

Systèmes de suspension semi-active à base de fluide magnéto-rhéologique



Corvette

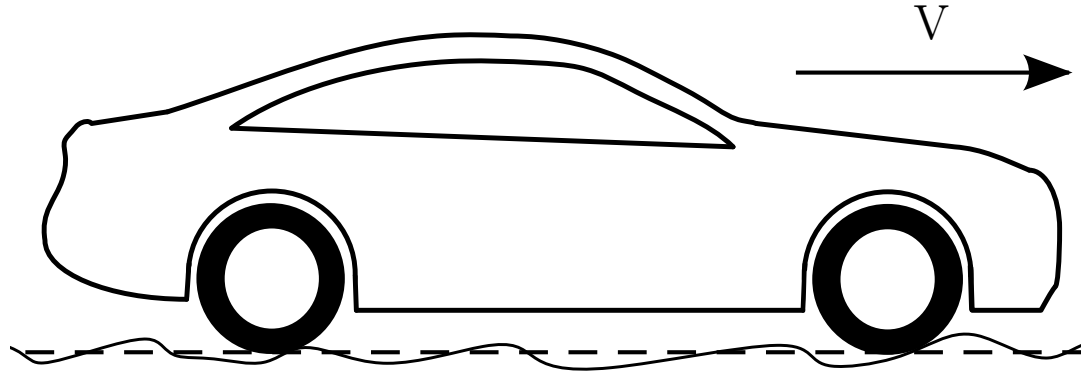


Audi R8

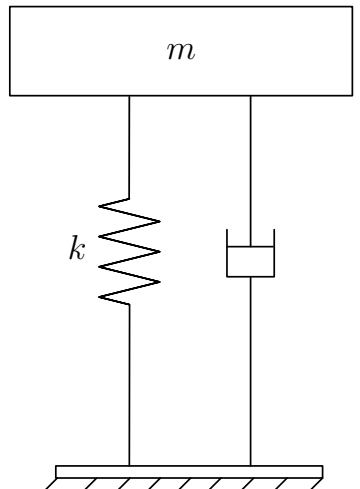


Ferrari 599

Introduction:

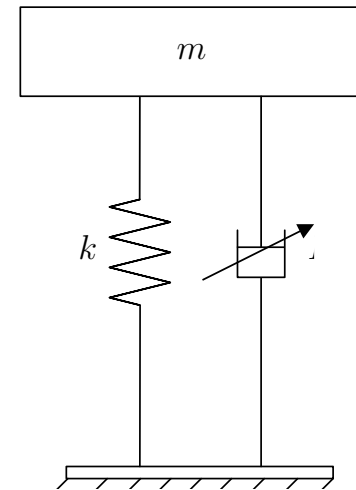


Suspension passive :



Coefficient
d'amortissement
constant

Suspension semi-active :



Coefficient
d'amortissement
variable.

Sommaire:

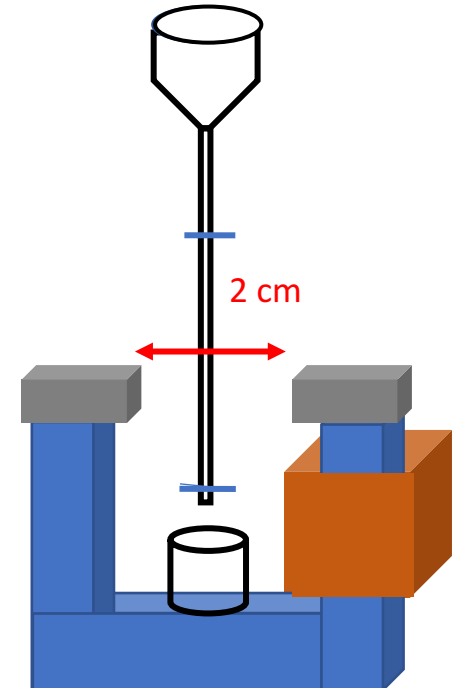
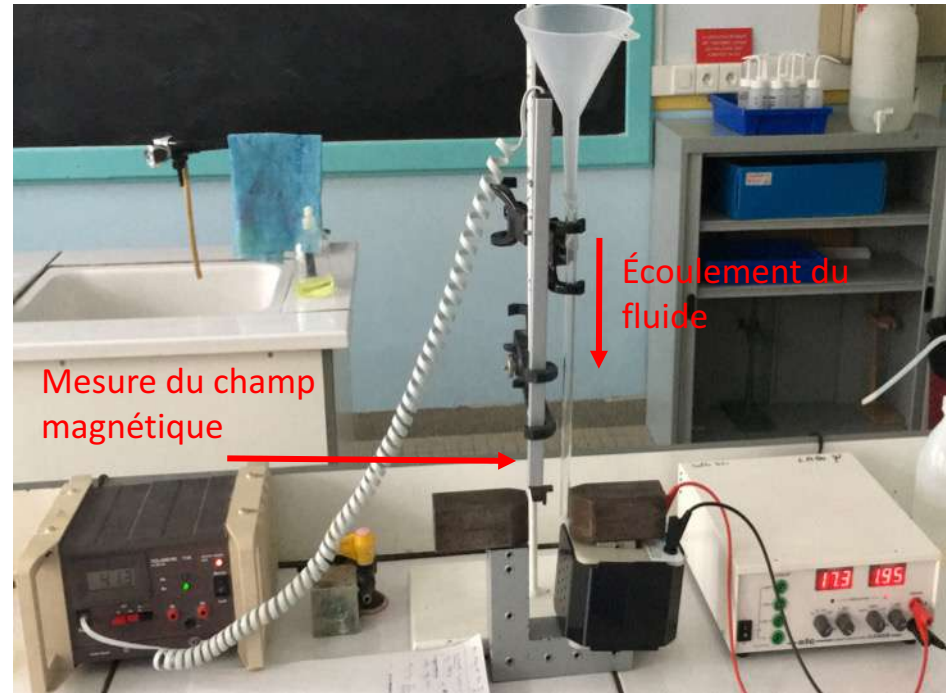
- A- Protocole de mesure des caractéristiques du MR en fonction du champ magnétique .
- B- Description du banc expérimental réalisé (mode d'écoulement).
- C-Comportement rhéologique du MR.
- D- vitesse d'écoulement.
- E- asservissement .

A-Mesure des caractéristiques du MR en fonction du champ magnétique .

Fluide MR utilisé :

→ Mélange de glycérol et de limaille de fer avec un taux massique $\tau = 28\%$

Première expérience:



A-Mesure des caractéristiques du MR en fonction du champ magnétique (résultat)

Formule utilisée :

$$\eta = \frac{\rho \cdot t}{\rho_g \cdot t_g} \eta_g$$

ρ – masse volumique du MR,

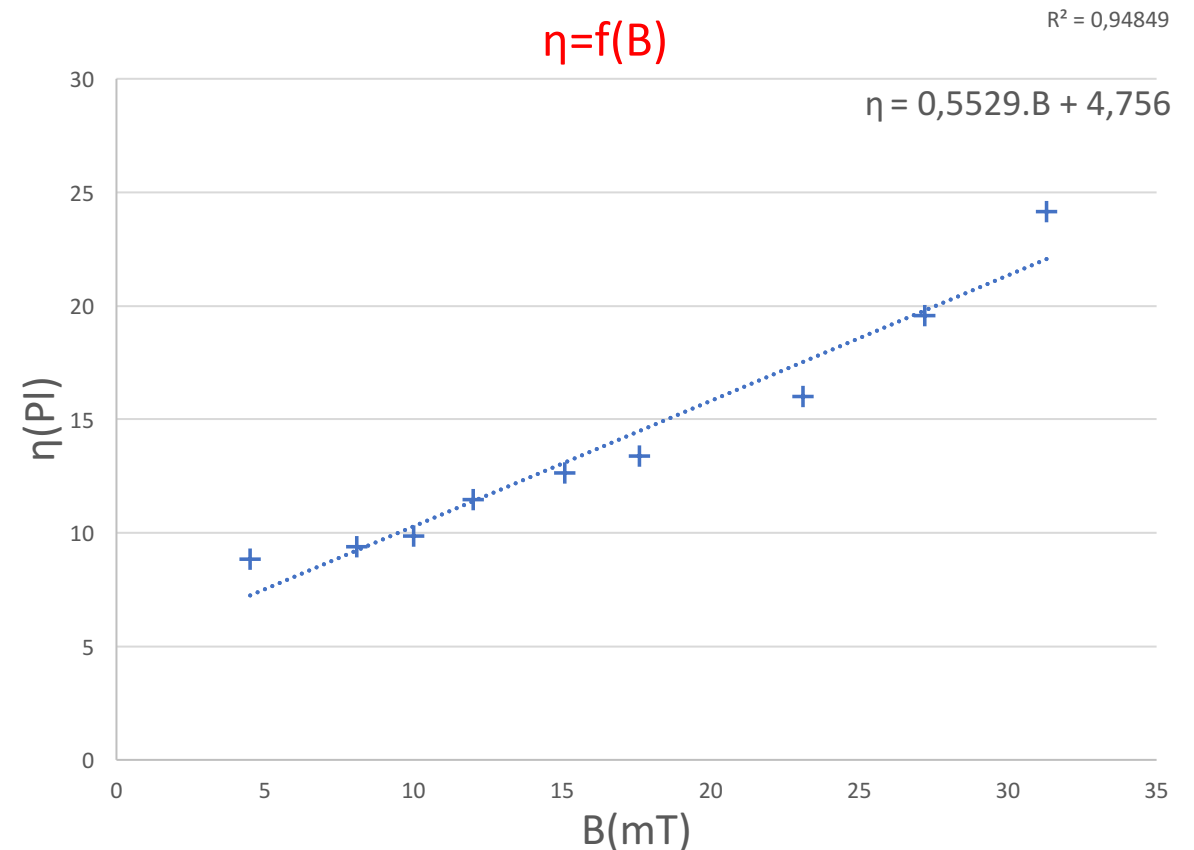
t – temps d'écoulement du MR

ρ_g – masse volumique du fluide de référence

t_g – temps d'écoulement du fluide de référence

η_g – coefficient de viscosité du fluide de référence.

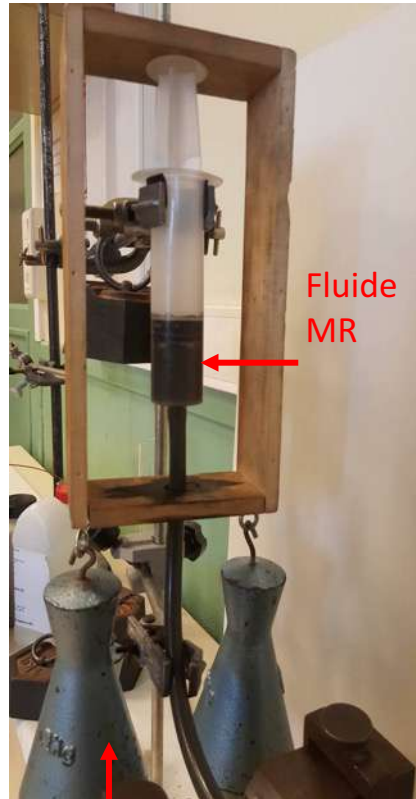
$t_g = 15,25 \text{ s}$; $\rho_g = 1,26 \text{ g/cm}^3$; $\eta_g = 1,49 \text{ Pl}$



