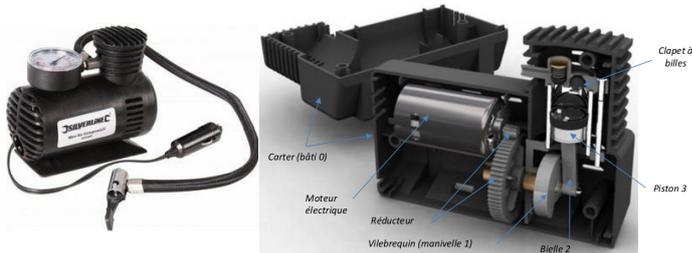


Séquence 2***Déterminer une loi entrée-sortie géométrique*****Mise en bouche****(entraînement de cours – à faire après le cours et à vérifier régulièrement)****Exercice 1 : Définitions et méthodes de cours**

- Écrire une fermeture géométrique.
- Énoncer la méthode permettant d'éliminer un paramètre angulaire d'une équation de fermeture géométrique.
- Énoncer la méthode permettant d'éliminer un paramètre distance d'une équation de fermeture géométrique.
- Exploiter une fermeture géométrique pour déduire une relation entre des grandeurs pertinentes.

Exercice 1 : Mini-compresseur

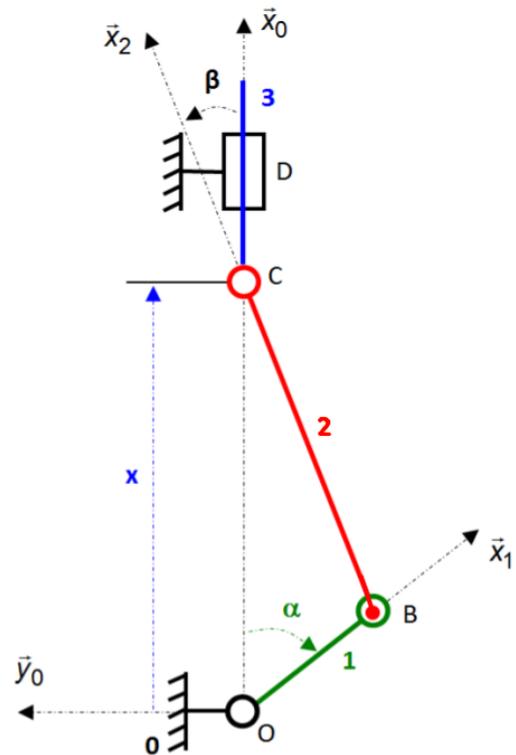
Le mini-compresseur étudié est alimenté par une prise allume-cigare présente dans les voitures. Il permet notamment de gonfler une roue de voiture mais aussi de gonfler des matelas, roues de vélo etc.



On note :

- $e = \|\vec{OB}\| = 11 \text{ mm}$ est la distance entre les deux axes du vilebrequin (1) ;
- $l = \|\vec{BC}\| = 40 \text{ mm}$ est la longueur de la bielle (2) ;
- $x(t) = \vec{OC} \cdot \vec{x}_0$ le paramètre de position du piston par rapport au bâti.

Lorsque le piston monte, l'air est refoulé par un clapet à bille. Lorsque le piston redescend, la chambre se remplit à nouveau d'air extérieur grâce à un deuxième clapet.



On cherche à déterminer le débit d'air moyen sortant du compresseur ainsi que son évolution au cours du temps. Le moteur tourne à vitesse constante (1500 tr/min). Il existe une réduction de 1/5 entre la sortie du moteur et le vilebrequin. Le piston (3) a un diamètre de 24 mm.

Lorsque le piston monte, l'air est refoulé par un clapet à bille. Lorsque le piston redescend, la chambre se remplit à nouveau d'air extérieur grâce à un deuxième clapet.

Question 1 Tracez les figures planes de changement de base faisant apparaître les vecteurs des bases \mathcal{B}_0 , \mathcal{B}_1 et \mathcal{B}_2 .

Question 2 Écrivez une fermeture géométrique permettant de relier la position du piston $x(t)$ à la position angulaire du vilebrequin $\alpha(t)$.

Question 3 Exprimez alors x en fonction de α .

