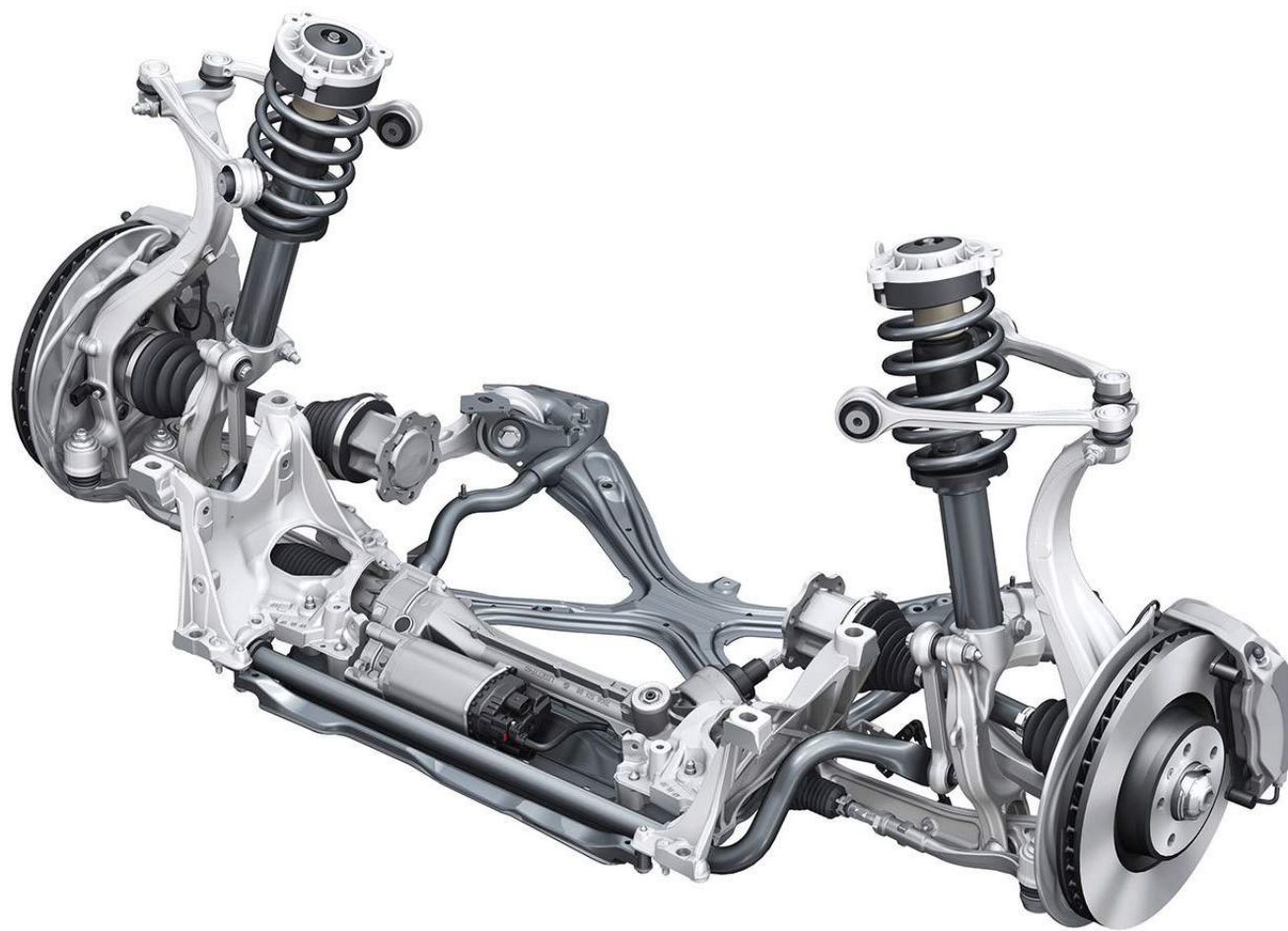


TIPE

SUSPENSION SEMI ACTIVE : APPLICATION D'UN FLUIDE MAGNÉTO-RHÉOLOGIQUE



INTRODUCTION

I) Principe de fonctionnement

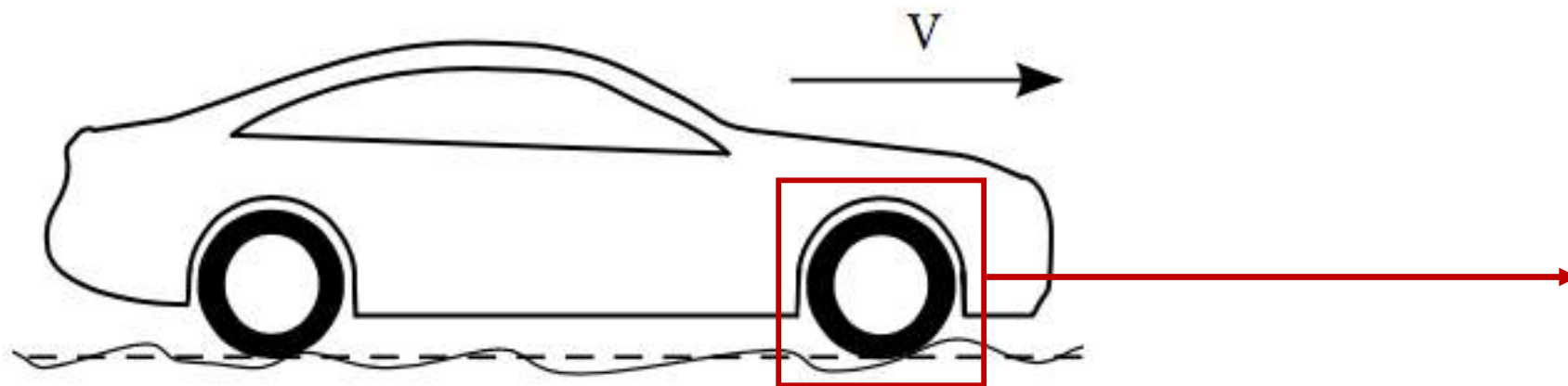


Schéma d'une automobile soumise à des perturbations

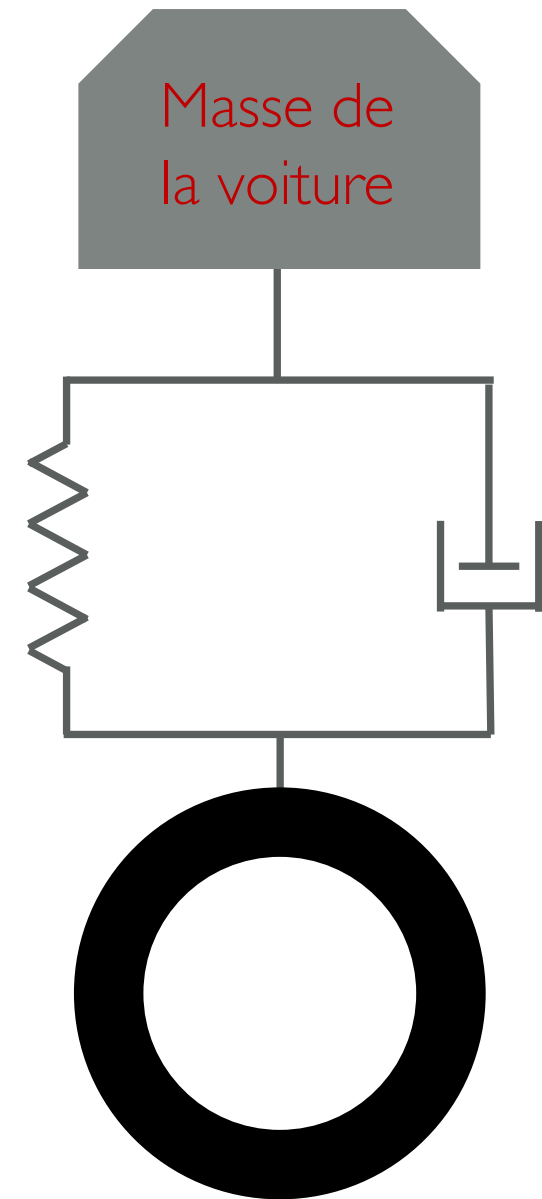


Schéma d'une suspension automobile

INTRODUCTION

2) Types de suspension

Passives



Suspension hydraulique passive

- + Répandues, peu chères
- + Conception simple
- + Filtre les vibrations de la route
- Performances limitées
- Ne s'adaptent pas à tout type de contrainte