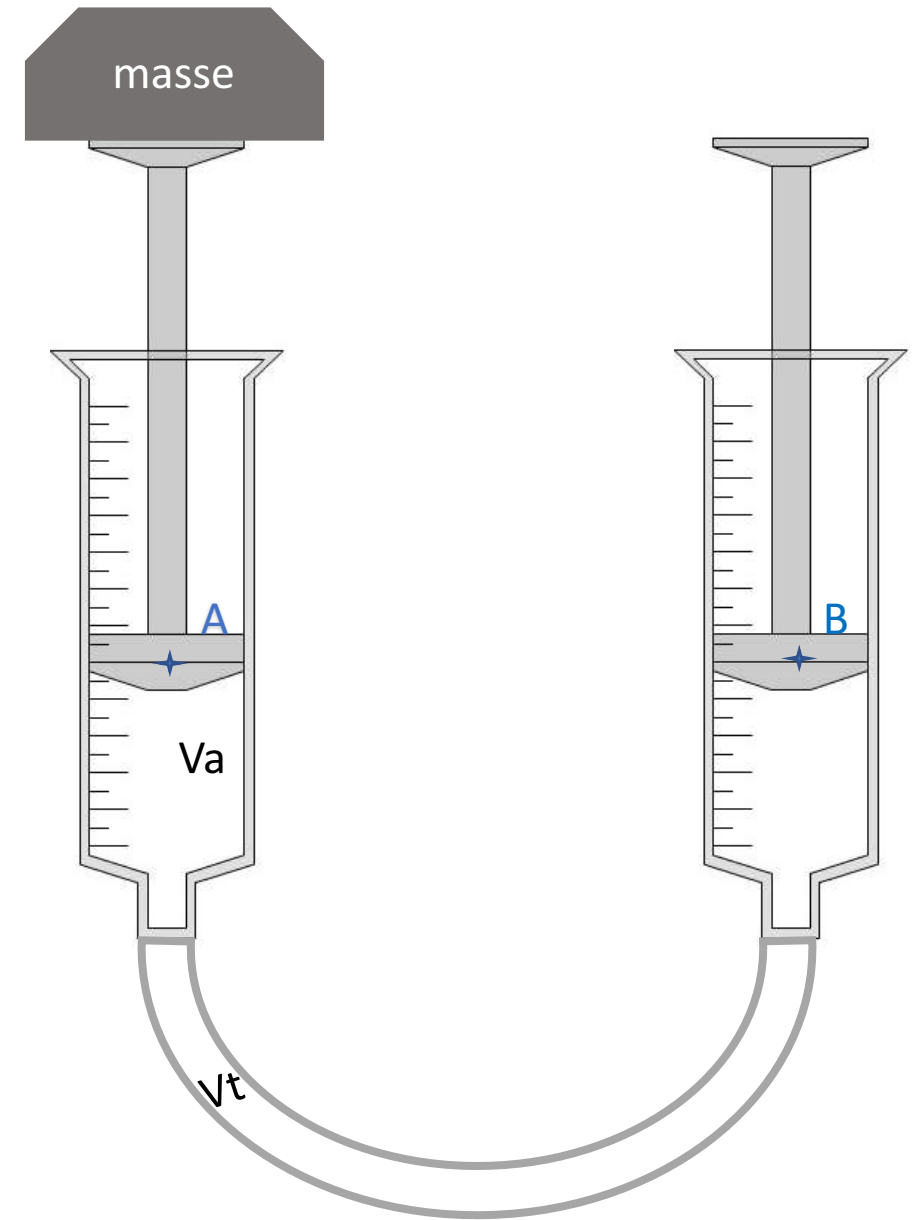
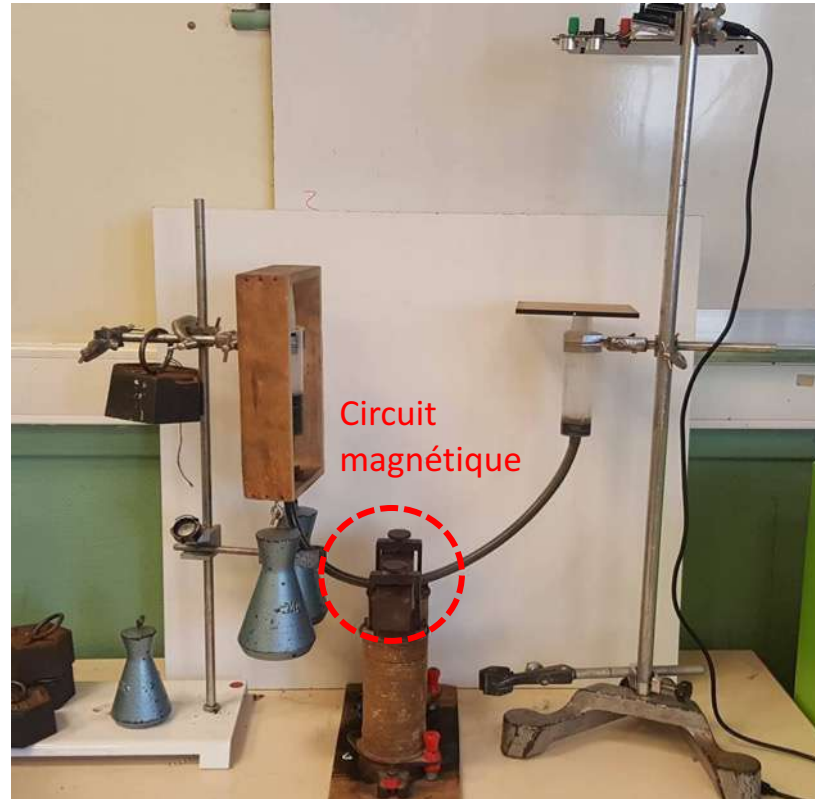
Remarque: en mettant un champ $B > 35 \text{ mT}$ le fluide ne s'écoule plus .

B-Description du banc expérimental réalisé :

Remarques: - On modélise la perturbation par des masses
- le circuit magnétique est alimenté par une source de courant idéale .

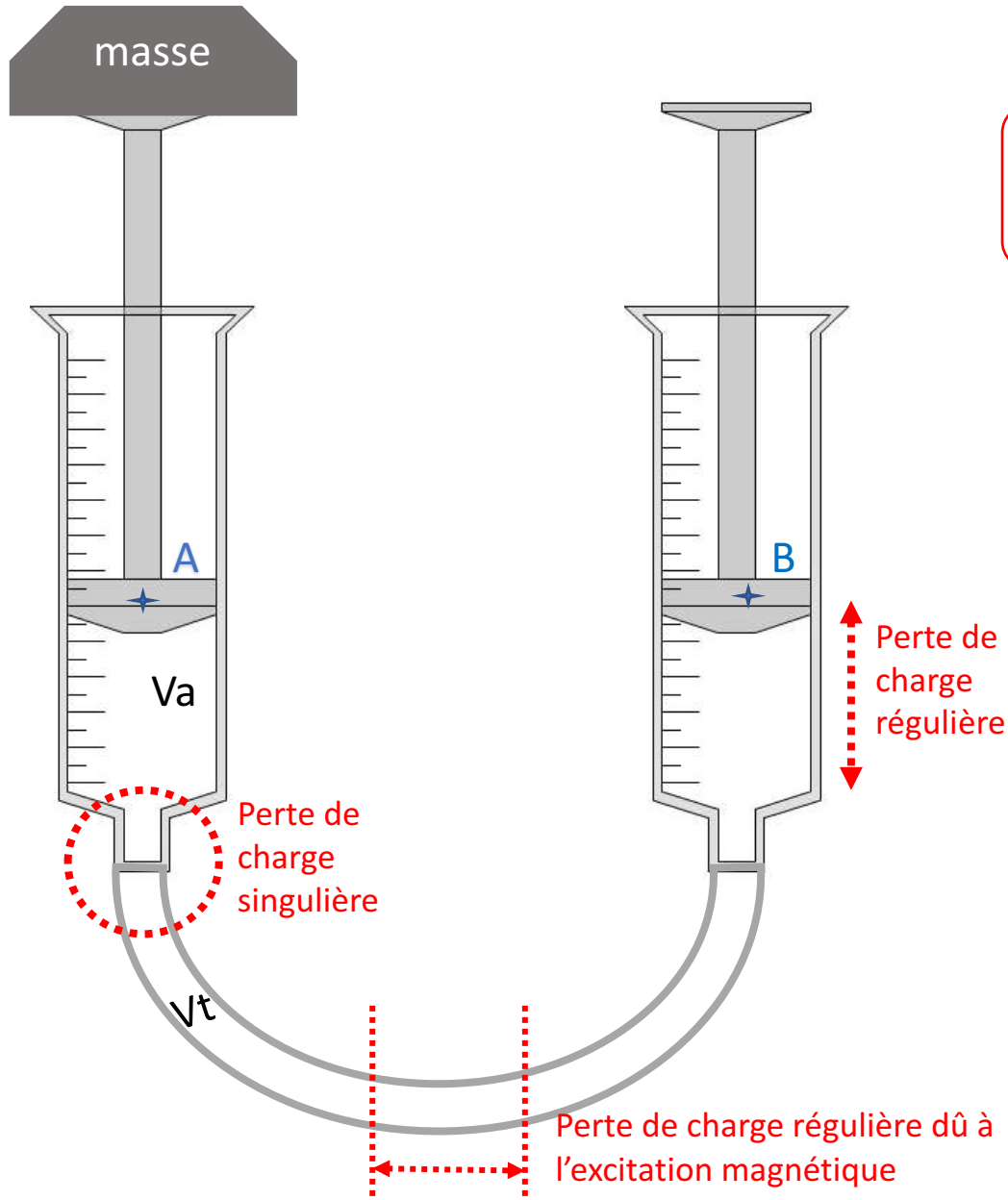


Masses qui modélisent
la perturbation



B-Description du banc expérimental réalisé :

Étude théorique :



En appliquant Le théorème de Bernoulli généralisé entre A et B:

$$P_{tot}(A) - P_{tot}(B) = \mu \frac{V_a^2}{2} \left(\Lambda_s \frac{L_{sa}}{D_{sa}} + \Lambda_s \frac{L_{sB}}{D_{sB}} + \xi_e \right) + \mu \frac{V_t^2}{2} \left(\xi_s + \Lambda_t \frac{L_t}{D_t} \right)$$

Constats:

- $\Lambda_{t/s} = \frac{64}{Re}$ en effet $Re=10^{-3}$ (écoulement laminaire)
- $\eta(B) = 0,5529.B + 4,756$

Hypothèses :

- On néglige les pertes de charges régulières
- Écoulement stationnaire Homogène et incompressible

Remarque:

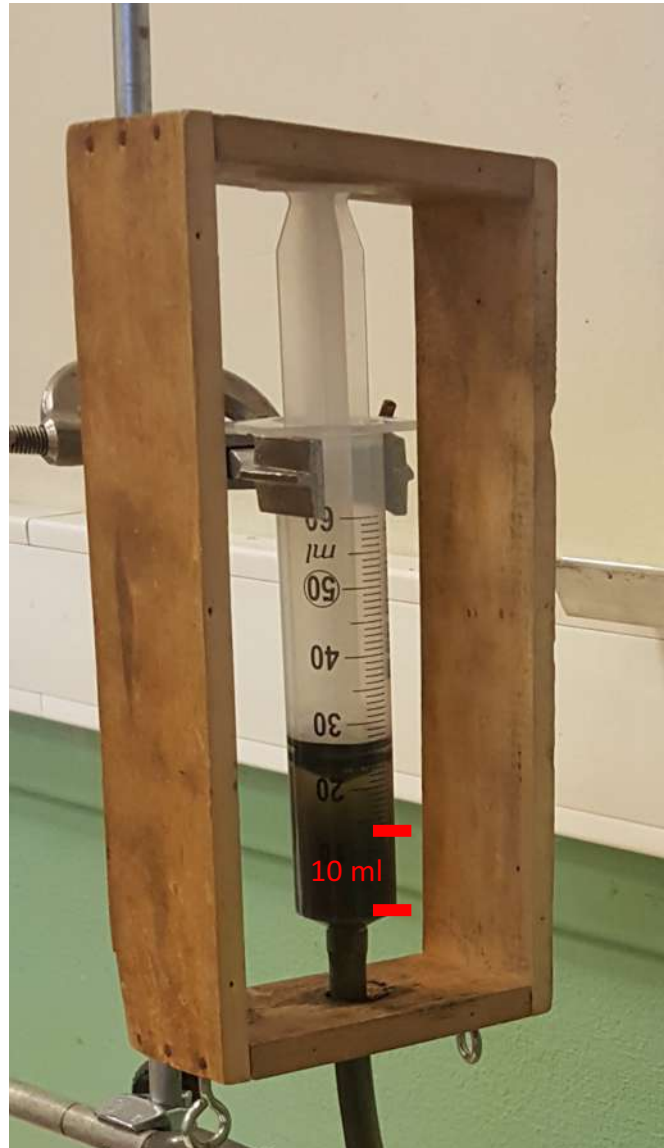
*Pour prendre en compte les frottement du piston on pose:

$$\Delta P_{tot} = \frac{M.g}{S} - \frac{f_{frot}}{S}$$

Avec $f_{frot} = 2.m_f.g$

tel que $m_f = 1,5 \text{ kg}$

Étude expérimentale :



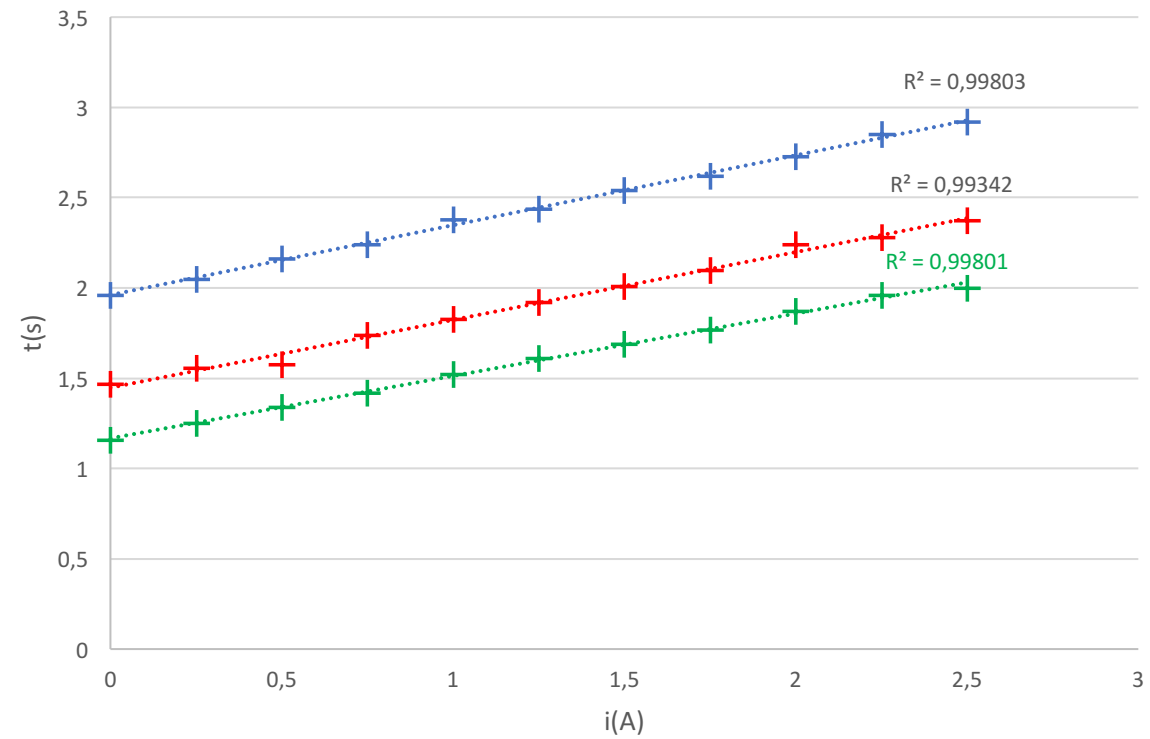
Durée d'écoulement pour 10 ml:

$m=4\text{kg}$

$m=5\text{kg}$

$m=6\text{kg}$

$t=f(i)$



Comparaison entre le résultat expérimental et théorique :

Durée d'écoulement pour 10 ml:

m=4kg

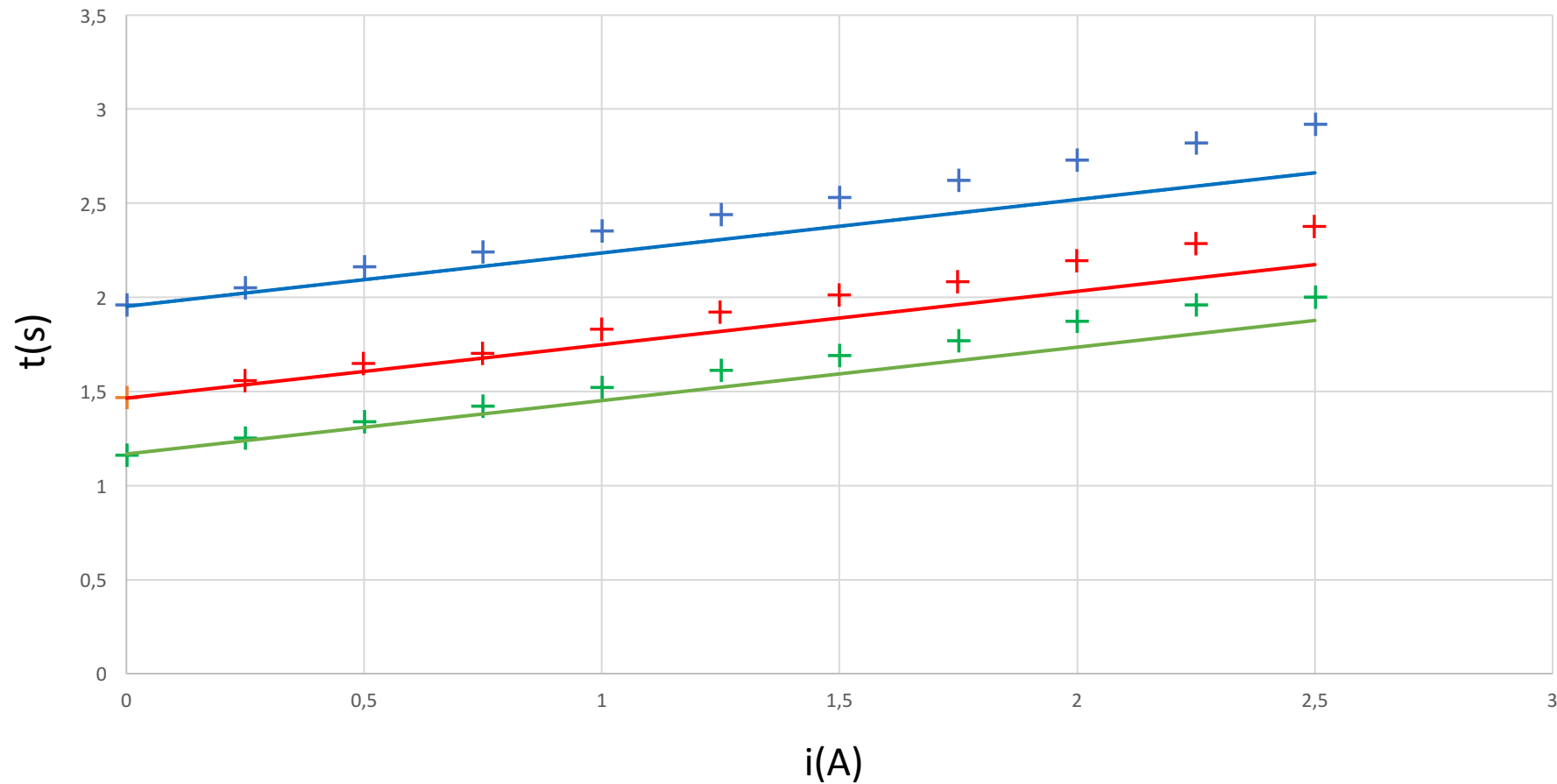
m=5kg

m=6kg

— : Courbe théorique

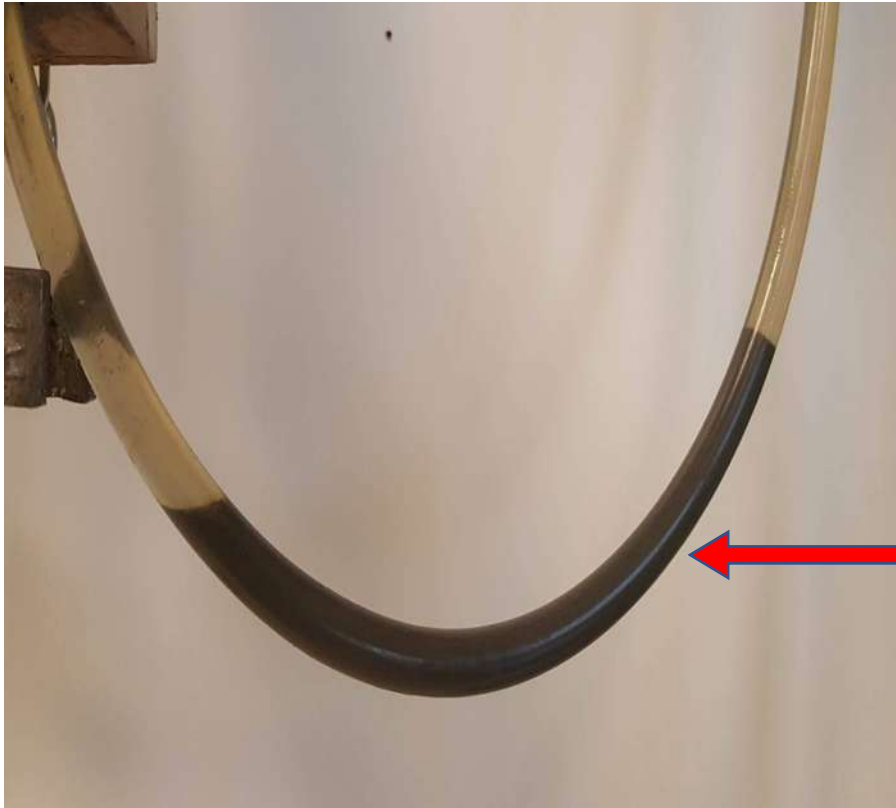
+ : Courbe expérimentale

$$t=f(i)$$



Étude expérimentale :

Sédimentation:



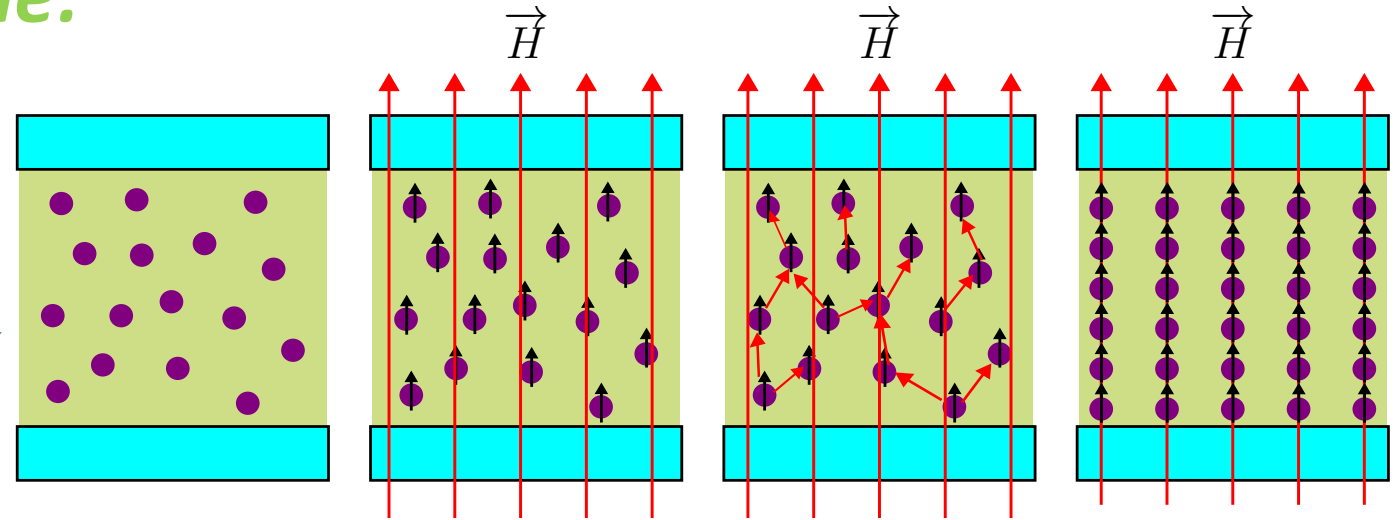
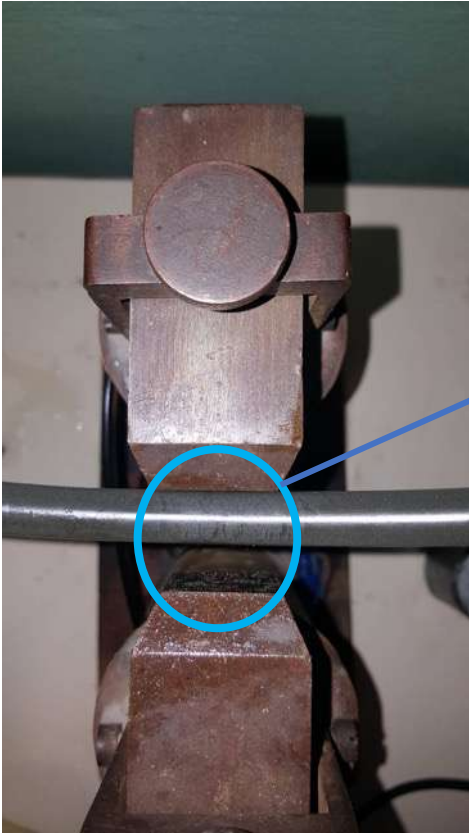
Couche de
limailles de fer



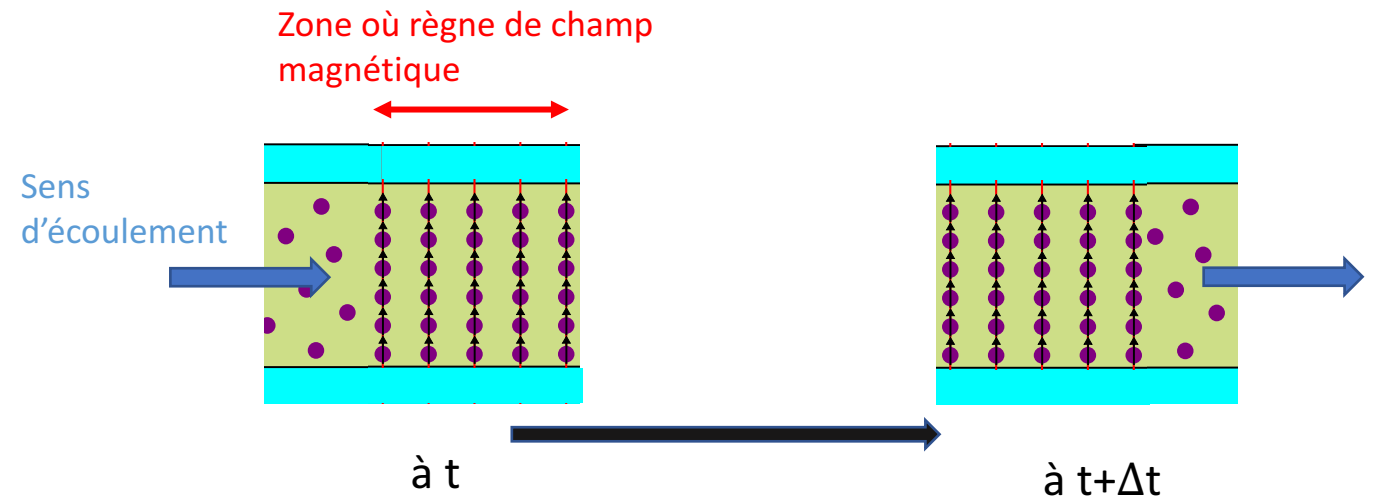
temps



C-Comportement rhéologique:

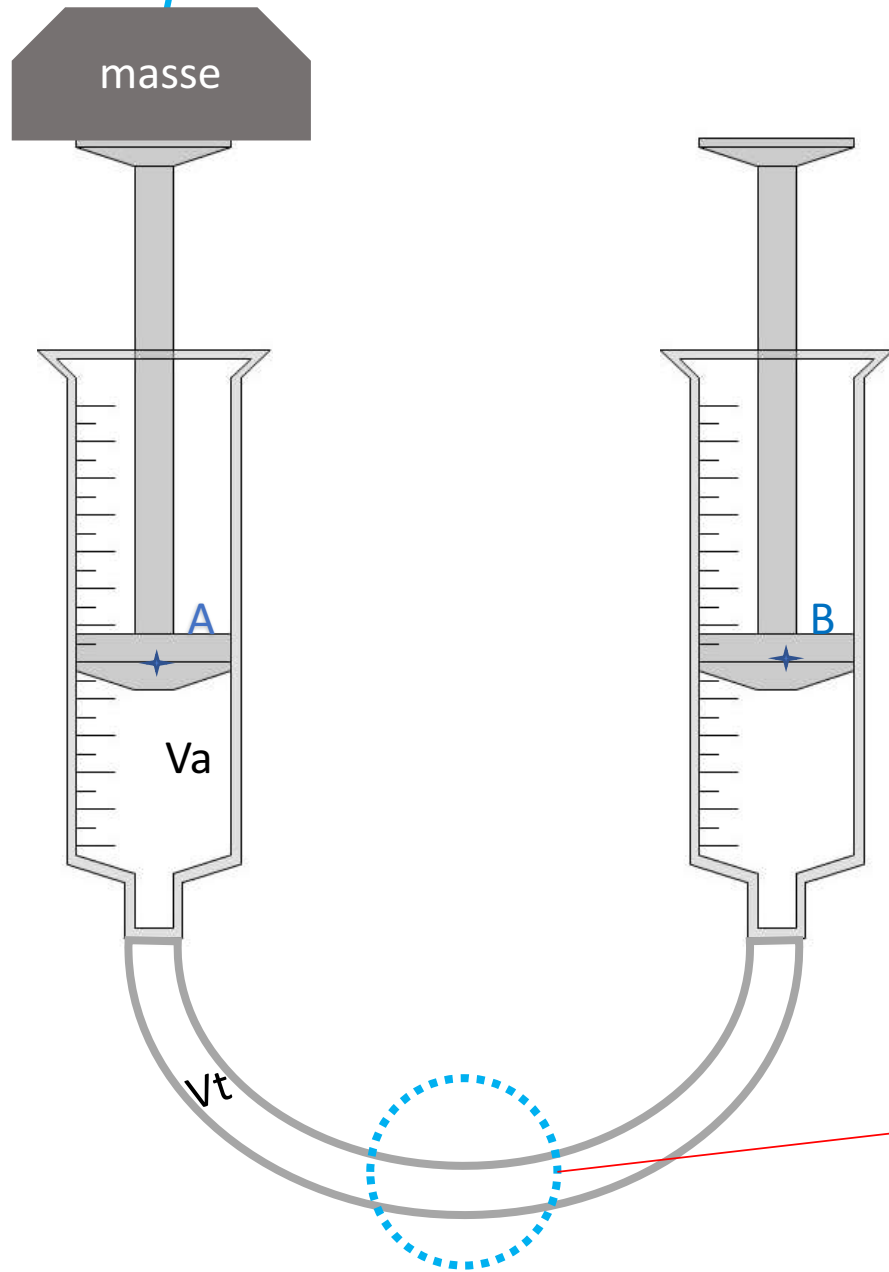


A l'application d'un champ magnétique :
*apparition d'un seuil minimal de cisaillement
*fluide non newtonien



C-Comportement rhéologique:

Expression du seuil minimal τ_0 :



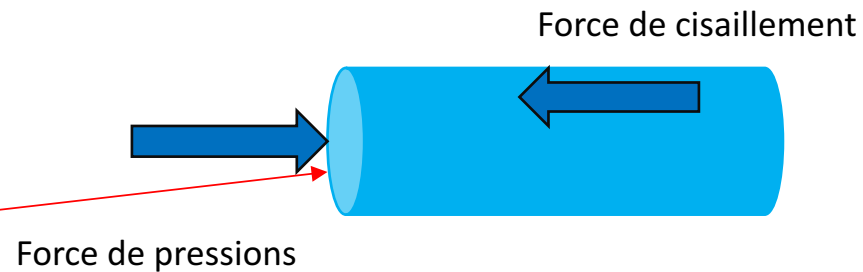
→ On applique le principe fondamental de la statique à la portion du fluide :

$$dP \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr = \tau_0 \cdot 2\pi \cdot R \cdot dz$$

$$\iint dP \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr = \iint \tau_0 \cdot 2\pi \cdot R \cdot dz$$

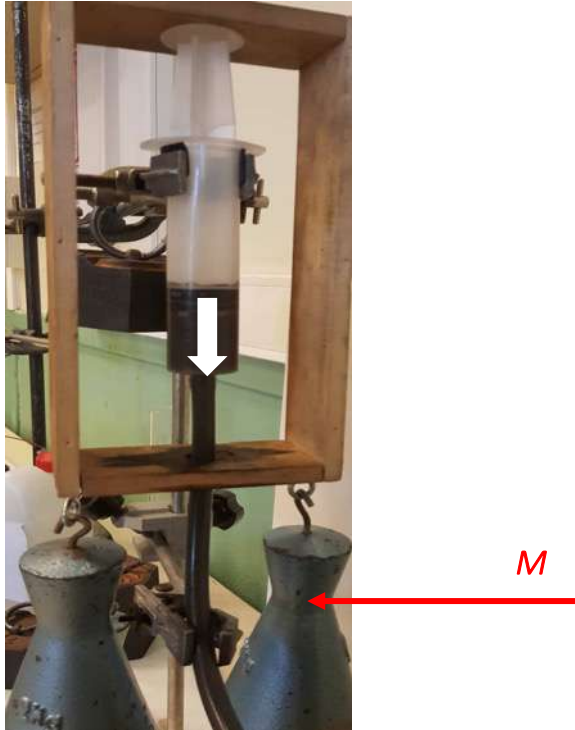
$$\tau_0 = \frac{\Delta P \cdot R}{2 \cdot L}$$

Avec $\Delta P = \frac{Mg}{S}$



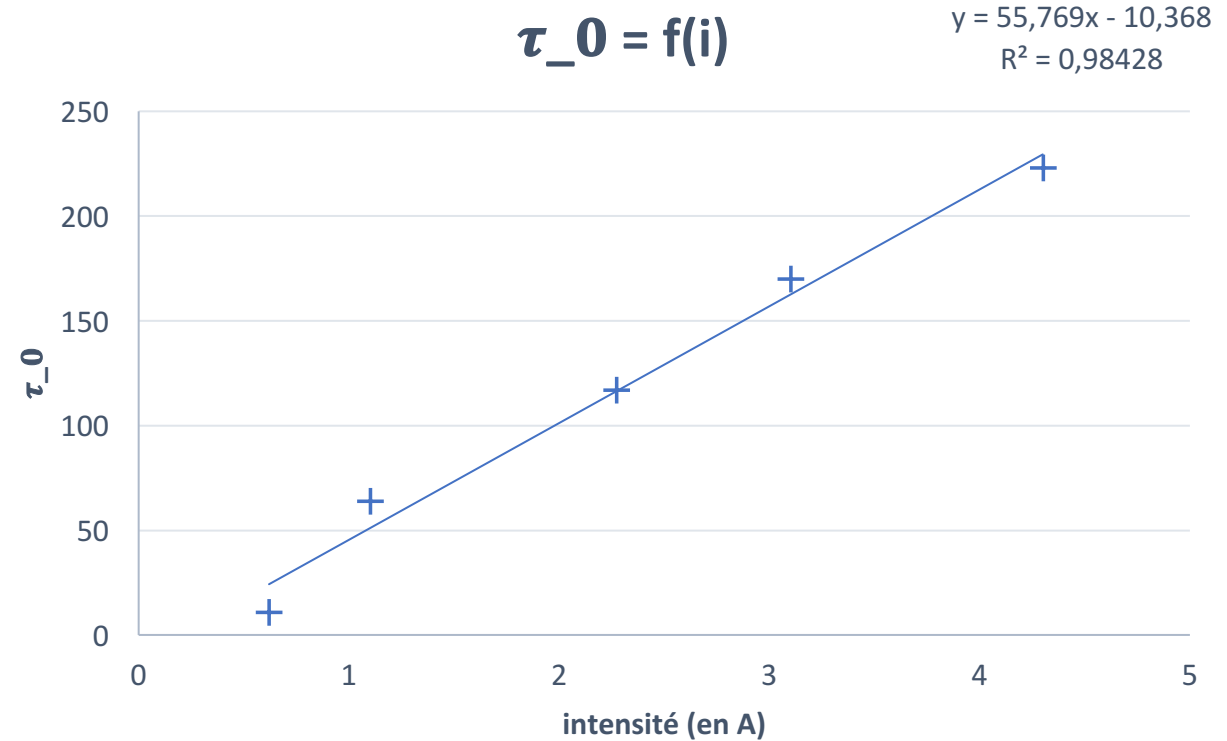
C-Comportement rhéologique:

Expression du seuil minimal τ_0 :



$$\tau_0 = \frac{M \cdot g \cdot R}{2 \cdot S \cdot L}$$

→ Pour chaque intensité, on rajoute les masses nécessaires pour que le fluide commence à s'écouler
Et ainsi on obtient ΔP



C-Comportement rhéologique:

Fluide à seuil :

-En l'absence du champ magnétique le fluide est considéré comme newtonien:

$$\tau = \dot{\gamma} \cdot \eta$$

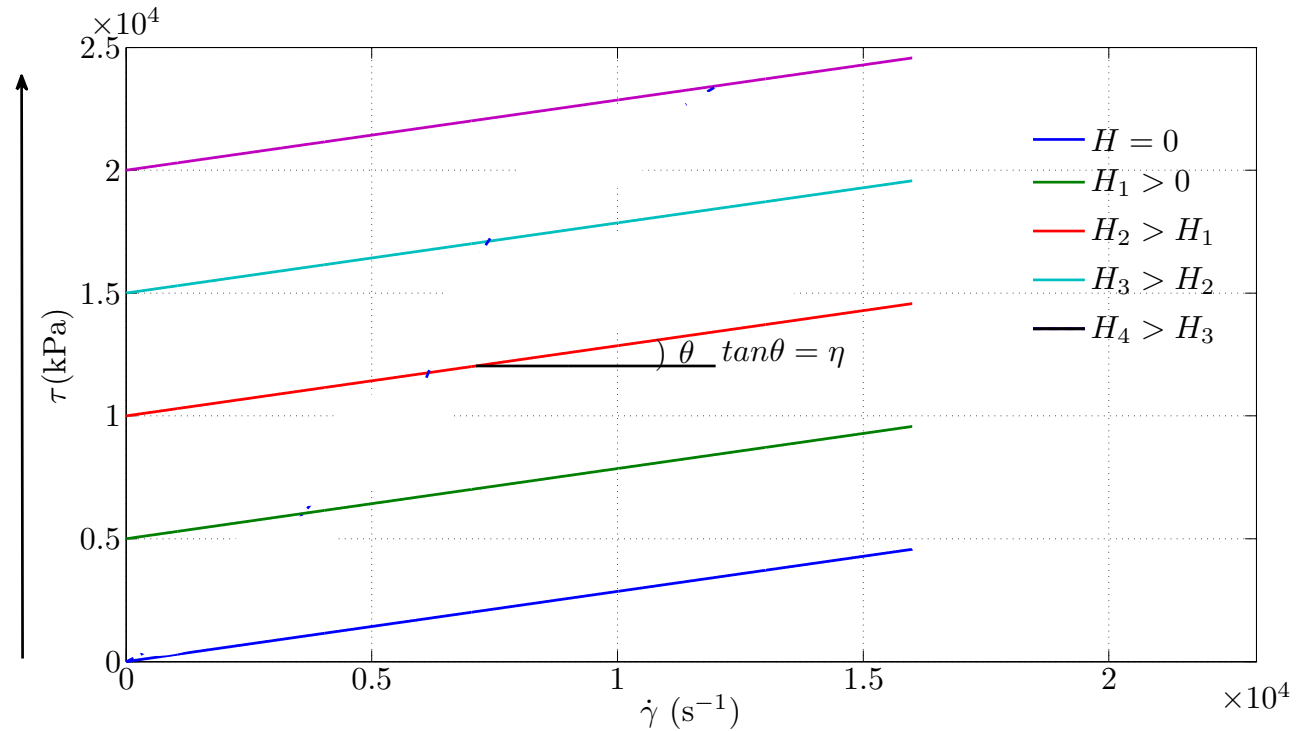
η : la viscosité

$\dot{\gamma}$: le gradient de vitesse

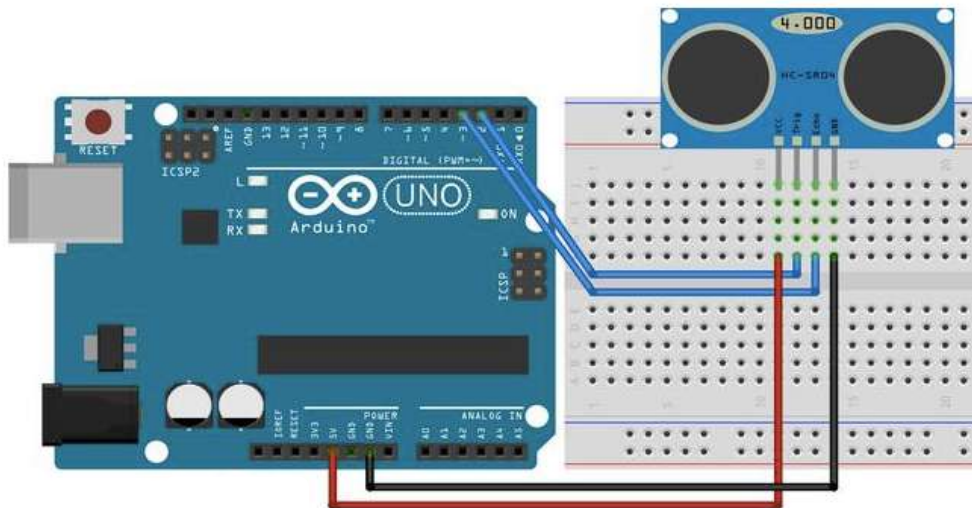
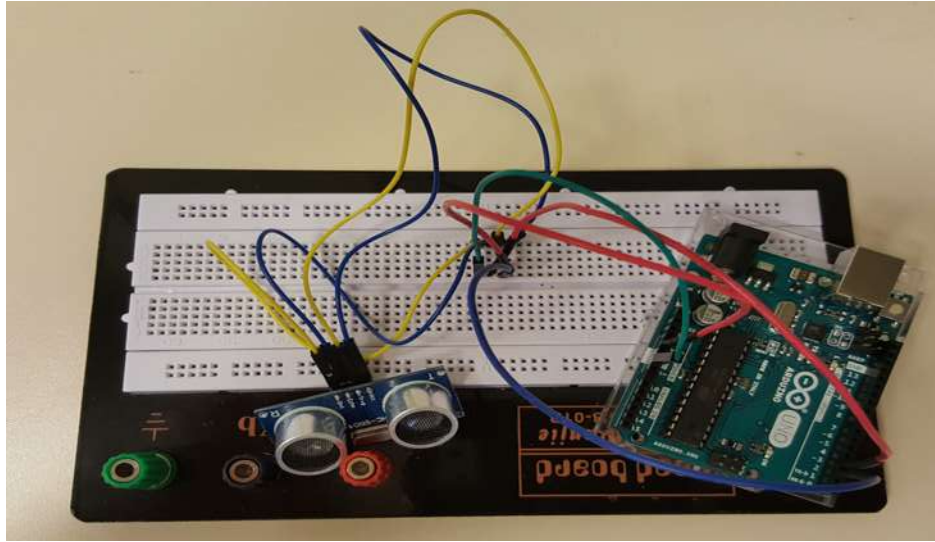
τ : la contrainte de cisaillement

- À la présence du champ magnétique (modèle de bingham) :

$$\begin{cases} \dot{\gamma} = 0 & \text{si } \tau < \tau_0 \\ \tau = \tau_0 + \dot{\gamma} \cdot \eta & \text{si } \tau > \tau_0 \end{cases}$$



D-Vitesse d'écoulement: acquisition de la position du piston



```

/* Code pour un capteur à ultrasons HC-SR04.
*/

/* Constantes pour les broches */
const byte TRIGGER_PIN = 2; // Broche TRIGGER
const byte ECHO_PIN = 3;    // Broche ECHO

/* Constantes pour le timeout */
const unsigned long MEASURE_TIMEOUT = 25000UL; // 25ms = ~8m à 340m/s

/* Vitesse du son dans l'air en mm/us */
const float SOUND_SPEED = 340.0 / 1000;

/** Fonction setup() */
void setup() {

    /* Initialise le port série */
    Serial.begin(115200);

    // /* Initialise les broches */
    pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW); // La broche TRIGGER doit être à LOW au repos
    pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
}

/** Fonction loop() */
void loop() {

    /* 1. Lance une mesure de distance en envoyant une impulsion HIGH de 10µs sur la broche TRIGGER */
    digitalWrite(TRIGGER_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);

    /* 2. Mesure le temps entre l'envoi de l'impulsion ultrasonique et son écho (si il existe) */
    long measure = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, MEASURE_TIMEOUT);

    /* 3. Calcul la distance à partir du temps mesuré */
    float distance_mm = measure / 2.0 * SOUND_SPEED;

    /* Affiche les résultats en mm, cm et m */
    Serial.print(distance_mm, DEC);
    Serial.println(",");

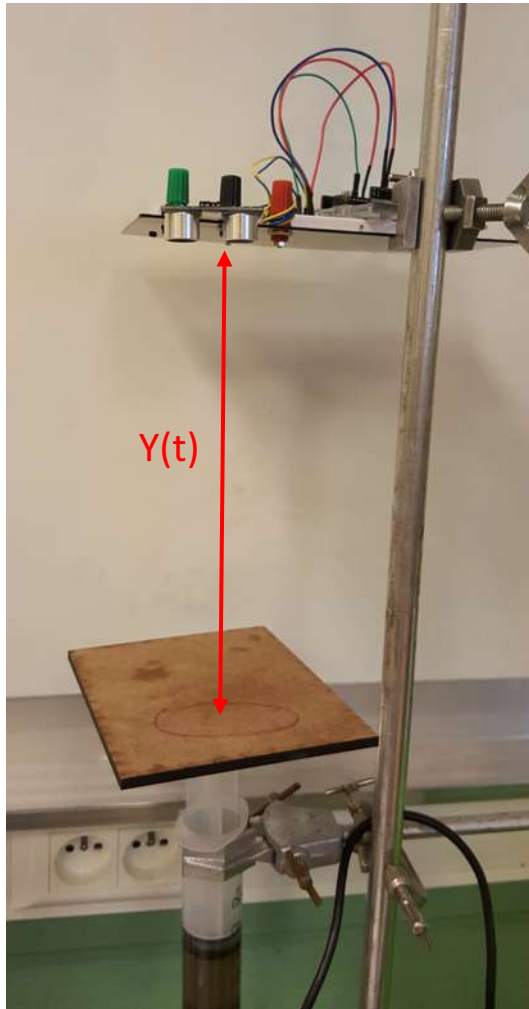
    /* Délai d'attente pour éviter d'afficher trop de résultats à la seconde */
    delay(10);
}

```

$$d = \frac{\Delta t}{2 \cdot c}$$

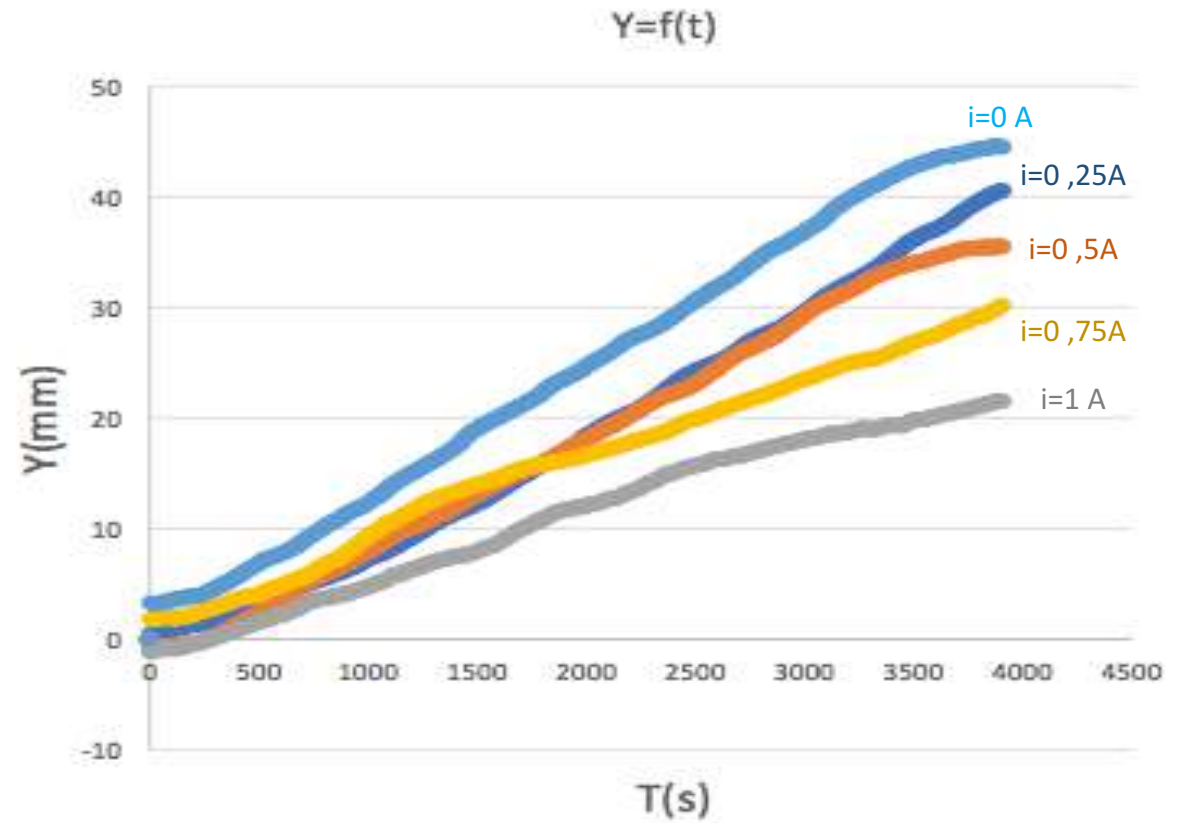
D-Vitesse d'écoulement:

acquisition de la position du piston



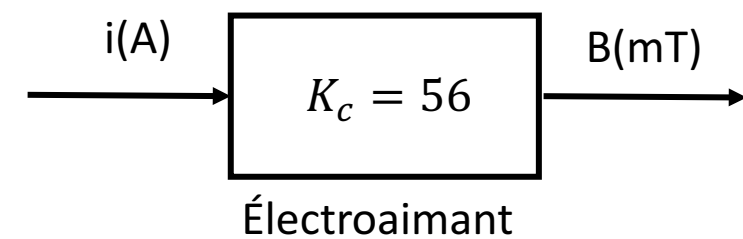
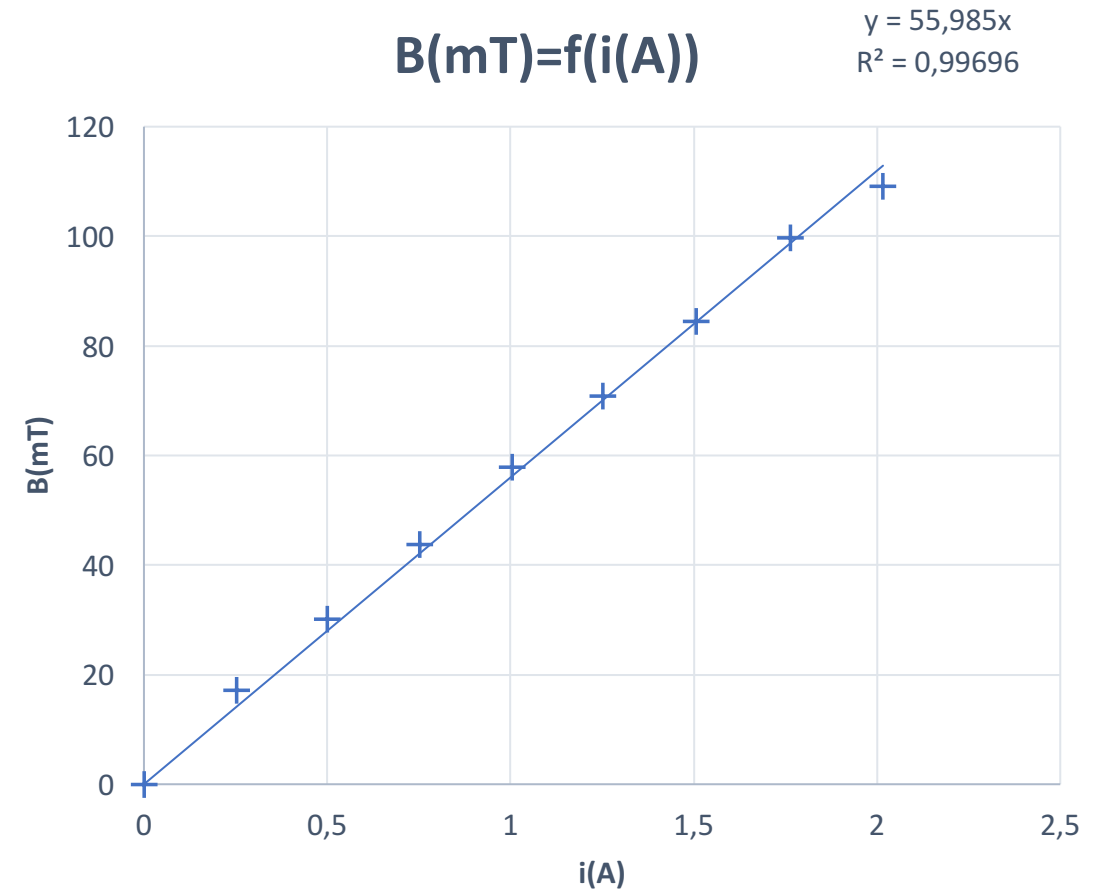
$T_e = 25 \text{ ms}$

