENSION PINCE/BOUEILLE

### Question 9

- En première approximation, on considère que chaque pince supporte la masse de la bouteille  $M_b = 1,2 \text{ kg}$
- Chaque pince (haut et bas) applique sur la bouteille 4 efforts identiques ( 4 contacts)

Efforts de préhension au point haut :  $\text{maxi point haut} = - 20 \text{ m/s}^2$

$$N_h = M_b * (\text{maxi point haut} + g) / 4 * f$$

$$1,2 * (20 + 10) / 4 * 0,4 = 22,5 \text{ N}$$

Efforts de préhension au point bas :  $\text{maxi point bas} = - 40 \text{ m/s}^2$

$$N_h = M_b * (\text{maxi point bas} + g) / 4 * f$$

$$1,2 * (40 + 10) / 4 * 0,4 = 37,5 \text{ N}$$

## Partie 2 - Validation du choix du moteur d'axe

### 2-1- Puissance motrice nécessaire :

Q10 - La réponse est articulée autour de la variation de l'énergie cinétique entre les positions 0 et 17 mm. La puissance variant linéairement, le travail peut être exprimé par

$$W = \frac{1}{2} P_{finals} \cdot \Delta t$$

Le système est décomposé en cinq sous ensembles :

- le chariot mobile,
- le vilebrequin de transmission de mouvement
- le bras de préhension
- le chariot vertical.
- la vis à billes

Calcul des énergies de chaque sous ensemble :

- Chariot mobile :  $E_{C(CM)} = \frac{1}{2} M_{CM} \cdot V_1^2$
- Vilebrequin :  $E_{C(vil)} = \frac{1}{2} M_{vil} \cdot V_1^2 + \frac{1}{2} J \cdot \left(\frac{V_1}{R}\right)^2$
- bras :

$$E_{bras} = \frac{1}{2} M_{bras} V_G^2 + \frac{1}{2} J \cdot \left(\frac{V_G}{R_{cir}}\right)^2 + M_{bras} \cdot y_G \cdot g$$

où  $R_{cir}$  représente la distance entre le CIR du bras et  $G$  en position  $z = 17$  mm (déterminé sur le document DR4 par une construction graphique simple).

- chariot vertical :  $E_{CV} = \frac{1}{2} M_{CV} \cdot V_{17}^2 + M_{CV} \cdot g \cdot (Z_{1chariot} - Z_{0chariot})$
- vis à billes :  $E_{C(vis)} = \frac{1}{2} J_{vis} \cdot \omega^2$  avec  $J_{vis} = \rho \cdot l \cdot \pi \cdot \frac{D^4}{32}$  et  $\omega = 2\pi \cdot \frac{V_{17}}{P_{vis}}$  où  $P_{vis}$  est le pas de la vis à billes.

$$P_{finals} = \frac{2 \sum E}{\Delta t}$$

Application numérique :

$$E_{C(CM)} = \frac{1}{2} \times 5,1 \times 1,25^2 \approx 3,98 J$$

$$E_{C(vil)} = \frac{1}{2} \times 6,1 \times 1,25^2 + \frac{1}{2} \times 15041 \times 10^{-6} \times \left(\frac{1250}{70}\right)^2 \approx 7,16 J$$

$$E_{bras} = \frac{1}{2} \times 17,7 \times 0,308^2 + \frac{1}{2} \times 223494 \times 10^{-6} \times \left(\frac{308}{103}\right)^2 + 17,7 \times 9,81 \times 2,1 \times 10^{-3} \approx 2,21 J$$

$$E_{CV} = \frac{1}{2} \times 1,1 \times 0,341^2 + 1,1 \times 9,81 \times 7,9 \times 10^{-3} \approx 0,15 J$$

$$E_{C(vis)} = \frac{1}{2} \times \left(7,84 \times 672 \times \pi \times \frac{25^4}{32} \times 10^{-3 \times 4}\right) \left(2\pi \times \frac{1250}{25}\right)^2 \approx 9,95 J$$

$$E_{Totals} = 23,45 J$$

$$P_{finals} = \frac{2 \times 23,05}{0,0275} \approx 1706 W$$

## 2.2 RAPPORT DES INERTIES

**Q11-** moment d'inertie équivalent

$$\frac{1}{2} \cdot M \cdot V^2 = \frac{1}{2} J_{eq} \cdot \omega^2$$

$$J_{eq} = 2 \frac{M \cdot V^2}{\omega^2} \text{ avec } \omega = 2\pi \cdot \frac{V}{P_{vis}} \text{ où } P_{vis} \text{ est le pas de la vis à billes.}$$

Application numérique :

$$J_{eq} = 2 \frac{10 \times (1250 \times 10^{-3})^2}{\left(2\pi \times \frac{1250}{25}\right)^2} = 1,58 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

**Q12-**Rapport d'inertie

$$r = \frac{1,58 \cdot 10^{-4}}{1,28 \cdot 10^{-4}} = 1,23$$

**Q13-** Conclusion : Le rapport se rapprochant de la valeur idéale de 1, le critère de charge associé au bon fonctionnement numérique de l'axe est respecté.

## 3 CONCEPTION DU SYSTEME DE PREHENSION

### 3.1 VERIFICATION MECANIQUE DU COMPOSANT AXE DE VILEBREQUIN

**Q14-** Situation de calcul :

D'après le document technique les amplitudes des composantes de sollicitation sur le vilebrequin les plus importantes sont associées à la position 0,03 s.