Semi-actives



Audi R8

Ferrari 599

Suspension semi-active de type MR

- + Asservissement
- + Technologie avancée moins couteuse
- + Plusieurs modes de conduite
- Pas de réglage de la hauteur
- N'égale pas le confort de l'active

Actives



Pneumatique



Électromagnétique

- + Asservissement
- + Confort et Tenue de route
- + Réajustement de la hauteur de la caisse
- Très couteux en énergie
- Technologies avancées

SOMMAIRE

A. Mise en œuvre du modèle :

- 1) Suspensions semi-actives et fluide magnéto-rhéologique
- 2) Création du fluide
- 3) Banc expérimental

B. Première approche :

- 1) Amortissement par le réglage de la viscosité
- 2) Exploitation des résultats

C. Deuxième approche :

- 1) Étude théorique
- 2) Étude expérimentale
- 3) Seuil de contrainte

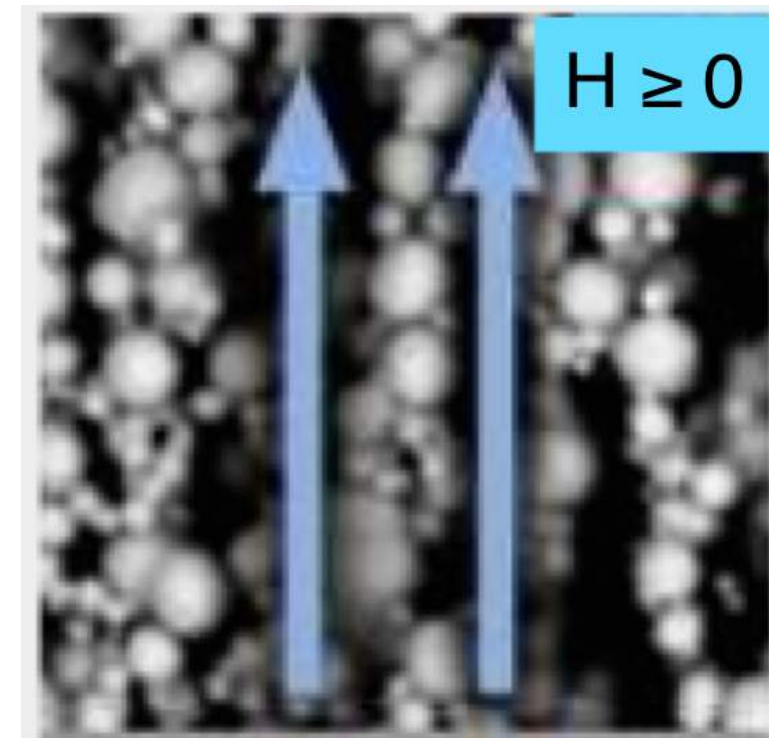
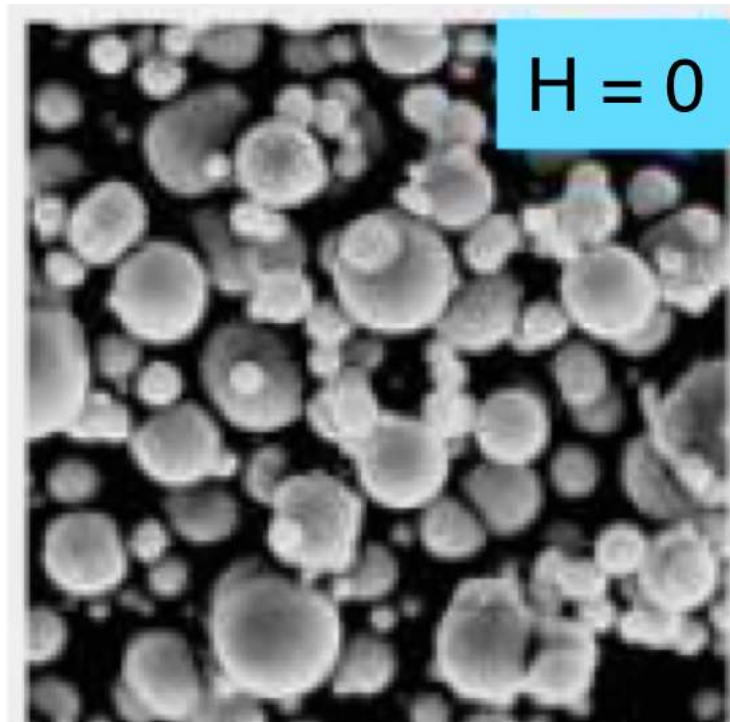
D. Asservissement du système :

- 1) Acquisition de la position
- 2) Vitesse d'écoulement
- 3) Asservissement en vitesse

E. Conclusion

A. MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE

I) Suspension semi-actives et fluide magnéto-rhéologique



« Image au microscope électronique des particules de fer du fluide MR sans excitation G (à gauche) et avec (à droite) »

