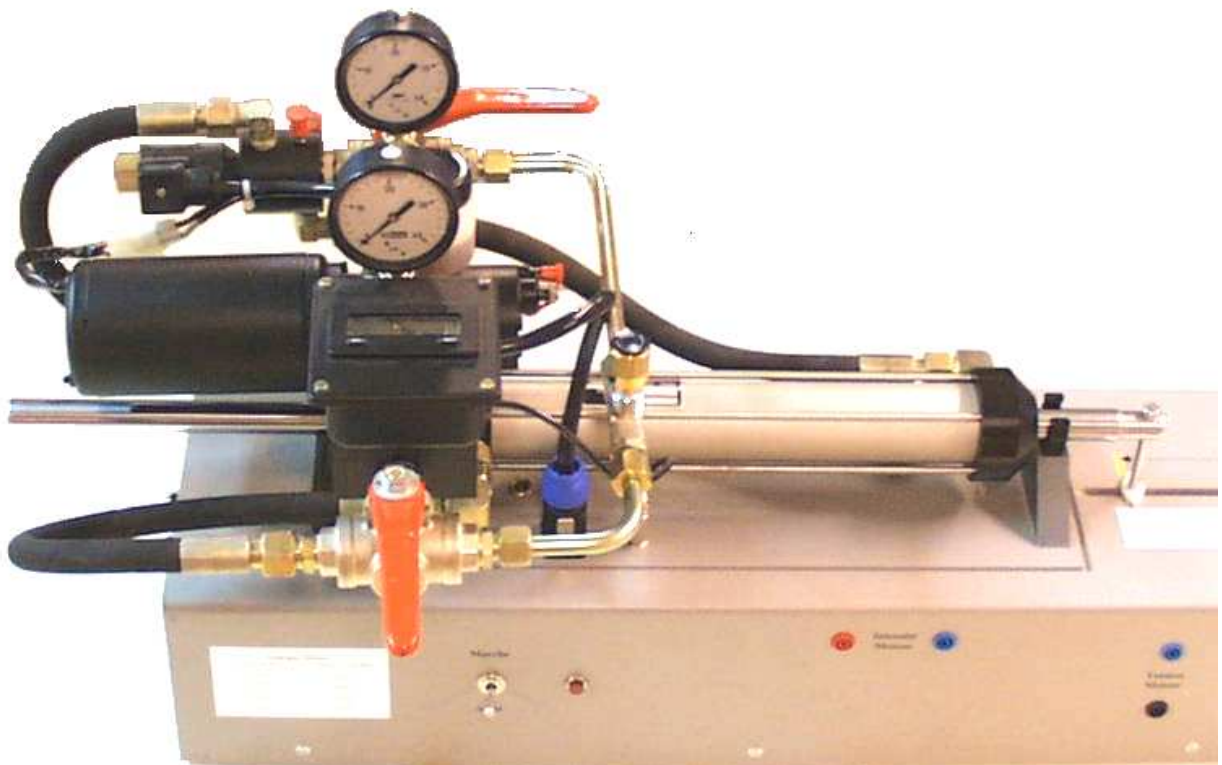


Travaux pratiques de  
**SCIENCES INDUSTRIELLES**  
sur la pompe à débit variable V2H40

Classe de PCSI/MPSI

**Étude du fonctionnement de la  
pompe**



**Sommaire**

**page**

---

<i>1</i>	<i>Présentation</i>	<i>2</i>
<i>2</i>	<i>Paramétrage</i>	<i>4</i>
<i>3</i>	<i>Travail demandé</i>	<i>5</i>
<i>4</i>	<i>Dessin d'ensemble</i>	<i>7</i>

---

# 1 Présentation

La chaîne d'action nécessaire pour manipuler le safran de voiliers conséquents comporte :

- un moteur électrique à courant continu ;
- une pompe hydraulique à débit variable ;
- un vérin hydraulique double effet ;
- un mécanisme permettant de transformer le mouvement de translation en mouvement de rotation.

Suivant la taille du bateau, et surtout son comportement sous barre, la manoeuvre du safran doit être plus ou moins rapide. A cette fin, la possibilité de régler le débit de la pompe hydraulique, permet à l'acastilleur de régler l'assistance hydraulique du pilote aux capacités du bateau choisi par son client.