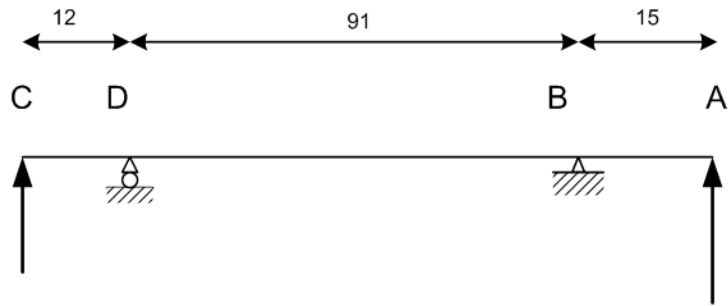
|       | A    | B    | C   |
|-------|------|------|-----|
| X     | -980 | 550  |     |
| Y     | 200  | 1000 | 50  |
| Z     |      |      | 200 |
| Norme | 1000 | 1141 | 206 |

**Q15** - Les informations de simulations disponibles ne permettent pas d'avoir un état complet de chargement sur le composant à vérifier.

Les hypothèses de calcul vont donc prendre en compte cet aspect :

- la pièce est soumise à de la flexion torsion. Le moment de torsion sera calculé à partir des composantes de contact en C.
- Les efforts tranchants seront considérés comme placés dans un plan unique. Nous ramènerons l'étude sur une poutre sur deux appuis en accord avec le schéma ci-dessous.



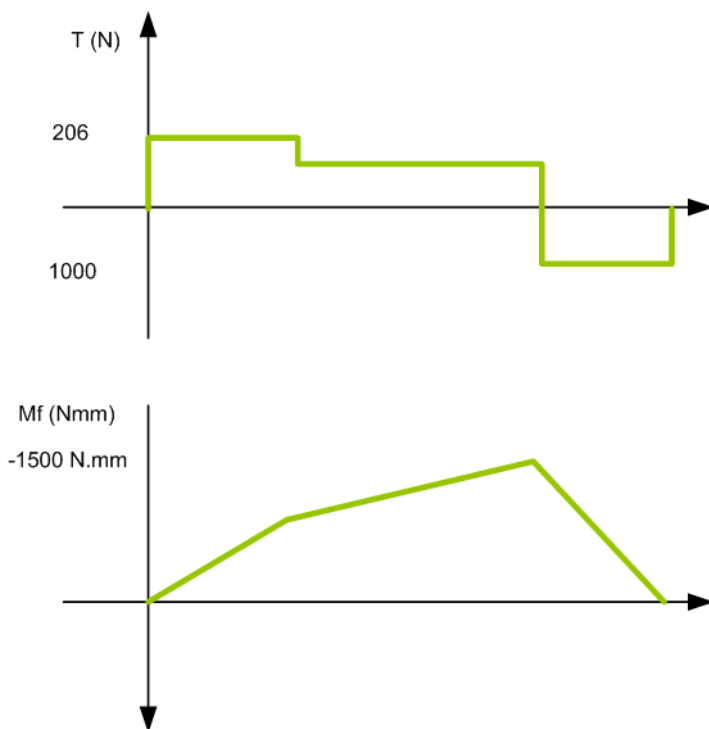


- Le diamètre de l'arbre sera considéré constant et égal à 30 mm.

Le calcul des réactions sur les appuis donne :

$R_D \approx -68 \text{ N}$  et  $R_B \approx -1137 \text{ N}$  (résultat très proche des résultats de simulation en B)

Allure des diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissants :



Moment de flexion maximum : 15000 N.mm

Moment de torsion maximum :  $(200 \times 70) = 14000 \text{ N.mm}$

Contraintes :

de torsion :  $\tau_{tors} = \frac{M_{tors}}{I_0} \cdot R = 5,28 \text{ N.mm}^{-2}$

due à l'effort tranchant dans la section de moment fléchissant maximum :

$\tau_{tranchant} = \frac{T}{S} = 1,41 \text{ N.mm}^{-2}$

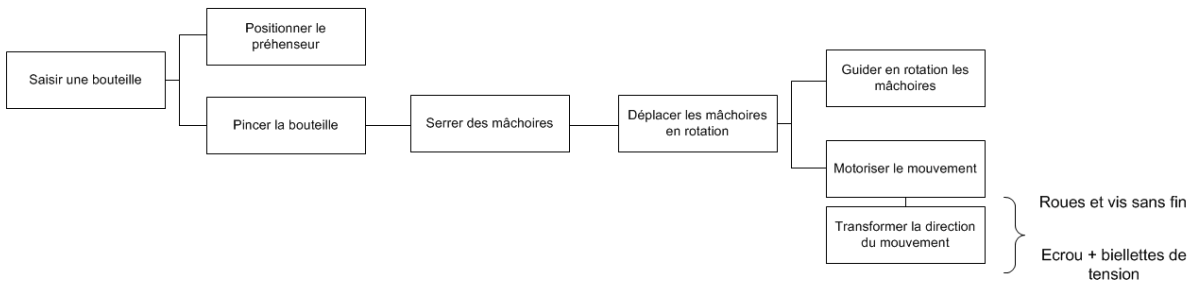
de flexion :  $\sigma = \frac{M_f}{I_{Gx}} R = 5,65 \text{ N.mm}^{-2}$

soit une contrainte équivalente en utilisant le critère de Von Mises :

$$\sigma_e = \sqrt{3 \tau^2 + \sigma^2} = 12,9 \text{ N.mm}^{-2}$$

### 3.2 CONCEPTION DU SYSTEME DE PREHENSION

#### Q16 - Fast de recherche de solutions par décomposition de la fonction de service



#### Q17- Schémas cinématiques

|  |   |
|--|---|
|  | <p>Solution roues et vis sans fin.</p> <p>Avantage<br/>Effort de serrage sur la bouteille indépendant de l'angle de fermeture (contrôle direct par le moteur).</p> <p>Inconvénient<br/>Coût solution. Définition de la position angulaire d'origine des mâchoires.</p>  |
|  | <p>Avantage(s)<br/>Solution d'apparence simple ne mettant en œuvre que des liaisons pivot élémentaires.</p> <p>Inconvénients :<br/>Nécessité d'arrêter en rotation l'écrou de transmission de mouvement pour éviter que les efforts de frottement n'engendrent un moment qui pourrait être encaissé directement par les pivots. L'effort de serrage calibré par le moteur dépend de la position angulaire des mâchoires.</p> <p>Encombrement.</p> |

Q18- Le squelette comporte les enveloppes surfaciques des roues et vis sans fin, le plan support du moteur, la zone d'encombrement du palier intermédiaire de guidage en

rotation de la vis sans fin, les axes d'articulation des mâchoires. Voir le document réponse complété.

