UNIVERSITE PAUL SABATIER
TOULOUSE

SESSION DE JUIN 1987

U 7 - TRANSMISSION DE PUISSANCE

TECHNOLOGIE - 1ère épreuve (Durée 3 h)

Toutes les questions sont indépendantes. On précisera pour chaque calcul le modèle et les hypothèses et on mettra en évidence les résultats. Documents autorisés : Cours et TD.

On envisage l'étude d'un moteur hydraulique à 5 pistons radiaux disposés suivant le schéma figure 1.

I - DETERMINATION GLOBALE DES CARACTERISTIQUES DU MOTEUR ET DE LA POMPE

On désire obtenir sur l'arbre de sortie du moteur un couple C_M = 600 m.N pour une vitesse pouvant varier de 0 à 500 t/mn et pour une chute de pression au moteur P = 210 bars.

Les rendements à C_{maxi} et ω_{maxi} sont les suivants : rendement volumétrique η_v = 0,87 et rendement mécanique η_m = 0,96.

D'autre part, on choisit le diamètre des pistons D = 1,5 course.

1.1. Cylindrée par tour du moteur.

1.2. En déduire les caractéristiques géométriques D, e.

1.3. Calculer le débit que doit pouvoir fournir la pompe.

II - ETUDE CINEMATIQUE

2.1. Vitesse instantanée du piston

a) écrire l'expression de $s = \overline{OA}$ en fonction de e, θ et $r = O_1A$.

b) en déduire l'expression de la vitesse instantanée du piston (on développera les expressions en fonction de $\frac{e}{r} \ll 1$ et on ne retiendra que les termes du 1er et 2ème ordre).

2.2. De la même manière écrire l'expression de la vitesse intantanée de glissement du patin sur l'arbre excentrique.

.../...

2.3. Application numérique :

ω = 500 tr/mn , e = 14 mm, r = 84 mm, R = 40 mm

Calculer la vitesse du piston dans son cylindre pour θ = 80° et celle du patin sur l'excentrique pour θ = 90° et θ = 0°.

III - ETUDE DU PATIN HYDROSTATIQUE

Chaque piston s'appuie sur l'excentrique par l'intermédiaire d'un patin hysdrostatique. On admet que le fonctionnement de ces patins diffère peu de celui d'un patin cylindrique plan (fig. 2).

3.1. On choisit $\frac{R1}{R2}$ = 0,7 et $\beta = \frac{P_i}{P_e}$ = 0,8 . Justifier ce choix.

3.2. En déduire les valeurs de R_1 et R_2 sachant que le diamètre du piston D = 42 mm.

3.3. Calculer la hauteur optimale de fonctionnement, c'est à dire celle qui donne la puissance dissipée minimale à charge et vitesse de fonctionnement maximales.

La viscosité du fluide μ = 0,023 Pl, N_{max} = 500 tr/mn

P_{emax} = 210 bars ; D = 42 mm, vitesse relative moyenne patin

excentrique = v_g = 2,3 m/s.

3.4. On choisit une hauteur de fonctionnement à charge maxi h = 0,02 mm, compatible avec les possibilités de réalisation. Calculer le débit de fuite au patin.

3.5. En déduire le diamètre d du trou calibré de longueur l = 15 mm qu'il est nécessaire d'installer.

3-6. pour variation de charge variation de hauteur ?

IV - ETUDE DE LA DISTRIBUTION DU FLUIDE

4.1. La distribution du fluide aux 5 pistons est assurée par deux rainures demi-circulaires situées sur un cylindre de Ø 40 mm entrainé en rotation par l'arbre excentrique (fig. 1 b). Après avoir précisé le modèle et les hypothèses de calcul déterminer le jeu diamétral à installer pour que le débit de fuite à la rainure de de distribution n'excède pas 20 cm3/s pour un fluide de viscosité μ = 0,023 Pl et pour une pression de 210 bars.

4.2. Sachant que pour chaque patin le débit de fuite à 210 bars est de 8,5 cm3/s et en estimant les fuites à la liaison sphérique et au piston négligeables, en déduire le rendement volumétrique que l'on peut espérer à N_{maxi}.

4.3. Compte tenu du faible jeu au distributeur, montrer que le système tel qu'il est schématisé (fig. 1b) est hyperstatique. En déduire les degrés de liberté nécessaires pour rendre le système isostatique et donner deux solutions technologiques en réalisant ces mobilités soit entre l'arbre excentrique et le distributeur, soit entre le distributeur et le carter (croquis).

4.4. Cette distribution est soumise côté HP à des efforts radiaux qui entrainent soit des déplacements, soit des déformations nuisibles. Pour les éviter, on se propose d'équilibrer radialement cet élément. Faire un croquis soigné d'une solution équilibrée avec les principales dimensions des différentes rainures (admission, distribution, équilibrage).

V. ETUDE DES EFFORTS SUR L'EXCENTRIQUE

5.1. Dans un repère (O X Y Z) lié à l'arbre (fig. 1), déterminer le torseur en O des actions des 5 patins sur l'arbre excentrique. (On ne retiendra que le 1er terme du développement en $\frac{e}{r}$). On notera la pression P et la section du piston s.

5.2. On envisage de construire un moteur à cylindrée variable. L'excentrique ne fait plus partie intégrante de l'arbre mais fait l'objet avec lui d'une liaison glissière (fig. 3) L'excentricité réglable est commandée par un circuit hydraulique de commande à travers l'arbre.

Déterminer les efforts de l'excentrique sur les pistons de commande. Si on utilise la pression d'alimentation du moteur pour commander la variation d'excentricité, qu'elle doit être la section minimale du piston de commande ?