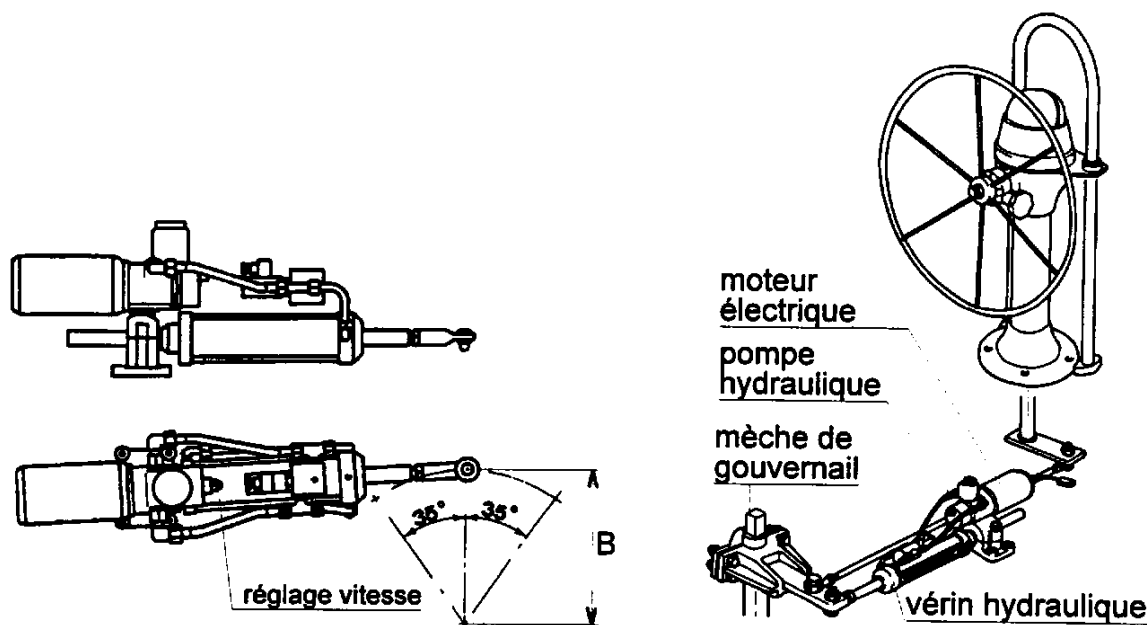
La société Navico France propose des groupes hydrauliques Lecomble et Schmitt pour équiper de pilotes automatiques les bateaux de taille importante.

Ces groupes utilisent :

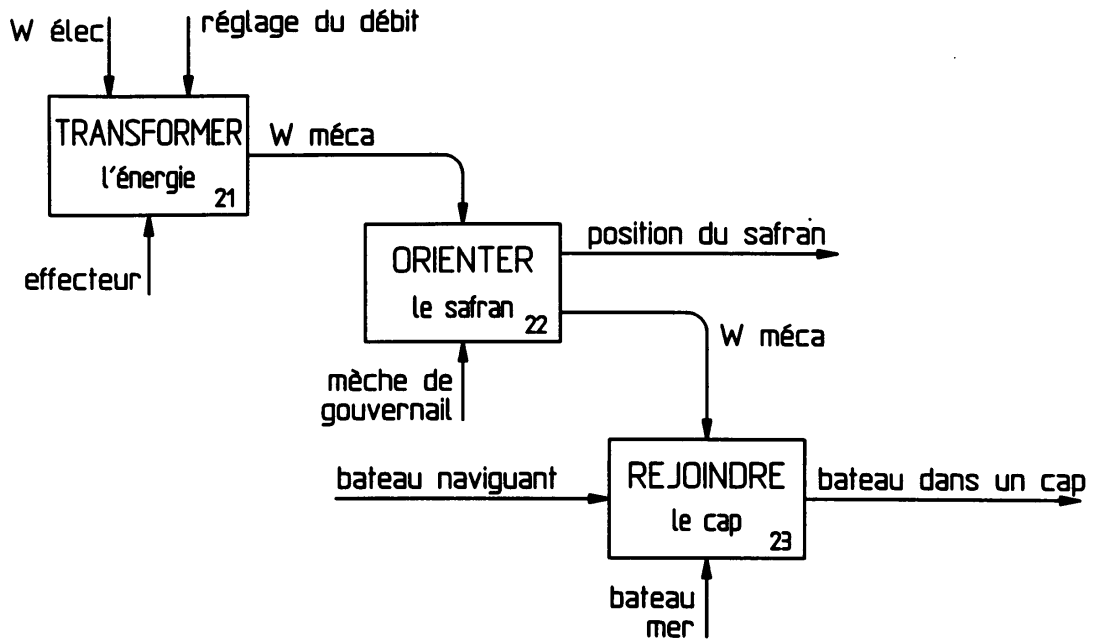
- Une moto-pompe RV2  
le moteur électrique 12 ou 24 volts continu  
la pompe à barillet six pistons a un débit réglable entre 0,2 et 2 litres/min sous 25 bars
- Un vérin double tige (diamètre du vérin 40 ou 50 mm) ;
- Hors énergie une électro-vanne permet de mettre en communication les chambres avant et arrière du vérin double tige, autorisant une commande manuelle de la barre.