**Q19-** Exemple de solution détaillée. Voir ci-après une solution.

#### 4 SPECIFICATION DU MECANISME

##### 4.1 CONDITION FONCTIONNELLE ASSOCIEE AU BRAS DE PREHENSION

**Q20-** L'étude porte sur les défauts angulaires entre les deux axes de pivot. Nous nous intéresserons donc exclusivement aux résultantes des torseurs de petits déplacements.

pièce 103 -

|    |      |   |
|----|------|---|
| // | 0,02 | A |
|----|------|---|

de la référence B, dans la base définie sur DT7 :

$$\delta\theta_{\vec{y}} = \frac{0,02}{41} \vec{y}$$

|    |      |   |
|----|------|---|
| // | 0,02 | A |
|----|------|---|

de la référence C,

$$\delta\theta_{\vec{x}} = \frac{0,02}{41} \vec{x}$$

assemblage, ajustement 10H7 g6 :

$$\delta\theta_{\vec{x}} = \frac{0,015 + 0,014}{41} \vec{x} = \frac{0,029}{41} \vec{x}$$

pièce 101 -

|    |      |   |
|----|------|---|
| // | 0,02 | A |
|----|------|---|

$$\delta\theta_{\vec{y}} = \frac{0,02}{41} \vec{y}$$

|    |      |   |
|----|------|---|
| // | 0,02 | B |
|----|------|---|

$$\delta\theta_{\vec{x}} = \frac{0,02}{41} \vec{x}$$

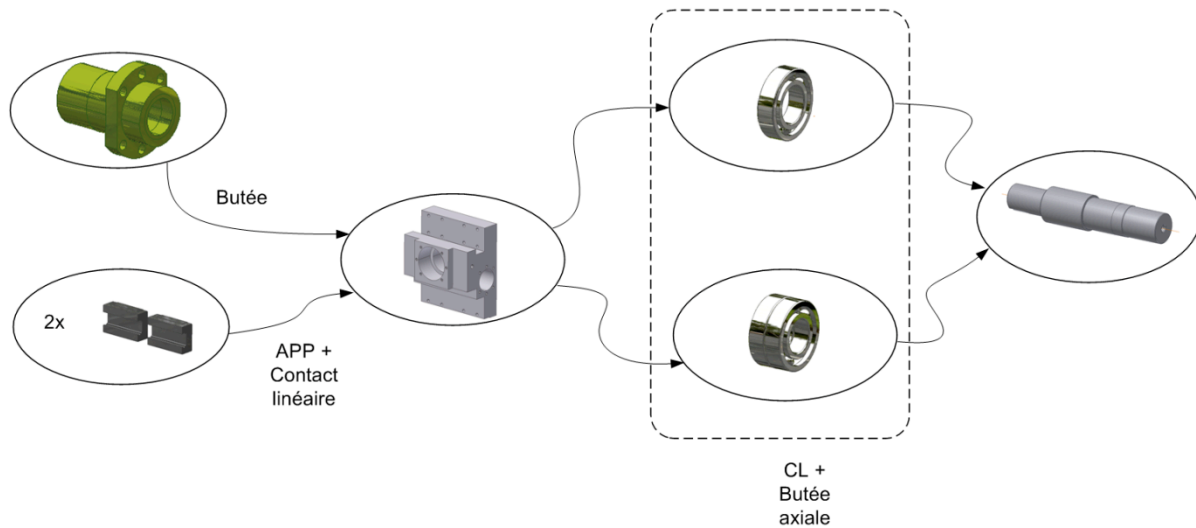
Défaut maximal au pire des cas :

$$\vec{\Omega} = 2 \times \frac{0,02}{41} \vec{y} + 2 \times \frac{0,02}{41} \vec{x} + 2 \times \frac{0,029}{41} \vec{x} + \frac{0,02}{41} \vec{y} + \frac{0,02}{41} \vec{x} = \frac{0,118}{41} \vec{x} + \frac{0,06}{41} \vec{y}$$

d'où

$$\delta\alpha = \frac{(0,06^2 + 0,118^2)^{\frac{1}{2}}}{41} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 0,19^\circ$$

**Q21 - Graphe de contact - spécification du corps de**



ch  
moteur.

chariot

**Q22- Surfaces fonctionnelles interface entre les composants voisins et le corps de chariot moteur**

Mise en position vilebrequin :

GC2 (portées de roulements),

SC2 (butée axiale),

S3 (garantir la précontrainte des roulements) - peu contrainte,

S2 (garantir une largeur de portée de roulement) - très peu contrainte.