Particules de fer : $R \sim 0.1 \text{ à } 10 \mu m$

A. MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE

I) Suspension semi-actives et fluide magnéto-rhéologique

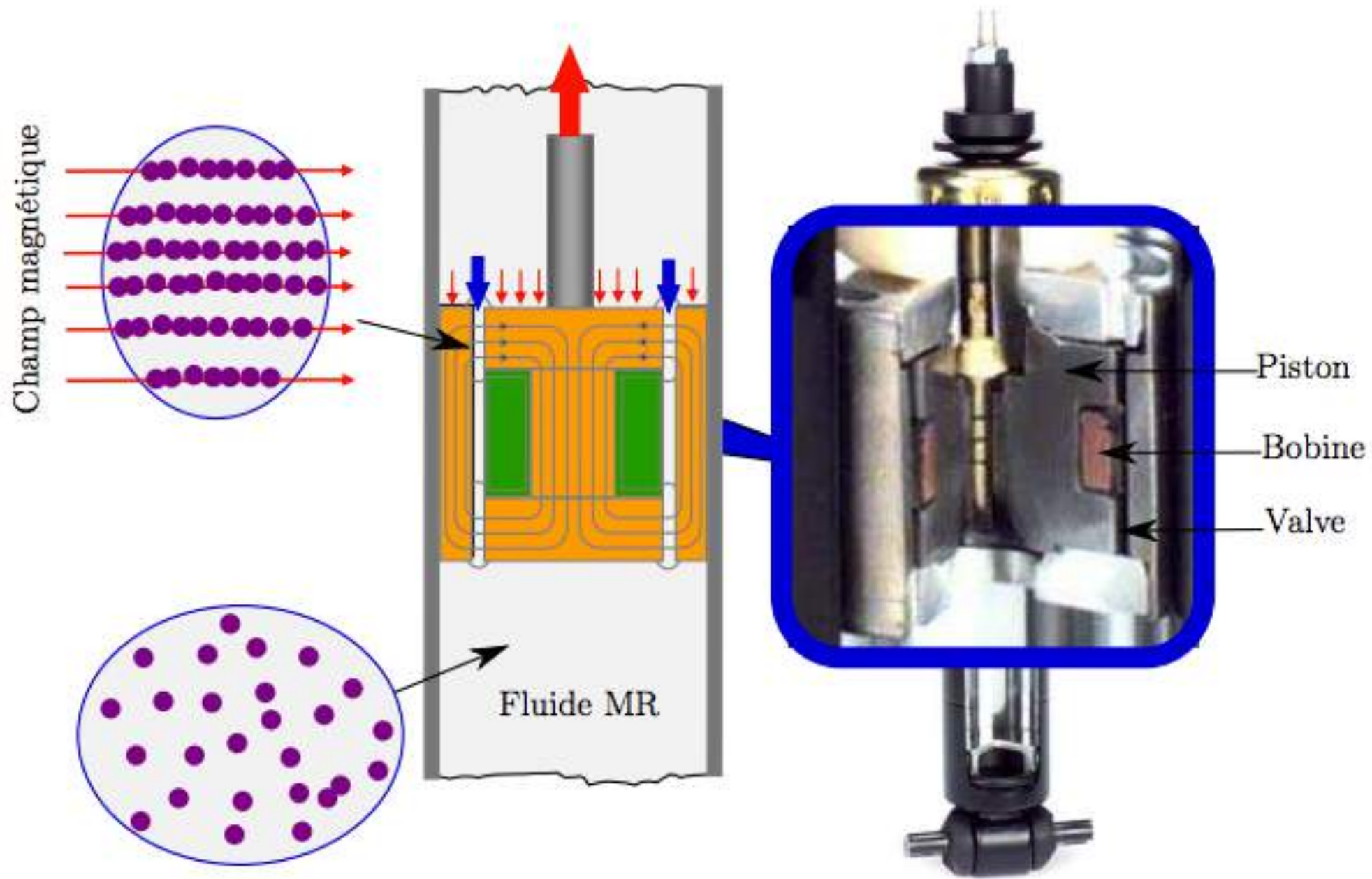
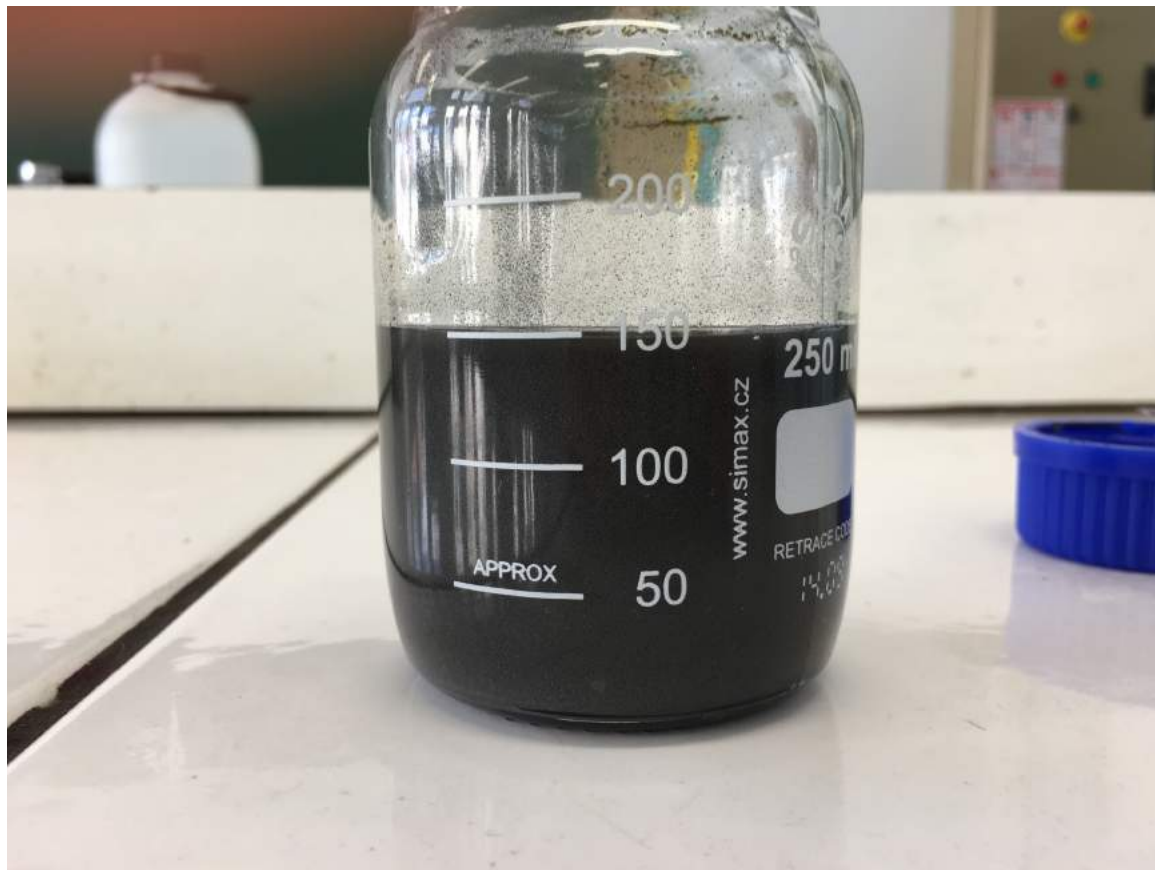


Schéma d'une suspension MR

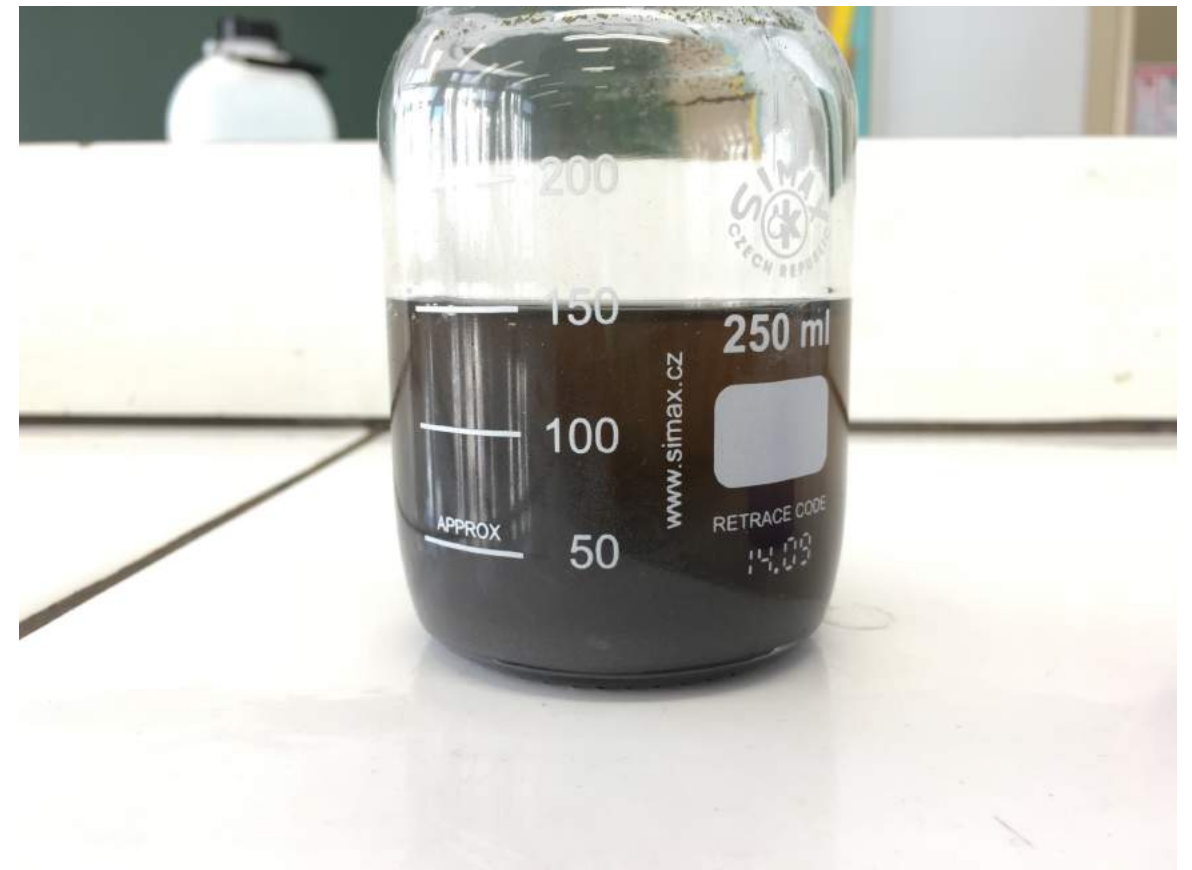
A. MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE

2) Création du fluide

- Viscosité dynamique : $\eta = 1,49$
- Taux massique de limaille de fer : $\tau = 28\%$
- Taille caractéristique : $R \sim 100 \mu m$
- 85€/L comparé à 700€/L



