

Université de Batna

2006/2007

Faculté de Médecine

Département de Pharmacie

# Cours de Biophysique

2<sup>ème</sup> Année Pharmacie

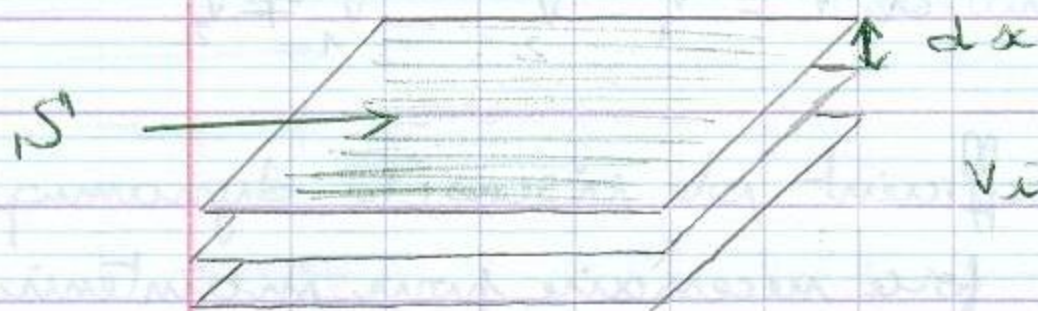
Chapitre II : Viscosité des liquides et des solutions

D'après le cahier de :

*I. Hadeif*



## II - Viscosité des liquides et solutions.



liquide = sous forme de couches

### 1. Définitions :

De même que deux solides, au mouvement, présentent des forces de frottement lorsqu'ils sont en contact et qui ils se déplacent à vitesses différentes, les 2 couches adjacentes présentent également des frottements.

Ces forces ou ces frottements s'opposent au déplacement, elle tend à ralentir le plus rapide et accélérer la couche la plus lente.

### 2. Lois :

La force nécessaire pour déplacement de la couche de liquide par unité de surface est donnée par une contrainte de cisaillement qui correspond à un taux de facteur de cisaillement.



$$\tau = \frac{dF}{ds}$$

$$\alpha = \frac{dv}{dx} \quad dv = v_1 - v_2 \quad v_1 \neq v_2$$

on définit le coefficient de viscosité dynamique  $\eta$  comme la force nécessaire pour maintenir la différence de vitesse:

$$\eta = \frac{\tau}{\alpha} = \frac{dF}{ds} \cdot \frac{dx}{dv}$$

on définit également le coefficient de viscosité cinétique

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (\rho: \text{masse volumique de liquide})$$

et en conséquence, la force de viscosité est donnée par la loi de Newton

$$dF = \eta \cdot ds \cdot \frac{dv}{dx}$$

F: c'est la force exercée par une couche sur une autre.

Les unités de la viscosité: poiseuille =  $\text{kg/m}\cdot\text{s}$  (S.I)

$\nu$ : ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) (S.I).

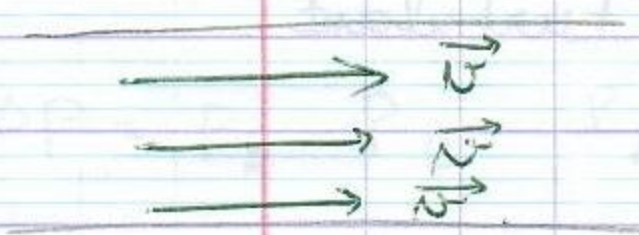
en système: C.G.S:  $\eta$  (poise:  $\text{g/cm}\cdot\text{s}$ )

$\nu$  ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) =  $\nu$  (stokes)



## 2 - Régime d'écoulement:

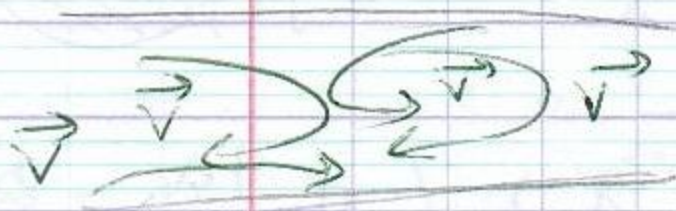
### a - L'écoulement laminaire:



conduit.

quand la vitesse reste lente ou faible, les vecteurs de vitesse sont parallèles. On dit que le régime d'écoulement est laminaire.

