

## Partie 1 : Robot Robuglass

### Mise en situation :

La société ROBOSOFT a développé un robot devant assurer de manière automatique l'entretien de la pyramide du Louvre sans nécessiter l'intervention (difficile et périlleuse) des opérateurs directement sur l'édifice comme cela était le cas auparavant. Le robot dénommé ROBUGLASS développé par la société ROBOSOFT s'inspire des machines utilisées pour le lavage des sols utilisant une brosse tournante et un dispositif de raclage. La forte déclivité des faces de la pyramide, les surfaces glissantes sur lesquelles le robot doit évoluer, et la volonté de le rendre automatique pour un nettoyage rapide et optimal ont soulevé de nombreuses problématiques que nous allons en partie aborder.

Le robuglass est constitué d'un plateau supportant les différents composants (Figure 2 en bas de page) :



Figure 1 : Robuglass au boulot

- La motricité est assurée par quatre groupes propulsions composés chacun d'une chenille équipée d'un motoréducteur électrique indépendant.
- Huit ventouses sont disposées sous le plateau afin d'améliorer l'adhérence du porteur à la surface vitrée. La pression à l'intérieur des ventouses est inférieure à la pression atmosphérique, créant ainsi un effet d'aspiration et donc un effort plaqueur sur la surface vitrée. Une nourrice assure la liaison aux pompes à vide du chariot ombilical et aux ventouses.
- L'outil de nettoyage embarqué sur le robot est équipé d'une brosse rotative alimentée en fluide de nettoyage et de deux raclettes. La brosse est entraînée par un motoréducteur. Une courroie transmet la puissance du réducteur à la brosse. Un vérin électrique permet de positionner l'outil de nettoyage dans les différentes phases et de contrôler l'effort normal entre l'outil et la surface vitrée en phase de nettoyage.

