



---

# Correction DS 1 - SI

---

## Consignes

- Copies propres et bien présentées: encadrer vos résultats, souligner les applications numériques (avec une règle bien sûr)...
- Uniquement la calculatrice est autorisée.
- Les exercices sont indépendants.
- Ne pas oublier de rendre les Documents Réponses (DR), avec vos noms. Même s'ils ne sont pas remplis.

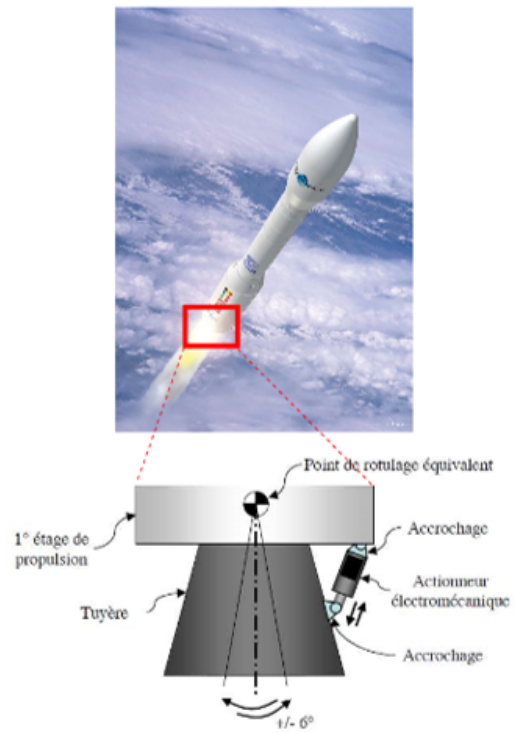
## Table des matières

<b>1</b>	<b>Actionneur fusée VEGA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Changements de base</b>	<b>5</b>
2.1	Savoir réaliser une figure de changement de base . . . . .	5
2.2	Savoir utiliser une figure de changement de base . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Graphe de liaison</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Correction de portée de phare</b>	<b>7</b>
4.1	Présentation du système . . . . .	7
4.2	Analyse du bloc d'orientation . . . . .	8

# 1. Actionneur fusée VEGA

Le développement du lanceur européen VEGA a démarré en 1998 et s'est achevé en 2011. Ce projet répondait à une demande de mise en orbite basse et polaire, à coûts réduits, de satellites scientifiques ou d'observation de la terre, dont la masse peut aller jusqu'à 2000 kg. On s'intéresse ici à l'Actionneur ElectroMécanique (EMA) de la tuyère de cette fusée.

Lors du programme de développement, la minimisation des coûts s'est appuyée sur l'implémentation de technologies avancées déjà disponibles et l'utilisation des installations des lanceurs Ariane. Cependant certaines parties ont fait l'objet d'innovation comme le système de contrôle vectoriel de poussée (en Anglais : « Thrust Vector Control ») du premier étage de propulsion P80. D'une longueur de dix mètres, le P80 est chargé de 88 tonnes de propergol solide. Ceci lui permet de disposer d'une poussée maximale de 3000 kN et d'un temps de combustion de 107 secondes. Afin de bien contrôler la trajectoire de la fusée il est indispensable d'orienter très rapidement et très précisément la tuyère du P80. Alors que sur Ariane 5 le pilotage vectoriel de la poussée est assuré par des dispositifs à source de puissance de hydraulique, sur le P80 cette tâche est assurée par des dispositifs à source de puissance électrique (en Anglais : « Power By Wire »).



On donne sur la Figure 1 la structure du système de l'actionneur sous la forme d'un diagramme de définition de blocs (bdd).