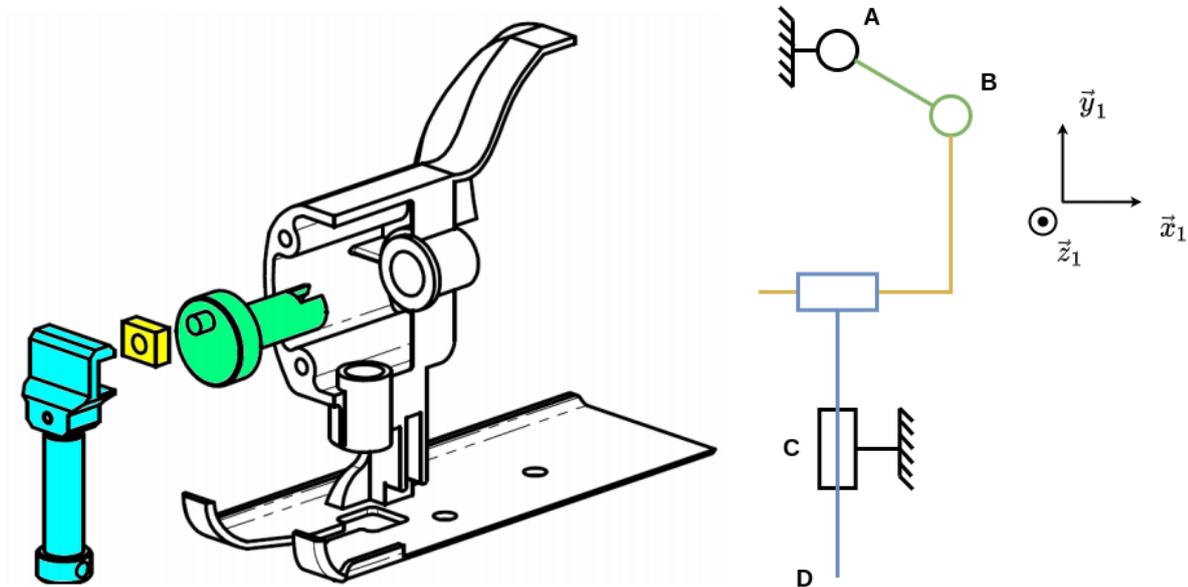
Question 4 Déterminez la cylindrée du compresseur sachant qu'il ne comporte qu'un piston.

Question 5 Exprimez le débit moyen du compresseur en L/min.

Question 6 Exprimez le débit instantané du compresseur en fonction de α , $\dot{\alpha}$, e et l en L/min.

Plat (exercices de TD – à préparer et à corriger pendant la séance)

Exercice 1 : Scie sauteuse Black & Decker



Une scie-sauteuse est une machine équipée d'une lame dentée permettant la découpe de planches de bois ou de plastique en suivant des lignes droites ou courbes. L'actionneur est un moteur qui tourne à vitesse angulaire constante lorsqu'un bouton de commande est enclenché. Il met en rotation l'arbre moteur (solide composé des pièces 6-7-14-15-16) par rapport au bâti (pièces 1-4-20-21-etc.). L'arbre présente un excentrique (pièce 7) sur lequel est monté un coulisseau (8) qui peut tourner par rapport à l'arbre moteur autour d'un axe parallèle à l'axe de rotation entre l'arbre moteur et le bâti. Par ailleurs, le coulisseau (8) peut se translater suivant une direction horizontale par rapport au porte-lame (9-10). L'effecteur, la lame, est solidaire d'un porte-lame (9) qui a un mouvement de translation rectiligne et alternatif de direction verticale par rapport au bâti.

Les performances de la scie-sauteuse sont liées à la vitesse maximale des points de la lame par rapport à la planche en bois ainsi qu'à la course de la lame. On s'intéressera en particulier à un point D de la lame.

Les caractéristiques géométriques principales et le paramétrage sont indiqués ci-dessous. Les grandeurs e , l et d sont constantes.

- $\vec{AB} = e \vec{x}_6$
- $\vec{AC} = -d \vec{y}_1$
- $\theta(t) = (\vec{x}_1, \vec{x}_6) = (\vec{y}_1, \vec{y}_6)$
- $\vec{DB} = \eta(t) \vec{x}_1 + l \vec{y}_1$
- $\vec{CD} = -\lambda(t) \vec{y}_1$

Question 1 Tracez la(les) figure(s) plane(s) de changement de base.