JG. JUIN 87

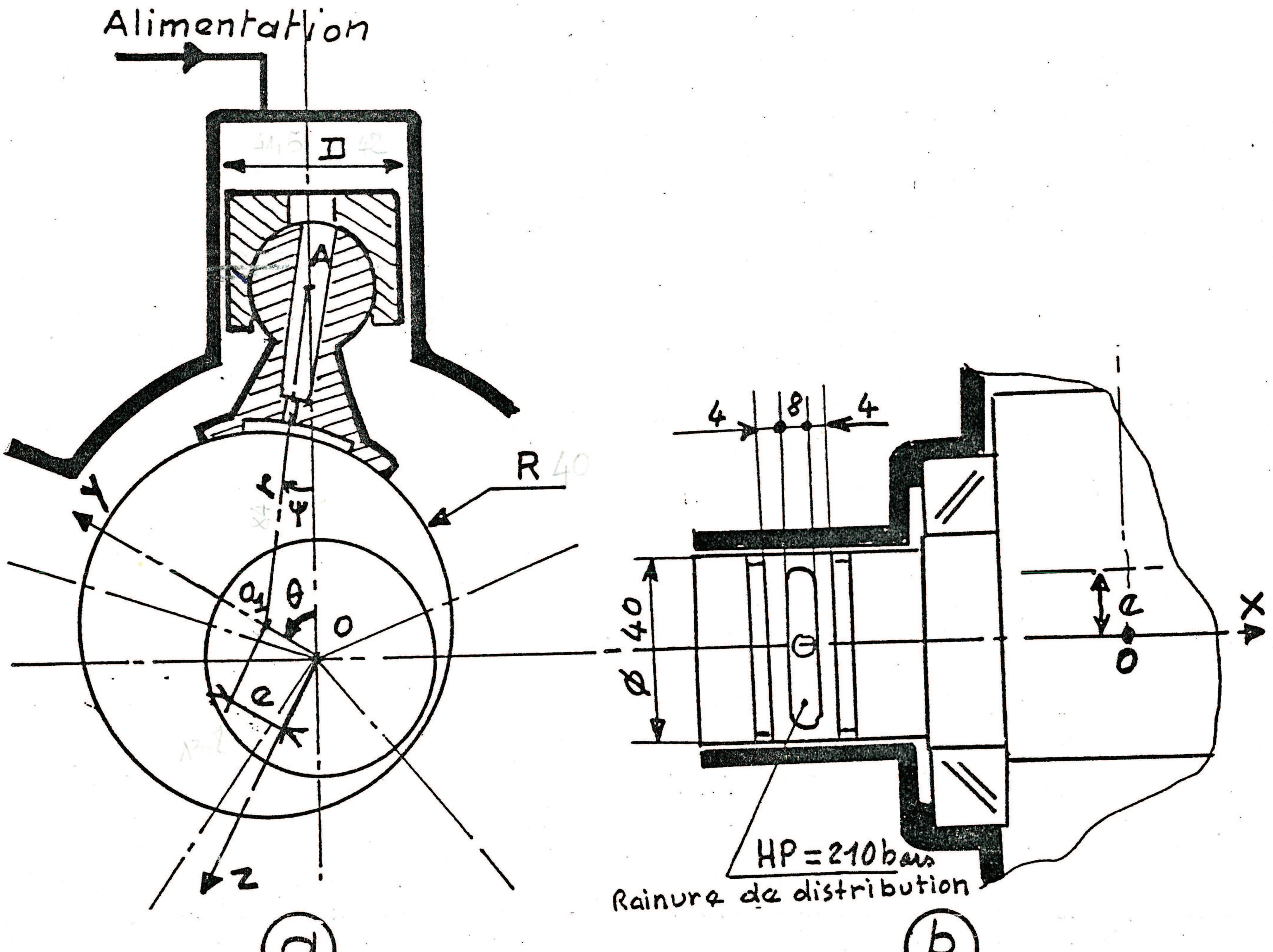


FIGURE 1

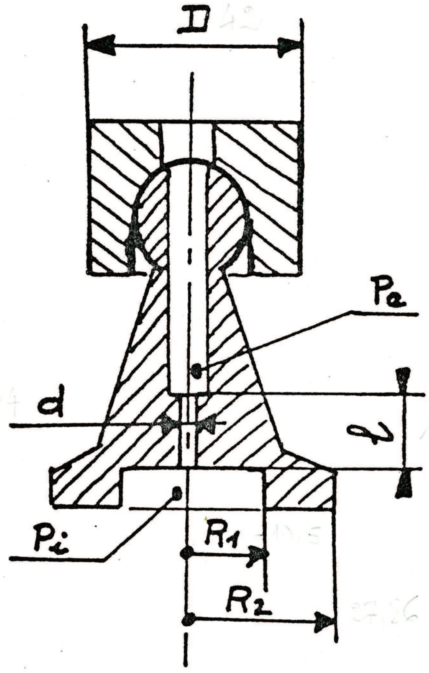


FIGURE 2

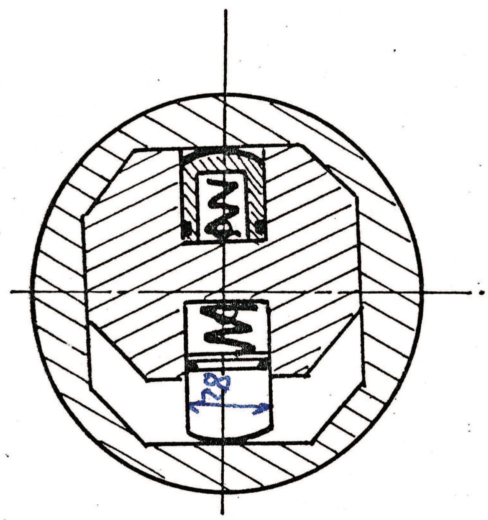
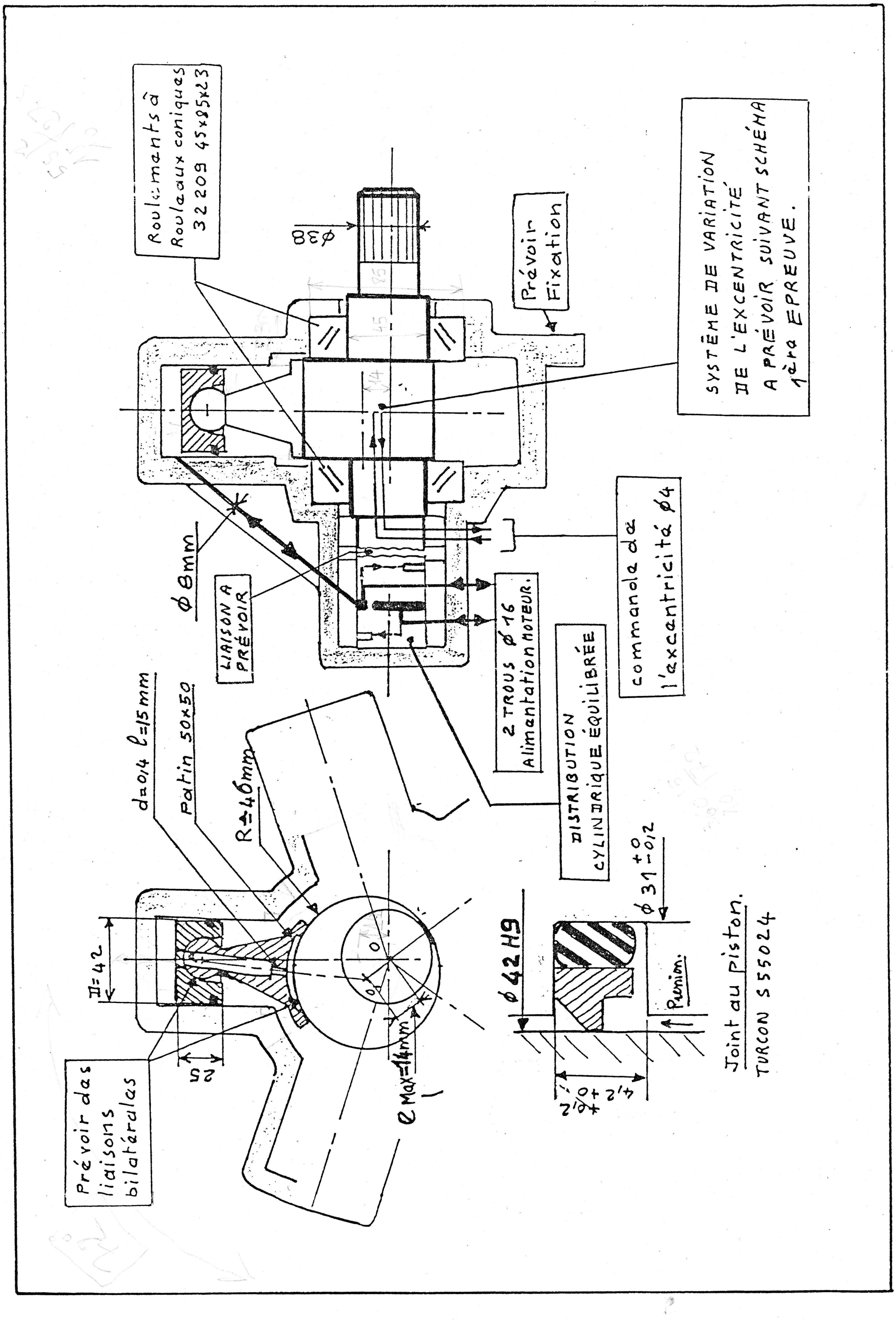


FIGURE 3

J.G.


Roulements à Rouleaux coniques 32 209 45x85x23
SYSTÈME DE VARIATION DE L'EXCENTRICITÉ A PRÉVOIR SUIVANT SCHÉMA 1ère EPREUVE.
Prévoir Fixation
ϕ38
ϕ8mm
LIAISON A PRÉVOIR
2 TROUS ϕ16 Alimentation MOTEUR.
commande de l'excentricité ϕ4
DISTRIBUTION CYLINDRIQUE ÉQUILIBRÉE
d=0,4 l=15mm
Patin 50x50
R=40mm
D=42
25
Prévoir des liaisons bilatérales
e Max=14mm
ϕ 42 H9
ϕ 31 +0 -0,2
Rmin.
4,2 +0,2 0
Joint au piston.
TURCON S 55024

UNIVERSITE PAUL SABATIER
TOULOUSE

SESSION DE JUIN 1987

U 7 - TRANSMISSION DE PUISSANCE

PROJET : 2ème épreuve

Durée : 5 heures

On demande d'effectuer sur calque à l'échelle 1, le dessin d'avant Projet du moteur hydraulique défini par le schéma joint et dont le fonctionnement a été précisé dans l'épreuve de Technologie.

On indiquera les jeux et ajustements, les matériaux et les traitements thermiques choisis pour les pièces principales ainsi que toute indication nécessair à la bonne compréhension du dessin.