Le groupe hydraulique se monte en parallèle avec la commande de barre à roue :

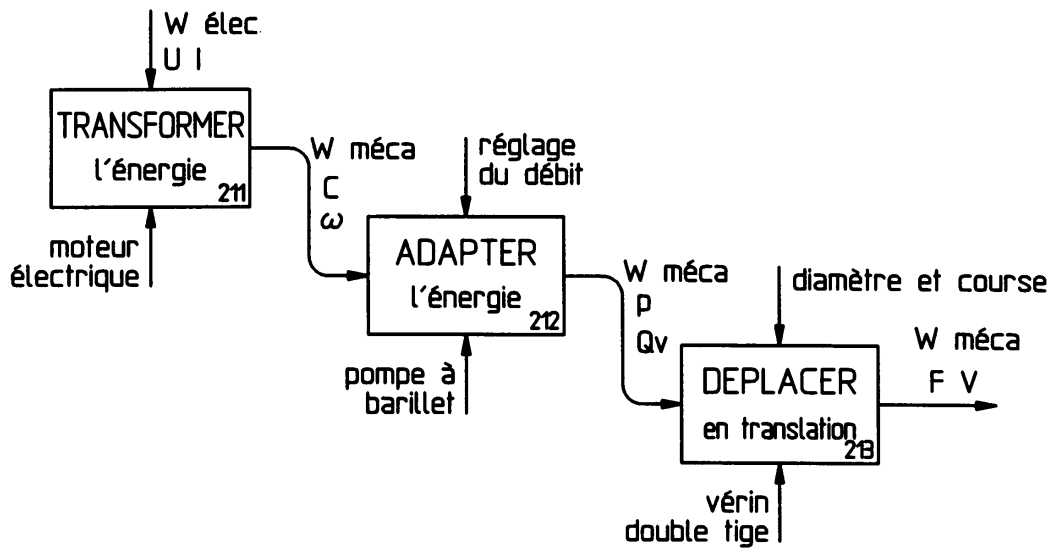
- Le support du groupe se fixe sur le bateau ;
- L'extrémité du vérin hydraulique est relié à la mèche du gouvernail.



### Diagramme A2



### Diagramme A21



## 2 Paramétrage

Le système étudié est une pompe à pistons axiaux (figure ci-contre). Elle est principalement constituée d'un corps **1**, d'un barillet **2** et de six pistons **7i** ( $i \in [1, 6]$ ) dont les axes sont répartis sur un cylindre de révolution d'axe  $(O, \vec{x}_0)$  et de rayon  $r$ .

Notons  $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  le repère lié au corps **1** tel que  $(O, \vec{x}_0)$  soit l'axe de la liaison pivot corps **1** / barillet **2**.

Considérons également un repère  $R'_0(O, \vec{u}, \vec{v}, \vec{z}_0)$  lié au corps **1** où  $\vec{u}$  définit la normale au plan de la butée à billes **9**. Posons  $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{u}) = (\vec{y}_0, \vec{v})$ .

Notons  $R_1(O, \vec{x}_0, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  le repère lié au barillet **2**

et posons  $\theta(t) = \omega t = (\vec{y}_0, \vec{y}_1) = (\vec{z}_0, \vec{z}_1)$  avec  $\omega$  constante positive.

La liaison entre chaque piston **7i** et le barillet **2** est un pivot glissant d'axe  $(M_i, \vec{x}_0)$ .

Chaque piston a une liaison sphère/plan (ponctuelle) d'axe  $(M_i, \vec{u})$  avec une butée à billes **9** qui a une liaison pivot d'axe  $(O, \vec{u})$  avec le corps **1**.

La rotation du moteur lié au barillet entraîne le déplacement des pistons et l'aspiration ou le refoulement du fluide hydraulique. La distribution du fluide n'est pas étudiée.