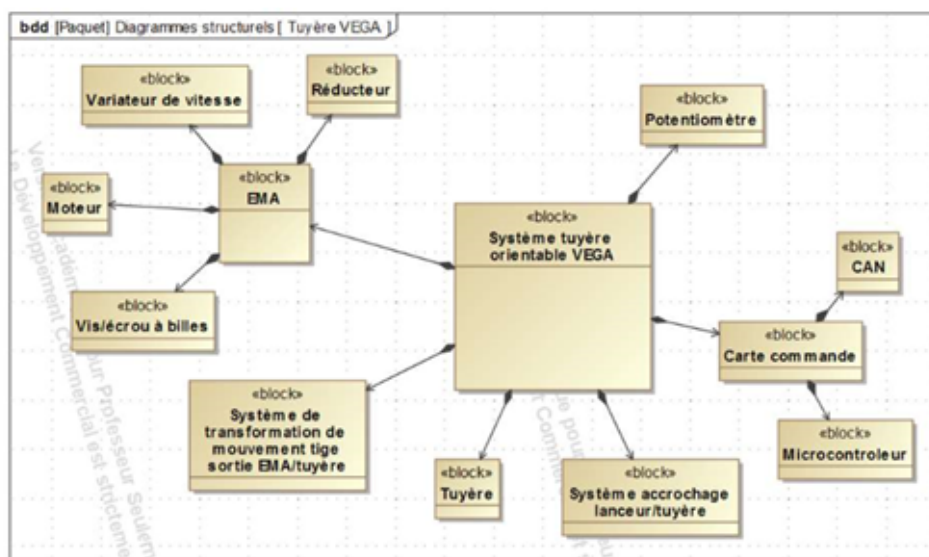
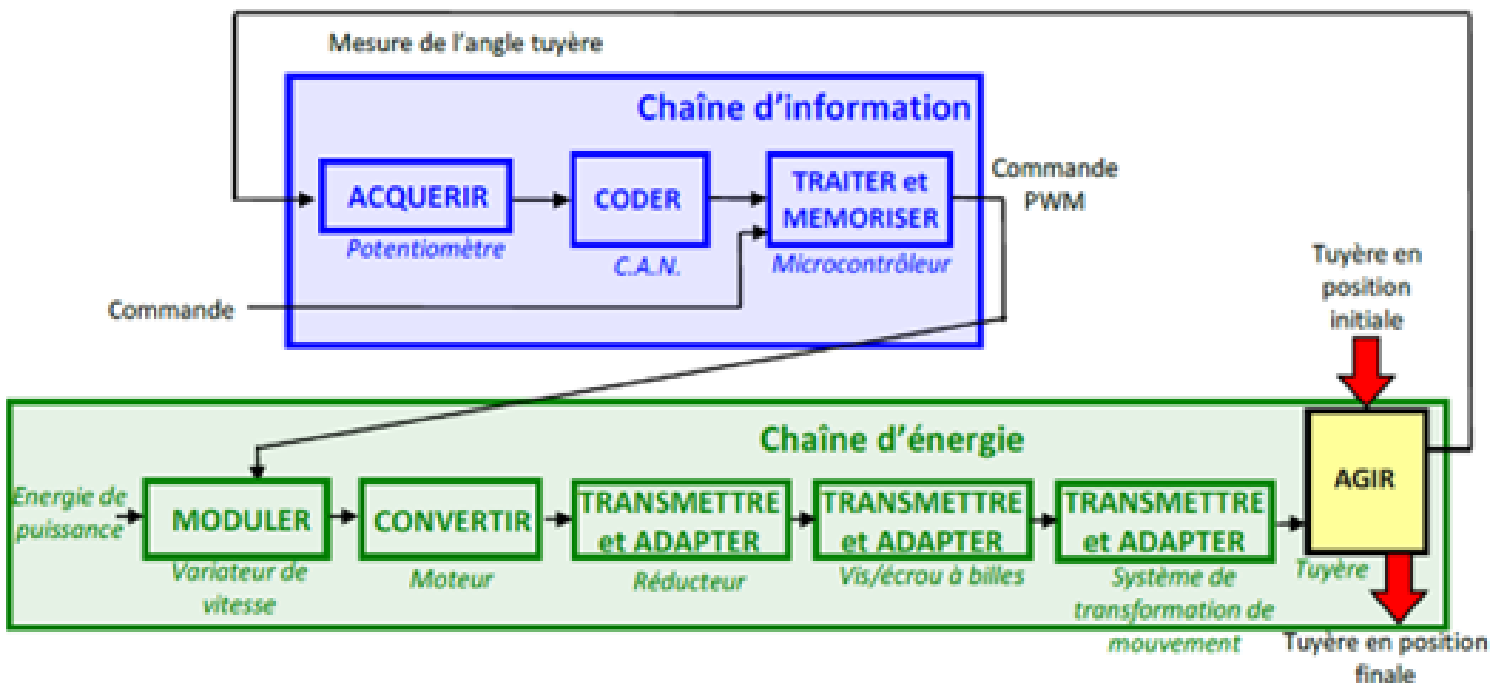