PRECISIONS COMPLEMENTAIRES

Les raccordements (Alimentation et retour) se feront par brides fixées par vis (les brides ne sont pas à dessiner).

Le retour des fuites et la commande de variation de cylindrée se feront par trous filetés destinés à recevoir un raccord.

La distribution cylindrique est équilibrée et sa liaison doit assurer l'isostatisme.

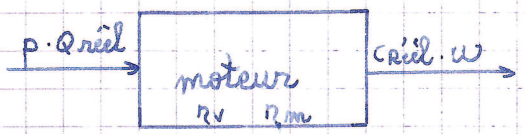
On doit prévoir des liaisons bilatérales évitant tout décollement entre chaque piston et son patin et entre les patins et l'excentrique.

Les pistons de commande de l'excentricité ont un diamètre de 28 mm.

Projet n° 3

I -

1-1 -



$$\Rightarrow \eta_v \cdot \eta_m \; P \cdot Q_{réel} = \omega \cdot C_{réel} .$$

$$q_{th} = \eta_v \; q_{réel} = V_T \cdot \frac{\omega}{2\pi} \quad ; \quad V_r = \frac{V_t}{2\pi} \; ;$$

$$\Rightarrow V_T \, \frac{\omega}{2\pi} \, \eta_m \, P = \omega \cdot C_{réel}$$

$$\Rightarrow V_T = \frac{2\pi \, C_{réel}}{P \cdot \eta_m} = \frac{2\pi \cdot 600}{210 \cdot 0{,}96} = 187{,}2 \ cm^3/tr$$

1-2 - il y a 5 pistons.

$$V_T = 5 \cdot 2e \cdot \frac{\pi D^2}{4}$$ or par hypothèse $D = 1{,}5 \times$ course