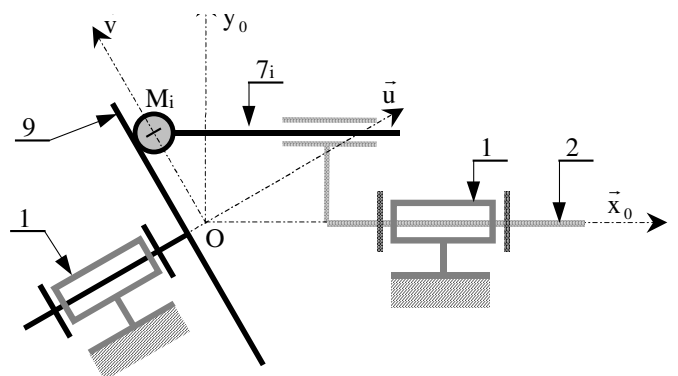
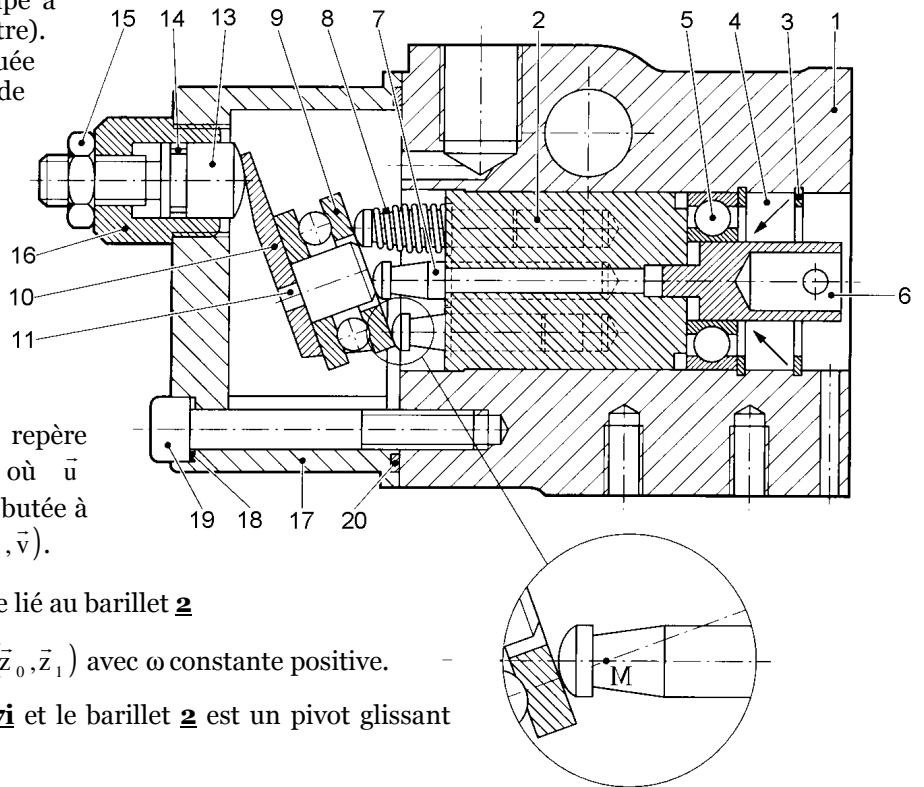
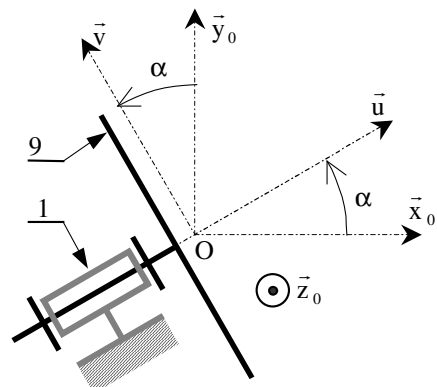
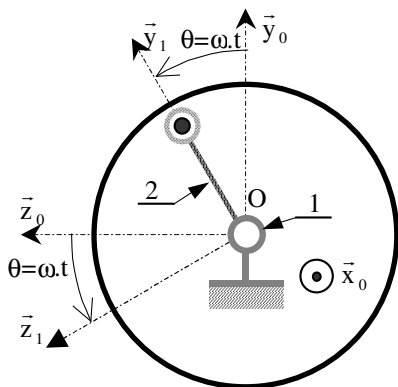


schéma cinématique de la pompe (l'axe du piston

$7i$  à été ramené dans le plan  $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$



### 3 Travail demandé

#### 3.1 Terminologie

Le croquis de la *figure 3* représente les deux positions extrêmes d'un piston :

- le point mort haut, **PMH** ;
- le point mort bas, **PMB**.

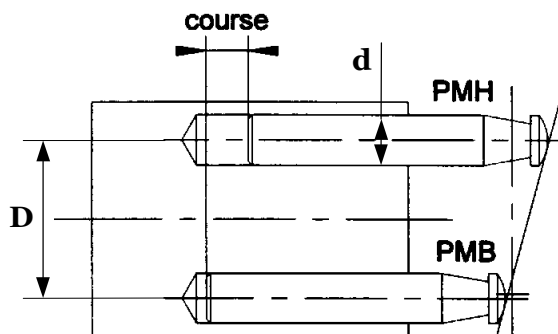


FIG 3 : course

#### 3.2 Etude du fonctionnement

Au cours du fonctionnement un piston passe par une phase d'aspiration (le volume de la chambre croît), suivie d'une phase de refoulement (le volume de la chambre décroît).

Le croquis de la *figure 4* représente dans la partie gauche le barillet dans le corps de pompe, et dans la partie droite le barillet avec les pistons.

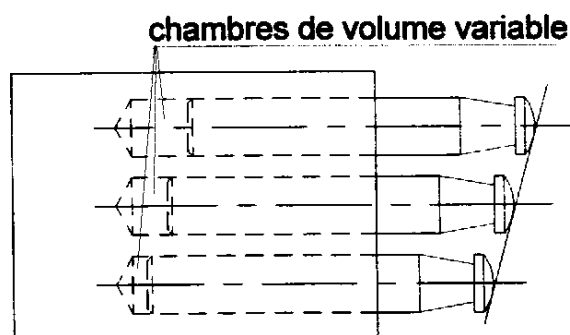
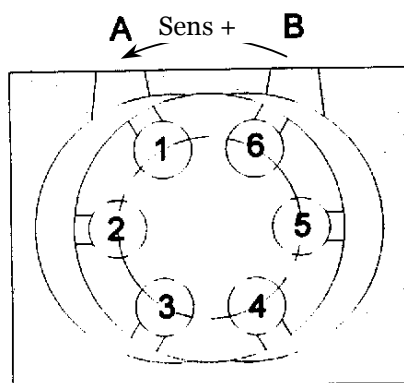


FIG 4 : admission-refoulement

**Q 1** Le sens de rotation du barillet étant supposé trigonométrique, en déduire si l'orifice A correspond à l'aspiration ou au refoulement. Justifiez votre réponse.