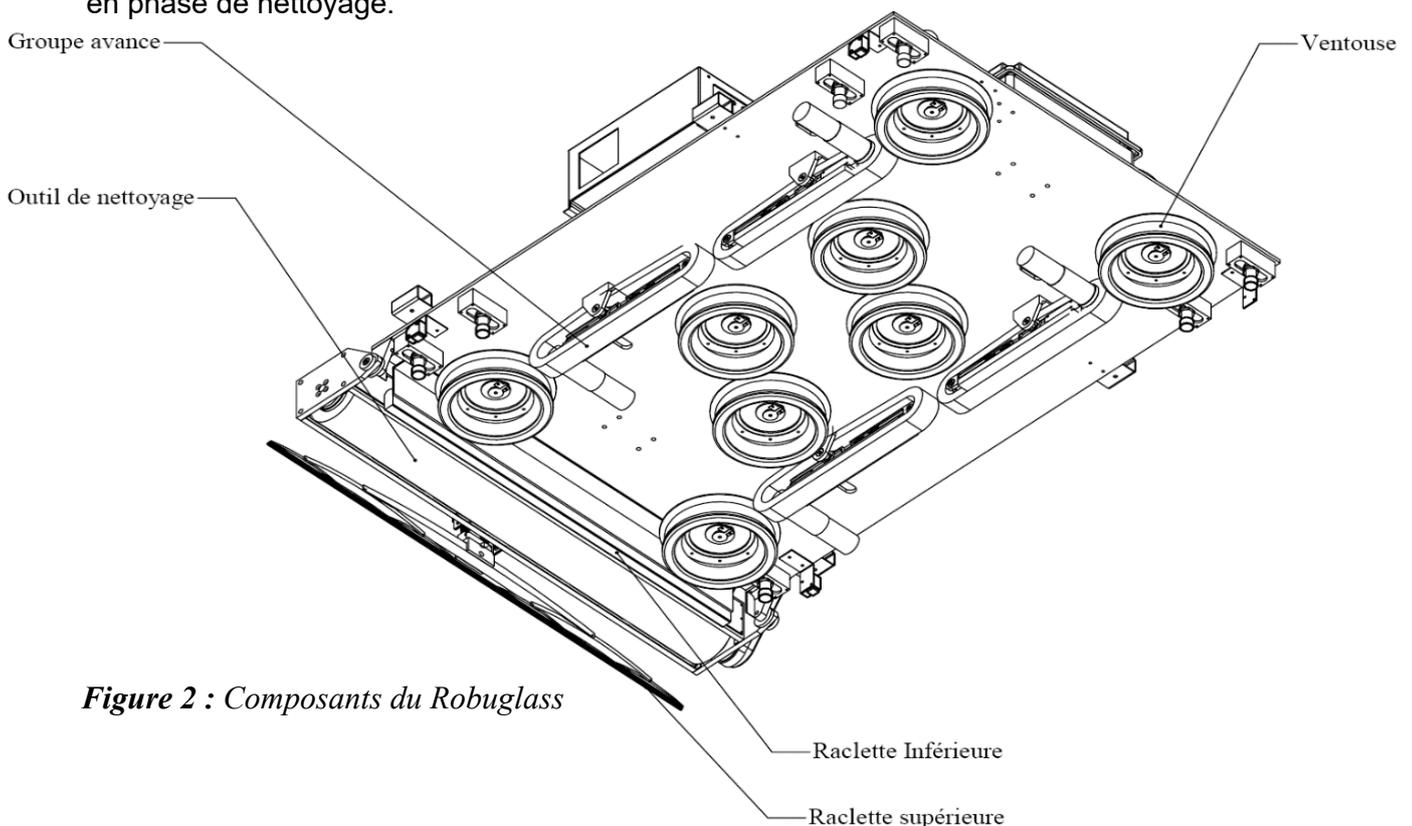


Figure 2 : Composants du Robuglass

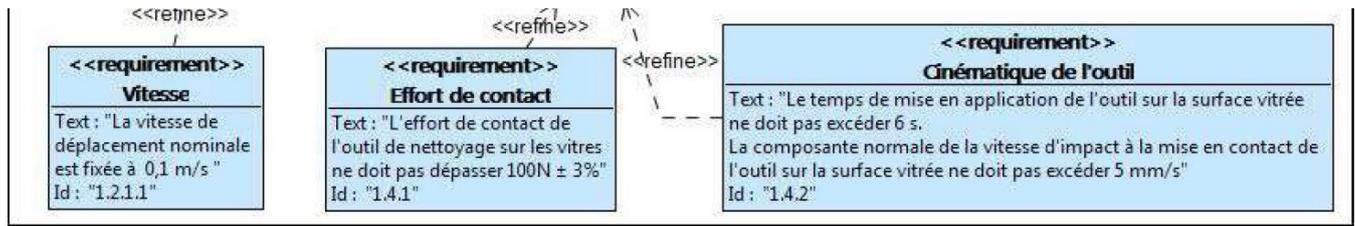


Figure 3 : Diagramme d'exigences partiel

### Etape 1 : Etude de la cinématique de l'outil de nettoyage

Pour un nettoyage efficace il est nécessaire de réguler l'effort d'application de la brosse sur la vitre. Un actionneur de type vérin électrique permet de mettre l'outil contenant la brosse en position haute ou basse et d'appliquer la brosse sur la surface vitrée avec l'effort requis. Les concepteurs ont choisi un actionneur permettant la régulation de l'effort appliqué par modulation de courant mais la gamme proposée ne présente pas beaucoup de choix différents vis-à-vis des performances. Nous allons donc vérifier que le vérin choisi permet de respecter les exigences.

Le vérin (voir figure 4 ci-dessous) est modélisé par le corps 1 et la tige 2 respectivement en liaison pivot d'axe (A,  $\vec{x}_5$ ) et (B,  $\vec{x}_5$ ) avec le porteur 5 (considéré comme fixe par rapport à la surface vitrée 0), et le support d'outil 3. Ce dernier est en liaison pivot d'axe (C,  $\vec{x}_5$ ) avec le porteur. La brosse 4 est en liaison pivot d'axe (D,  $\vec{x}_5$ ) avec le support d'outil 3.