### b - L'écoulement turbulent



quand la vitesse est élevée, les vecteurs de vitesse ne sont plus parallèles, on dit que le régime d'écoulement est turbulent.

### c - Le n<sup>bre</sup> de Reynolds:

pour définir la nature de régime d'écoulement on doit calculer le n<sup>bre</sup> de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta}$$

$\rho$ : la masse volumique

$v$ : vitesse

$d$ : diamètre du vaisseau.

$\eta$ : viscosité.



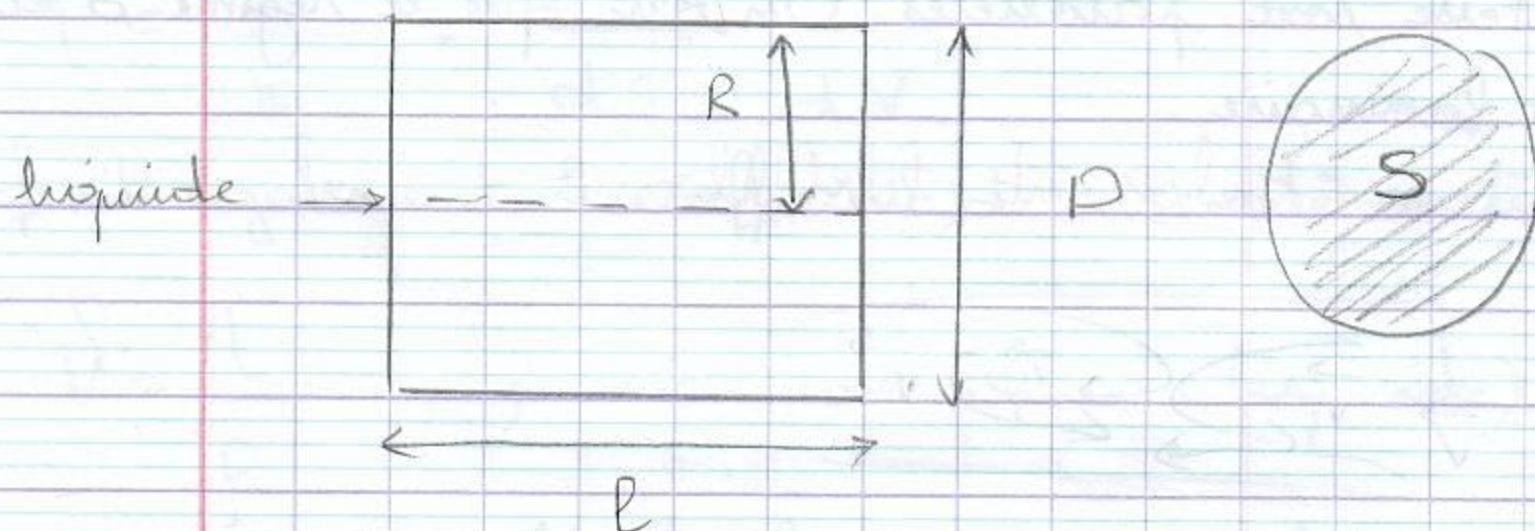
si  $Re < 2400$  regime laminaire.

si  $2400 < Re < 3000$  regime intermittent.

si  $Re > 3000$  Regime turbulent.

3. La loi de Poiseuille:

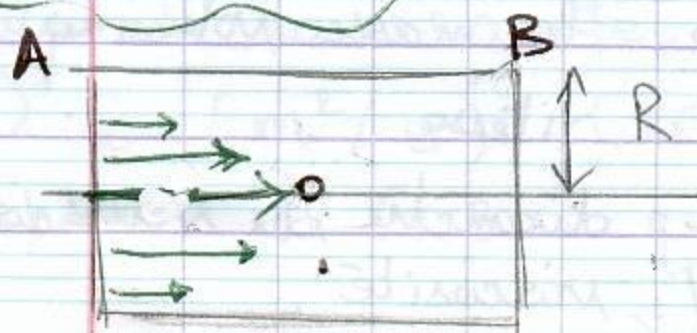
La loi de Poiseuille c'est l'équivalent de la loi d'Ohm dans l'électricité.  $U = RI$ .