Mise en position du chariot :

GC1 (surfaces support des patins de guidage),

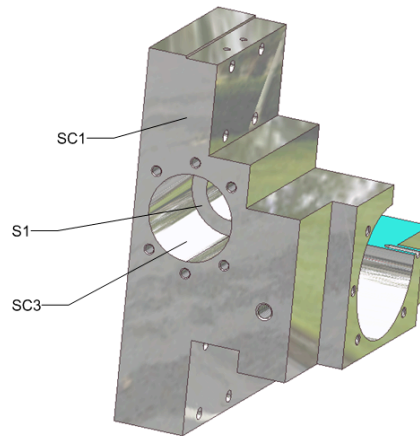
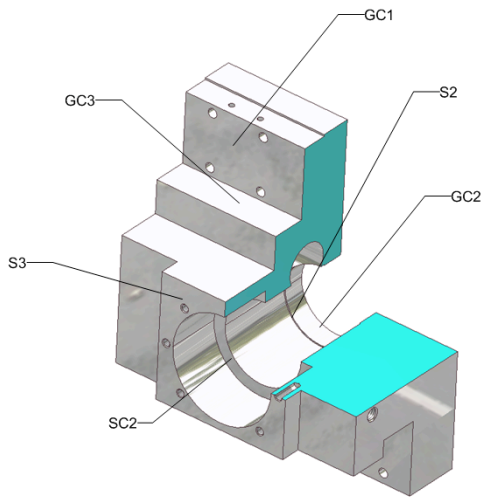
GC3 (surfaces pour alignement des patins),

Mise en position de la vis à billes :

SC1 (surface d'appui de l'écrou à billes),

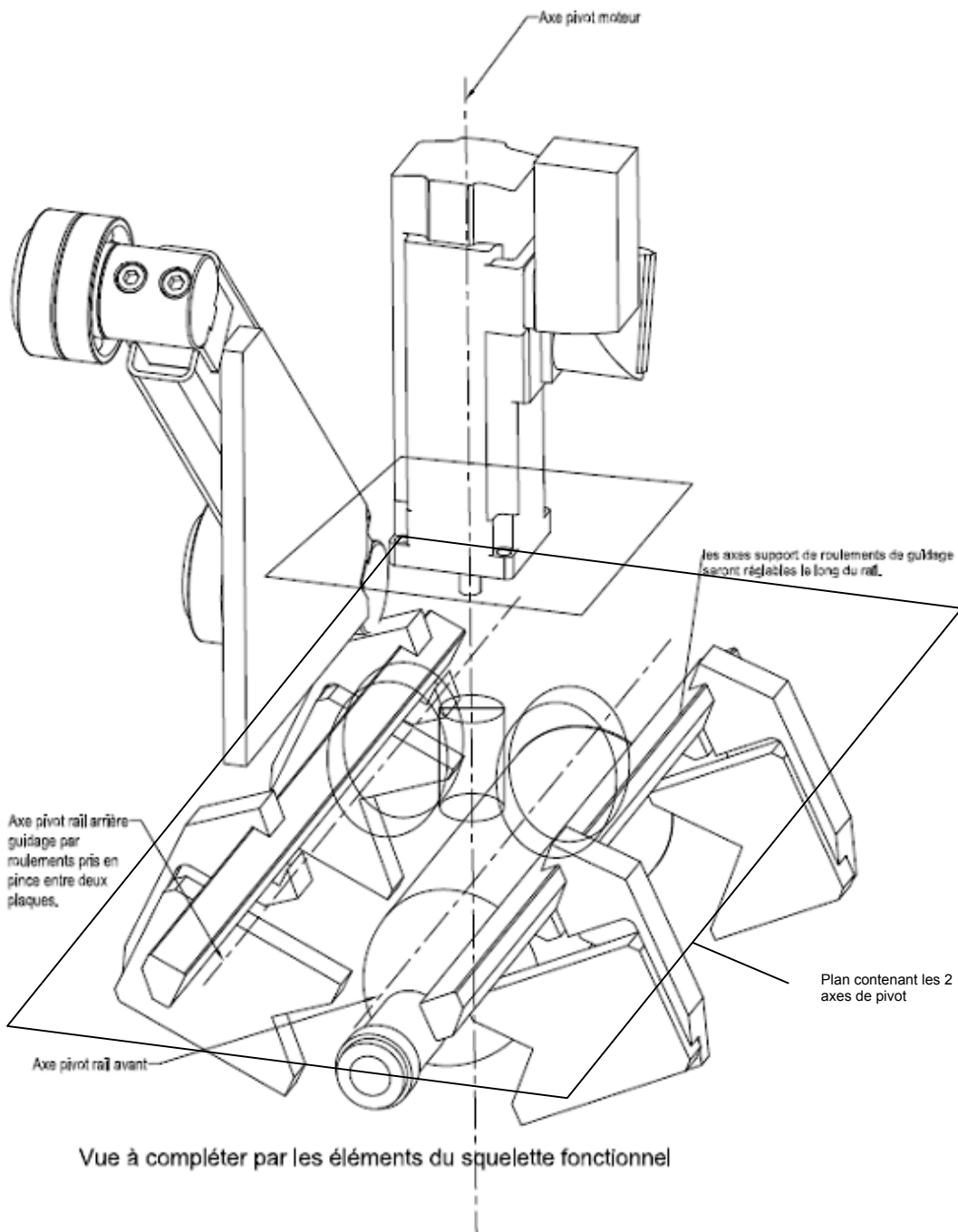
SC3 (centrage de l'écrou à billes),

S1 (jeu logement de l'écrou à billes) - très peu contrainte.