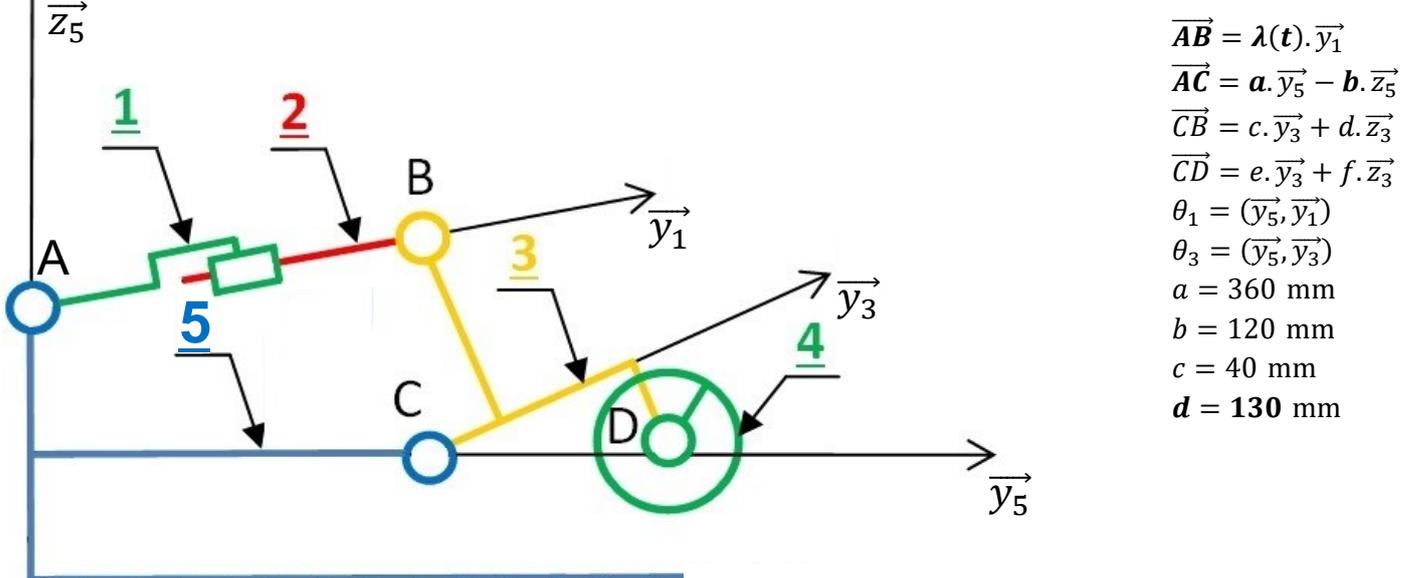


Figure 4 : Schéma cinématique du système de nettoyage

- Q1 :** Dessiner les figures de changement de base planes.
- Q2 :** Ecrire la fermeture géométrique du cycle CABC sous forme vectorielle en fonction de a, b, c, d et  $\lambda$ .
- Q3 :** Projeter l'expression obtenue à la question 1 sur les axes  $\vec{y}_5$  et  $\vec{z}_5$ .

On considère que la brosse est en contact avec le sol pour :  $\theta_3 = 0$  rad.

- Q4 :** Pour cette valeur de  $\theta_3$ , en déduire l'expression de  $\lambda$  en fonction uniquement des longueurs a, b, c et d.
- Q5 :** Effectuer l'application numérique en considérant la longueur (d - b) négligeable devant (a + c).
- Q6 :** En position haute, la longueur  $\lambda$  vaut 380mm. En déduire la course totale du vérin entre deux positions extrêmes.
- Q7 :** Sachant que la vitesse de sortie de tige (supposée constante) est de 4mm/s, le vérin choisit permet-il de répondre aux exigences ?

**Etape 2 : Détermination de la vitesse d'avance**

Le but de cette partie est de déterminer la vitesse d'avance du Robuglass.

La constitution d'un groupe propulsion est décrite sur la figure 5.

**Moteur :**

Micromoteur Faulhaber 2642 024 CXR  
Vitesse de rotation dans le cadre de notre étude : 5900tr/min



**Réducteur :**

Faulhaber 26A  
Réducteur de type planétaire à plusieurs étages en série.  
L'éclaté ci-contre montre un réducteur à 3 étages. Le schéma cinématique de la figure 6 ci-dessous décrit un étage de notre réducteur.

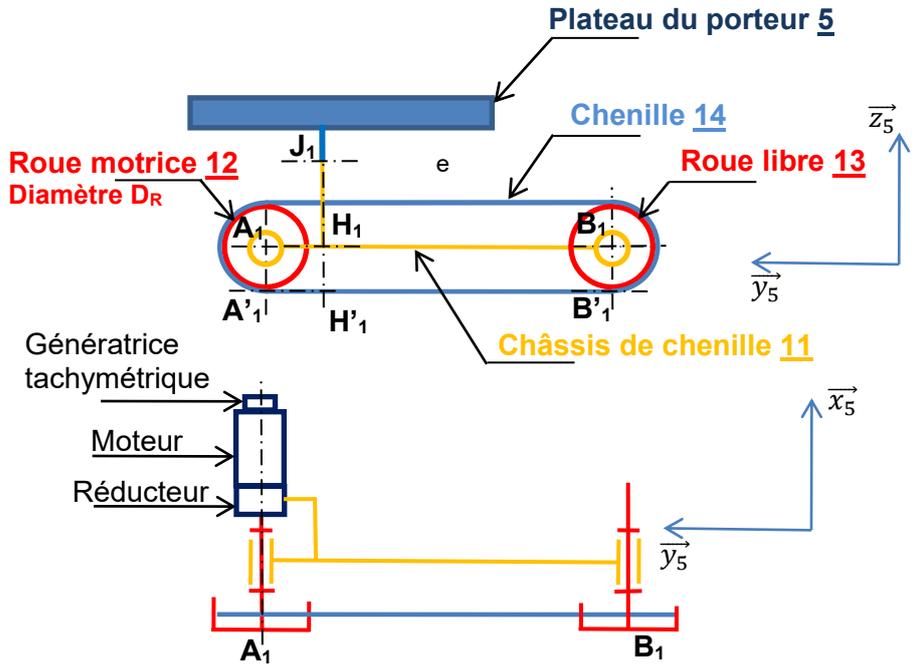
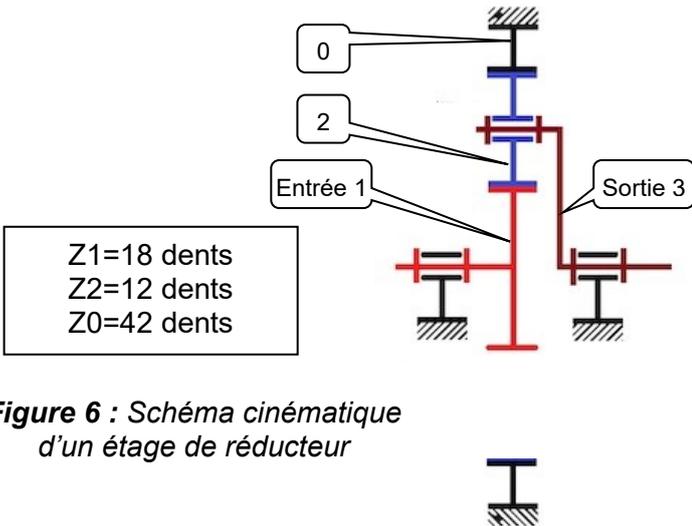


Figure 5 : Schéma cinématique d'un groupe propulsion



**Roues 12 et 13 :**  
Poulies crantées de diamètre  $D_R=40\text{mm}$

Figure 6 : Schéma cinématique d'un étage de réducteur

**Q8 :** Après avoir identifié les constituants du train épicycloïdal, exprimer puis calculer le rapport de réduction  $K_E$  d'un étage.