##### 3.2.1 Expression de la cylindrée et du débit moyen de la pompe.

Lorsque le piston est au "point mort bas" le volume restant dans la chambre est appelé volume mort".

La cylindrée d'une pompe étant égale au volume refoulé pour un cycle de cette pompe.

**Q 2** Quelle est la cylindrée de la pompe :  $Cy = f(d, D, \alpha)$

**Q 3** En déduire le débit moyen :  $Q_{\text{moy}} = f(d, D, \alpha, \omega)$  avec  $\vec{\Omega}_{(2/1)} = \omega \cdot \vec{x}_0$

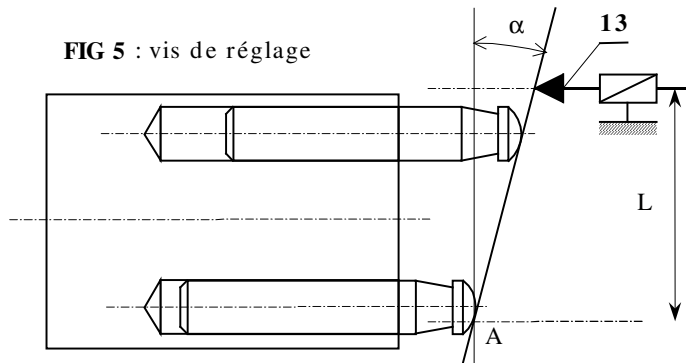
**Q 4** Comment la manœuvre de la vis de réglage de débit modifie-t-elle le débit ?

### 3.2.2 Réglage du débit

#### Relation théorique

**Q 5** Rechercher la relation entre la variation  $\Delta C$  de la course du piston et le déplacement  $\Delta x$  de l'extrémité de la vis de réglage **13**.

**Q 6** En déduire l'accroissement théorique du débit  $\Delta Q_{\text{moy}}$  en fonction de  $\Delta x$ .



#### Mesure du débit réel

☞ Passez sur le banc d'essai de la moto pompe. Sur ce banc, les vannes doivent être disposées de façon à boucler la pompe sur elle-même **sans passer par le vérin**.

☞ Le réducteur de débit doit être ouvert en grand.

☞ Mettez sous tension et réglez la vis **13** (voir la position de cette vis sur le schéma constructeur de la page de présentation) afin d'obtenir un débit de 1 litres/min.

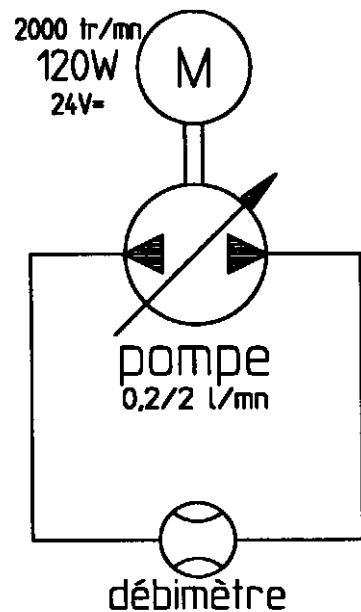
☞ Dévisser alors la vis **13** de quatre tours et mesurer le nouveau débit.

☞ Mesurer la vitesse de rotation du moteur à l'aide d'un tachymètre.

**Remarque** : La vis **13** a un pas de 1,25 mm, c'est à dire que pour un tour son extrémité se déplace de 1,25 mm.

**Q 7** Calculez l'accroissement théorique du débit et comparez le à l'accroissement de débit observé.

On donne :  $d = 6 \text{ mm}$  ;  $D = 19 \text{ mm}$  ;  $L = 25 \text{ mm}$ .



### 3.2.3 Expression du débit instantané de la pompe.

**Q 8** Etablir le graphe de structure de la pompe à 1 piston en précisant le torseur cinématique associé à chaque liaison.

**Q 9** En écrivant la composition des vitesses en  $M_1$  (voir schéma cinématique *figure 2*) en faisant tourner le barillet de la pompe écorchée, déterminer le vecteur vitesse de translation du piston  $z_1$  par rapport au barillet  $z$ .