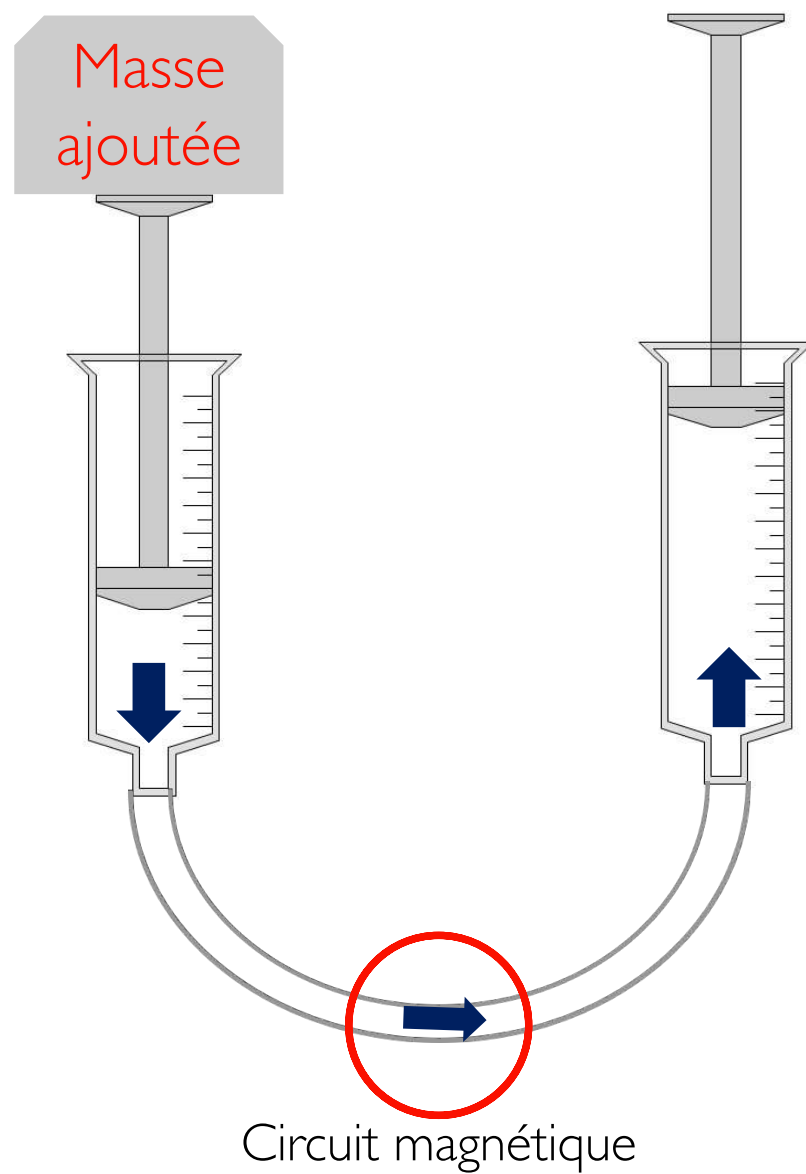
Fluide homogène



Fluide sédimenté

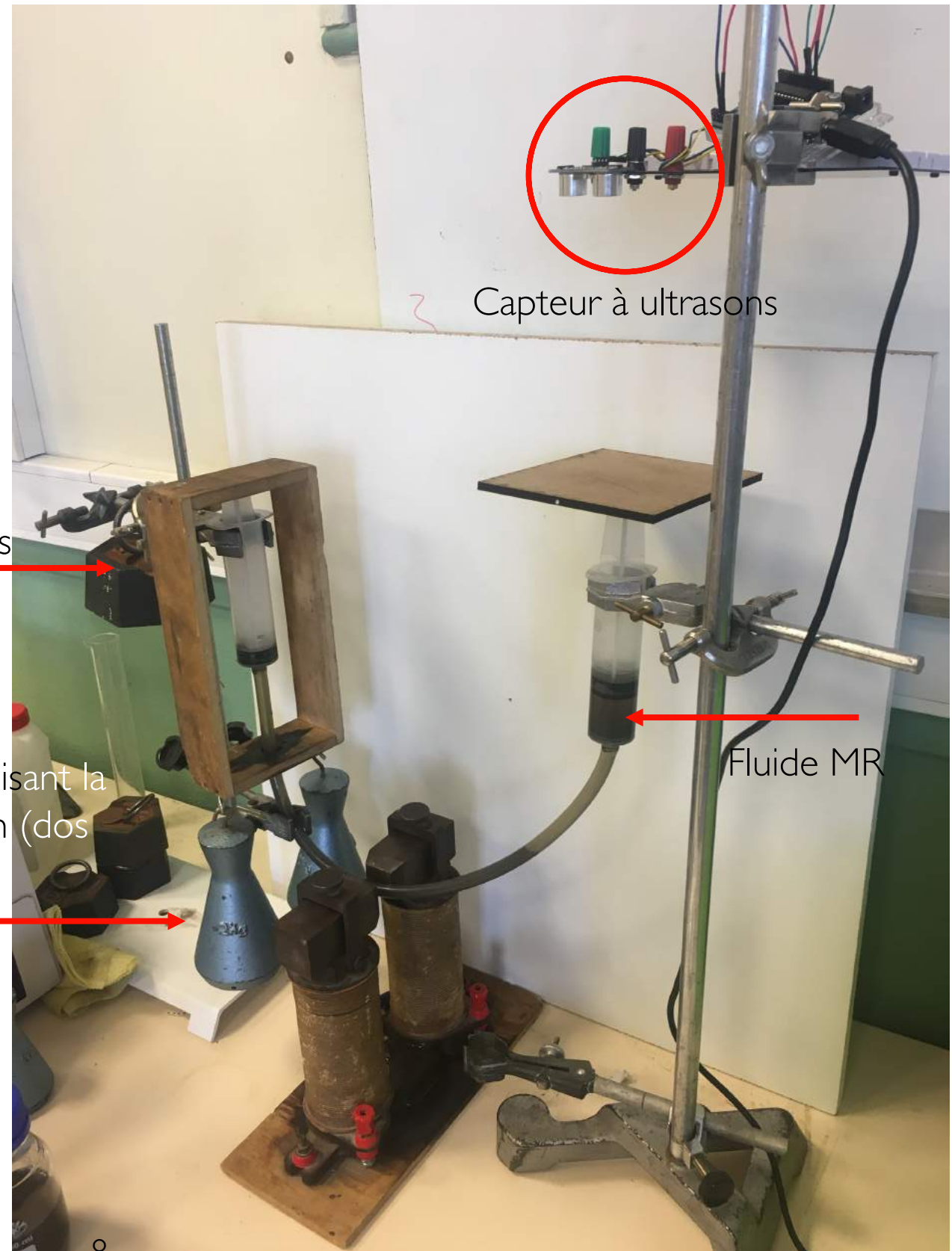
A. MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE

3) Banc expérimental



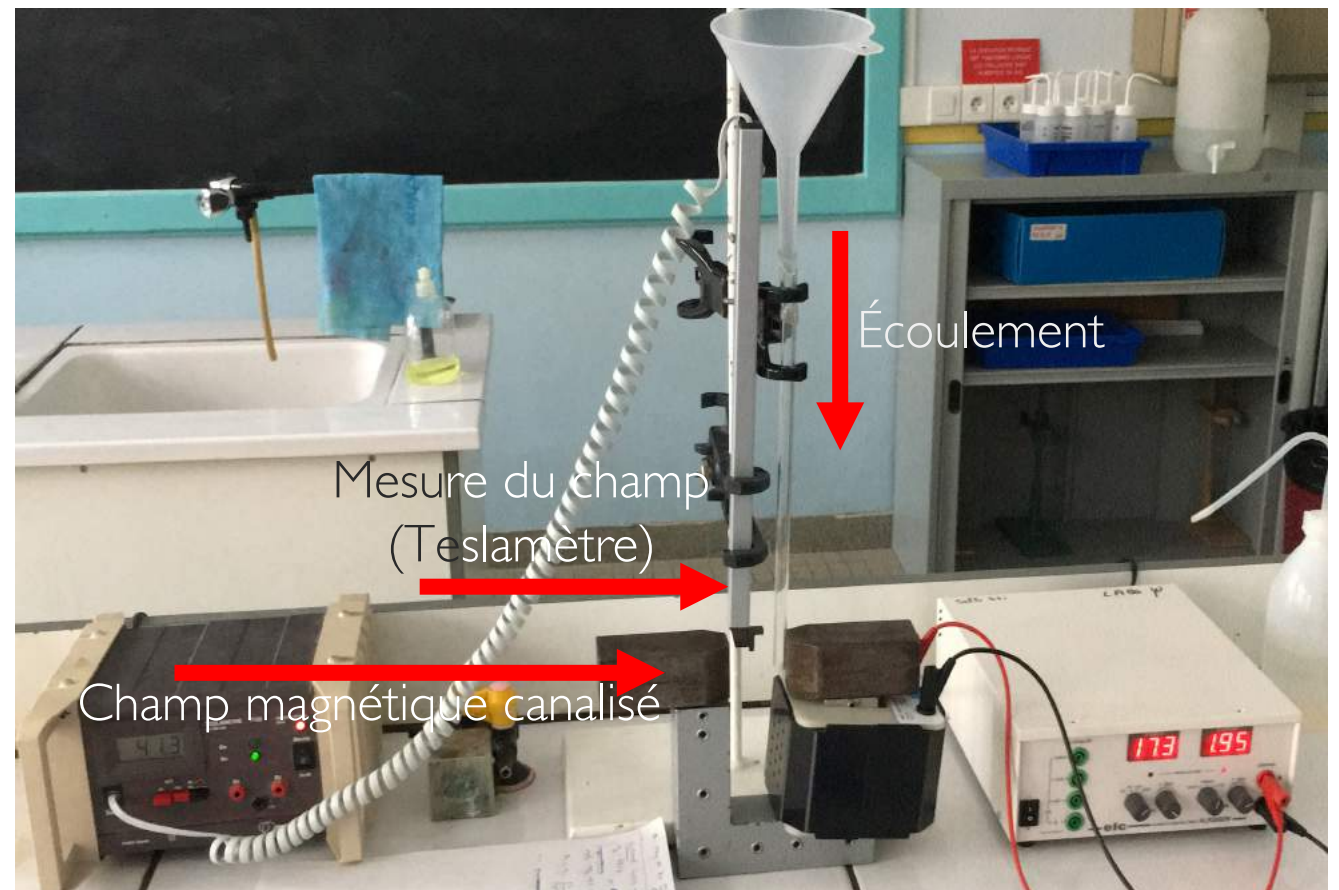
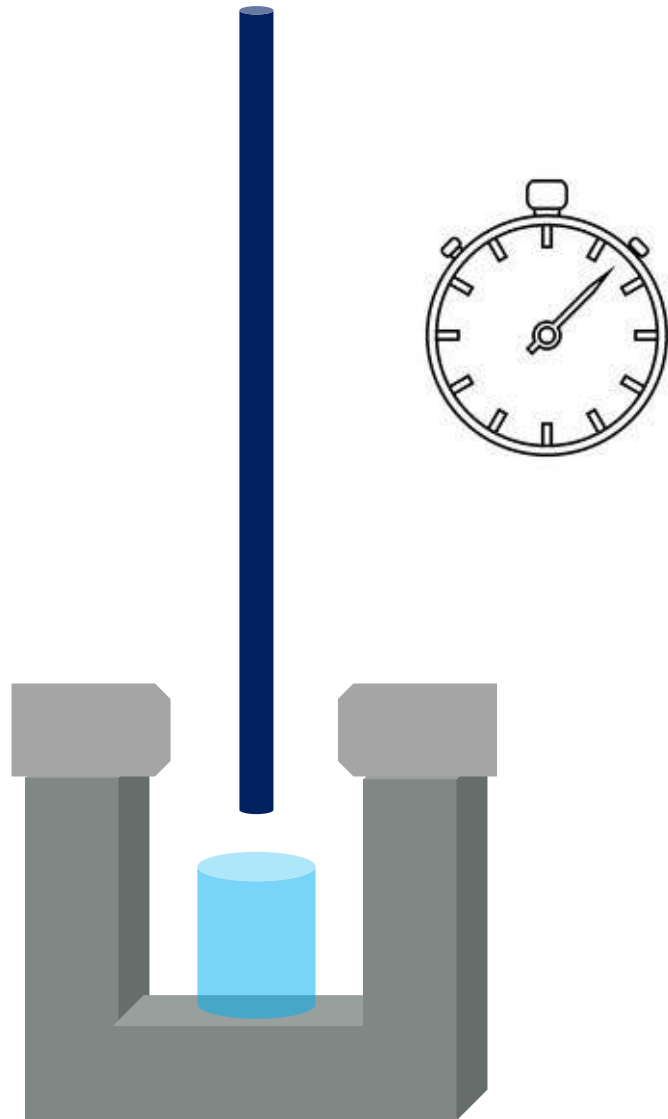
Contrepoids

Masse modélisant la
perturbation (dos
d'âne)