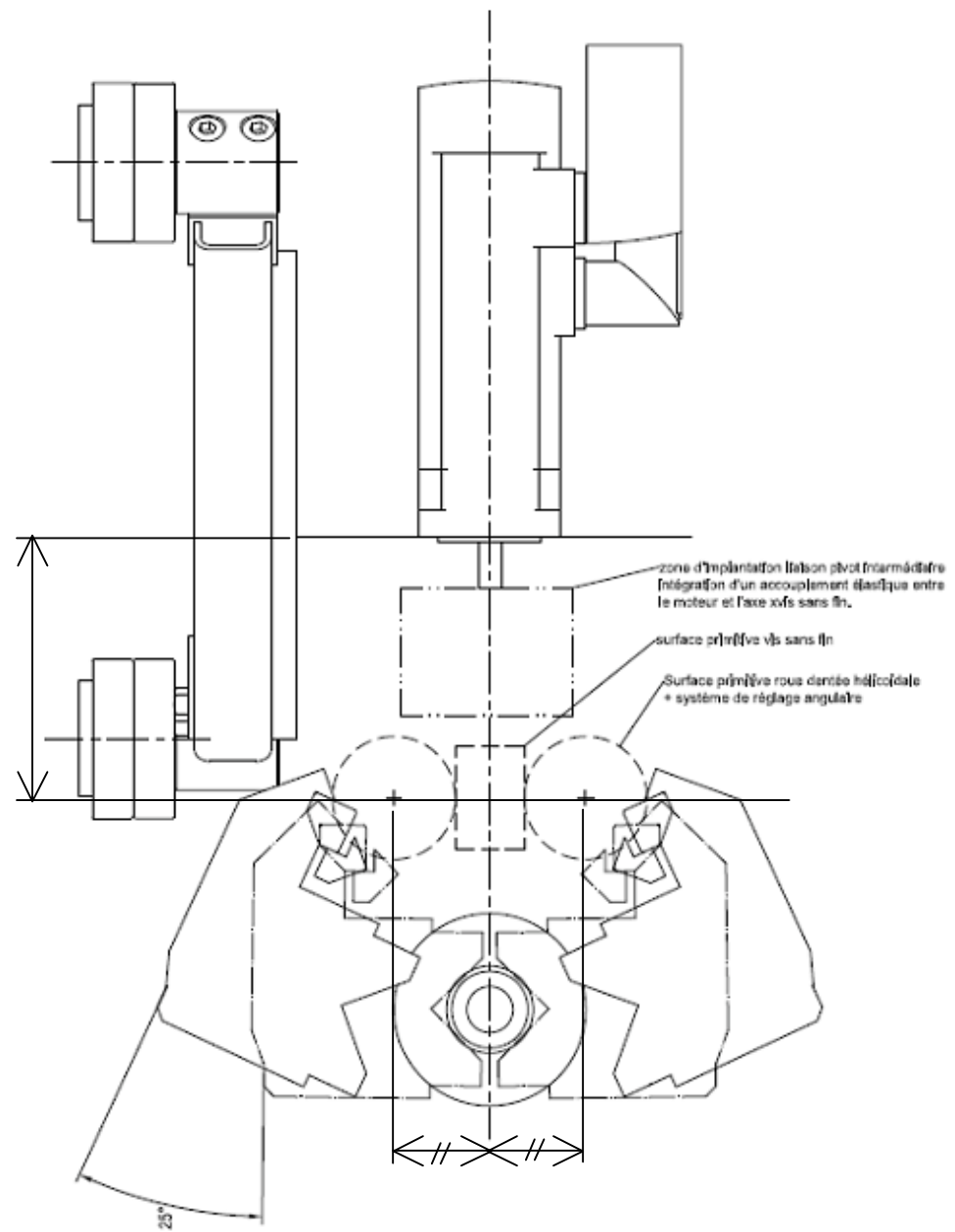


Analyse sur document réponse corrigé.

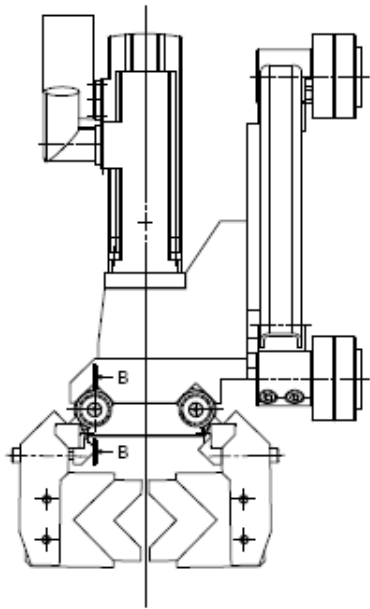
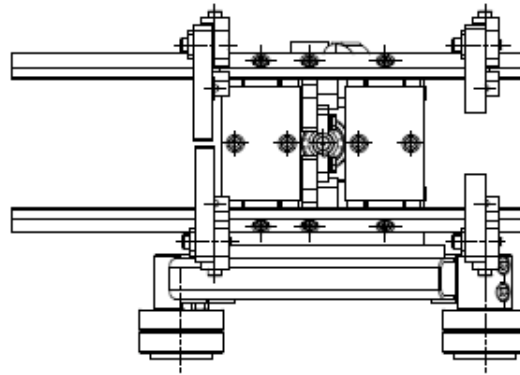
**Q23-** Voir ci - après le document réponse complété