**Q9 :** Sachant que notre réducteur comporte 4 étages, exprimer puis calculer le rapport de réduction du réducteur que l'on notera  $K$ .

**Q10 :** La roue motrice étant fixée sur l'axe de sortie du réducteur, exprimer puis calculer la vitesse de rotation de la roue en rad/s que l'on notera  $\omega_{12/11}$ .

**Q11 :** Exprimer le vecteur vitesse  $\overrightarrow{V_{A'1,12/11}}$  en fonction de  $\omega_{12/11}$  et de  $D_R$  et faire l'application numérique.

**Q12 :** Déterminer le vecteur  $\overrightarrow{V_{A'1,14/11}}$  sachant qu'il y a roulement sans glissement entre 14 et 12 au point  $A'1$ .

Pour cette partie, on considère que le plateau 5 et le châssis de chenille 11 sont en liaison complète, on a donc  $\overrightarrow{V_{A'1,14/11}} = \overrightarrow{V_{A'1,14/5}}$

Le contact entre la chenille 14 et la surface vitrée 0 se fait sans glissement.

**Q13 :** Déterminer le vecteur vitesse d'avance du robuglass  $\overrightarrow{V_{A'1,5/0}}$

**Q14 :** L'exigence de vitesse est-elle respectée ?

### Etape 3 : Vérification de la capacité du robot à réaliser un nettoyage efficace en mode automatique

Le système étudié doit pouvoir fonctionner en mode automatique.

Pour ce faire, il doit maîtriser la trajectoire du porteur sans intervention de l'opérateur.

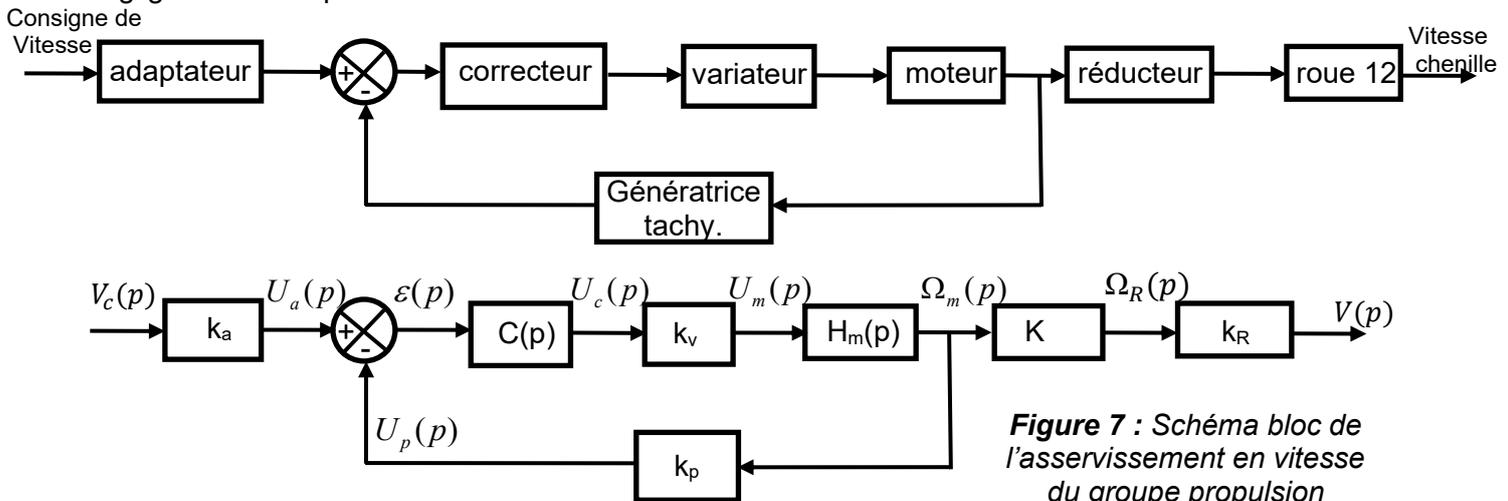
Pour cela, il est nécessaire de contrôler la vitesse de rotation des chenilles.

Chaque groupe de propulsion est donc asservi en vitesse de rotation.

On se propose d'étudier cet asservissement afin d'en contrôler la capacité à respecter les exigences.

Le schéma bloc de l'asservissement de l'axe moteur est représenté ci-dessous sur la figure 7.

On néglige l'effet des perturbations extérieures.