B. PREMIÈRE APPROCHE

I) Amortissement par réglage de la viscosité

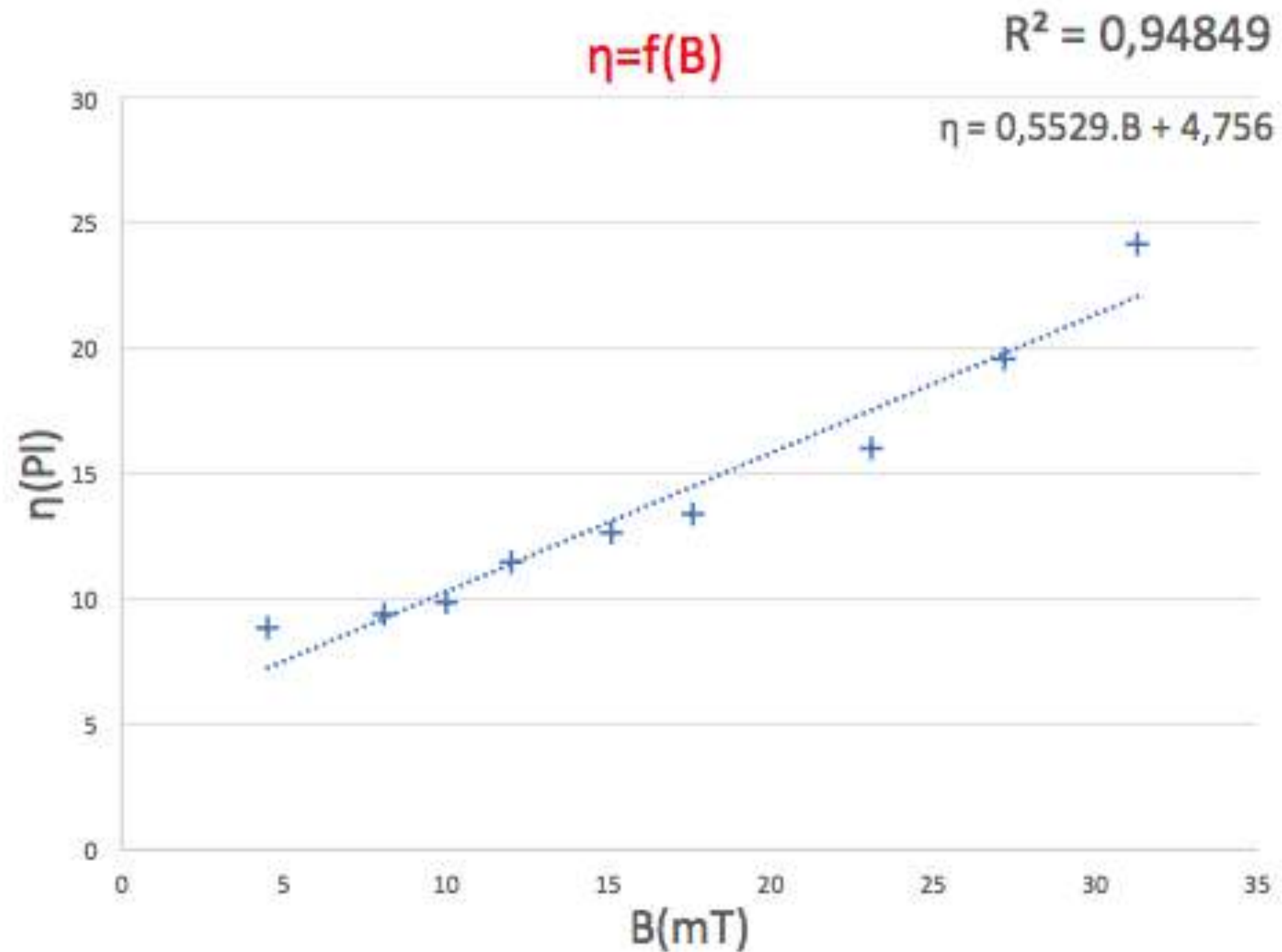


$$\eta = \frac{\rho * t}{\rho_g * t_g} * \eta_g$$

t - Temps d'écoulement
 ρ - densité du fluide
 η - coefficient de viscosité

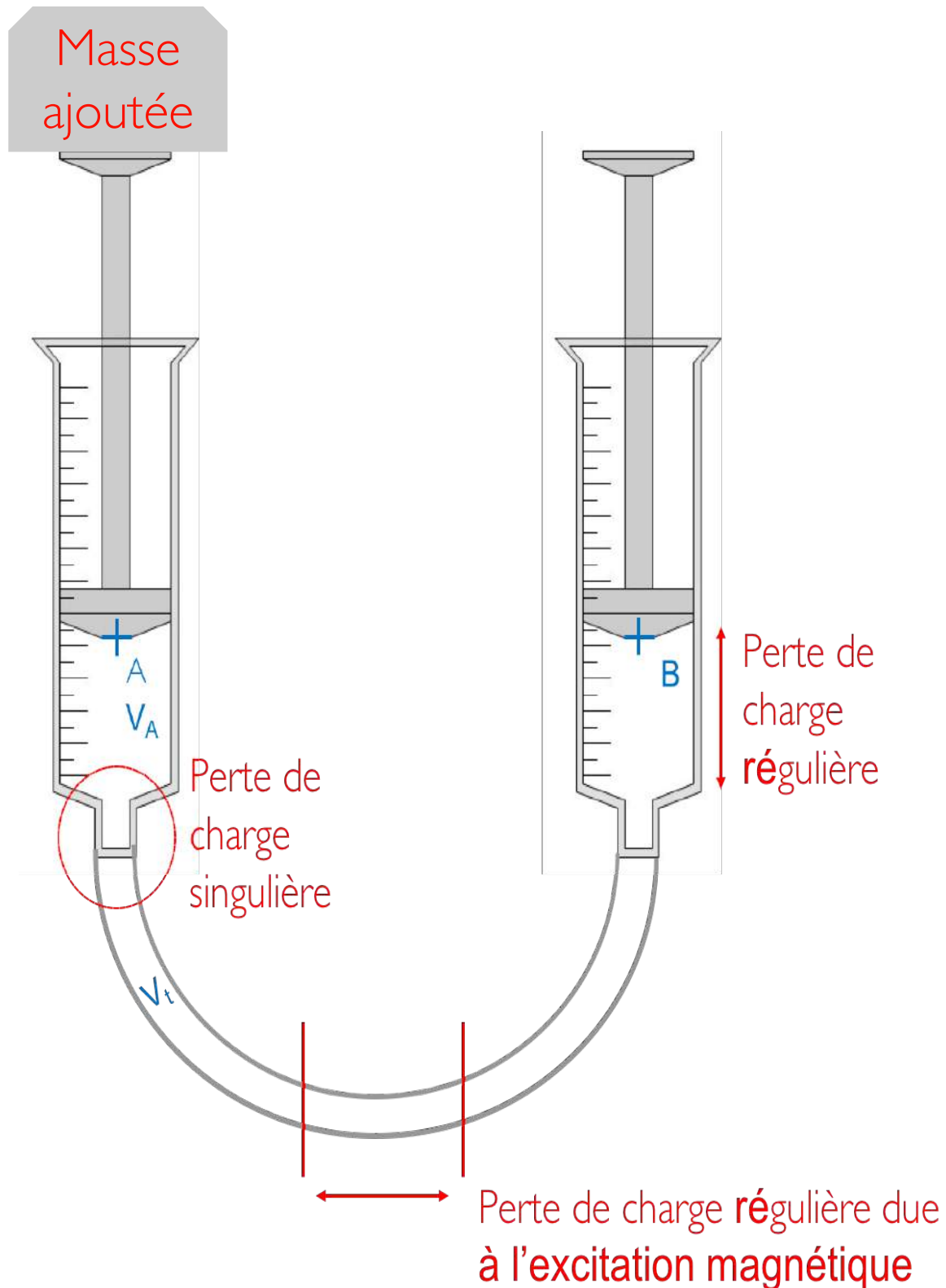
B. PREMIÈRE APPROCHE

2) Exploitation des résultats



C. DEUXIÈME APPROCHE

I) Étude théorique



Le théorème de Bernoulli généralisé donne :

$$P_{tot}(A) - P_{tot}(B) = \rho \frac{V a^2}{2} \Lambda_s \left(\frac{L_{sA}}{D_{sA}} + \frac{L_{sB}}{D_{sB}} \right) + \rho \frac{V t^2}{2} \left(\xi_e + \xi_s + \Lambda_t \frac{L_t}{D_t} \right)$$

Hypothèses et constats :

- $Re \sim 10^{-3}$ donc $\Lambda_{t/s} = \frac{64}{Re}$
- $\eta(B) = 0,5529.B + 4,756$
- Écoulement stationnaire Homogène et Incompressible.

Remarque :

- Frottement du piston modélisé par une masse équivalente :

$$\Delta P_{tot} = \frac{M * g}{s}$$

avec $M = (Masse\ ajoutée - 2 * M_{frot})$

et $M_{frot} = 1,5\ kg$

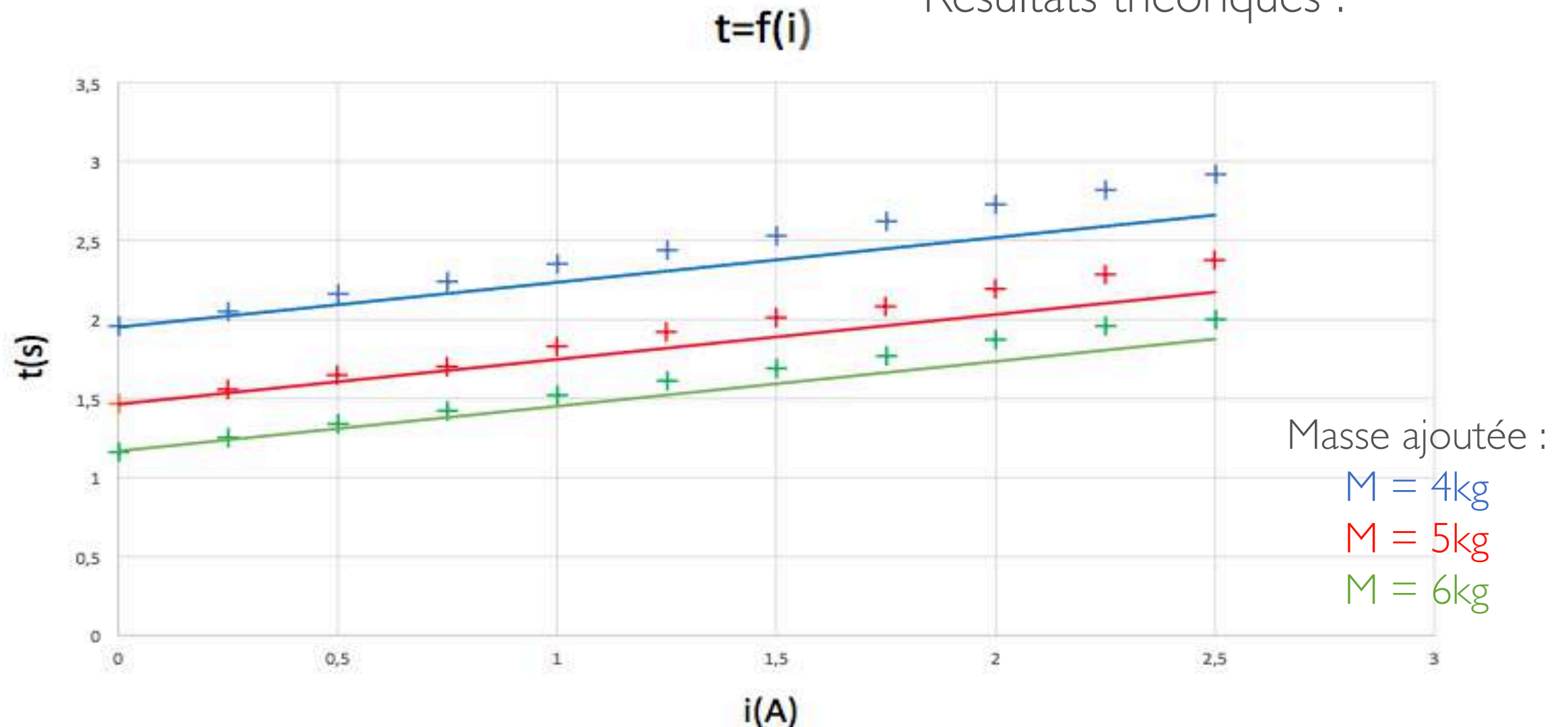
C. DEUXIÈME APPROCHE

2) Étude expérimentale

Temps d'écoulement pour 10 mL :