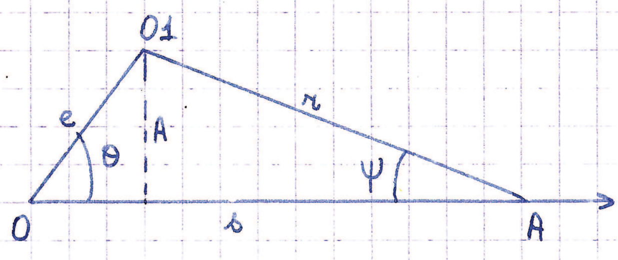
$$\Rightarrow \begin{cases} e = 13{,}8 \ mm \\ D = 41{,}5 \ mm \end{cases}$$

1-3 Calcul du débit que doit fournir la pompe.

$$q_{réel} = \frac{V_T \cdot \omega}{\eta_v \cdot 2\pi} = \frac{V_t \cdot N}{\eta_v} = \frac{187 \times 500}{\eta_v} = 107{,}5 \cdot 10^3 \ cm^3/min$$

$$q_{réel \ pompe} = 1{,}8 \ l/s$$

II -



$$s = s(e, r, \theta) \qquad \frac{e}{r} << 1$$

$$s = e \cos\theta + r \cos\psi$$

or $\sin\psi = \frac{A}{r}$ et $\sin\theta = \frac{A}{e}$ $\rightarrow$ $r \sin\psi = e \sin\theta$

$$\Rightarrow \quad \sin\psi = \frac{e}{r}\sin\theta .$$

or $\quad \cos\psi = \sqrt{1-\sin^2\psi} \quad$ (vu $\cos^2\psi + \sin^2\psi = 1$)

$$\sin^2\psi = \left(\frac{e}{r}\sin\theta\right)^2$$

$$\rightarrow \quad \cos\psi = \sqrt{1 - \underbrace{\frac{e^2}{r^2}\sin^2\theta}_{\varepsilon}} = \sqrt{1-\varepsilon} \simeq 1 - \underset{\substack{\uparrow \\ 2^\circ}}{\frac{\varepsilon}{2}} + \cdots$$

$$\rightarrow \quad \cos\psi = 1 - \frac{e^2}{2r^2}\sin^2\theta$$

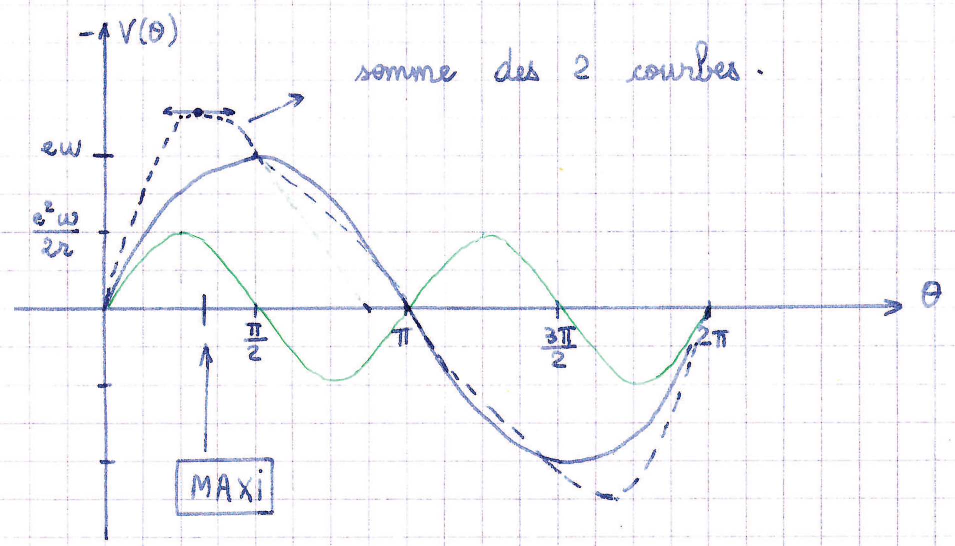
donc $\quad s = e\cos\theta + r\cos\psi = e\cos\theta + r\left[1 - \frac{e^2}{2r^2}\sin^2\theta\right]$

vitesse instantanée du piston $= \dfrac{ds}{dt}$

vitesse $= -e(\sin\theta)\,\omega - \dfrac{e^2}{r}\,\omega\,\sin\theta\cos\theta$

$\left(\dfrac{d\theta}{dt} = \omega\right)$

$$v = \frac{ds}{dt} = -e\omega\sin\theta\left[1 + \frac{e}{r}\cos\theta\right] = -e\omega\left[\sin\theta + \frac{e}{2r}\sin 2\theta\right]$$

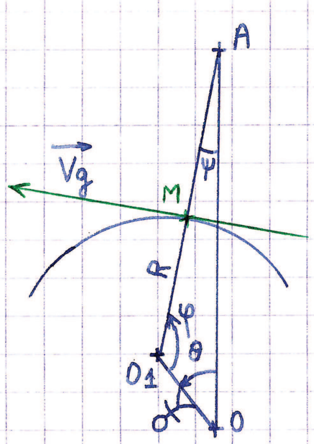


pour $\quad \theta = 80^\circ$

$$\Rightarrow \quad v = 742 \text{ mm/s} = 0{,}74 \text{ m/s}$$

22 - Vitesse de glissement du patin.