$$Q = \frac{dV}{dt}, \quad dV = S dl, \quad dl = v dt$$

$$\Rightarrow dV = S v dt \Rightarrow Q = \frac{S v dt}{dt} \Rightarrow Q = S v$$

$$\Rightarrow Q = \pi R^2 v$$





$$v(r) = \frac{\Delta P}{4\mu l} (R^2 - r^2) \quad 0 \leq r \leq R$$

$$\Delta P = P_A - P_B \quad P_A > P_B.$$

$$dQ = v \, dS = \frac{\Delta P}{4\mu l} (R^2 - r^2) 2\pi r \, dr.$$

$$S = \pi r^2, \quad dS = 2\pi r \, dr.$$

$$Q = \frac{\Delta P}{4\mu l} 2\pi \int_0^R (R^2 - r^2) r \, dr.$$

$$Q = \frac{\Delta P \pi}{2\mu l} \int_0^R (R^2 r - r^3) \, dr.$$

$$Q = \frac{\Delta P \pi}{2\mu l} \left[ \frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4} \right].$$

$$Q = \frac{\Delta P \pi R^4}{8\mu l}$$

loi de Poiseuille

L'écoulement d'un liquide visqueux à travers un



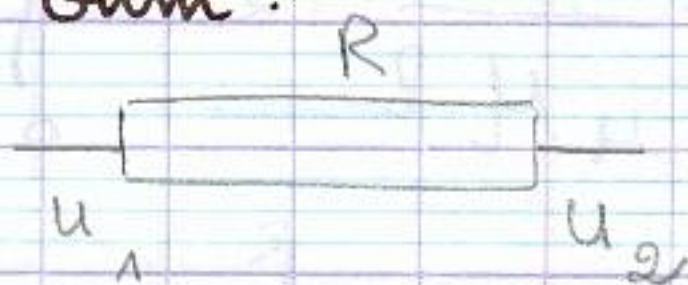
tube de Rayon  $R$  et une longueur  $l$  est caractérisé par le débit  $Q$ :

$$Q = \frac{\pi R^4 \cdot v}{R^2}$$

ainsi que cet écoulement est caractérisé par une variation de vitesse: au centre elle est max et décroît progressivement dans les couches successives, pour atteindre la valeur 0 au contact à la paroi

par analogie:  $u = R I$  ohm.

$$u_1 - u_2 = R I$$



$$\Delta P = P_A - P_B = \frac{8 \mu l}{\pi R^4} Q$$

courant  $I =$  le débit  $Q$ .

Tension  $u = \Delta P$  pression.

$$\Delta P = R_{es} Q.$$

$$R_{es} = \frac{8 \mu l}{\pi R^4} \text{ résistance de tube.}$$

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

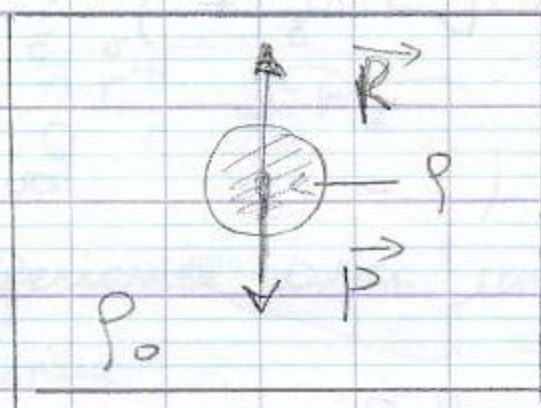




$$\frac{8 \mu l}{\pi R^4} = \rho \frac{l}{s} \Rightarrow \frac{8 \mu l}{R^2 s} = \rho \frac{l}{s}$$

$$\rho = \frac{8 \mu}{R^2}$$

4. Résistance opposée par un liquide au corps solide sphérique :



un corps qui se trouve dans un liquide est soumis sous 2 forces opposées, le poids et la poussée d'Archimède :  $P = R$ .

$$P = mg = \rho V g = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 g$$

$$R = m_{(\text{liquide})} g = \rho_0 \frac{4}{3} \pi r^3 g$$

Le corps sphérique se déplace dans un liquide avec une faible vitesse. Le corps sphérique est soumis à la force de frottement et la poussée d'Archimède



Le corp est atteint une vitesse limite appelée la vitesse de sédimentation, et le mouvement devient uniforme.

$$\vec{P} + \vec{F} + \vec{R} = \vec{0}$$

$$P = F + R \quad f = 6 \pi \eta r$$

$$\rho \frac{4}{3} \pi r^3 g = 6 \pi \eta r v_s + \rho_0 \frac{4}{3} \pi r^3 g$$

$$v_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 g}{\eta} (\rho - \rho_0) \quad \text{loi Stokes } \delta = 0$$

$v_s$  : vitesse de sédimentation  $v$  uniforme.