Résultats expérimentaux : ++++

Résultats théoriques : —

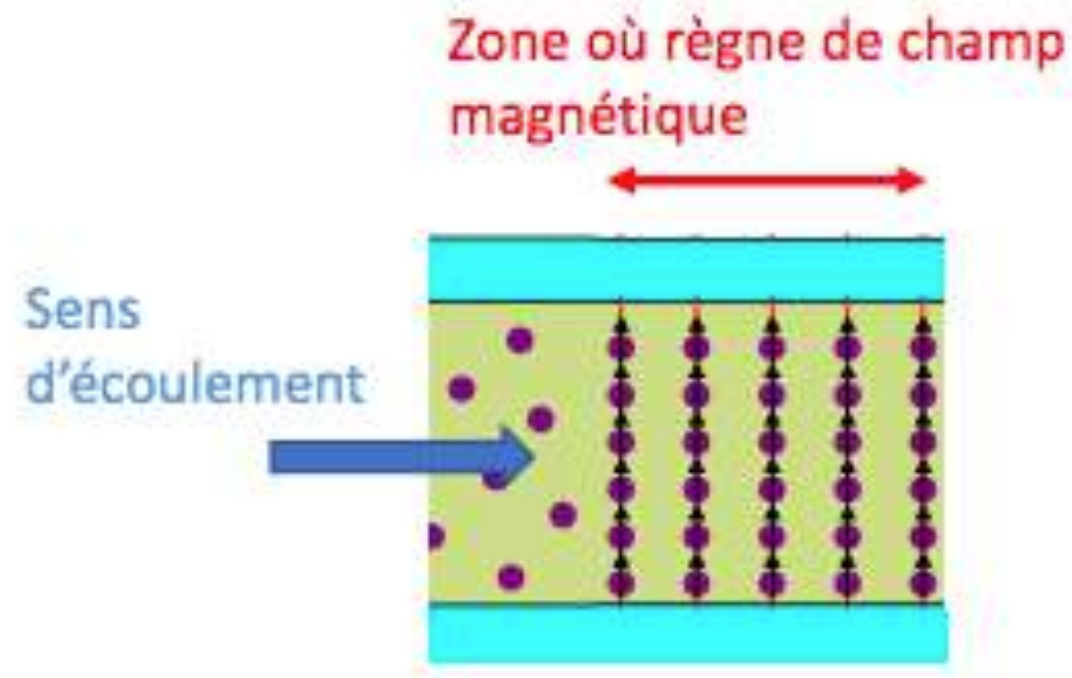


Écarts :

- Usure du joint de la seringue
- Fluide non parfaitement homogène

C. DEUXIÈME APPROCHE

3) Seuil de contrainte



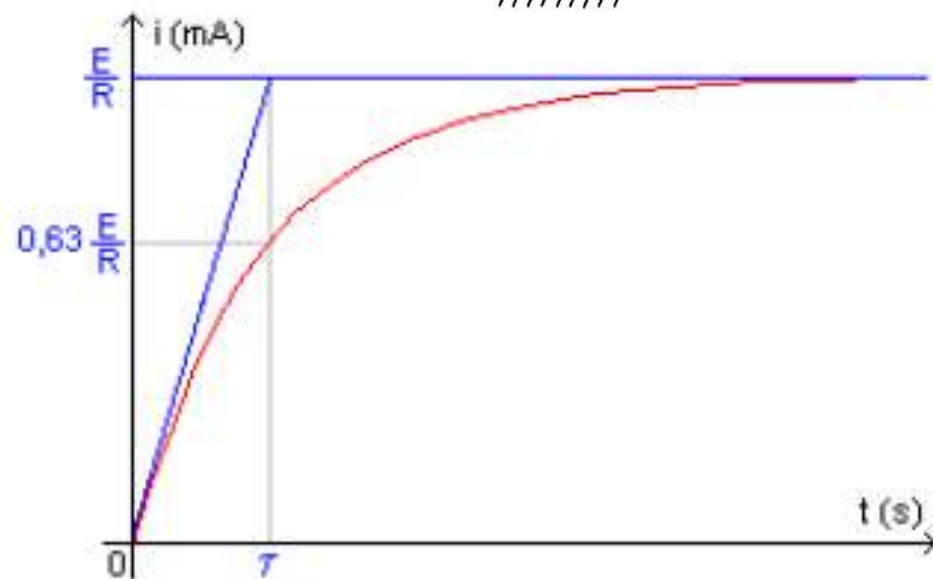
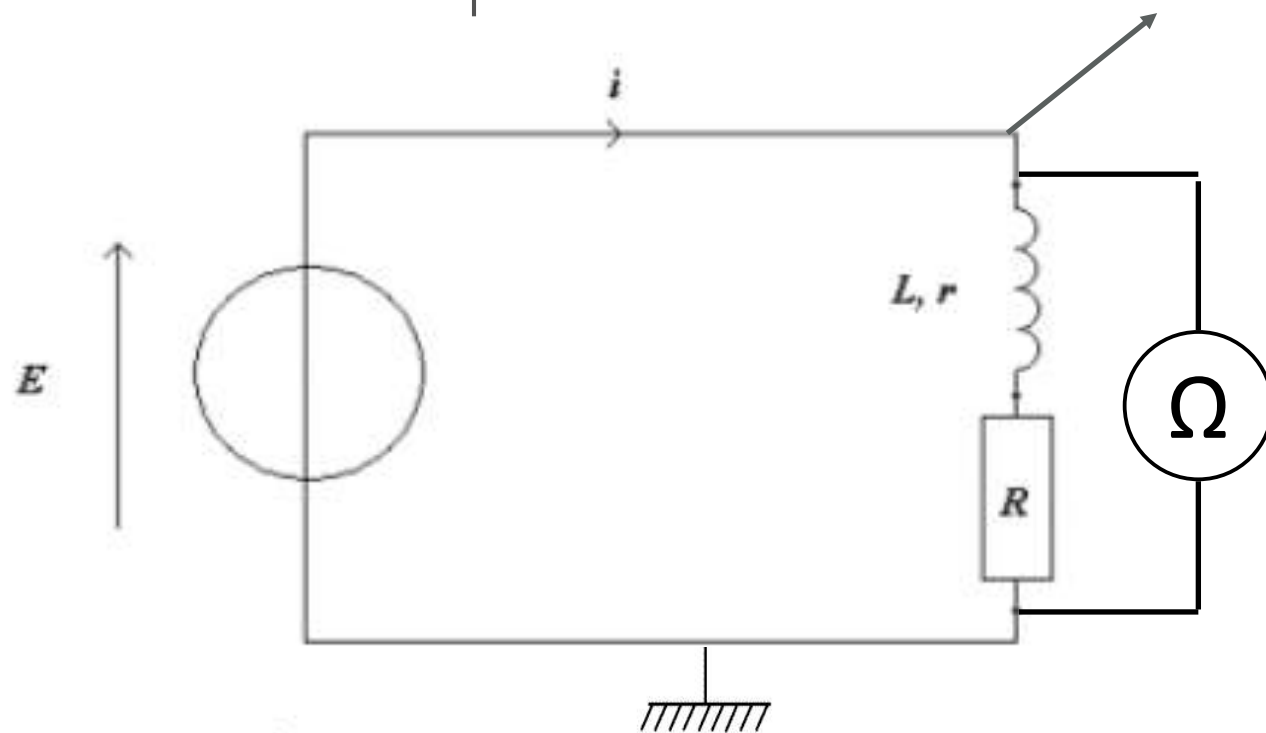
Application d'un champ :

- Particules de fer subissent des forces d'interactions magnétiques.
- Contrainte minimale nécessaire pour la mise en mouvement du fluide.
- Fluide non Newtonien.