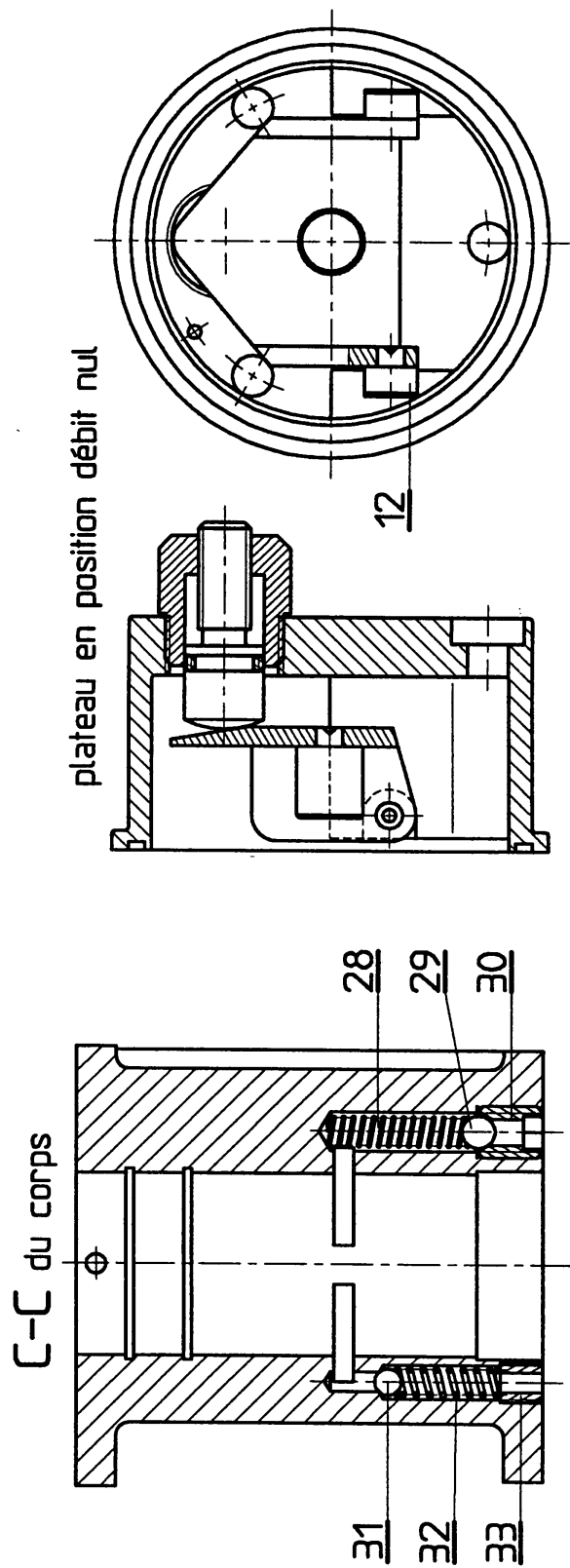
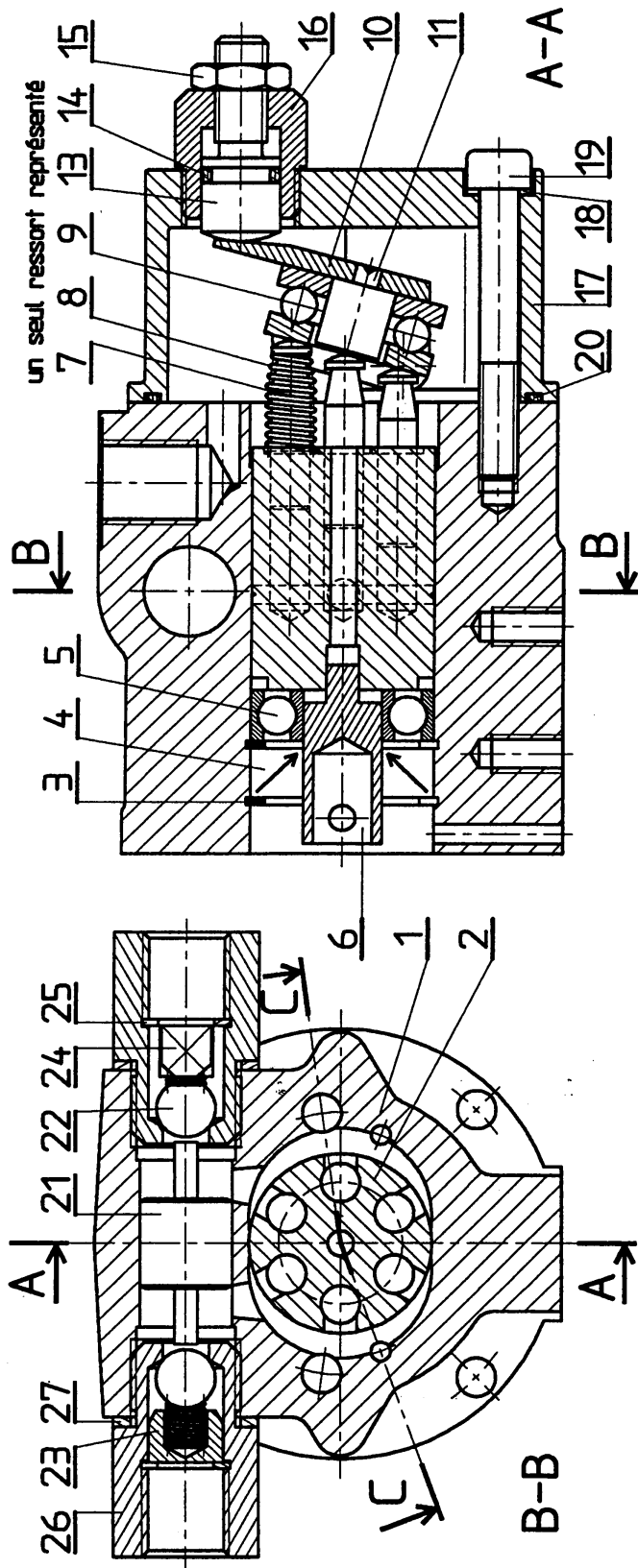
On posera  $\theta(t) = \omega t$  où  $\omega$  est une constante.