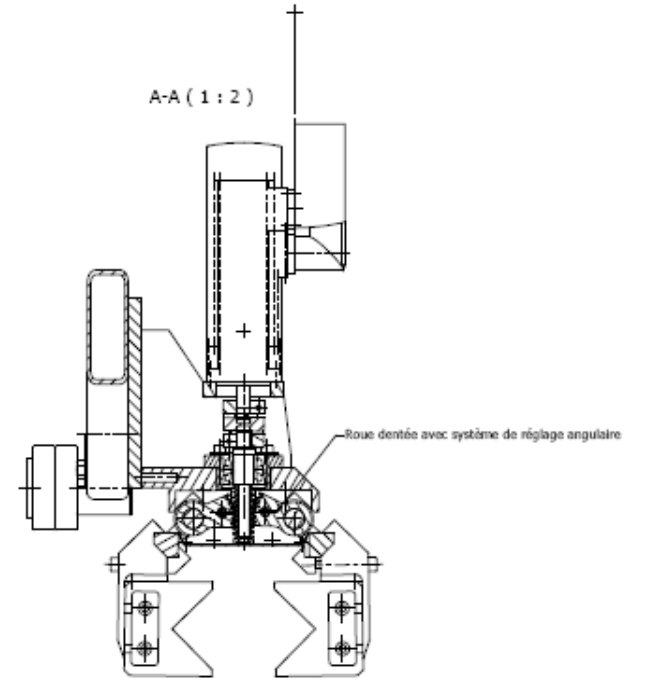
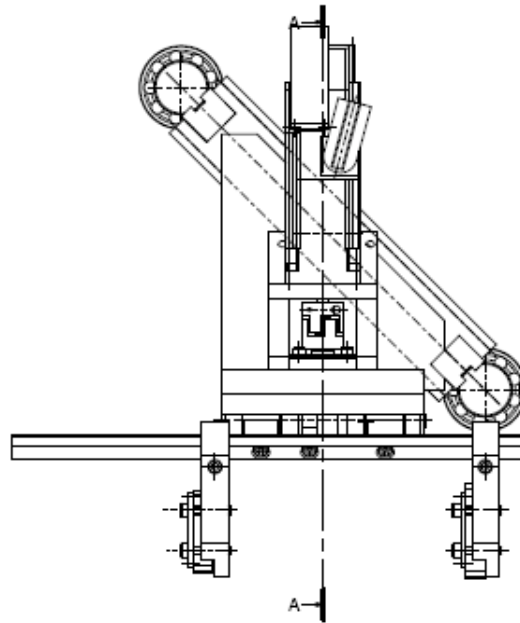
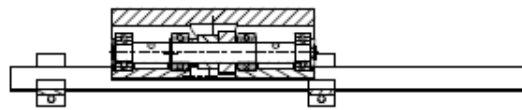
A (1:2)



PROPOSITION DE CORRECTION



B-B (1 : 2)



Roue dentée avec système de réglage angulaire

| Analyse des contraintes et antériorités fonctionnelles du chariot moteur |   |                                    | Surfaces ou groupes de surfaces qui participent au positionnement de l'élément étudié pour qu'il réalise au mieux la fonction pour laquelle il est destiné (dans l'ordre d'importance des degrés de liberté supprimés). |                          |            |                 |           | Caractéristiques |  |                                  |
|--|---|------------------------------------|---|--------------------------|------------|-----------------|-----------|------------------|--|----------------------------------|
| Surfaces ou groupes de surfaces fonctionnels                             |   | Fonction Technique Assurée         | Primaire  |                          | Secondaire |                 | Tertiaire |                  | Intrinsèques (dimensions, positions relatives entre éléments du groupe...) | De Contact (Fixe, frottement...) |
| ID   | Désignation                             |                                    | ID  | Contrainte               | ID         | Contrainte      | ID        | Contrainte       |  |                                  |
| GC1  | Appui patin                             | MIP Chariot moteur                 |   |                          |            |                 |           |                  | Coplanarité relative entre les surfaces                                    | AF moyen                         |
| GC3  | Alignement des patins                   | MIP Chariot moteur                 | GC1   | Perpendiculaire          |            |                 |           |                  | // et distance entre surfaces  | AF moyen                         |
| SC1  | Butée                                   | MIP Chariot moteur                 | GC1   | Perpendiculaire          | GC3        | Perpendiculaire |           |                  |  | AF moyen                         |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
| GC2  | Portées de centrage                     | MIP Vilebrequin                    | GC1   | Perpendiculaire          | GC3        | Distance        | SC1       | Distance         | Diamètre des portées et coaxialité relative entre les surfaces             | AF difficile                     |
| SC2  | Butée axiale                            | MIP Vilebrequin                    | GC2   | Perpendiculaire          | GC1        | Distance        |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
| S3   | Surface libre face chapeau              | Garantir pré-serrage roulements    | GC2   | Perpendiculaire          | SC2        | distance        |           |                  |  |                                  |
| S2   | Surface libre face rmt arrière          | " "                                | GC2   | Perpendiculaire          | SC2        | distance        |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
| SC3  | Logement écrou à billes                 | Garantir passage vis               | SC1   | Perpendiculaire          | GC1        | Distance        | GC3       | Distance         | Diamètre   | AF difficile                     |
| S1   | Surface fond de logement écrou à billes | Garantir assemblage écrou à billes | SC1   | Parallélisme et distance |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |
|  |   |                                    |   |                          |            |                 |           |                  |  |                                  |

Définition : un groupe de surfaces est constitué de plusieurs surfaces qui assurent la même fonction technique.

Feuille d'analyse préparatoire à la spécification de composants

Fonction technique assurée : MIP, MAP, passage d'autres pièces, rigidité de la pièce etc.