5 - Appareillage :

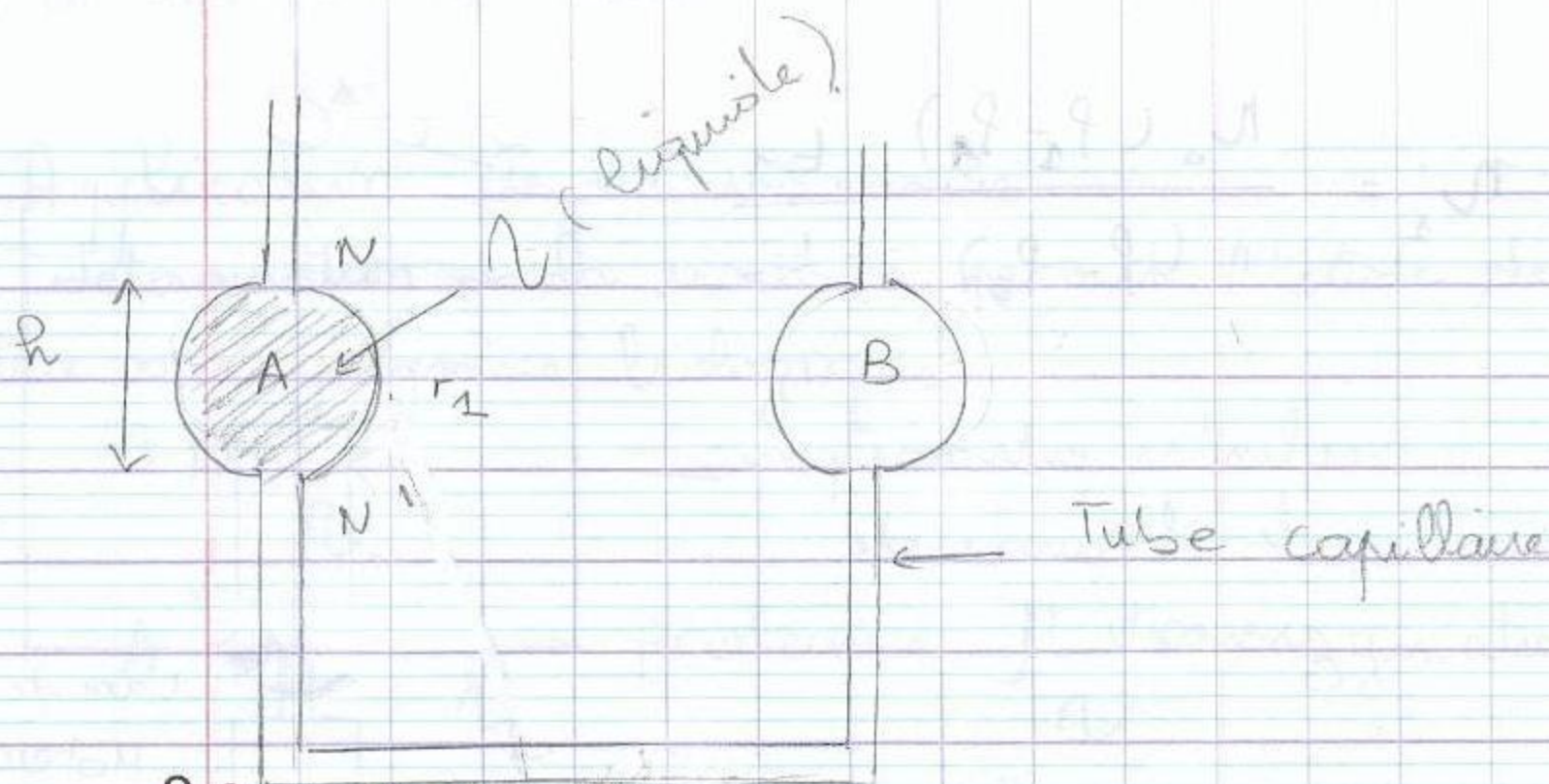
a - Viscosimétrie d'Ostwald :