Pour $m = 6 \text{ kg}$



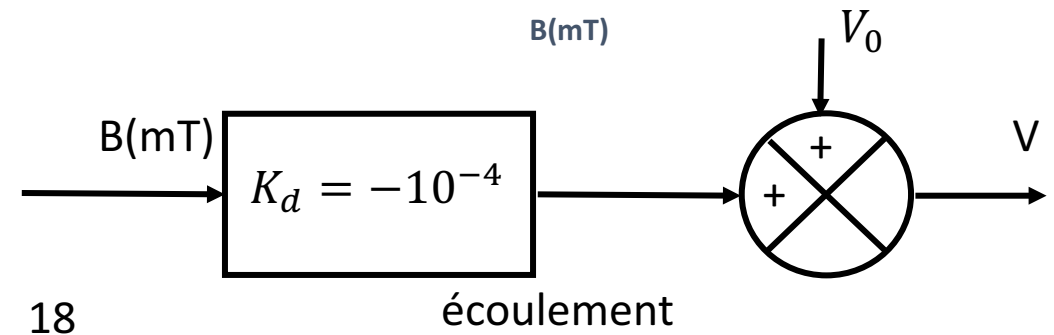
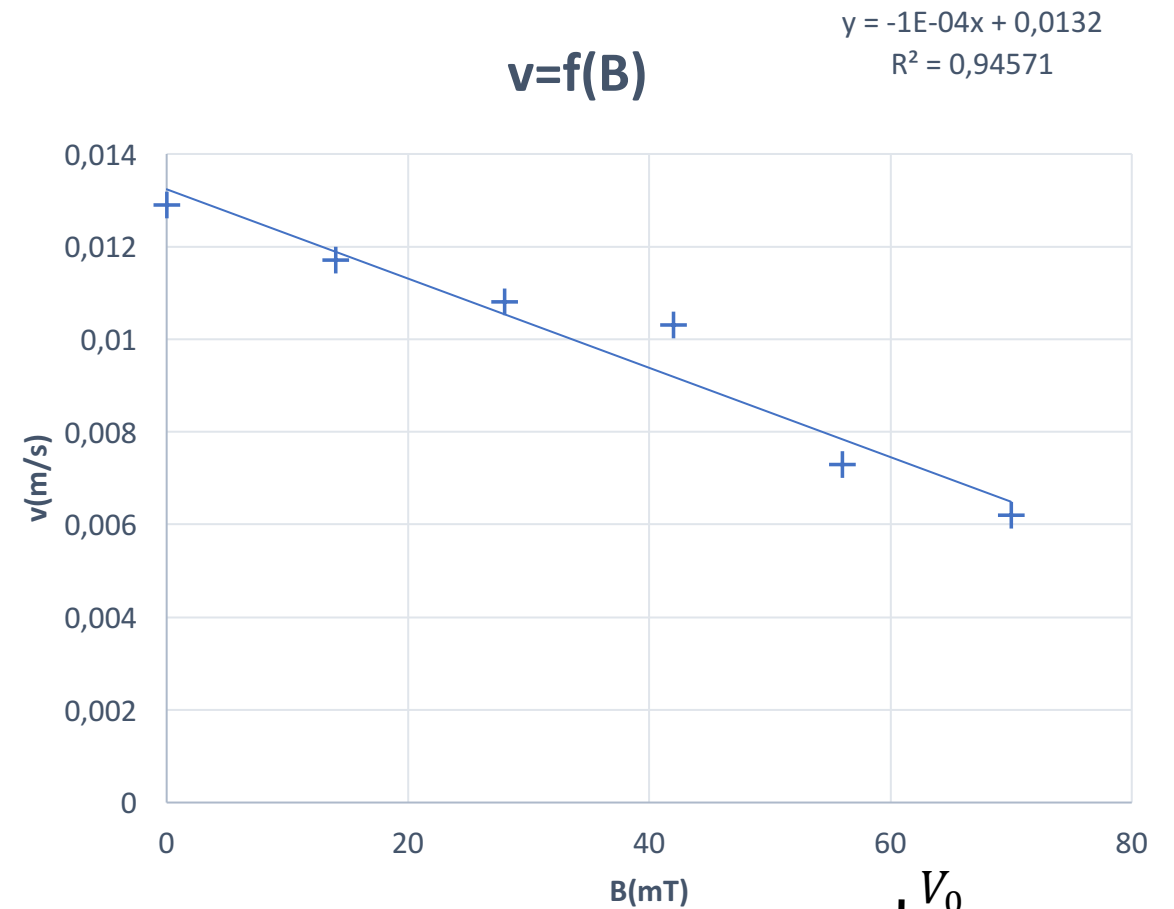
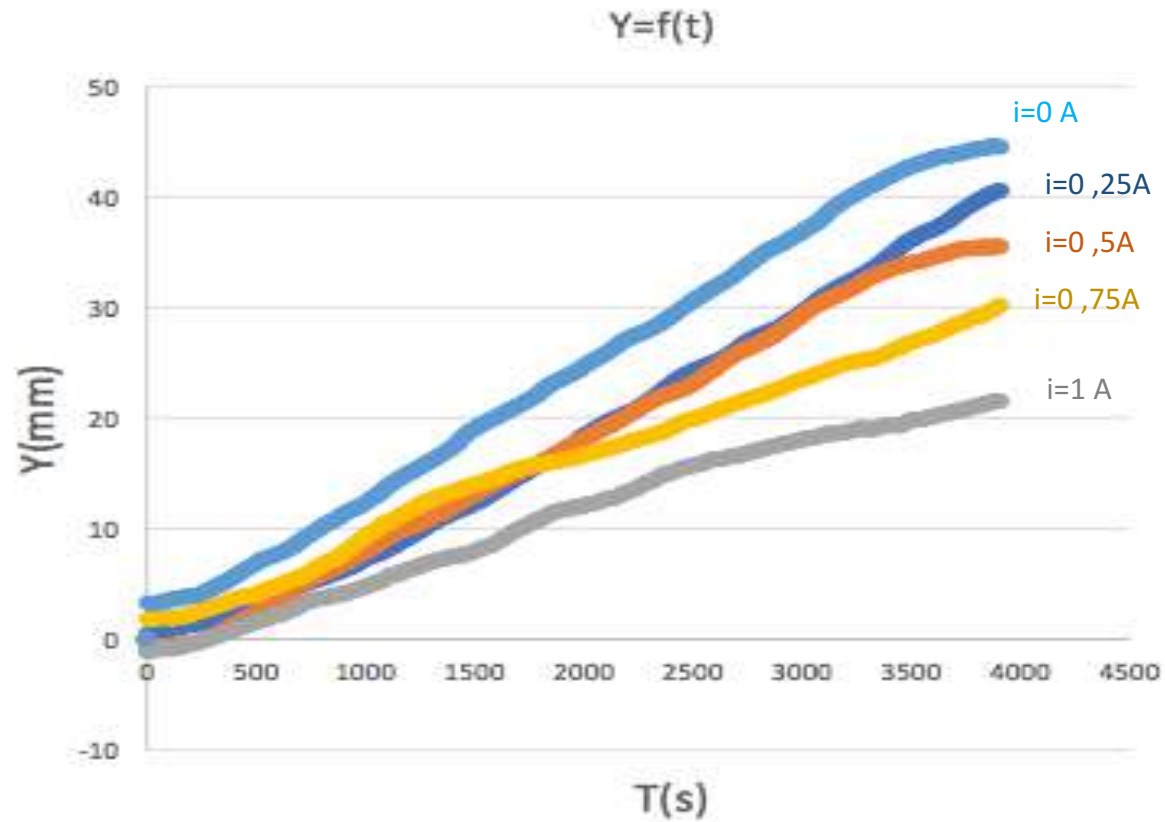
D-Vitesse d'écoulement:

Caractéristique de l'électroaimant



D-Vitesse d'écoulement:

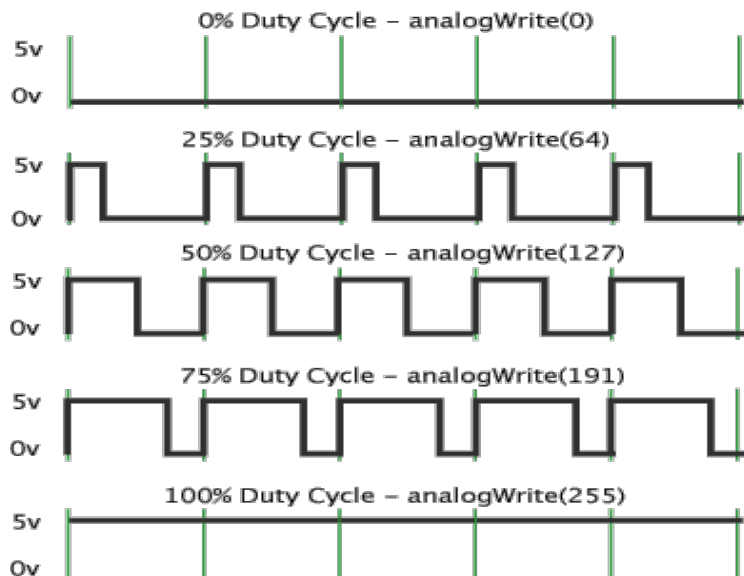
Pour $m=6$ kg



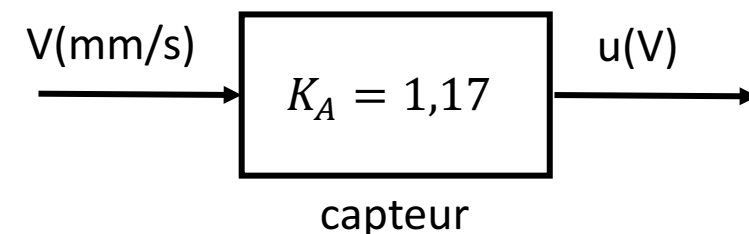
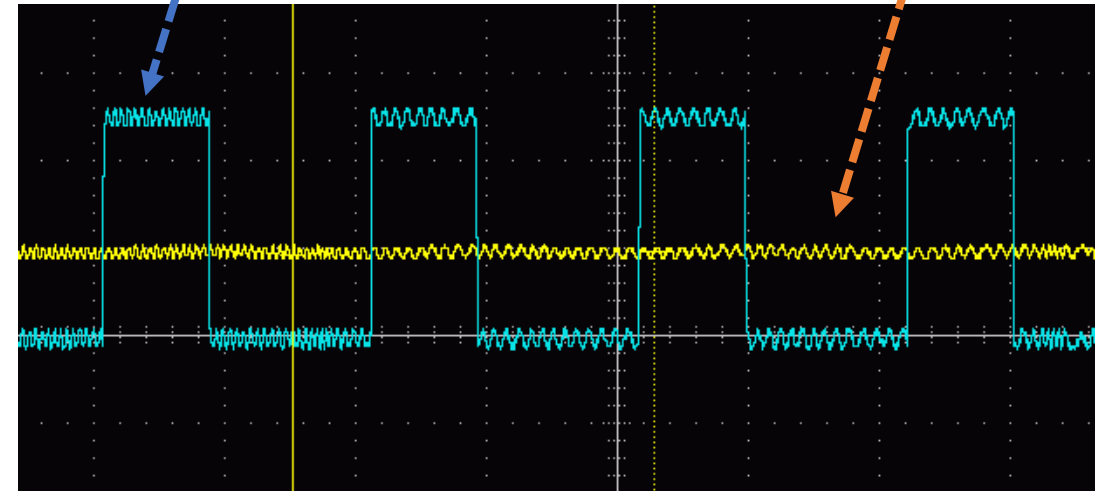
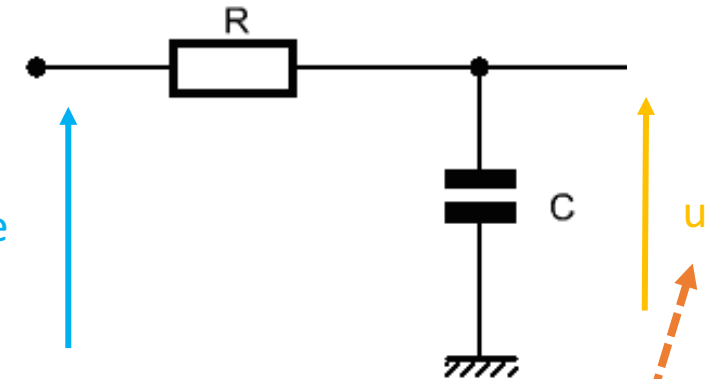
E-Asservissement :

```
long measure = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, MEASURE_TIMEOUT);  
/* 3. Calcul la vitesse à partir du temps mesuré */  
float distance_mm = measure / 2.0 * SOUND_SPEED;  
float v=((distance_mm-a)/25);  
float a=distance_mm ;  
  
// Ecart entre la consigne et la mesure  
float ecart = vc - v;  
analogWrite(6, 60*ecart);  
delay(25);
```