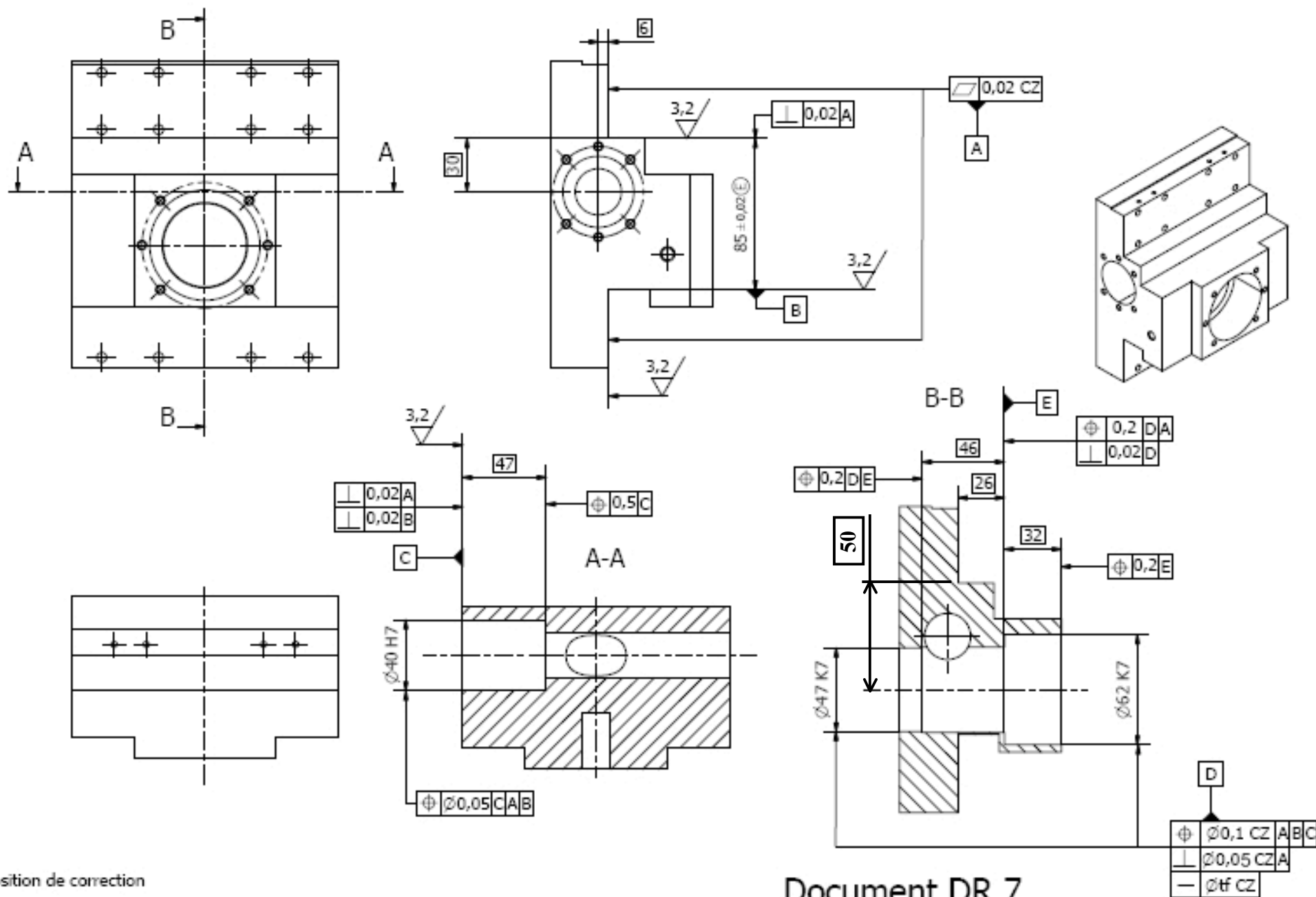
S = surface libre  
SC = surface de contact  
SB = surface brute

G = groupe des surfaces libres  
GC = groupe des surfaces de contact  
GB = groupe des surfaces brutes

Caractéristiques intrinsèques : spécifications de forme, Diamètre, distance interne dans le groupe

Caractéristiques de contact : Fonction de contact, rugosité, traitements de surface





Proposition de correction

Document DR 7

## Compte-rendu épreuve ACS 2009

Le sujet s'appuyait sur une machine à sérigraphier haute cadence de la société « Machines DUBUIT ». L'étude portait sur le bras de chargement associé au premier poste du carrousel de la machine. Le but de toute l'étude est l'adaptation de la conception du poste de chargement pour lui conférer la capacité d'alimenter les machines de sérigraphie avec une nouvelle bouteille de masse et dimensions spécifiques. Il comportait quatre parties indépendantes.

**Questions 1 & 2 :** l'étude des groupes cinématiquement liés et la réalisation du schéma cinématique en perspective ont été en général bien traitées. Certains candidats n'ont pas hésité à utiliser la couleur donnant une meilleure lisibilité de l'ensemble.

**Question 3 :** Le schéma cinématique de la phase 3 du mouvement a été un peu moins bien traité ; certains candidats n'ont pas remarqué que le contact roue/crémaillère n'existait plus à ce moment et que la came guidait alors le mouvement.

**Question 4 :** Peu de candidats ont trouvé la réponse exacte. Cette question de cinématique du point n'aurait pas dû poser tant de problèmes. Il est surprenant qu'à ce niveau d'étude, un candidat ne maîtrise pas les fondamentaux de la cinématique.

**Questions 5 et 6 :** Si de bonnes études ont été menées, beaucoup de candidats ont eu du mal à trouver les valeurs justes. Des problèmes persistent dans la lecture des documents et les tracés géométriques s'en ressentent. Des candidats ne sont pas gênés de tracer des vecteurs vitesses dans des directions perpendiculaires aux trajectoires des points étudiées qui étaient intuitivement simple à comprendre. L'écriture des vecteurs vitesses est aléatoire. Il est rappelé que la vitesse d'un point d'un solide dépend du référentiel par rapport auquel on se place. Certains candidats se lancent également dans des développements compliqués qu'il est parfois difficile de suivre.

**Question 7 :** Beaucoup de réponses correctes ont été données. Les candidats ont bien vu l'intérêt des trajectoires des points.

**Question 8 :** Mêmes remarques qu'aux questions 5 et 6. La fonction précise du profil de la came n'a pas été toujours bien observée.

**Question 9 :** Même si ce développement était simple, beaucoup de candidats n'ont pas su répondre correctement à la question. Un candidat n'est même pas gêné de trouver un effort de préhension de la bouteille de près de 200 000 N.

**Question 10 :** Cette question demandait un développement calculatoire assez important. Un nombre non négligeable de candidats l'a abordé. Peu ont réussi à proposer des valeurs correctes. La plupart des candidats ayant abordé la question ont su poser le théorème de l'énergie-puissance. Les calculs des différents termes ne sont pas toujours couronnés de succès. Des candidats ayant trouvé des valeurs de puissance aberrantes ont su critiquer leurs résultats. Dans ce genre de calculs la rigueur est nécessaire et la décomposition en sous-ensembles comme le suggérait l'énoncé devait guider le candidat dans leur démarche.