Question 2 Écrivez une fermeture géométrique permettant d'exprimer la position de la lame par rapport au bâti en fonction de la position angulaire de l'arbre moteur par rapport au bâti.

Question 3 Exprimez λ en fonction de θ .

Question 4 Déduisez-en la course de la lame (amplitude du mouvement du point D).

Question 5 Déterminez la valeur maximale de la vitesse de la lame par rapport au bâti.

La durée de vie du mécanisme est liée à la vitesse des points du coulisseau par rapport au porte-lame.

Question 6 Déterminez la valeur maximale de la vitesse du coulisseau par rapport au porte-lame en fonction de $\dot{\theta}$.

Question 7 Conclure quant au compromis à faire entre les critères du cahier des charges.

Exercice 2 : Pompe oscillante

Les pompes oscillantes se caractérisent par le mouvement oscillant de la chemise du piston. La manivelle (1) est mise en rotation par rapport au bâti (0) par l'action d'un moteur. Le piston (2) peut tourner par rapport à la manivelle et peut se translater et tourner par rapport à sa chemise (3). Celle-ci peut tourner par rapport au bâti autour d'un axe parallèle à l'axe de rotation de la manivelle par rapport au bâti.

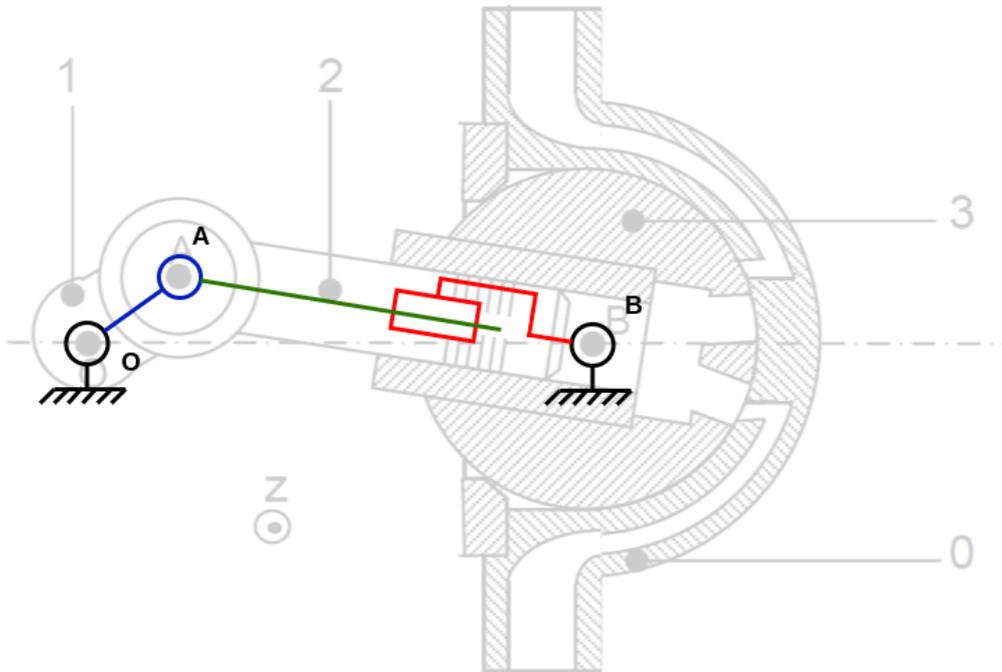


FIGURE 1 – Vue en coupe d'une pompe oscillante.

Lorsque le piston sort de la chemise, l'une des ouvertures de celle-ci permet l'admission de l'huile à pomper dans la chambre formée par le piston et la chemise oscillante. Lorsque le piston rentre dans la chemise, la deuxième ouverture relie la chambre à l'autre canalisation d'huile et le refoulement peut avoir lieu.