**Q 10** Tracer en rouge l'allure de la courbe représentant le débit instantané du piston  $z_1$  pour un tour de barillet.

**Q 11** Représenter sur ce même graphe mais d'une autre couleur le débit instantané des cinq autres pistons puis en déduire la courbe représentant le débit instantané de la pompe pour un tour.

**Q 12** Quel est l'intérêt de multiplier le nombre de pistons pour une pompe de ce type ?

# 4 Dessin d'ensemble



33	2	Vis clapet surpression
32	2	Ressort clapet de surpression
31	2	Bille Ø 4
30	2	Vis clapet d'aspiration
29	2	Bille Ø5
28	2	Ressort clapet d'aspiration
27	2	Joint plat G3/8
26	2	Siège clapet anti-retour
25	2	Anneau élastique pour alésage 12 x 1
24	2	Butée
23	2	Ressort clapet anti-retour
22	2	Bille Ø9
21	1	Tiroir
20	1	Joint OR 56,87 x 1 78
19	2	Vis CHC M6 - 45
18	2	Rondelle plate Ø 6
17	1	Carter
16	1	Adaptateur
15	1	Ecrou HM M8
14	1	Joint OR 7
13	1	Vis de réglage de débit
12	2	Axe d'articulation
11	1	Centreur
10	1	Basculeur
9	1	Butée à billes 51200
8	6	Ressort de piston
7	6	Piston
6	1	Entraîneur
5	1	Roulement 6001
4	1	Joint à lèvres 12 x 28 x 7
3	2	Anneau élastique pour alésage 28 x 1,2
2	1	Barillet
1	1	Corps
<b>Rep</b>	<b>Nb</b>	<b>Désignation</b>

Travaux pratiques de  
**SCIENCES INDUSTRIELLES**  
sur la pompe à débit variable V2H40

Classe de PCSI/MPSI

Étude du fonctionnement de la pompe  
-éléments de corrigé-

**Q 1** Le sens de rotation du barillet étant supposé trigonométrique, en déduire si l'orifice A correspond à l'aspiration ou au refoulement. Justifiez votre réponse.

Si le sens de rotation du barillet est trigonométrique, la chambre à volume variable située à l'arrière du piston **1** (voir figure 4) va, dans un premier temps, diminuer. Le fluide est alors refoulé dans une gorge qui est en communication avec l'orifice A.

A l'opposé, le volume situé à l'arrière du piston **4** va augmenté aspirant ainsi le fluide contenu dans la gorge qui est en communication avec l'orifice B.

**Q 2** Quelle est la cylindrée de la pompe :  $Cy = f(d, D, \alpha)$

La cylindrée de la pome correspond au volume refoulé par celle-ci au cours d'un cycle.

Cylindrée = course d'un piston  $\times$  section d'un piston  $\times$  nombre de pistons

Avec : course d'un piston =  $D \cdot \tan \alpha$  ;

Section d'un piston =  $\pi \cdot d^2 / 4$  ;

Nombre de pistons = 6

$$\boxed{\text{cylindrée} = \frac{3}{2} \pi \cdot d^2 \cdot D \cdot \tan \alpha}$$

**Q 3** En déduire le débit moyen :  $Q_{\text{moy}} = f(d, D, \alpha, \omega)$  avec  $\vec{\Omega}_{(2/1)} = \omega \cdot \vec{x}_0$

Le débit correspond au volume de fluide refoulé pa unité de temps.

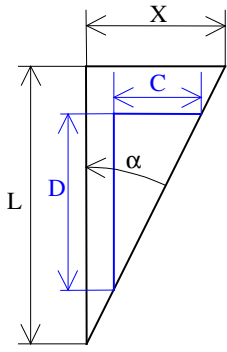
$Q_{\text{moy}} = \text{cylindrée} \times \text{fréquence avec fréquence} = \omega / 2 \cdot \pi$

$$\boxed{Q_{\text{moy}} = \frac{3}{4} d^2 \cdot D \cdot \tan \alpha \cdot \omega}$$

**Q 4** Comment la manœuvre de la vis de réglage de débit modifie-t-elle le débit ?

En manoeuvrant la vis de réglage, on fait varier l'angle  $\alpha$  par conséquent le débit.

**Q 5** Rechercher la relation entre la variation  $\Delta c$  de la course du piston et le déplacement  $\Delta x$  de l'extrémité de la vis de réglage 13.



$$\frac{X}{L} = \frac{C}{D} \Rightarrow C = \frac{D}{L} X \Rightarrow \boxed{\Delta C = \frac{D}{L} \cdot \Delta X}$$

**Q 6** En déduire l'accroissement théorique du débit  $\Delta Q_{\text{moy}}$  en fonction de  $\Delta x$ .

$$\boxed{\Delta Q_{\text{moy}} = \frac{3 \cdot D}{4 \cdot L} \cdot d^2 \cdot \omega \cdot \Delta X}$$

**Q 7** Calculez l'accroissement théorique du débit et comparez le à l'accroissement de débit observé.

On donne :  $d = 6 \text{ mm}$  ;  $D = 19 \text{ mm}$  ;  $L = 25 \text{ mm}$ .