Le liquide qui se trouve dans le réservoir A, sa viscosité  $\eta$ , inconnue, on mesure le temps d'écoulement de  $N$  à  $N'$   $NN' \rightsquigarrow t_1$ .

$$Q_1 = \frac{\Delta P_1 \pi r^4}{8 \eta l} ; \quad \Delta P_1 = h \rho_1 g$$

$l, r$  : caractéristique des capillaires (longueur, rayon),





$$Q_1 = \frac{h \rho_1 g \pi r^4}{8 \eta_1 l} \text{ à } t_1$$

on fait l'expérience avec un autre liquide dont la viscosité est connue

$$Q_0 = \frac{\Delta P_0 \pi r^4}{8 \eta_0 l} = \frac{\rho_0 h \rho_f \pi r^4}{8 \eta_0 l}$$

$$Q_1 t_1 = Q_0 t_0 = \gamma \text{ (volume)}$$

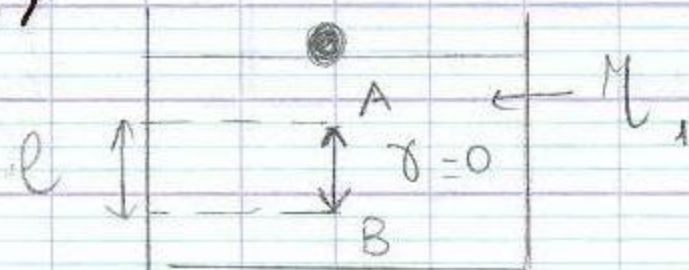
$$\frac{Q_0}{Q_1} = \frac{t_1}{t_0} \Rightarrow \eta_1 = \frac{\rho_1 \eta_0 t_1}{\rho_0 t_0}$$

### b. Viscosimétrie de Höppler:

$$V_s = \frac{e}{g} \frac{r^2 g}{\eta} (\rho - \rho_0)$$

$$l = V_0 t_0 = V_1 t_1$$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{t_0}{t_1}$$