Soit le schéma :



$$\vec{\Omega}\ \text{patin / excentrique} = \vec{\Omega}\ P/\text{bâti} - \vec{\Omega}\ \text{exc / bâti}$$

$$\dot{\varphi}\,\vec{X} = -\dot{\psi}\,\vec{X} - \dot{\theta}\,\vec{X}$$

$$\dot{\varphi} = -\dot{\psi} - \dot{\theta}$$

$$\varphi = \pi - \psi - \theta$$

$$\Rightarrow \dot{\varphi} = -\dot{\psi} - \dot{\theta}$$

observateur sur excentrique :

$$V_g = R\,\dot{\varphi}$$

vu $\sin\psi = \frac{e}{r}\sin\theta$

$$\Rightarrow \cos\psi \cdot \dot{\psi} = \frac{e}{r}\cos\theta \cdot \omega$$

$$\Rightarrow \dot{\psi} = \frac{e}{r}\,\omega\cos\theta\,\frac{1}{\sqrt{1-\frac{e^2}{r^2}\sin^2\theta}}$$

$$\Rightarrow \dot{\psi} = \frac{e}{r}\,\omega\cos\theta\left[1+\frac{e^2}{2r^2}\sin^2\theta\right]$$

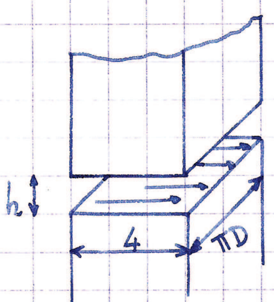
$$\simeq \frac{e}{r}\,\omega\cos\theta + \dots$$

$$\dot{\varphi} = -\frac{e}{r}\,\omega\cos\theta - \underbrace{\omega}_{\dot{\theta}} = -\omega\left[1+\frac{e}{r}\cos\theta\right]$$

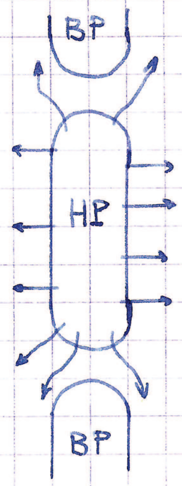
$$\Rightarrow V_g = -R\omega\left[1+\frac{e}{r}\cos\theta\right]$$

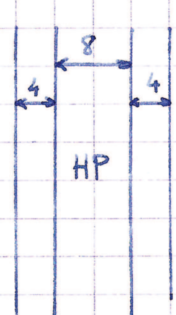
$$\begin{cases} \theta = 30^\circ \Rightarrow V_g = 2{,}09\ m/s \\ \theta = 0^\circ \Rightarrow V_g = 2{,}44\ m/s \end{cases}$$

IV -



2 rainures HP
2 rainures BP





$$Q = \frac{\pi}{12\mu}\,\frac{h^3}{L}\,D\,\Delta P$$

$$\Rightarrow \quad h^3 = \frac{20\cdot 10^{-6} \times 12 \times 0{,}023 \times \overset{2\times 4}{8}}{40\,\pi \quad 210\cdot 10^{5}} \times 10^{9}$$

$$\Rightarrow \quad h = 25\,\mu$$

Jeu $= 2h = 51\,\mu m$. (jeu diamétral)

on suppose qu'il y a 1 patin / 2 qui fonctionne

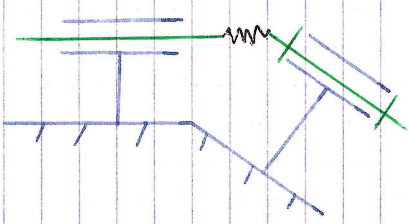
$$\Rightarrow \quad q_{\text{fuites}} = 20 + 2{,}5 \times 8{,}5 = 41{,}25 \text{ cm}^3/\text{s}$$

distribution   patins

$$\begin{cases} q_{th} = V_T \dfrac{500}{60} = 1558{,}3 \text{ cm}^3/\text{s} \\ q_{\text{réel}} = 1558{,}3 + 41{,}25 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad \eta_v = \frac{1558{,}3}{1558{,}3 + 41{,}25} = 0{,}97$$

43 - hyperstatisme : étude physique.



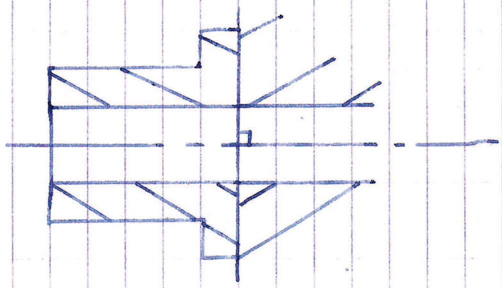
Aligner les 2 axes

↓

2 translations → axes concourants

└→ 2 rotations → axes alignés

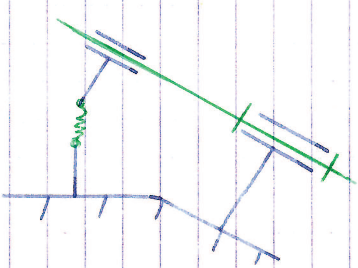
* 1 plan ⊥ axe ⇒



+ joint d'oldham.

(encaisse défaut //)

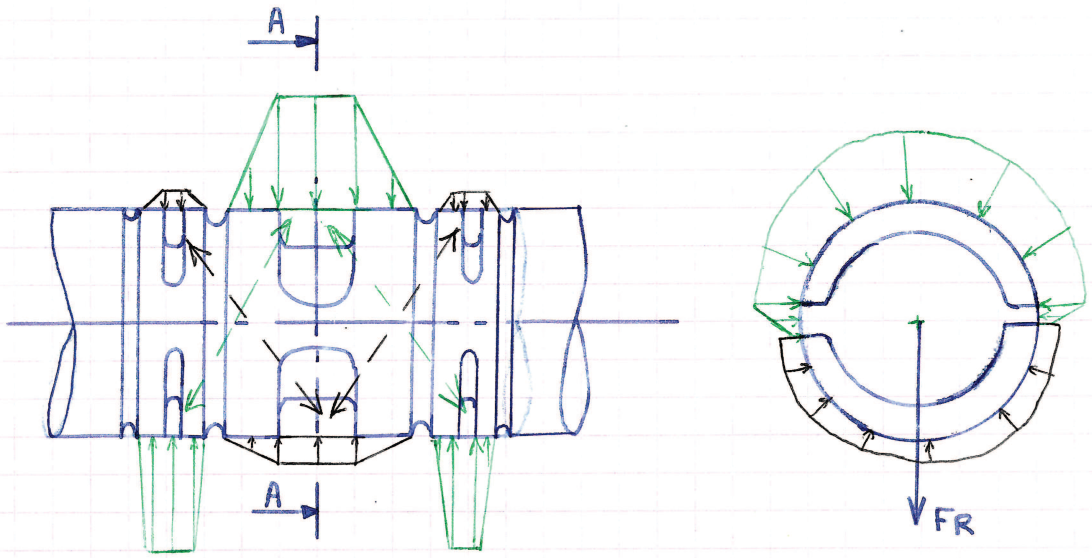
*



liaison souple entre les 2 corps

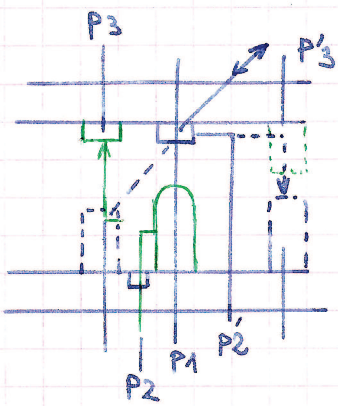
pb analogue à un étrier de frein.