- diamètre du piston : $D = 21 \text{ mm}$
- volume mort : $V_0 = 10 \text{ cm}^3$
- $\vec{OA} = a \vec{x}_1$ avec $a = 12 \text{ mm}$
- $\vec{OB} = b \vec{x}_0$ avec $b = 85 \text{ mm}$
- $\vec{AB} = \lambda \vec{x}_2$
- $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$
- $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$

Lorsque l'angle β vaut entre -1° et $+1^\circ$, le volume entre le piston et la chemise n'est en contact avec aucun des orifices (admission ni refoulement). L'huile étant peu compressible, on souhaite que pendant la phase où aucun orifice ne permet l'admission ou le refoulement, le volume d'huile varie de moins de 1 %. On cherche à déterminer si le volume mort (volume d'huile enfermé lorsque le piston est le plus rentré possible, donc pour $\alpha = 0$) choisi est suffisant pour respecter ce critère du cahier des charges.

On cherche dans un premier temps à établir une relation entre la longueur λ et l'angle β .

Question 1 Proposez une fermeture géométrique permettant de relier λ et β .

Question 2 En écrivant cette fermeture géométrique, exprimez λ en fonction de β .

Question 3 Expliquez pourquoi, pour chaque valeur de β , il y a deux solutions possibles pour λ .

Question 4 Justifiez que le point dimensionnant (critique vis-à-vis du cahier des charges) pour la variation du volume sans échange d'huile est lorsque λ est minimal.

Question 5 Le cahier des charges est-il vérifié?