**Questions 11, 12 et 13 :** L'ensemble de ces 3 questions devait conduire les candidats à valider ou non le moteur sélectionné. Le calcul du moment d'inertie équivalent rapporté à un axe d'une charge en translation pose encore des problèmes à trop de candidats. Des

calculs longs sont parfois menés pour finalement aboutir à des résultats faux. Là encore, des valeurs absurdes ne gênent pas le candidat qui les trouve. Une critique par le candidat sur sa copie d'un tel résultat montre au moins qu'il perçoit les valeurs réalistes pour le système étudié.

**Questions 14 et 15 :** Beaucoup de candidats ont bien répondu à cette question, mais très peu ont entrepris de décrire une explication pédagogique pour justifier leur choix. Effectivement, il s'agissait de trouver la configuration la plus défavorable entraînant l'état de contrainte en un point singulier. Il s'agissait de faire remarquer que les sollicitations de flexion composées à celle de torsion sont en général les plus influentes sur l'état de contrainte. Etant donné que le moment de torsion est constant tout au long de l'arbre, le moment de flexion est le paramètre prépondérant pour trouver la configuration de valeurs de contraintes maximales. Comme le moment fléchissant dépend de l'effort tranchant, il s'agit pour le candidat de repérer sa valeur maximale.

Ensuite les candidats ont été amenés à calculer la valeur maximale de l'état de contrainte en un point de l'arbre. Le choix du modèle d'étude ne pose pas de problème quant au choix du modèle de poutre. Mais il en pose pour le choix du modèle de liaisons dont les valeurs des inter-efforts n'étaient pas données dans le sujet et encore davantage pour les calculs des sollicitations mécaniques le long de la poutre. Même si les formules de calcul des différentes composantes de contraintes sont connues, les applications numériques n'ont pas pu être faites ou sont très souvent fausses. Les formules des critères de Von Mises ou de Tresca sont souvent évoquées mais rarement exploitées jusqu'à la condition de vérification de résistance.

**Questions 16 et 17 :** À la question sur la réalisation d'un diagramme FAST pour la recherche de solutions constructives à des fonctions composantes d'une fonction de service, tous les candidats se sont exprimés. Les réponses sont très diverses. Pour aider les candidats, le sujet comportait des données qui auraient pu faciliter l'élaboration du FAST (actionneur disponible, partie de solution décrite, forme de pièce).

A propos des solutions constructives à proposer, les candidats ont également bien répondu. Le jury a remarqué avec intérêt que certains candidats ont proposé une solution originale parmi les deux. Les principes techniques de transformation de mouvement étaient variés et souvent valides (système à barres « plan » ou spatial, came circulaire ou cylindrique, train d'engrenages droits ou coniques, système à câbles). Toutefois quelques candidats éprouvent des difficultés très importantes à communiquer leurs idées : les règles élémentaires de représentation ne sont pas acquises (dessin en perspective, codes de représentation des liaisons mécaniques et des composants standard) et le tracé n'est pas maîtrisé (qualité et précision). Cela reste un point à améliorer.

**Questions 18 et 19 :** La question sur le squelette de la maquette numérique n'a pas été bien traitée. Il semble que cette notion, qui s'inscrit dans une démarche de conception détaillée assistée par ordinateur, ne soit pas connue alors que cette étape est particulièrement nécessaire pour réaliser une maquette numérique variationnelle et robuste.

Quant aux solutions constructives détaillées, les candidats ont représenté leur conception sous des codes de représentation différents. Ceux qui l'ont fait avec beaucoup de détails selon les règles de dessin technique ont généralement bien réussi, mais ils ont dû consacrer du temps. En revanche, l'utilisation des croquis comme demandée n'a pas toujours été fructueuse par manque de description des intentions (type de liaison, roulements, composant standard...) et d'information sur les caractéristiques intrinsèques

(longueur utile, diamètre mini...) et les positions relatives (entraxes, encombrement maxi...) des constituants. Pourtant une telle description précédant une CAO est juste suffisante et moins coûteuse en temps.

**Questions 20 :** Les candidats n'ont pas répondu à cette question d'analyse de la cotation fonctionnelle de 3 pièces liées en série. Pourtant l'analyse se réduisait à des études de défauts angulaires et donc aux calculs des écarts angulaires. Comme il s'agissait des résultantes (ou des invariants vectoriels) des torseurs de petit déplacement, le résultat global du défaut était facile à déterminer.

**Questions 21, 22 et 23 :** La notion du graphe des contacts et notamment celle de composant parent-enfant ne sont pas encore totalement maîtrisées. L'absence de réponse est importante et a été remarquée.

Quant au repérage des surfaces fonctionnelles, les candidats ont apporté des réponses à cette question. L'erreur la plus couramment rencontrée est celle du mauvais choix de plan de contact de l'écrou à billes et du palier de roulements, il s'agit là d'un manque de connaissance technologique relative aux composants standard et concernant leur montage. Mais la prise en compte des trous taraudés comme surfaces fonctionnelles est une erreur fondamentale : c'est méconnaître l'influence de la fonction « positionner » par rapport à celle de « maintenir » sur les contraintes géométriques du produit.

A propos de la définition géométrique du corps du chariot, les candidats qui ont donné une réponse satisfaisante avaient naturellement mené l'étude complète et connaissaient le codage normalisé et les concepts de base de la cotation fonctionnelle. Quand le jury a rencontré une proposition cherchant à réduire le nombre de spécifications (ex. : zone commune), sans dégrader la forme et la position relative des surfaces fonctionnelles, il a tenu compte.

### Histogramme de la répartition des notes de l'épreuve