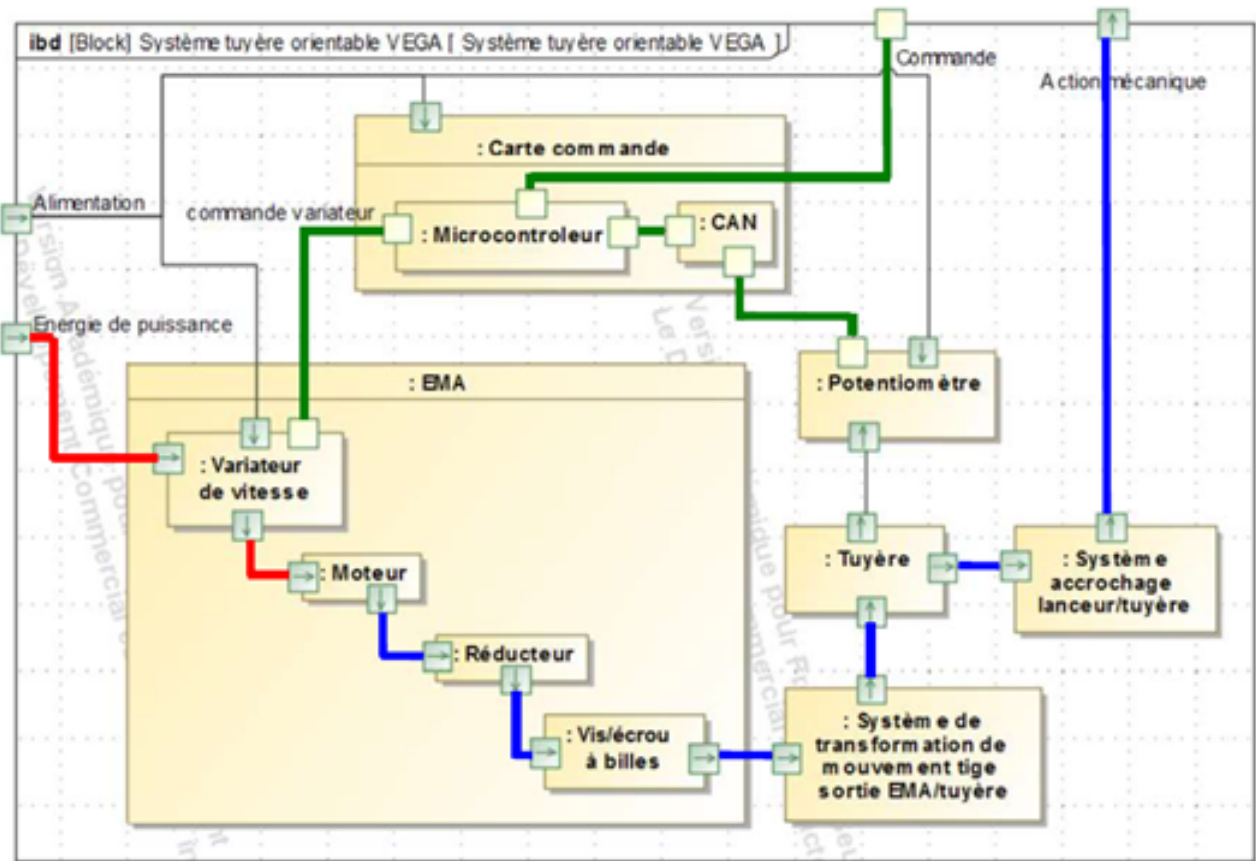