Exercice 3 : Ponceuse rotative

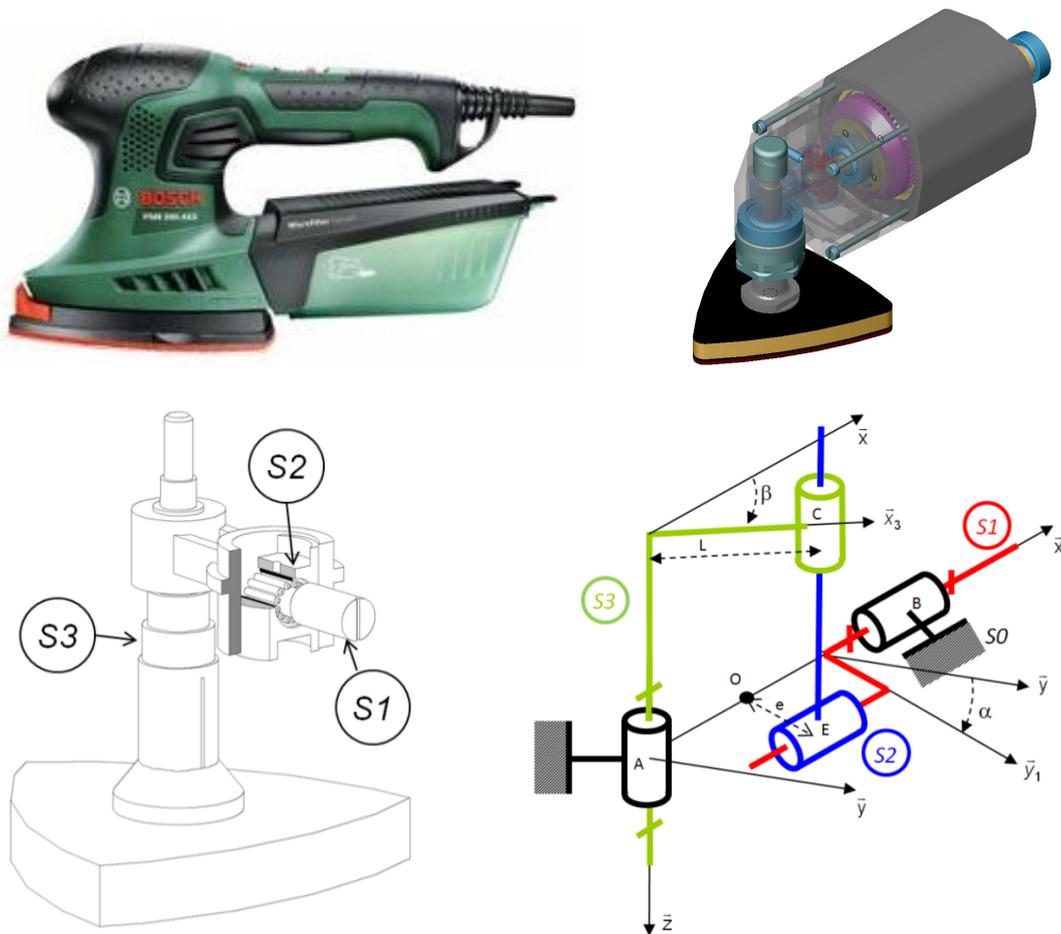


FIGURE 1 – Ponceuse rotative électrique Bosch (en haut à gauche), vue en transparence d'un modèle volumique (en haut à droite), détail en coupe du mécanisme de transformation du mouvement (en bas à gauche) et son schéma cinématique (en bas à droite).

Une ponceuse est une machine servant à rectifier l'état de surface d'une pièce. La ponceuse rotative électrique met en mouvement rapide alternatif de rotation un papier de verre. Ceci permet de poncer ou polir une surface plus rapidement que si le papier de verre était appliqué à la main. L'énergie mécanique est obtenue par conversion de l'énergie électrique grâce à un moteur qui tourne à vitesse de rotation constante.

Les performances de la ponceuse sont liées à l'amplitude du mouvement de rotation du papier de verre. On cherche ici à déterminer les paramètres géométriques influant sur l'amplitude du mouvement de rotation.

Question 1 Effectuez un graphe de structure du mécanisme en précisant la nature des liaisons et leurs caractéristiques géométriques.

Question 2 Définissez un paramétrage du mécanisme en précisant l'expression des vecteurs \vec{AC} , \vec{CE} , \vec{EB} et \vec{AB} . Vous vous aiderez des définitions données sur la figure lorsque ceci sera possible.

Question 3 Tracez la(les) figure(s) plane(s) de changement de base.

Question 4 Écrivez une fermeture géométrique permettant de relier les paramètres α et β .

Question 5 En choisissant une projection pertinente, écrivez une équation scalaire reliant α et β .

Question 6 Déterminez les paramètres géométriques influant l'amplitude du mouvement du papier de verre.

Question 7 Comment doit-on modifier ces paramètres pour augmenter l'amplitude du mouvement?

Dessert

(pour aller plus loin)