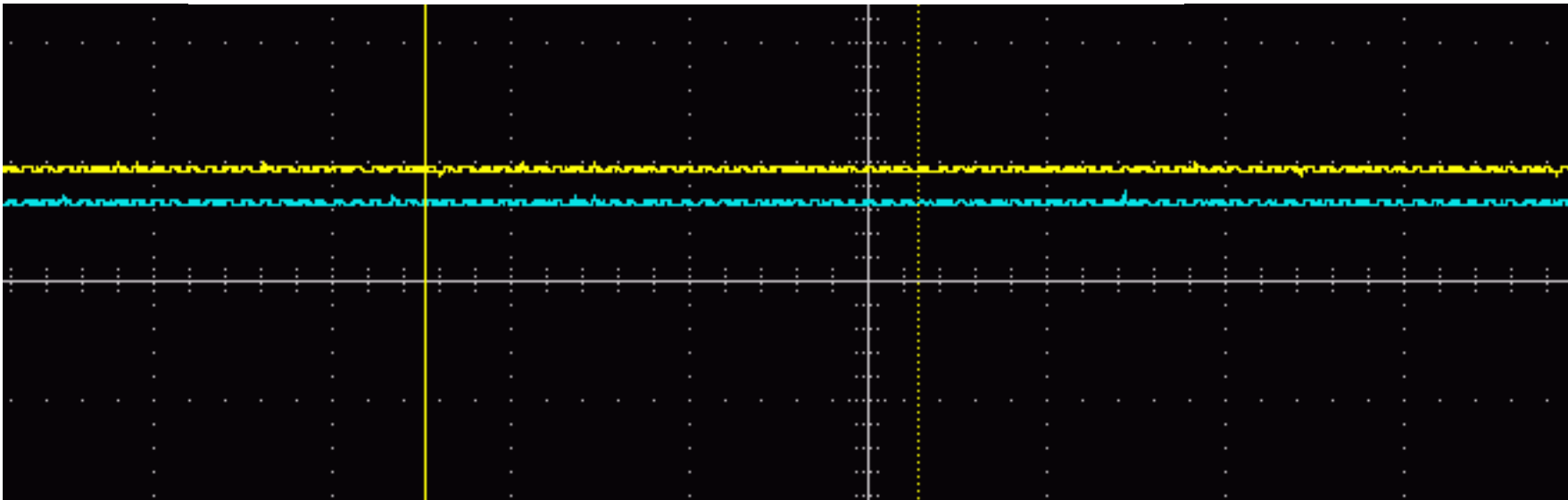
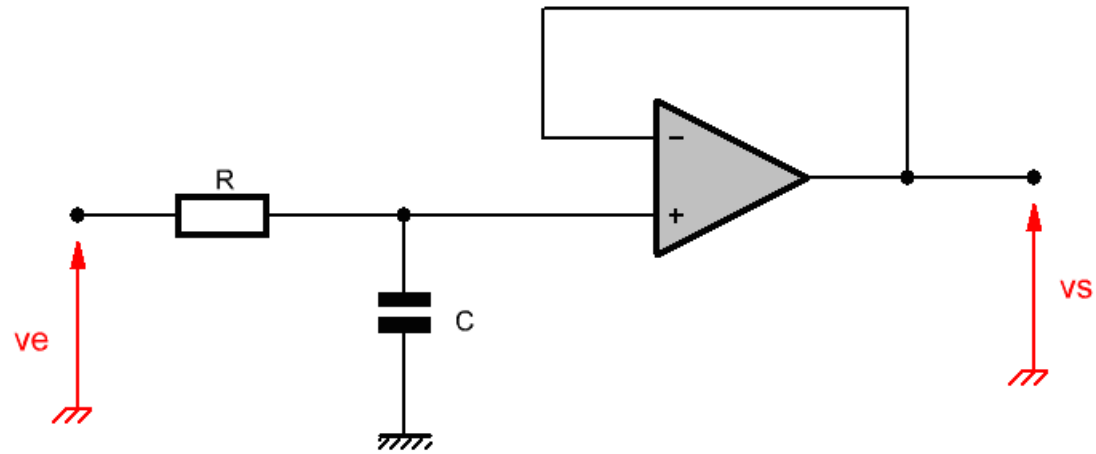
Fonction analogwrite



Filtre RC

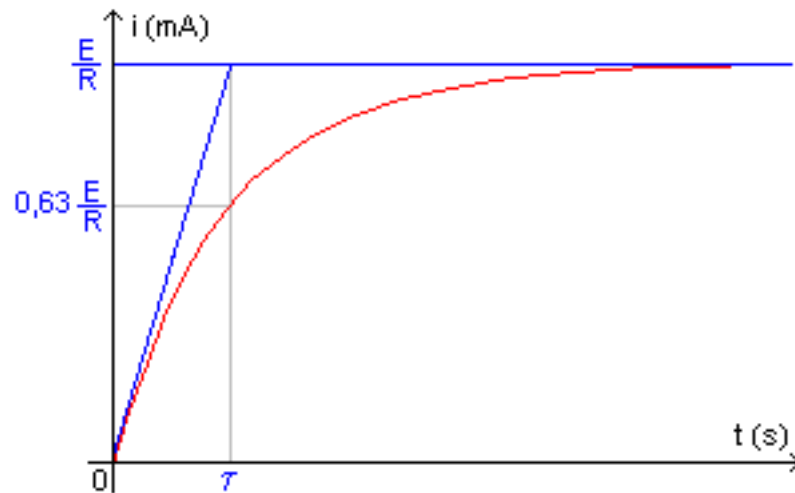
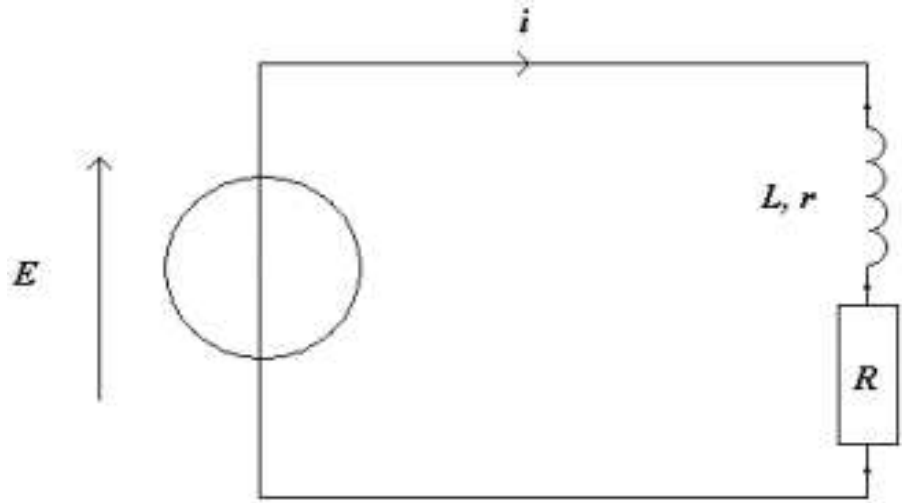


E-Asservissement :

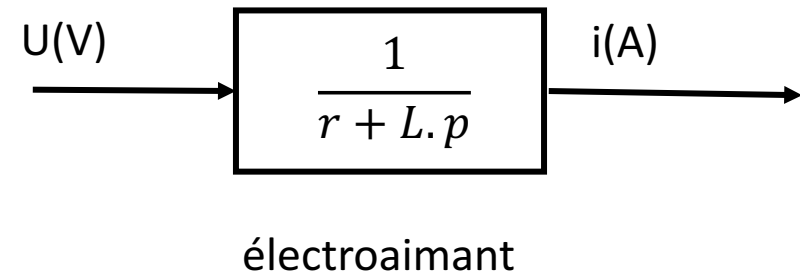


E-Asservissement :

Caractéristique de la bobine de l'électroaimant

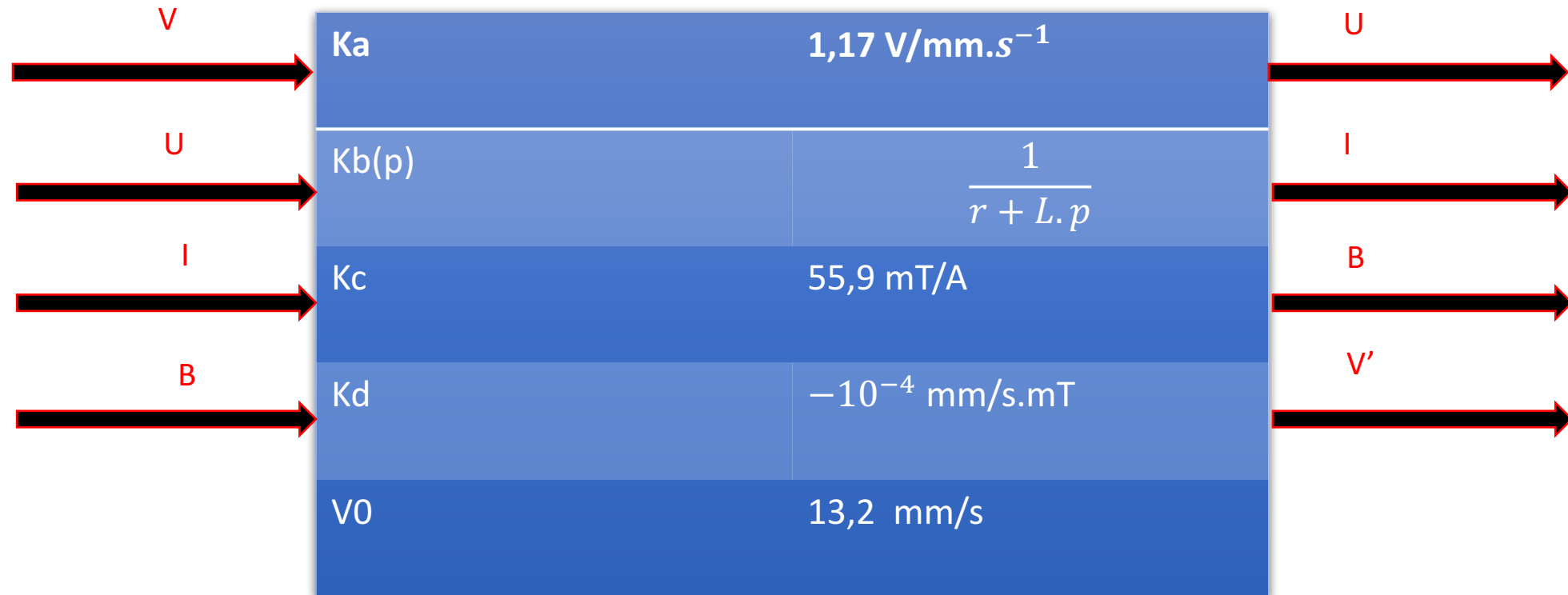


L	r
220 mH	$1,82\Omega$



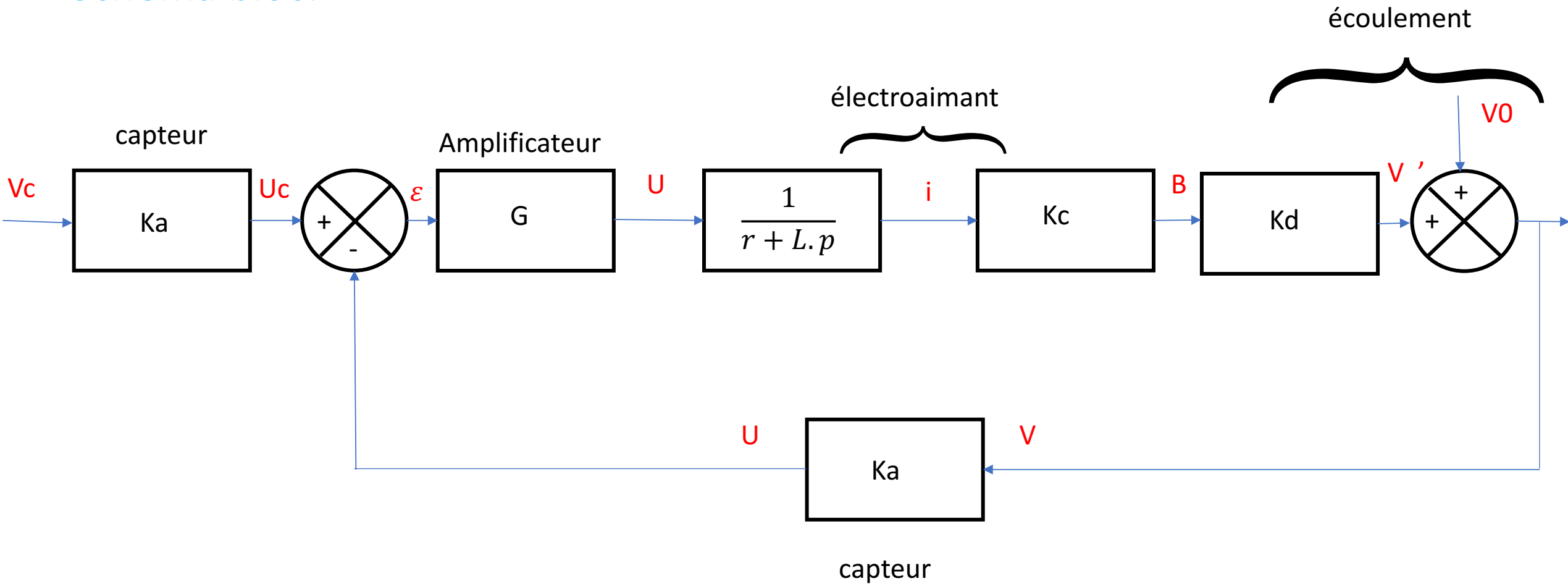
E-Asservissement :