FIGURE 1 – Diagramme de définition des blocs

On donne sur le document réponse DR1 le diagramme de bloc interne (ibd).

- Question 1:** Sur le diagramme de bloc interne DR1, colorier en rouge les flux correspondants à l'énergie électrique de puissance, en bleu les flux correspondants à l'énergie mécanique de puissance et en vert les flux correspondants à l'énergie électrique d'information. Il peut rester des traits en noirs.
- Question 2:** Compléter sur le document réponse DR2, le diagramme chaîne d'énergie/chaîne d'information correspondant au système tuyère orientable VEGA.



## 2. Changements de base

### 2.1 Savoir réaliser une figure de changement de base

**Question 3:** Réaliser les figures de changement de base pour les transformations définies ci-dessous.

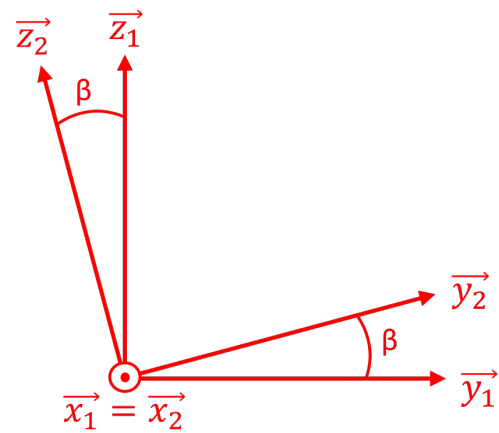
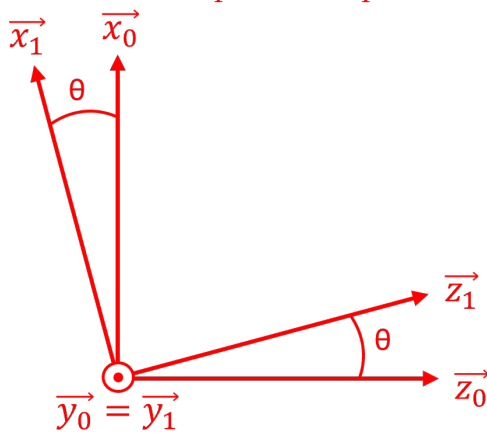
$$(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0) \xrightarrow{\vec{y}_0} (\vec{x}_1, \vec{y}_0, \vec{z}_1)$$

C'est à dire  $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{z}_0, \vec{z}_1)$ .

$$(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1) \xrightarrow{\vec{x}_1} (\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$$

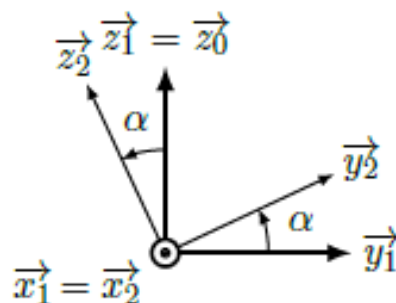
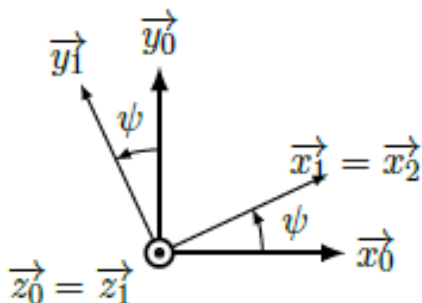
C'est à dire  $\beta = (\vec{y}_1, \vec{y}_2) = (\vec{z}_1, \vec{z}_2)$ .

**Réponse 3:** Il suffit de remplir le template.



### 2.2 Savoir utiliser une figure de changement de base

Cette partie est indépendante de la précédente.



**Question 4:** Exprimer  $\vec{x}_1$  en fonction de  $\vec{x}_0$  et  $\vec{y}_0$ , puis faire de même avec  $\vec{y}_1$ .

**Réponse 4:**  $\vec{x}_1 = \cos(\psi)\vec{x}_0 + \sin(\psi)\vec{y}_0$  et  $\vec{y}_1 = -\sin(\psi)\vec{x}_0 + \cos(\psi)\vec{y}_0$ .

**Question 5:** Exprimer  $\vec{y}_2$  dans la base  $\mathcal{B}_0 = (\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ .

**Réponse 5:** Comme  $\vec{y}_2$  n'est pas sur la même figure que  $\mathcal{B}_0$ , il faut d'abord décomposer  $\vec{y}_2$  dans  $\mathcal{B}_1$  :

$$\vec{y}_2 = \sin(\alpha)\vec{z}_1 + \cos(\alpha)\vec{y}_1$$

Comme  $\vec{z}_1 = \vec{z}_0$ , il suffit de remplacer  $\vec{y}_1$  :

$$\vec{y}_2 = \sin(\alpha)\vec{z}_0 + \cos(\alpha)(-\sin(\psi)\vec{x}_0 + \cos(\psi)\vec{y}_0).$$

**Question 6:** Calculer, ou lire, les produits scalaires suivants :

- (a).  $\vec{z}_2 \cdot \vec{z}_0$
- (b).  $\vec{x}_2 \cdot \vec{y}_1$
- (c).  $\vec{z}_0 \cdot \vec{y}_1$
- (d).  $\vec{y}_2 \cdot \vec{y}_0$

**Réponse 6:** Cela revient à projeter. On peut aussi faire les produits scalaires par leur définition mathématique.

(a)  $\vec{z}_2 \cdot \vec{z}_0 = \cos \alpha$

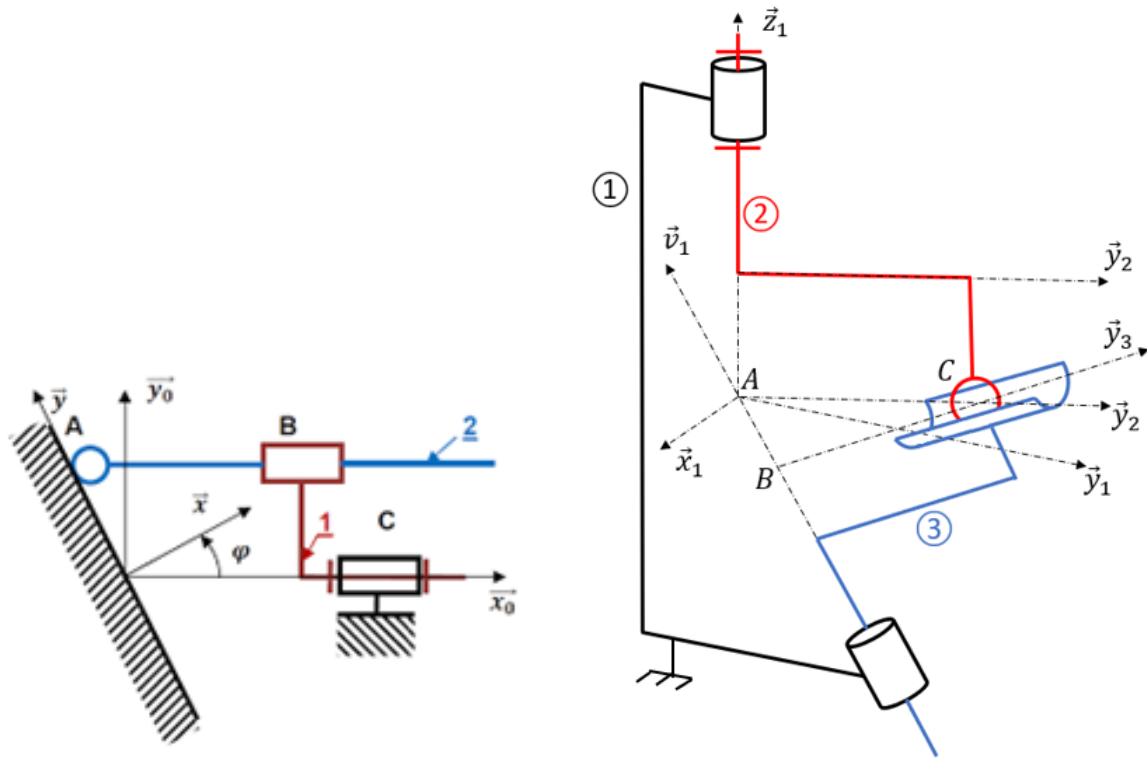
(b)  $\vec{x}_2 \cdot \vec{y}_1 = 0$

(c)  $\vec{z}_0 \cdot \vec{y}_1 = 0$

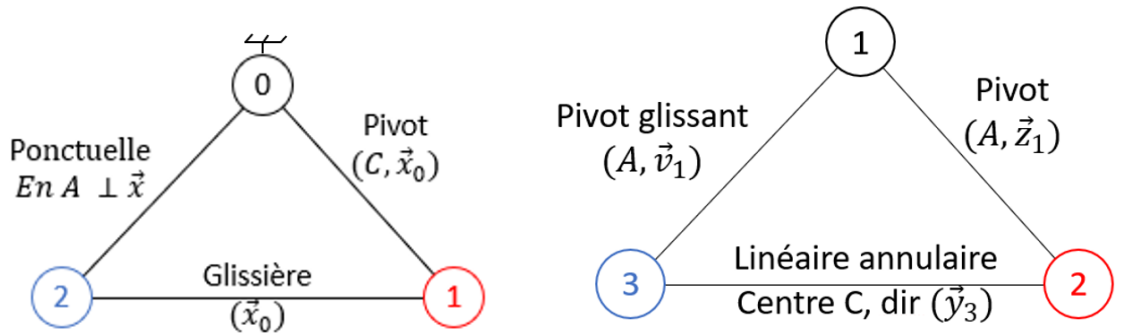
(d)  $\vec{y}_2 \cdot \vec{y}_0 = (\sin(\alpha)\vec{z}_0 + \cos(\alpha)(-\sin(\psi)\vec{x}_0 + \cos(\psi)\vec{y}_0)) \cdot \vec{y}_0$  soit  
 $\vec{y}_2 \cdot \vec{y}_0 = \cos(\alpha)\cos(\psi)$