Exercice 1 : Turboréacteur avec tuyère à ouverture variable

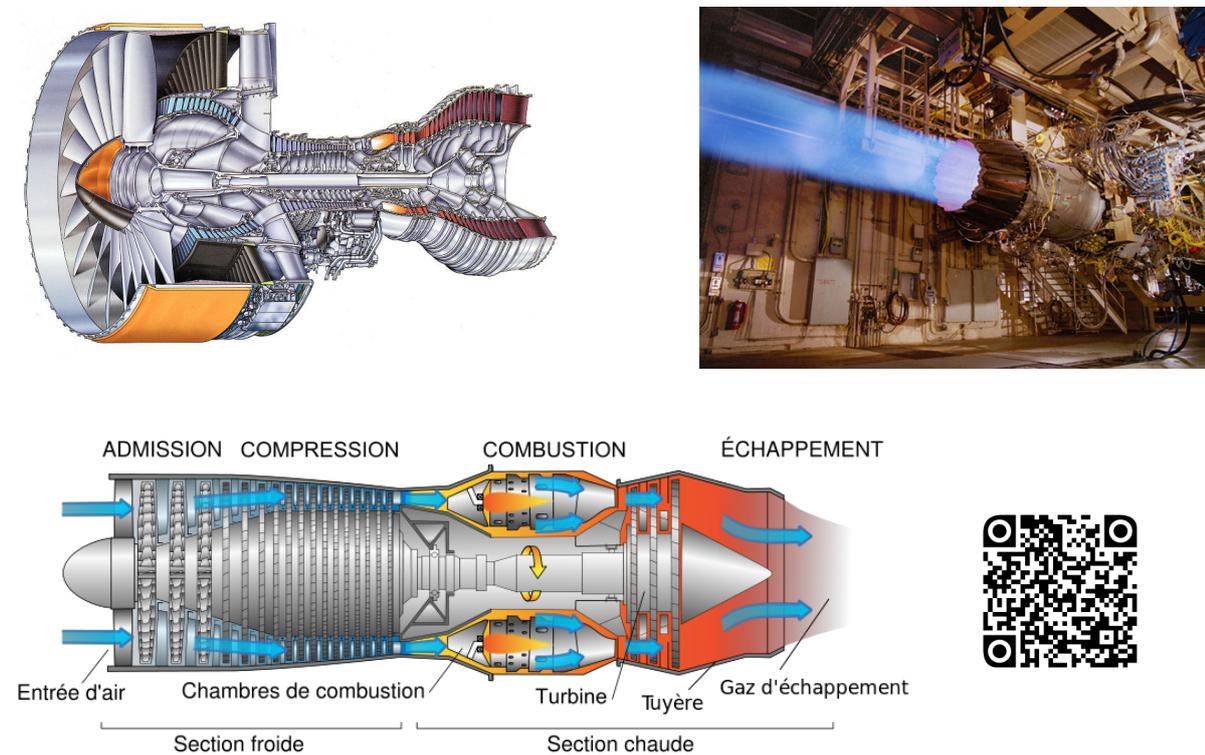


FIGURE 1 – Turboréacteur sur un banc d'essais (en haut à droite). Vue en coupe (en haut à gauche) et schéma de fonctionnement (en bas à gauche). En bas à droite, une vidéo d'un test sur un turboréacteur.

Un turboréacteur est un propulseur fonctionnant sur le principe d'action-réaction. La différence de vitesse entre l'air entrant et les gaz produits entraîne une variation de quantité de mouvement et donc un effort de poussée. Il est composé de trois étages principaux :

- 1) Compression : l'air ambiant est aspiré par un *fan* et comprimé par différents compresseurs.
- 2) Combustion : l'air comprimé est mélangé à du kérosène pulvérisé et le mélange s'enflamme.
- 3) Détente : le mélange enflammé et sous très haute pression est détendu en passant par des turbines puis s'échappe à grande vitesse par la tuyère.

Le diamètre variable de la tuyère permet de modifier la vitesse de sortie des gaz d'échappement et donc la poussée du turboréacteur. Par ailleurs, l'énergie récupérée lors de la détente par les turbines est utilisée entre autres pour mettre en rotation les compresseurs situés à l'avant du turboréacteur.

On s'intéresse ici au mécanisme permettant de piloter l'ouverture et la fermeture de la tuyère pour modifier son diamètre d'ouverture que l'on suppose piloté par un vérin unique.