**Q15 :** Expliquer ce qui dans le schéma bloc permet d'affirmer que le système étudié est un système asservi.

**Q16 :** Déterminer le gain  $k_a$  de l'adaptateur pour garantir que le système soit bien asservi.

**Q17 :** Donner les gains  $K$  et  $k_R$  (voir étape 2)

On modélise le comportement du moteur électrique par les équations suivantes :

Equations électriques et mécaniques	Caractéristiques
$u_m(t) - e(t) = R \cdot i(t)$ $e(t) = k_e \cdot \omega_m(t)$ $J \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t)$ $C_m(t) = k_i \cdot i(t)$	$R$ : résistance de l'induit $k_e$ : constante de force contre électromotrice $k_i$ : constante de couple $J$ : inertie de l'ensemble ramenée à l'axe moteur $u_m(t)$ : tension d'alimentation du moteur $i(t)$ : courant dans le moteur $e(t)$ : tension contre électromotrice $\omega_m(t)$ : taux de rotation de l'arbre moteur $C_m(t)$ : couple disponible sur l'arbre moteur

**Q18 :** Après avoir passé les équations dans le domaine de Laplace, compléter le schéma bloc du DR.

<b>Prépa VAUBAN</b>		<b>Sujet Robot Robuglass</b>	<b>DM NOEL</b>
<b>PTSI</b>	P5/10		

**Q19 :** A l'aide de ce schéma bloc, calculer la fonction de transfert du moteur  $H_{mthéo}(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)}$

A l'aide d'un essai en boucle ouverte sur le système, on a caractérisé la fonction de transfert du moteur :

$$H_m(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)} = \frac{k_m}{1 + \tau_m \cdot p} \quad \text{avec } k_m = 26 \text{ rad.s}^{-1}/\text{V} \quad \text{et} \quad \tau_m = 0,01\text{s}$$

**Q20 :** En vous servant de cette fonction et de la fonction de la question 19 :

- indiquer quel terme de  $H_{mthéo}(p)$  peut être négligé.
- calculer la constante de fcm  $k_e$
- déterminer la résistance R sachant que  $k_i \approx k_e$  et que  $J = 2,95 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^2$

**Q21 :** En vous servant de la fonction  $H_m(p)$ , tracer sur le DR l'allure de l'évolution de la vitesse  $\omega_m(t)$  en réponse à un échelon  $U_m = 10\text{V}$

Dans un premier temps, le dispositif de correction est un gain proportionnel :  $C(p) = k_c$ .

**Q22 :** Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée :  $F_1(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)}$

*Remarque : vous devriez trouver un premier ordre, si ce n'est pas le cas, revoir votre calcul...*

**Q23 :** Mettre  $F_1(p)$  sous forme canonique et exprimer le gain statique noté  $K_1$  et la constante de temps notée  $\tau_1$  en fonction de :  $k_c, k_v, k_m, \tau_m$ , et  $k_p$ .

**Q24 :** Exprimer l'erreur de vitesse  $Er(p) = V_c(p) - V(p)$ .

À l'aide du théorème de la valeur finale, déterminer l'expression de l'erreur statique  $\mathcal{E}_s$  en fonction de  $k_c$  pour une entrée échelon de vitesse d'amplitude  $V_0$ .

Le dispositif de correction est maintenant un correcteur proportionnel intégral :  $C'(p) = \frac{k_c}{p}$

**Q25 :** Exprimer à nouveau la fonction de transfert en boucle fermée :  $F_2(p) = \frac{V(p)}{V_c(p)}$

**Q26 :** Mettre  $F_2(p)$  (un second ordre normalement) sous forme canonique et identifier ses éléments caractéristiques  $K_2, z$  et  $\omega_0$  en fonction de  $k_c, k_v, k_m, \tau_m$ , et  $k_p$ .

*Remarque : vous devriez trouver un second ordre, si ce n'est pas le cas, revoir votre calcul...*

**Q27 :** Montrer que l'erreur statique est nulle pour une consigne échelon de vitesse d'amplitude  $V_0$ .

**Q28 :** Pour quelle valeur de  $z$  le système est le plus rapide ?

**Q29 :** Donner l'expression du coefficient  $k_c$  (en fonction de  $k_v, k_m, \tau_m$ , et  $k_p$ ) permettant d'obtenir ce  $z$ .

Sur le DR, on vous donne la réponse du système asservi en réponse à un échelon de consigne de vitesse  $V_0 = 0,1\text{m/s}$ , pour différentes valeurs de  $k_c$ .

**Q30 :** Donner l'erreur statique ainsi que le temps de réponse à 5% pour les différentes valeurs de  $k_c$ .

## Deuxième Partie : Robinet pointeau

### Mise en situation :

Un robinet pointeau est un élément d'une installation hydraulique permettant d'établir, d'annuler ou de régler le débit de fluide traversant une canalisation.

Exemple d'utilisation sur un chimiquier

On en trouve à commande manuelle, pneumatique ou hydraulique :

L'étude se fera sur un robinet à commande manuelle.



### Description du système :

Le principe de fonctionnement en est le suivant :

Un pointeau 2 vient obturer plus ou moins la section de passage du fluide grâce à son déplacement axial.