### 3. Graphe de liaison

**Question 7:** Pour chacun des schémas cinématiques suivants, réaliser le graphe de liaison.



Réponse 7:



### 4. Correction de portée de phare

#### 4.1 Présentation du système

L'assiette d'un véhicule se modifie avec sa charge, le profil de la route ou les conditions de conduite (phase de freinage ou d'accélération). Cette modification entraîne une variation d'inclinaison de l'axe du faisceau lumineux produit par les phares du véhicule. Ceux-ci peuvent alors éblouir d'autres conducteurs ou mal éclairer la chaussée (Figure 2).

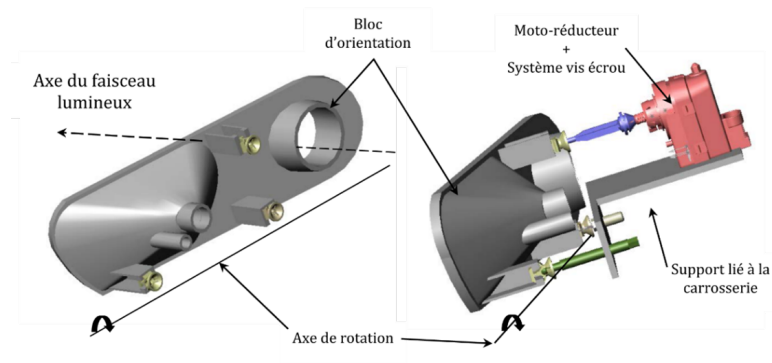


FIGURE 3 – Partie mécanique du système d'orientation du faisceau lumineux

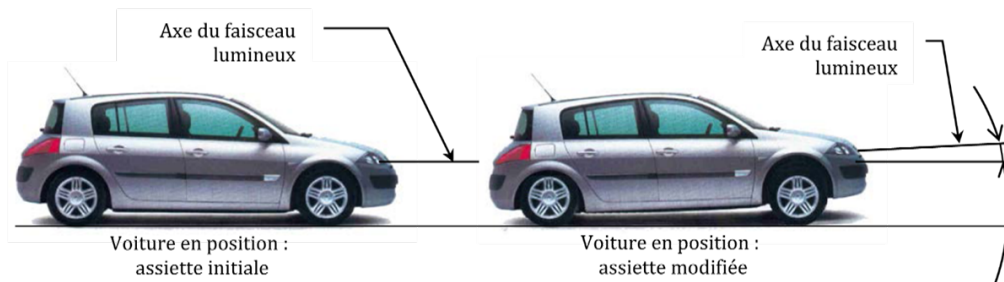


FIGURE 2 – Modification de l'orientation du faisceau lumineux en fonction de l'assiette

Le système de correction de l'assiette de la portée de phare vise à éclairer, de façon optimale, la route (quel que soit l'état de la route et l'état de chargement de la voiture), ce qui est obtenu par la modification automatique de l'orientation. La correction de l'orientation du faisceau lumineux est réalisée par le changement de position du bloc d'orientation (Figure 3).