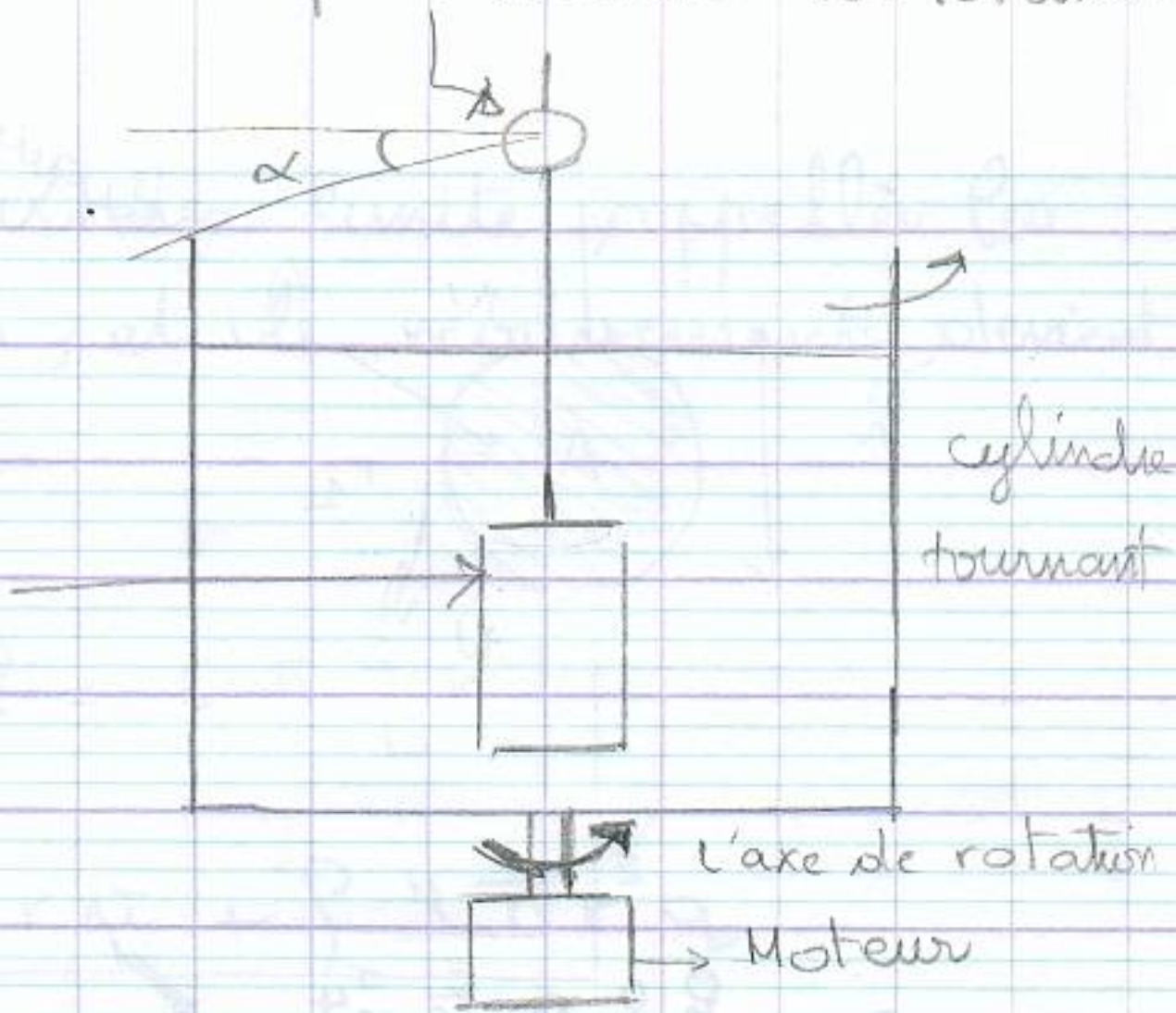




miroir pour mesurer la rotation.

$$n_1 = \frac{n_0 (p_1 - p_0)}{(p - p_0)} \frac{L_1}{L_2}$$

cylindre entraîné par  
le liquide de  
viscosité  $\eta$



Le récipient qui contient le liquide de viscosité inconnue (cylindre) tourne avec une vitesse  $\omega_0$  on introduit dans le liquide un cylindre suspendu par un fil de constante de tension  $K$

$$M = K \eta$$

couple moteur

$$M' = K' \alpha$$

couple résistant.

$$\eta = \frac{K'}{K} \alpha$$

$$\eta = K \alpha$$

$K$ : cte donnée par le constructeur de l'appareil.



## 6 - Application de la viscosité :

La détermination de la viscosité permet l'étude de la structure des polymères biologiques

ADN

↓  $\eta_1$   
ARN

→ protéines → enzymatique  
 $\eta_2$   $\eta_3$

on peut détecter les étapes de formation des protéines

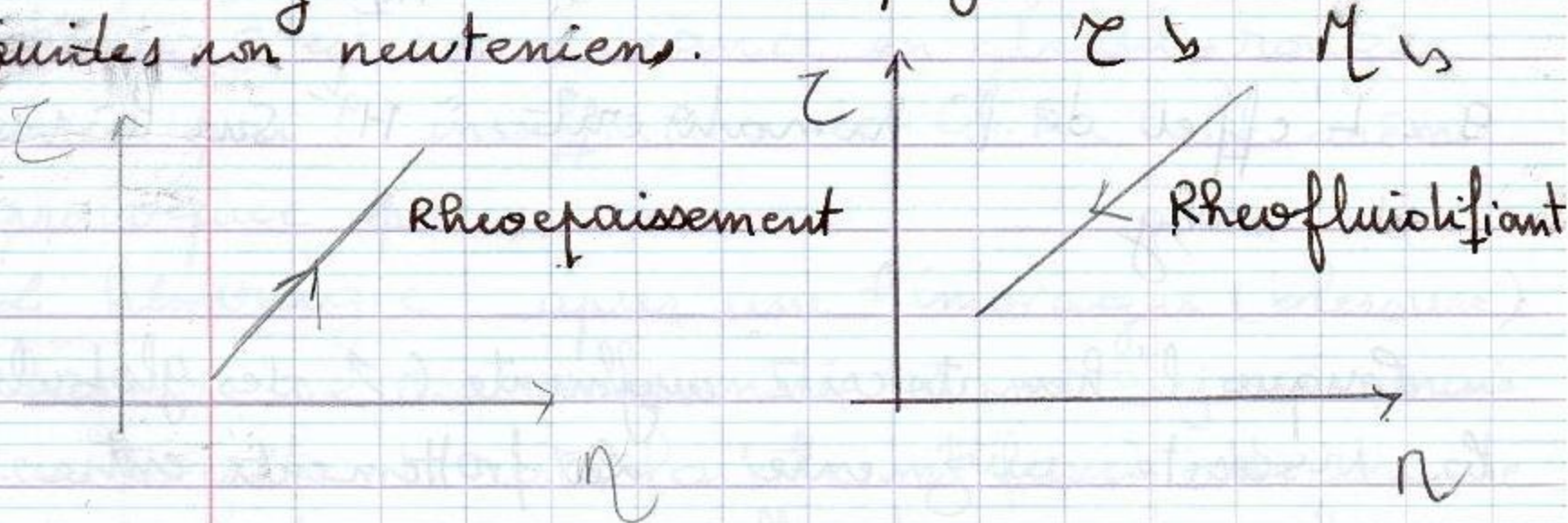
## 7 - Nature de liquide :