Lorsque le pointeau 2 appuie contre le siège encastré dans le corps, le débit est nul.

La translation du pointeau est obtenue par la rotation du volant, transformée par la liaison hélicoïdale.

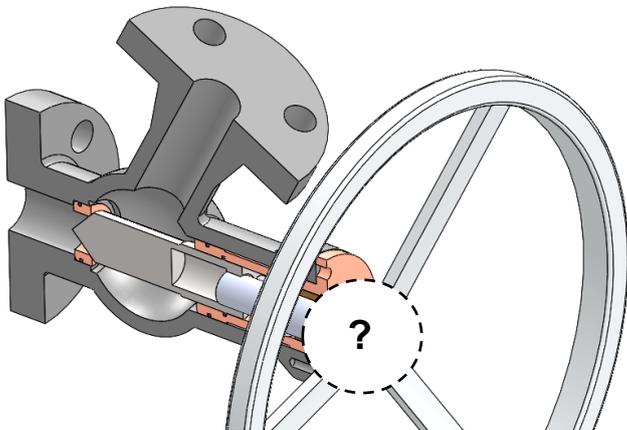
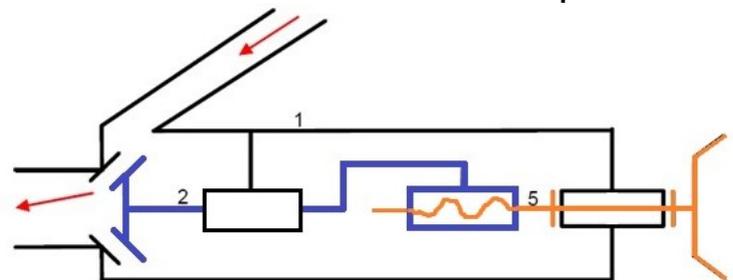


Schéma cinématique du robinet



### Etape 1 : Description de la liaison complète (10min)

**Q31 :** Décrire la liaison complète démontable entre 4 et 1 : vous expliquerez comment sont réalisés la MIP (centrage court...) et la MAP et repasserez les surfaces de MIP en rouge sur le plan du document réponse. Donner la désignation normalisée de l'élément 7.

### Etape 2 : Conception de la liaison 5/6 (30min)

On souhaite réaliser une liaison complète démontable entre l'arbre 6 et le volant 5 avec le cahier des charges suivant :

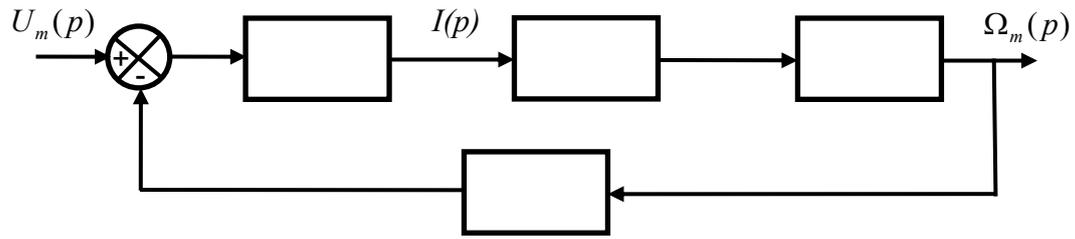
- MIP radiale : centrage long
- MIP axiale : épaulement de 6
- MIP angulaire : clavette forme A
- MAP : écrou vissé sur une prolongation de 6 +rondelle

Remarque : la face latérale gauche du volant ne devra pas être en contact avec la face latérale droite du coussinet 8, il doit y avoir un jeu de 1mm environ entre ces 2 surfaces.