4-4 - Equilibrage de la distribution.

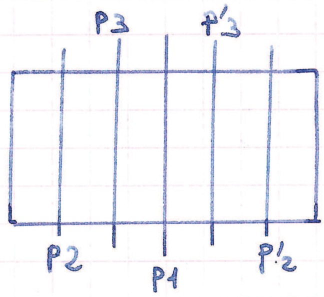


équilibrage par les rainures.

partie distributeur



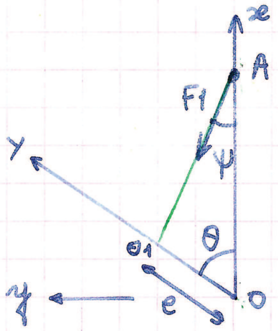
plan d'alimentation piston HP.

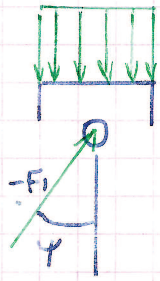


si on dévelope la rainure du haut

$S = 2s$

Etude des efforts sur l'excentrique





$$F_1 = \frac{-PS}{\cos\psi}$$

calculer couple instantanné moteur constant ?

F_1 piston / arbre $\begin{cases} -PS\,\vec{x} + PS\,tg\,\psi\,\vec{y} & (\text{Résult}^{te}) \\ (PSe\sin\theta + PS\,tg\,\psi\,e\cos\theta)\,\vec{z} & (M^t) \end{cases}$

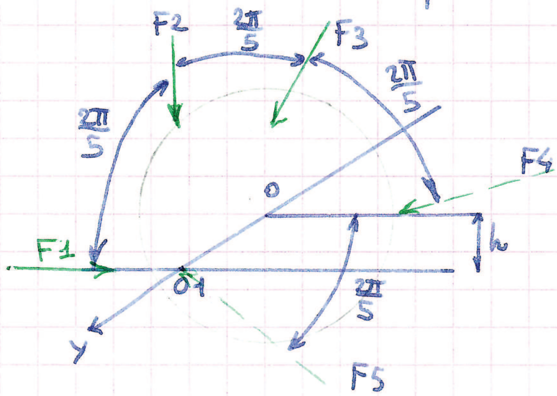
en ne retenant que le 1er terme du développement en $\frac{e}{r}$ (1' quest) on a :

F_1 piston / arbre $\begin{cases} -PS\,\vec{x} \\ PS\,e\sin\theta\,\vec{z} \end{cases}$

ce qui revient à négliger l' inclinaison de la bielle.

bielle très longue $\psi = 0$)

on est ramené au pb suivant



couple instantannée total

$$C_i = PSe\left[\sin\theta + \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{5}\right) + \sin\left(\theta + \frac{4\pi}{5}\right)\right]$$

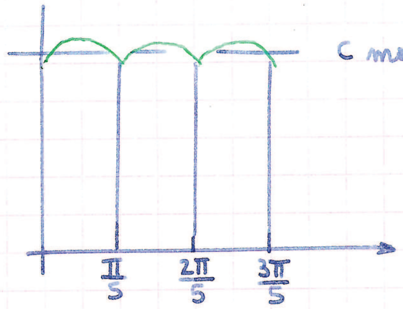
pour $0 < \theta < \frac{\pi}{5}$ → 3 pistons moteurs

$\sin\theta + \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{5}\right)$ $\quad \frac{\pi}{5} < \theta < \frac{2\pi}{5}$

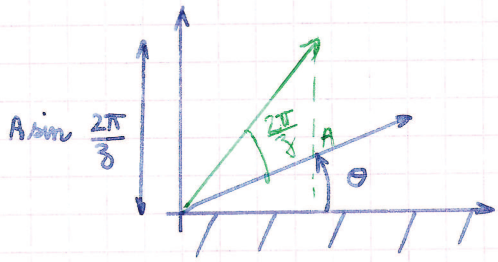
2 pistons moteurs

Il suffit d' écrire angle total $< \pi$

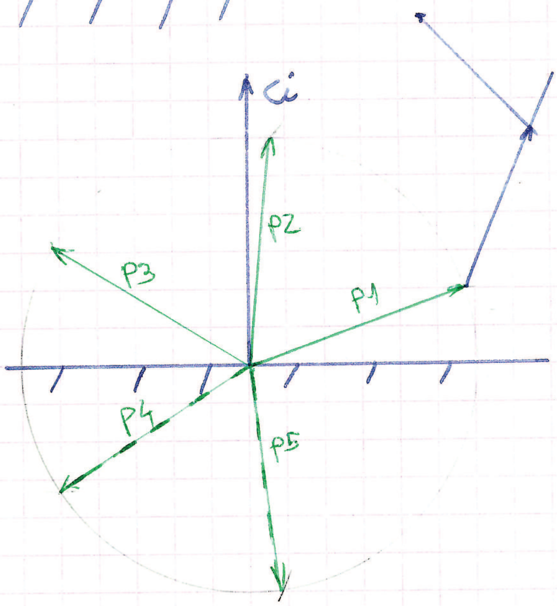
remarque :



Autre représentation de la fonction ci



z : nombre piston en proj.