**Valeur théorique :**  $\Delta Q_{\text{moy}_{th}} = \frac{3 \cdot D}{4 \cdot L} \cdot d^2 \cdot \omega \cdot \Delta X$  avec

$\begin{cases} d = 6 \text{ mm} \\ D = 19 \text{ mm} \\ L = 25 \text{ mm} \\ \Delta X = 5 \text{ mm} \\ \omega = 209,5 \text{ rd/s} \end{cases}$	$\Rightarrow \boxed{\Delta Q_{\text{moy}_{th}} = 21,5 \text{ cm}^3 / \text{s}}$
--	---

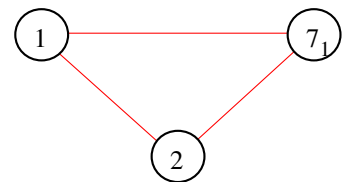
**Valeur mesurée :**

**Q 8** Etablir le graphe de structure de la pompe à 1 piston en précisant le torseur cinématique associé à chaque liaison.

$$\left\{ \begin{matrix} \vec{V}(7_1/1) \\ \vec{\Omega}(7_1/1) \end{matrix} \right\}_{M_1} = \left\{ \begin{matrix} \vec{\Omega}(7_1/1) \\ \vec{V}(M_1 \in 7_1/1) \end{matrix} \right\}_{M_1} \quad \text{avec} \quad \vec{V}(M_1 \in 7_1/1) \cdot \vec{u} = 0$$

$$\left\{ \begin{matrix} \vec{V}(2/1) \\ \vec{\Omega}(2/1) \end{matrix} \right\}_{P \in (O, \vec{x}_0)} = \left\{ \begin{matrix} \omega \cdot \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{matrix} \right\}_P$$

$$\left\{ \begin{matrix} \vec{V}(7_1/2) \\ \vec{\Omega}(7_1/2) \end{matrix} \right\}_{P_1 \in (M_1, \vec{x}_0)} = \left\{ \begin{matrix} \omega_{1,72} \cdot \vec{x}_0 \\ \vec{V}(P_1 \in 7_1/2) \cdot \vec{x}_0 \end{matrix} \right\}_P$$



**Q 9** En écrivant la composition des vitesses en  $M_1$  (voir schéma le cinématique *figure 2*) en faisant tourner le barillet de la pompe écorchée, déterminer le vecteur vitesse de translation du piston  $z_1$  par rapport au barillet  $z$ .

$$\vec{V}(M_1 \in 7_1/2) = \vec{V}(M_1 \in 7_1/1) - \vec{V}(M_1 \in 2/1) \Rightarrow$$

$$\vec{V}(M_1 \in 7_1/2) \cdot \vec{u} = \vec{V}(M_1 \in 7_1/1) \cdot \vec{u} - \vec{V}(M_1 \in 2/1) \cdot \vec{u} \Rightarrow$$

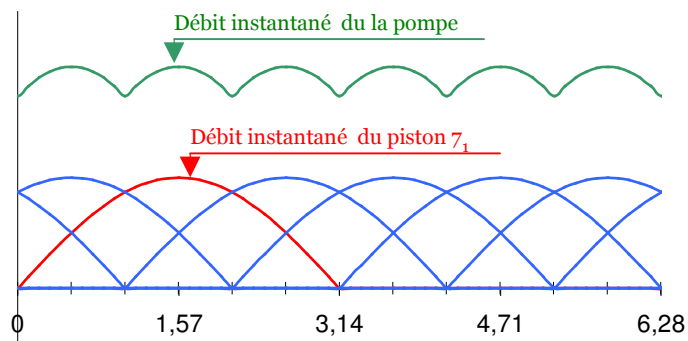
$$V(M_1 \in 7_1/2) \cdot \vec{x}_0 \cdot \vec{u} = 0 - \omega \cdot R \cdot \vec{z}_1 \cdot \vec{u} \Rightarrow$$

$$V(M_1 \in 7_1/2) \cdot \cos \alpha = \omega \cdot R \cdot \sin \alpha \cdot \sin \alpha \Rightarrow$$

$$\boxed{V(M_1 \in 7_1/2) = \omega \cdot R \cdot \tan \alpha \cdot \sin \alpha}$$

**Q 10** Tracer en rouge la courbe représentant le débit instantané du piston  $z_1$  pour un tour de barillet.

**Q 11** Représenter sur ce même graphe le débit instantané des cinq autres pistons puis en déduire la courbe représentant le débit instantané de la pompe pour un tour.



**Q 12** Quel est l'intérêt de multiplier le nombre de pistons pour une pompe de ce type ?

Plus grande régularité de débit qu'une pompe à un seul piston.