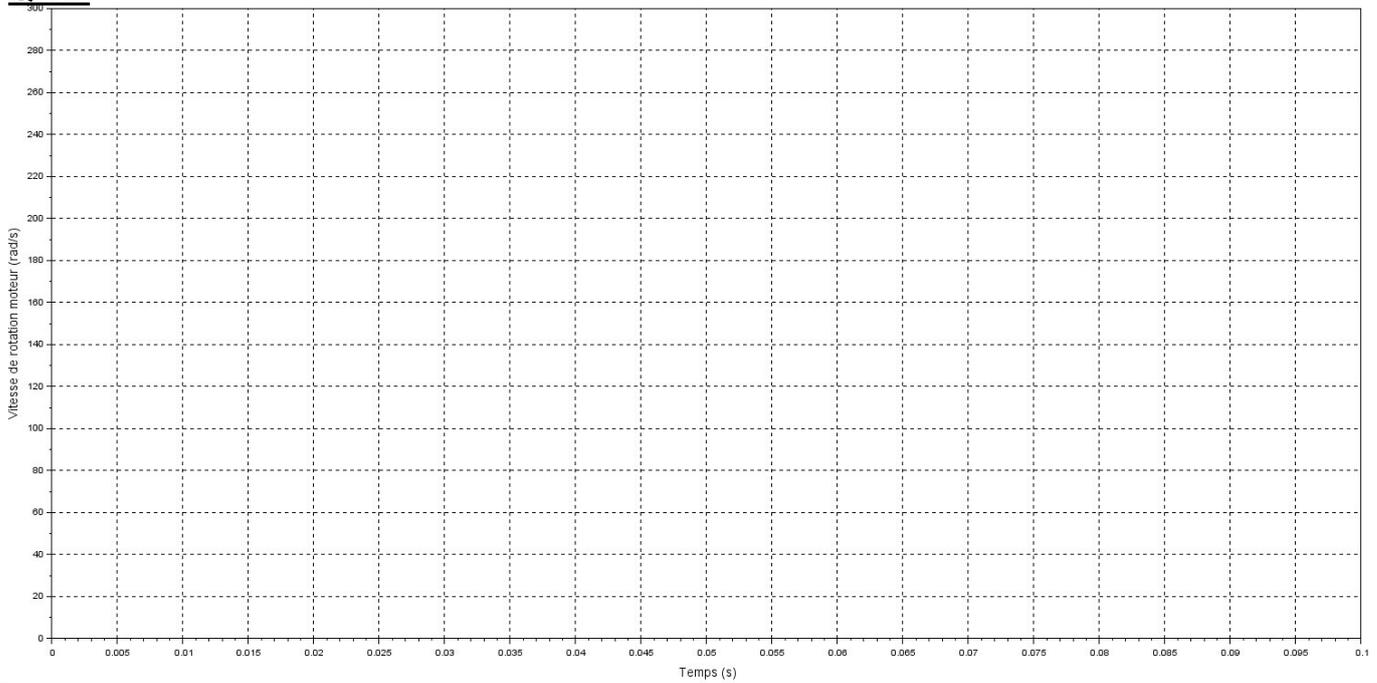
**Q32 :** Concevoir cette liaison complète sur le doc réponse à l'échelle 1, indiquer les repères et compléter la nomenclature.

Rep	Désignation	QTE
1	Corps	1
2	Pointeau	1
3	Butée pointeau	1
4	Boîtier	1
5	Volant	1
6	Axe	1
7	?	4
8	Coussinet C22-30-25	1
9	Clavette forme A 6*6*26	1
10	Joint torique Ø30	2
11	Joint torique Ø38	1
12		
13		
14		