a - liquide Newtonien exp :  $H_2O$ .

dans lequel  $\eta$  ne dépend pas des contraintes mécaniques (les facteurs de cisaillement). elle dépend seulement de la température, le liquide est dit newtonien.

b. Liquide Non-Newtonien :

Le liquide ayant une microstructure déformable comme le sang, et les solutions polymères sont dites liquides non newtoniens.





pour une valeur ordonnée, si  $\tau$   $\downarrow$  avec le temps  
le liquide est dit Thixotrope - Dixotrope  
La loi de Poiseuille s'applique uniquement au liquide  
Newtonien

8 - Viscosité du Sang :

La // // // dépend essentiellement de n<sup>bre</sup>  
des globules rouges. Cette propriété est appelée Hématocrite,  
C'est le % des globules rouges dans un échantillon  
sanguin.

L'hématocrite est définie comme le rapport entre le  
volume des globules rouges et le volume du sang dans  
un échantillon sanguin.

$$\text{viscosité relative} = \frac{\eta_{\text{sang}}}{\eta_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\text{viscosité spécifique} = \frac{\eta_{\text{sang}} - \eta_{\text{H}_2\text{O}}}{\eta_{\text{H}_2\text{O}}}$$

9 - L'effet de l'hématocrite "H" sur la viscosité  
du sang

Lorsque l'hématocrite augmente ( $\uparrow$  des globules rouges)  
la viscosité augmente. Les frottements entre les



couches augmentent. On dit que l'hématocrite est normale lorsque sa valeur  $40\% \leq H \leq 45\%$  et  $4,2 < \eta_{\text{relative}} < 4,8$

- lorsque l'hématocrite augmente, la viscosité augmente et la vitesse diminue, le flux diminue, le temps de circulation du sang augmente et l'effort sur le cœur augmente. Le sujet est atteint d'une polyglobulie

- la viscosité pour une polyglobulie aigüe = 25

- lorsque l'hématocrite diminue  $\Rightarrow \eta$  diminue  $\Rightarrow$  les frottements  $\downarrow \Rightarrow$  vitesse  $\uparrow \Rightarrow$  le flux  $\uparrow \Rightarrow$  temps de circulation  $\downarrow$ . Le sujet est atteint d'une anémie.

- la viscosité pour une anémie aigüe = 1,7

10. Causes de l'anémie et polyglobulie :

• l'anémie c'est une carence en globules rouges causée par l'insuffisance de G.R. Cette anémie est provoquée par :

\* l'hémorragie : après une hémorragie (blessure) le plasma se renouvelle entre 1 et 3 jours mais l'hématocrite H reste faible. il faut attendre de 3 à 4 semaines pour qu'elle devienne normale.



Ce type d'anémie est appelée : **anémie après hémorragie**

• la polyglobulie : lorsque l'atmosphère est pauvre en  $O_2$  ou lorsque cette molécule parvient mal aux tissus alors l'organisme produit une grande quantité des globules rouges.

10 - Rheologie :

• la rheologie c'est la science qui s'intéresse à la déformation du corps. la connaissance des paramètres rheologiques (force,  $\eta$ ,  $T^\circ$ , surface, ...) soit biologiques ou physiques permet d'obtenir des informations sur la structure et les liaisons internes des molécules, ce qui facilite par la suite la lecture des molécules.