## 4.2 Analyse du bloc d'orientation

Dans cette partie nous allons chercher à vérifier l'exigence suivante :

<b>Exigence 1</b>	Pour une course de la tige du correcteur de 4 mm, le débattement du bloque optique doit atteindre 6°.
-------------------	---

Le système considéré est constitué du bloc d'orientation (3) contenant les phares inclinables selon un axe, d'une bielle de poussée (2), du correcteur constitué d'un corps fixe par rapport au véhicule (0) et d'une tige (1) pouvant sortir/renter par rapport au corps (0). Une pièce intermédiaire (4) (Figure 4) est ajoutée au système pour assurer la liaison entre (3) et (0).



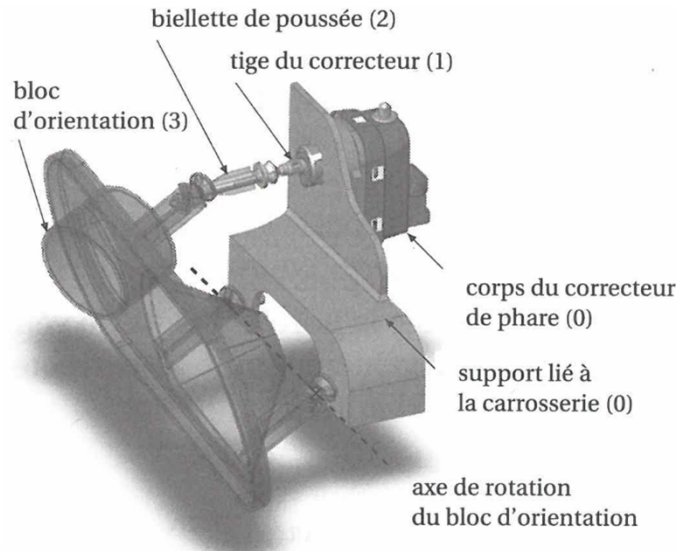


FIGURE 4 – Constitution du correcteur de phare

Le mouvement des différentes pièces étant plan, on choisit de simplifier le modèle en utilisant le schéma plan de la Figure 5.

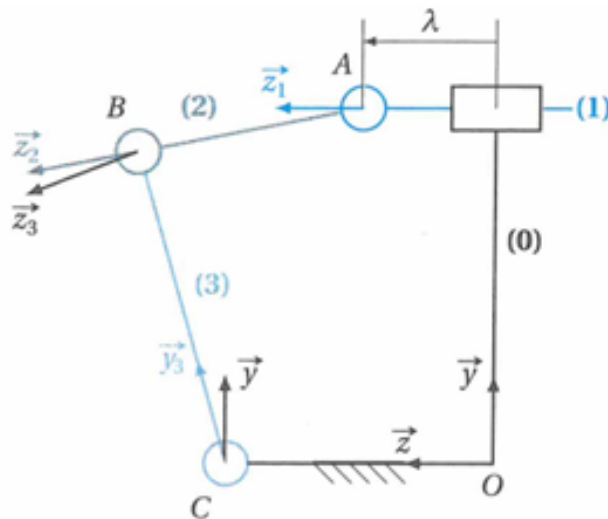


FIGURE 5 – Schéma cinématique plan du système d'orientation

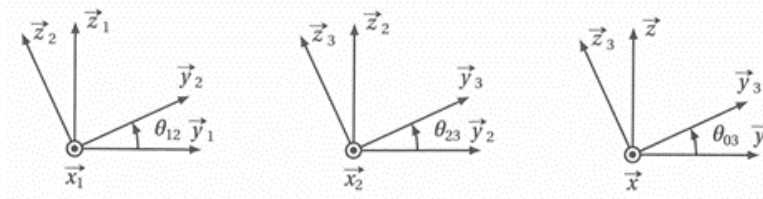
Le schéma cinématique plan a été paramétré de manière à associer un repère à chaque solide avec des paramètres variables à chaque liaison.