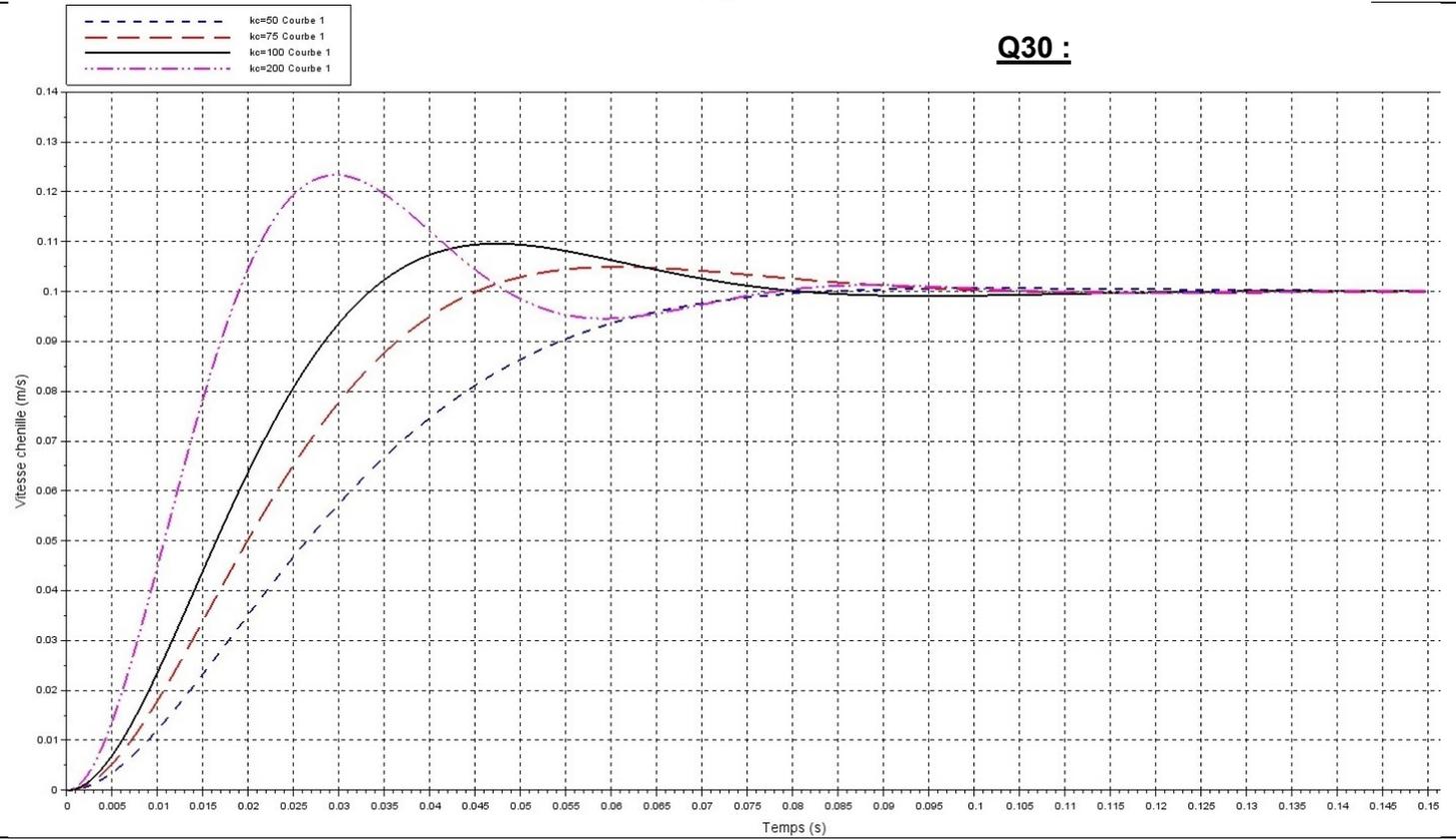
**Q18 :**

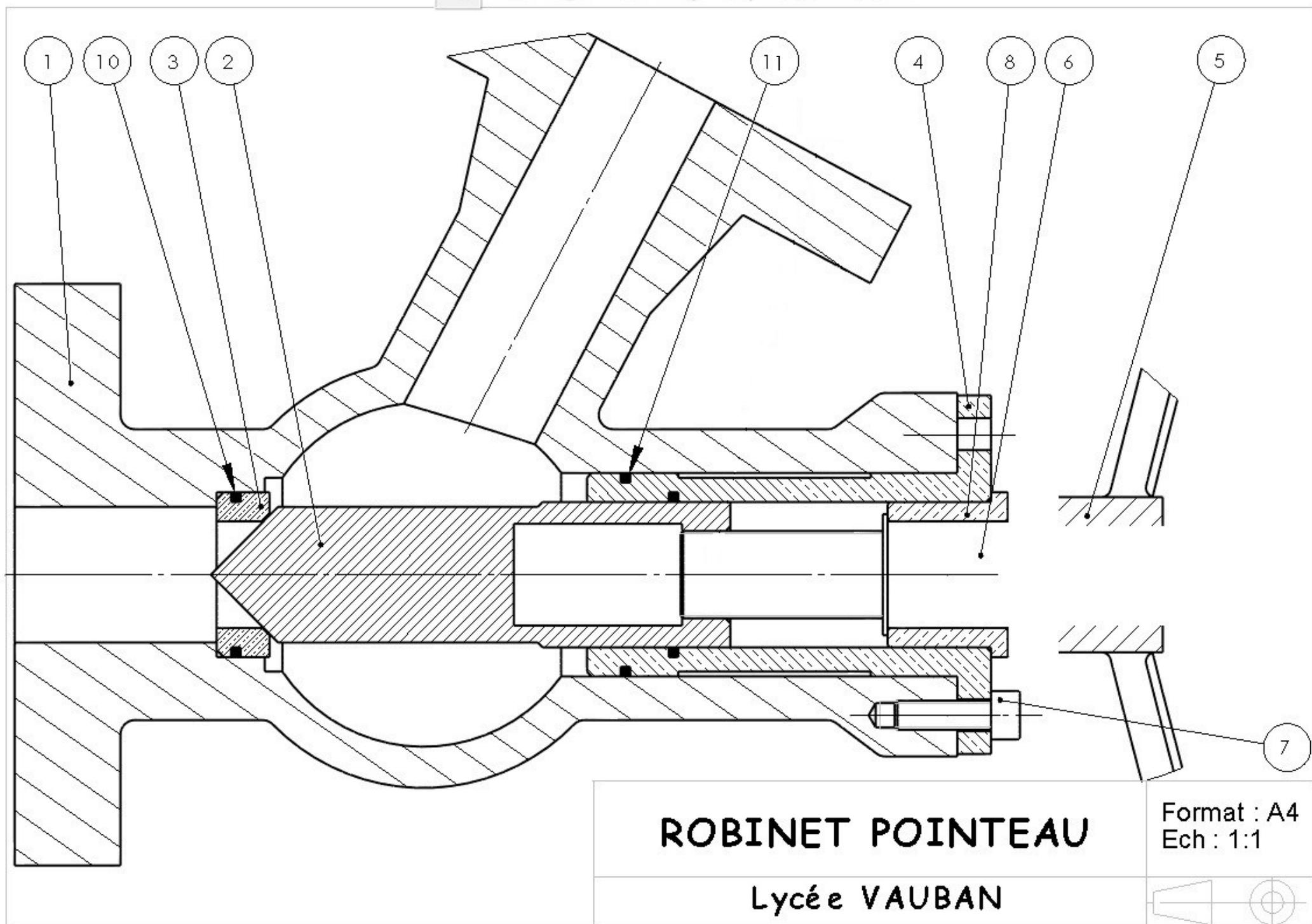


**Q21 :**



**Q30 :**





**ROBINET POINTEAU**

Format : A4  
Ech : 1:1

Lycée VAUBAN