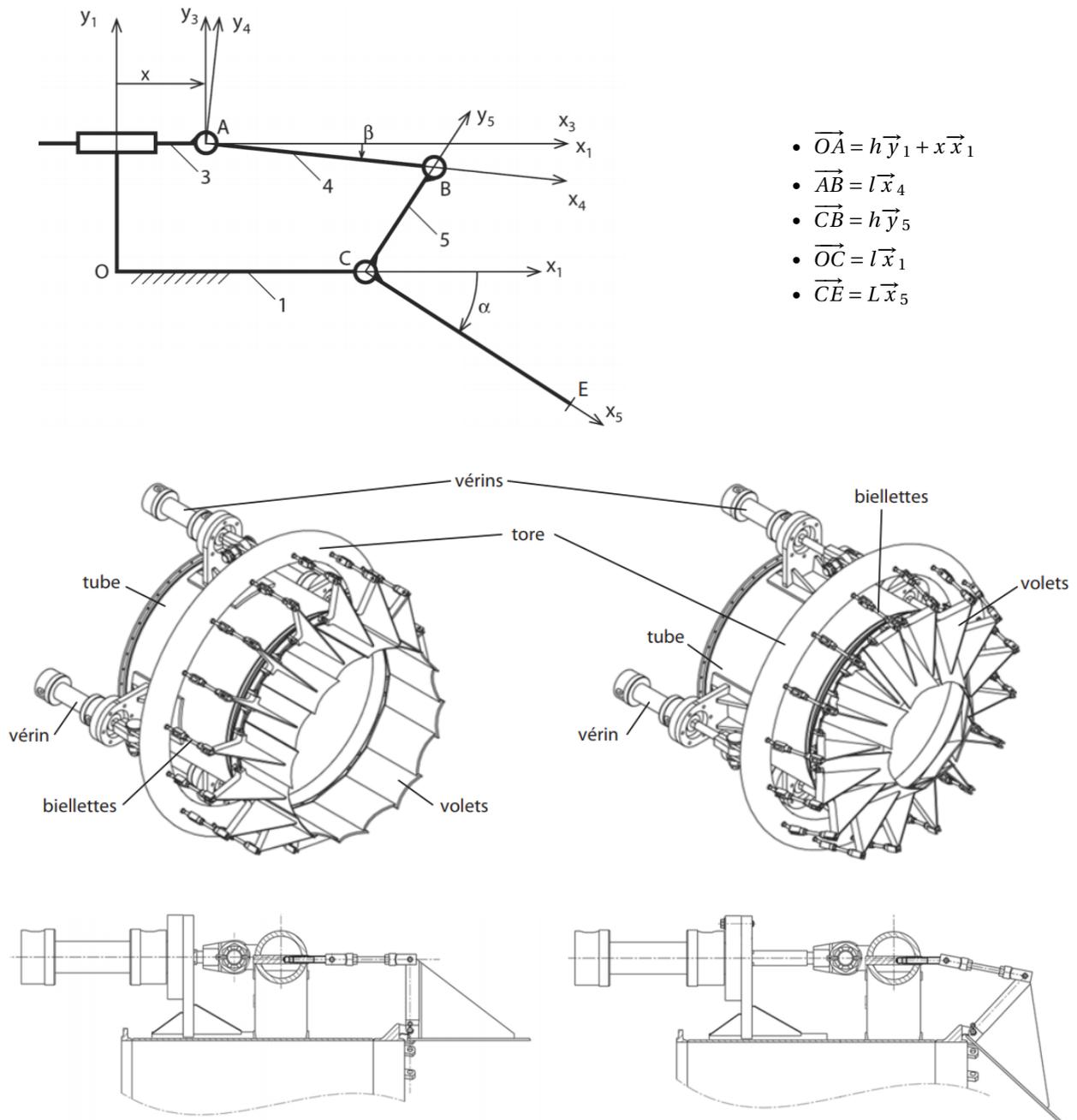


FIGURE 2 – Mécanisme d'ouverture de la tuyère du turboréacteur. À gauche, la position d'ouverture maximale et à droite, la position de fermeture maximale.

Ci-dessous, un extrait du cahier des charges.

Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
Réglage de la poussée	Diamètre max d'ouverture de la tuyère	600 mm	—
Réglage de la poussée	Diamètre min d'ouverture de la tuyère	400 mm	—

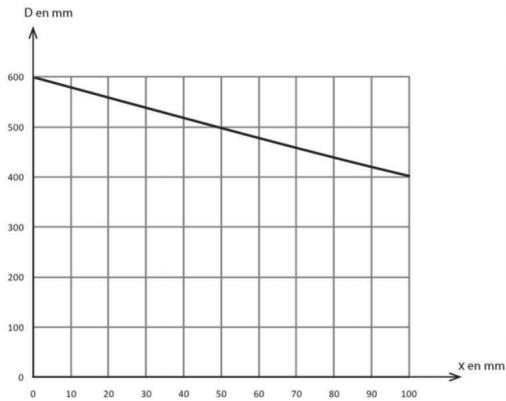
TABLEAU 1 – Extrait du cahier des charges du système de transmission de la position angulaire.

Question 1 À l'aide d'une fermeture géométrique judicieusement choisie, exprimez l'angle α en fonction de x sous la forme $\alpha = -\arccos(f(x)) + \arctan(g(x))$ en précisant les fonctions $f(x)$ et $g(x)$.

On note D_0 le diamètre d'ouverture de la tuyère lorsque $\alpha = 0$.

Question 2 Exprimez en fonction de D_0 et de α le diamètre d'ouverture de la tuyère, noté D .

Afin de simplifier l'étude, on décide de tracer expérimentalement le diamètre D en fonction de x . Ce tracé est fourni ci-dessous.



Question 3 Déterminez la course des vérins minimale nécessaire pour que le système réponde au cahier des charges.

Question 4 Déterminez maintenant, à l'aide des équations établies précédemment et d'un outil numérique et sans exploiter la courbe expérimentale, la course des vérins minimale nécessaire pour que le système réponde au cahier des charges.