On définit :  $\overrightarrow{OA} = h\vec{y} + \lambda(t)\vec{z}$ ;  $\overrightarrow{OC} = l\vec{z}$ ;  $\overrightarrow{AB} = l\vec{z}_2$  et  $\overrightarrow{CB} = h\vec{y}_3$ .

On pose  $\theta_{12} = (\vec{y}_1, \vec{y}_2)$ ;  $\theta_{23} = (\vec{y}_2, \vec{y}_3)$  et  $\theta_{03} = (\vec{y}, \vec{y}_3)$ .

On remarque qu'entre  $S_0$  et  $S_1$ , il n'y a qu'une translation, on a donc  $\mathcal{B}_0(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}) = \mathcal{B}_1 = (\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ .

**Question 8:** Tracer les figures de changement de base permettant de représenter les angles  $\theta_{12}$ ,  $\theta_{23}$  et  $\theta_{03}$ .



**Réponse 8:**

**Question 9:** Donner la relation vectorielle obtenue en faisant une fermeture géométrique du système (*Relation de Chasles*), puis l'exprimer en fonction des vecteurs définis sur les figures de calcul (*figures de changement de bases*).

**Réponse 9:** On réalise une fermeture géométrique  $\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CO} = \vec{0}$  soit :

$$h\vec{y} + \lambda(t)\vec{z} + l\vec{z}_2 - h\vec{y}_3 - l\vec{z} = \vec{0}$$

**Question 10:** Projeter cette relation sur  $\vec{y}$  et  $\vec{z}$ .

**Réponse 10:** On projette la relation vectorielle :

$$\begin{cases} h - l \sin \theta_{12} - h \cos \theta_{03} = 0 \\ \lambda(t) + l \cos \theta_{12} - h \sin \theta_{03} - l = 0 \end{cases}$$

**Question 11:** Résoudre le système de sorte à éliminer les paramètres de liaison autres que  $\lambda$  et  $\theta_{03}$ . On ne cherchera pas à développer l'expression obtenue.

**Réponse 11:** On cherche donc à éliminer  $\theta_{12}$ . On isole les termes avec  $\theta_{12}$ , et en utilisant la relation  $(\sin \theta_{12})^2 + (\cos \theta_{12})^2 = 1$ , il vient :

$$(h - h \cos \theta_{03})^2 + (\lambda(t) - h \sin \theta_{03} - l)^2 = l^2$$

Compte tenu des valeurs numériques des longueurs  $h=40$  mm et  $l=80$  mm et de la course de la tige, l'angle  $\theta_{03}$  varie très peu (de l'ordre de quelques degrés). Dans ces conditions, on peut approcher  $\sin(\theta_{03}) \approx \theta_{03}$  et  $\cos(\theta_{03}) \approx 1$ .

**Question 12:** En utilisant l'approximation et la loi entrée-sortie obtenue, déterminer l'angle  $\theta_{03}$  pour un déplacement égal à la course de la tige. Conclure quant au cahier des charges.

**Réponse 12:** La simplification proposée permet d'obtenir la relation suivante :

$$(\lambda(t) - h\theta_{03} - l)^2 = l^2$$

En passant à la racine, deux solutions sont possibles :

$$\lambda(t) - h\theta_{03} - l = l \text{ et } -(\lambda(t) - h\theta_{03} - l) = l, \text{ donnant respectivement :}$$

$$\lambda(t) = h\theta_{03} + 2l \text{ et } \lambda(t) = h\theta_{03}$$

En regardant le schéma, si  $\theta_{03} = 0$ ,  $\lambda(t) = 0$ , la première équation serait alors  $2l = 0$ , ce qui n'a pas de sens physique pour notre système. Seule la deuxième équation est donc physiquement possible :  $\lambda(t) = h\theta_{03}$

Ainsi pour un déplacement  $\lambda = 4$  mm, on obtient un angle de 0,1 rad soit 5,7° ce qui est inférieur aux 6° requis par le cahier des charges, qui n'est par conséquent pas respecté.