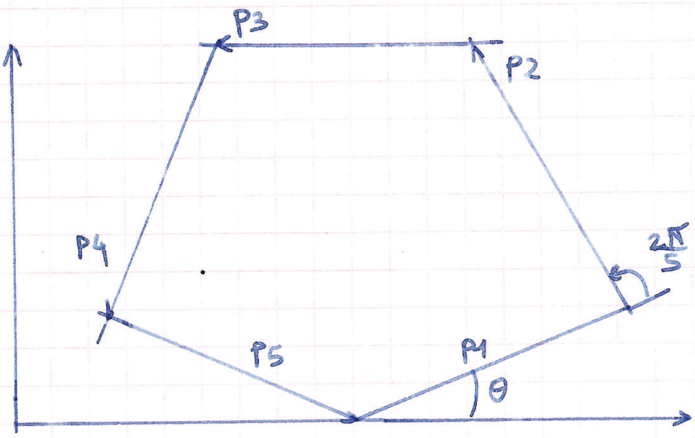
C mini $= PSE\,(1{,}538)$

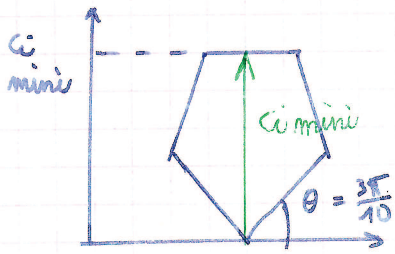
$= 626$ Nm

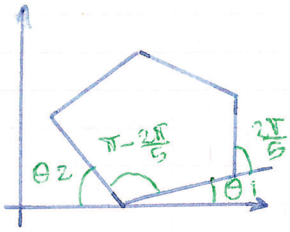
C maxi $= PSe\,(1{,}618)$

$= 659$ Nm

Cmoy $= PS V_r \eta = 648{,}3$ Nm







$$\begin{cases} \theta_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{5} \\ \theta_1 = \frac{\pi}{10} \\ \theta_2 = \frac{3\pi}{10} \end{cases}$$

impair

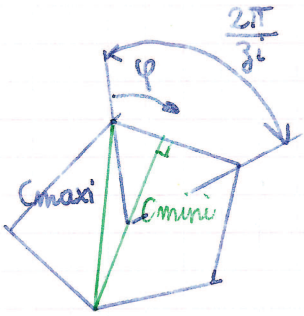
régularité de couple

$$r = \frac{C_{maxi} - C_{mini}}{C_{moyen}}$$

irrégularité de couple

$$i = \frac{C_{maxi} - C_{mini}}{C_{maxi}}$$

$$i = 1 - \frac{C_{mini}}{C_{maxi}}$$



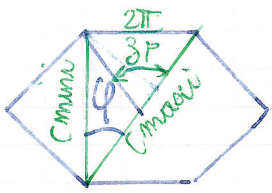
$$\varphi = \frac{\pi}{2zi}$$

pour 1 zi

$$i = 1 - \cos\varphi$$

$$i = 1 - \cos\frac{\pi}{2zi}$$

pair



$$\varphi = \frac{\pi}{3p}$$

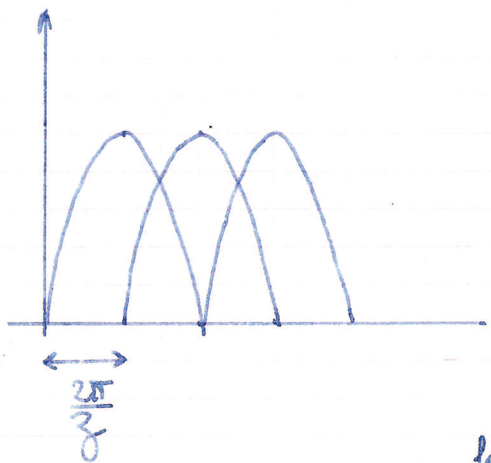
$$i = 1 - \cos\frac{\pi}{3p}$$

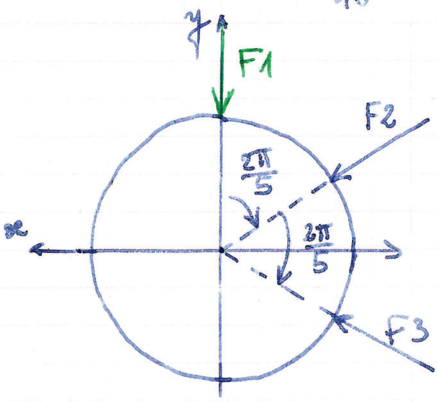
si $3p = 10$

$$i = 1 - \cos\frac{\pi}{10}$$

$$zi = 5$$

$$i = 1 - \cos\frac{\pi}{10}$$





pour $D = 25$ mm
→ $P = 300$ bar

en projection sur x
force F_1 nulle (ici seulement)

seul F_2 et F_3 en projection sur y agissent

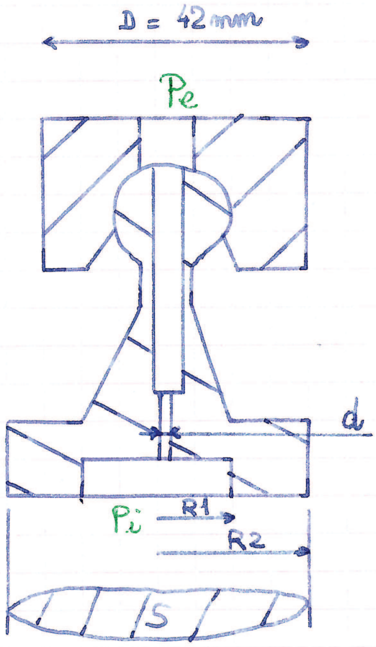
$F_{y\,maxi} = PS\left[\cos\frac{2\pi}{5} - \cos\left(\frac{4\pi}{5}\right)\right] = -14547$ N ; section mini (pour 210 bars)

III Etude du patin hydrostatique

31 - $\frac{R1}{R2} = 0,7$ bon compromis de perte sous la lèvre et de capacité de charge / encombrement.