Bilan:



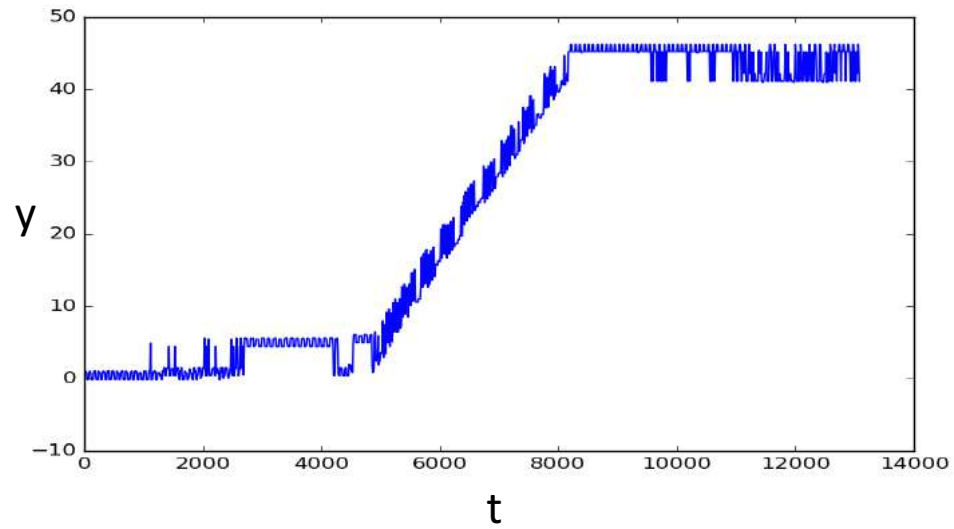
E-Asservissement :

Schéma bloc:

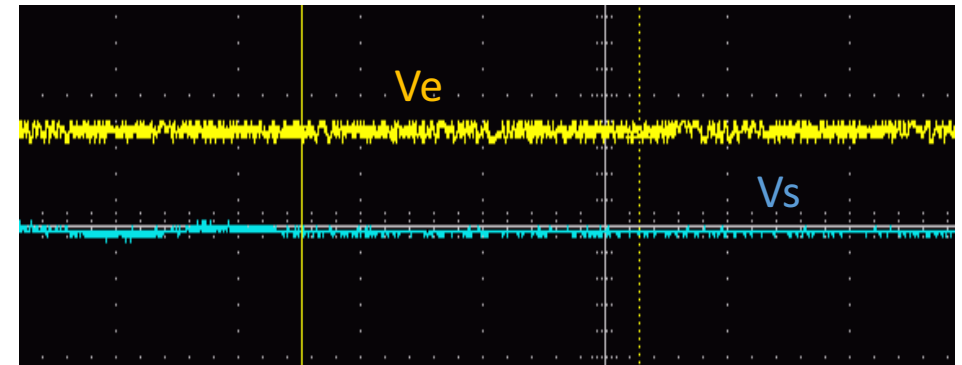
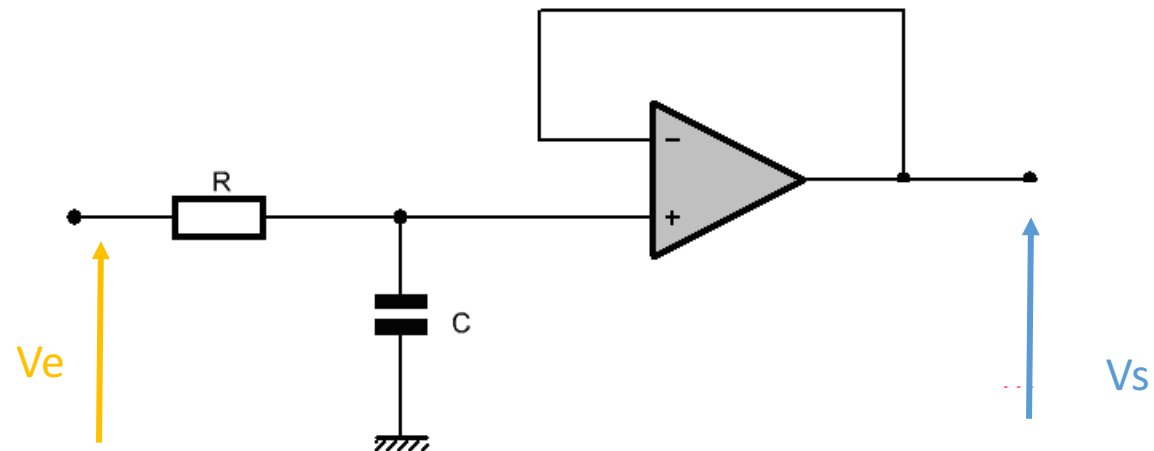
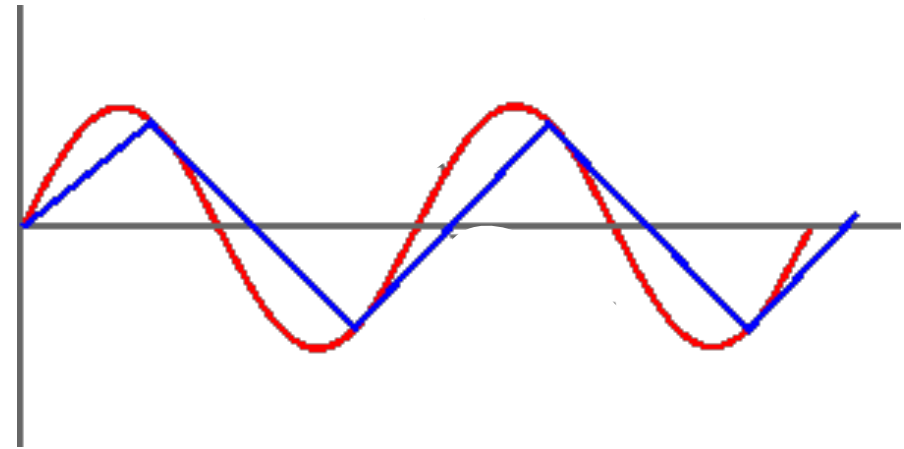


E-Asservissement :

Problèmes rencontrés:



Slew-Rates :



E-Asservissement :

Problèmes rencontrés:

Effet de Rémanence:

À l'application du champ magnétique



Désactivation du champ magnétique



Annexe:

```
def moyenne(l):
    assert not len(l)==0
    return sum(l)/len(l)

def lissage(l,p):
    '''Fonction qui débruite une courbe par une moyenne glissante
    sur p points impaires'''
    assert p%2==1
    p //= 2

    n = len(l)
    out = [None]*n

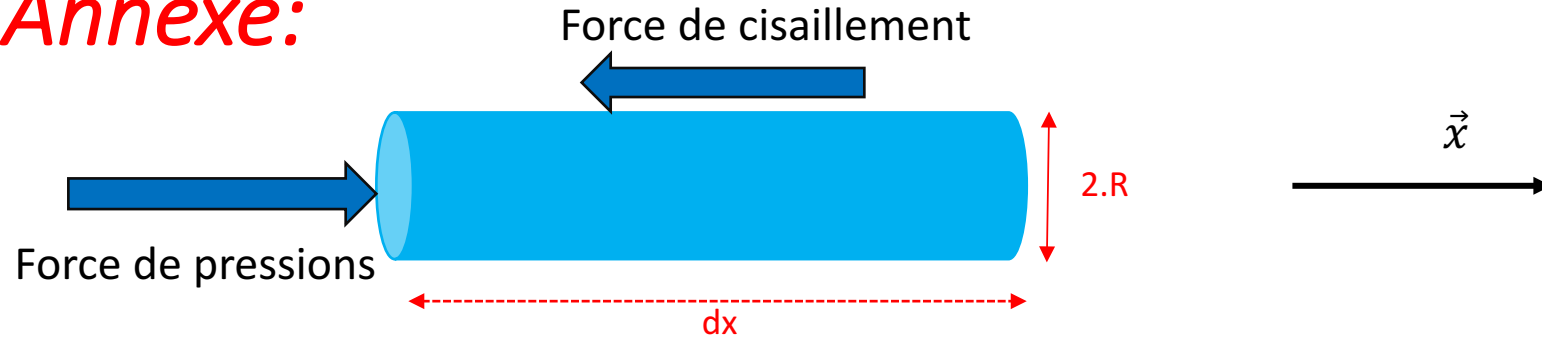
    for i in range(p):
        out[i] = moyenne(l[:2*i+1])
    for i in range(p, n-p):
        out[i] = moyenne(l[i-p:i+p+1])
    for i in range(n-p,n):
        out[i] = moyenne(l[-(n-i):])

    return out
```

```
def detection_indice_monte(L,mini=10):
    i = 0
    a = 0
    compte = 0
    while i < len(L)-1 and compte < mini:
        if L[i+1]-L[i] > 0:
            compte += L[i+1]-L[i]
            a += 1
            i += 1
        else:
            compte = 0
            a = 0
            i += 1
    return i-a

def repositionner_origine(L1,indice,taille):
    #changement à l'indice 25
    #taille reference 50
    L = L1.copy()
    indice_m = detection_indice_monte(L)
    #repositionnement de l'indice de montée
    if indice_m < indice:
        L = [0]*(indice-indice_m) + L
    elif indice_m > indice:
        L = L[indice_m-indice-1:]
    #reajustement de la taille de la liste (taille universelle)
    if len(L) < taille:
        a = [L[-1]]*(taille - len(L))
        L = L + a
    elif len(L) > taille:
        L = L[:taille]
    return L
```

Annexe:



→ Force de pressions : $\overrightarrow{dF_p} = -dp \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \vec{x}$

→ Force de cisaillement : $\overrightarrow{dF_c} = \tau_0 \cdot 2\pi \cdot R \cdot dx \cdot \vec{x}$

→ On applique le principe fondamental de la statique à la portion du fluide :

$$dp \cdot \pi \cdot R^2 = \tau_0 \cdot 2\pi \cdot R \cdot dx$$

$$\iint dp \cdot \pi \cdot R^2 = \iint \tau_0 \cdot 2\pi \cdot R \cdot dx$$

$$\tau_0 = \frac{\Delta P \cdot R}{2 \cdot L}$$

$$\text{Avec } \Delta P = \frac{Mg}{S}$$

Annexe

Démonstration de la formule de η :

→ Poids: $\overrightarrow{dP} = \rho \cdot d\tau \cdot g \cdot \vec{z}$

→ Force de cisaillement: $\overrightarrow{dFc} = \eta \cdot \frac{\partial v}{\partial r} \cdot S \cdot \vec{z}$

• en appliquant le principe fondamental de la statique à la portion de fluide $d\tau$:

• On a $\rho \cdot d\tau \cdot g = \eta \cdot \frac{dv}{dr} \cdot S$

• $dr \cdot \rho \cdot d\tau \cdot g = \eta \cdot d\left(\frac{dz}{dt}\right) \cdot S$

• donc $\int dr \cdot \rho \cdot d\tau \cdot g = \int \eta \cdot d\left(\frac{dz}{dt}\right) \cdot S$

Méthode de séparation des variables

Résultat du pfs sur les deux fluides

• donc $\begin{cases} R \cdot \rho \cdot S \cdot z \cdot t = \eta \cdot z \cdot S \\ R \cdot \rho_g \cdot S \cdot z \cdot tg = \eta_g \cdot z \cdot S \end{cases}$

• Donc

$$\eta = \frac{\rho \cdot t}{\rho_g \cdot t_g} \eta_g$$