$\beta = \frac{Pi}{Pe} = 0,8$ voisinage raideur maxi (à charge maxi)

32 - Valeur de R1 et R2 sachant que D = 42 mm



Equilibre du piston :

$$F = a\,S\,Pi = a\,S\,\beta\,Pe = \underset{\text{(piston)}}{Sp}\,Pe$$

$$S = \frac{Sp}{a\beta} \quad \text{avec} \quad a = \frac{\frac{1}{2}\left[1-\left(\frac{R1}{R2}\right)^2\right]}{\ln\frac{R2}{R1}}$$

$$a = \frac{\frac{1}{2}\left[1-0,7^2\right]}{\ln\frac{1}{0,7}} = 0,71$$

$$S = \frac{\pi\,42^2}{4\times 0,71\times 0,8} = 2439\ \text{mm}^2$$

$$S = 24,39\ \text{cm}^2$$

$R1 = 0,7\,R2 \longrightarrow R1 = 19,5$ mm $\quad R2 = 27,86$ mm

33 - hauteur optimale de fonctionnement

puissance dissipée totale

$$P_T = V^2\,S\ell^{\text{lèvre}}\,\frac{\mu}{h} + \frac{q}{\beta}\left(\frac{F}{S}\right)^2\frac{h^3}{\mu}$$

$$\frac{\partial P_T}{\partial h} = 0 \longrightarrow h\ \text{opt} = \left(\frac{S\ell\,\beta}{3q}\right)^{\frac{1}{4}}\left(\frac{V\mu S}{F}\right)^{\frac{1}{2}}$$

a) calcul de q (sans dimension)

$$q = \frac{q}{a} \longrightarrow q = \frac{\pi}{3\left[1-\left(\frac{R1}{R2}\right)^2\right]} = 2,05$$

$$q = \frac{q}{a} = \frac{2,05}{0,71} = 2,89$$

b) calcul de la charge F, S et Sl

$$F = S_p \, P_e = \pi \times 2{,}1^2 \times 210 = 2909{,}4 \text{ daN}$$

$$F = 29{,}094 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$S = 2439 \text{ mm}^2$$

$$S_l = 1244{,}4 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \quad h_{opt} = \left(\frac{1244{,}4 \cdot 10^{-6} \times 0{,}8}{3 \times 2{,}89}\right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{2{,}3 \times 0{,}023 \times 2439 \cdot 10^{-6}}{29094}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot 10^3 \text{ mm}$$

$$h_{opt} = 0{,}00689 \text{ mm} = 7 \, \mu m$$

cette hauteur est bien trop faible pour être réalisée

34 - Débit de fuite au patin pour $h = 0{,}02$ mm ($P_e = 210$ bars)

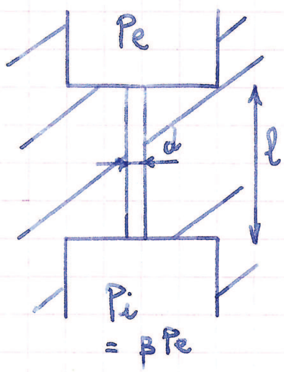
$$Q = q \frac{F}{S} \frac{h^3}{\mu} \qquad q = 2{,}05$$

$$\frac{F}{S} = P_e \frac{S_p}{S} = a \beta P_e = 0{,}71 \times 0{,}8 \times 210 = 119{,}3 \text{ bars}$$

$$\Rightarrow \quad Q = 2{,}05 \times 119{,}3 \cdot 10^5 \times \frac{0{,}02^3 \cdot 10^{-9}}{0{,}023} \, 10^6$$

$$\Rightarrow \quad Q = 8{,}5 \text{ cm}^3/\text{s}$$

35 - Diamètre du trou calibré. ($l = 15$ mm)



$$\Delta P = (1-\beta) P_e = (1-0{,}8) P_e$$

$$= 42 \text{ bars}$$

$$Q = 8{,}5 \text{ cm}^3/\text{s}$$

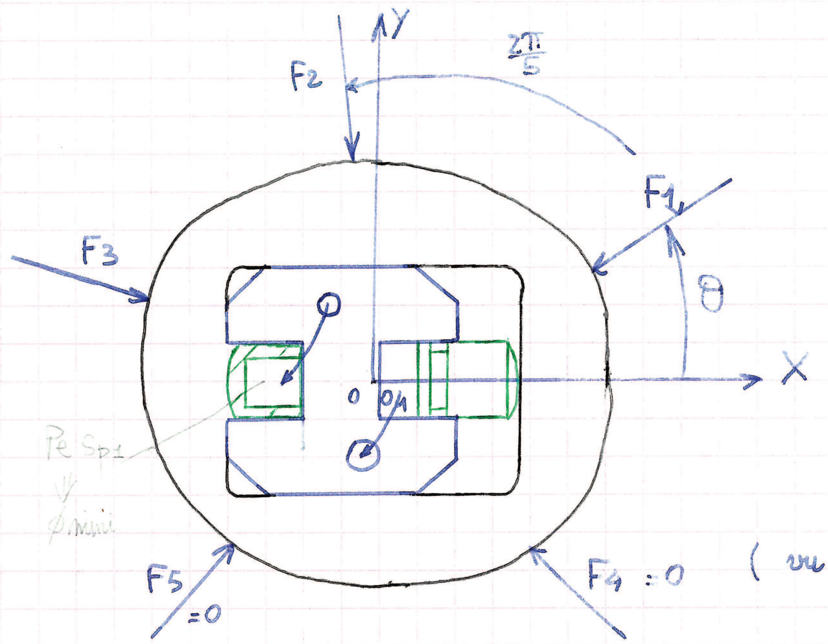
formule de Poiseuille

$$Q = \frac{\pi}{128 \mu} \frac{d^4}{l} \Delta P$$

$$\Rightarrow \quad d = 0{,}4 \text{ mm.}$$

nécessité de très bon filtrage de l'huile.

Efforts sur l'excentrique : pb du réglage.



(vu au retour)

$|F_1| = |F_2| = |F_3| = P_e\, S_p = F$

$$\begin{cases} X = F\underbrace{\left[\cos\theta + \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{5}\right) + \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{5}\right)\right]}_{0 \leqslant \theta \leqslant \frac{\pi}{5}} \\ Y = F\left[\underbrace{\sin\theta + \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{5}\right)}_{\frac{\pi}{5} \leqslant \theta \leqslant \frac{2\pi}{5}} + \sin\left(\theta + \frac{4\pi}{5}\right)\right] \end{cases}$$