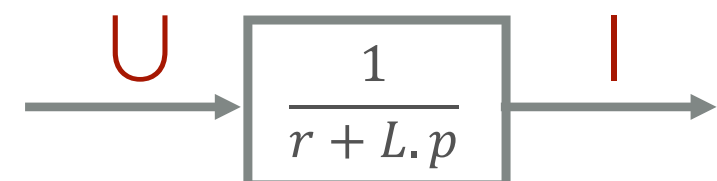
D. ASSERVISSEMENT DU SYSTÈME

3) Recherche des blocs manquants

Schéma équivalent :



$$L = 220 \text{ mH}$$
$$r = 1,82 \Omega$$



C. DEUXIÈME APPROCHE

3) Seuil de contrainte

Sans champ magnétique :

Fluide Newtonien. Contrainte de cisaillement:

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

τ : taux de cisaillement

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

η : viscosité

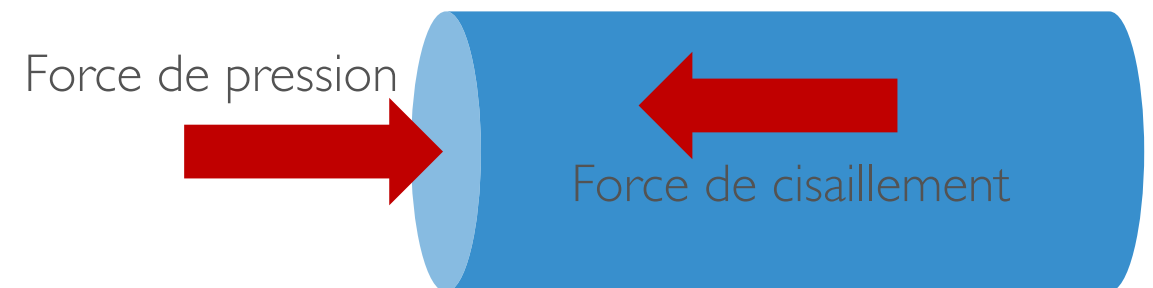
Avec champ magnétique :

Apparition d'un seuil minimal de cisaillement τ_0 :

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

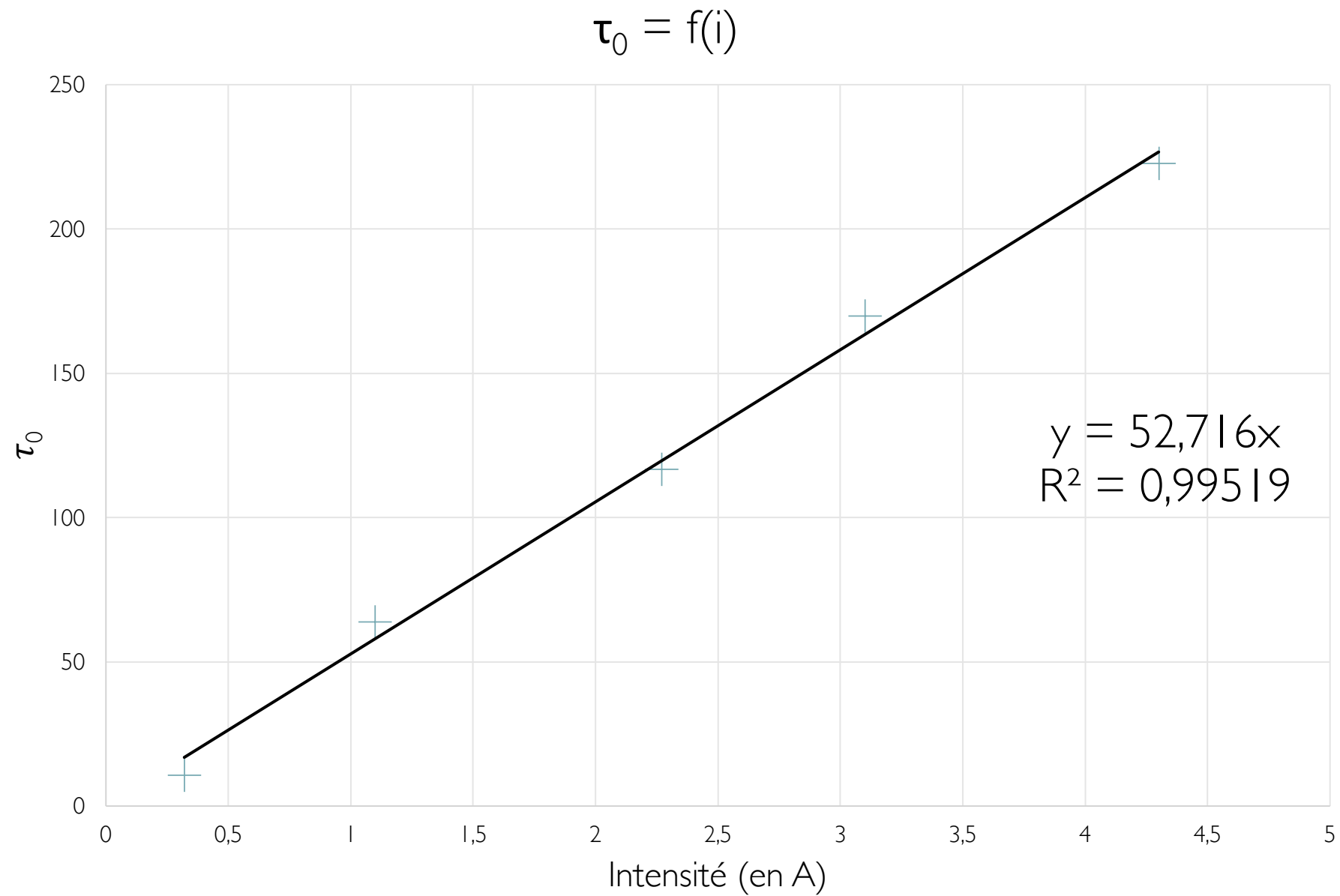
Le PFS appliqué à une portion de fluide donne :

$$\tau_0 = \frac{\Delta P R}{2 L} \text{ avec } \Delta P = \frac{Mg}{s}$$



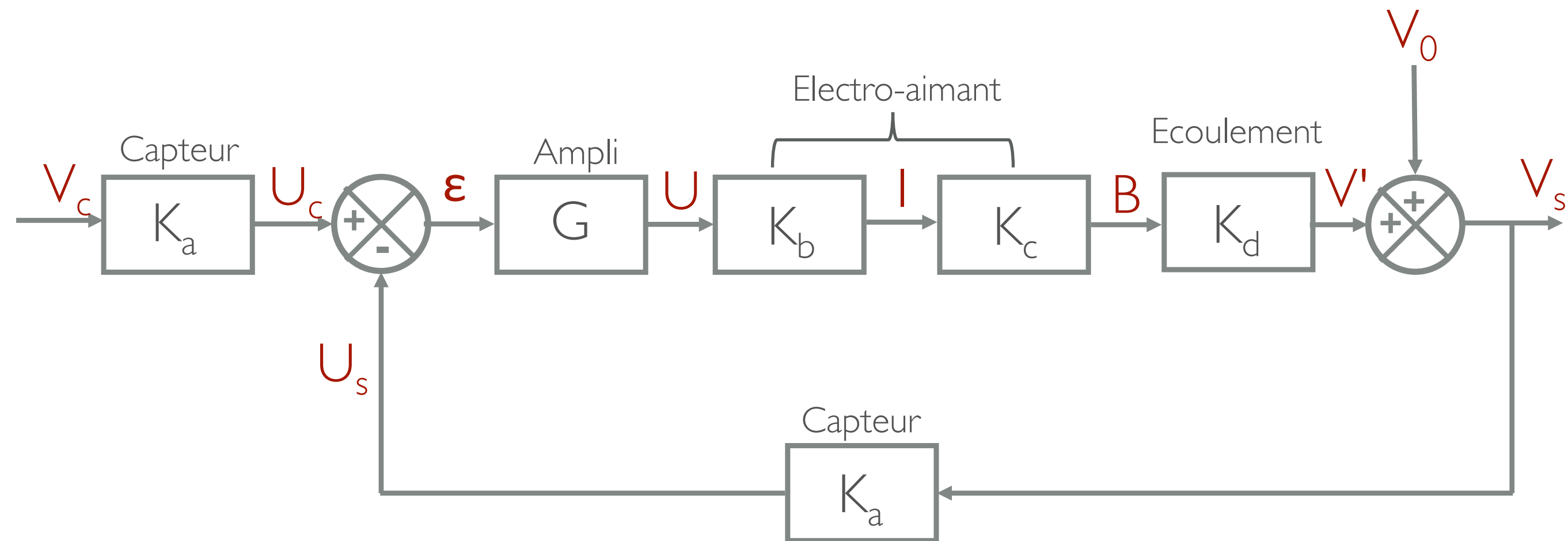
C. DEUXIÈME APPROCHE

3) Seuil de contrainte



D. ASSERVISSEMENT DU SYSTÈME

I) Schéma bloc



D. ASSERVISSEMENT DU SYSTÈME

2) Acquisition de la position

```

/* 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 m/s */
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);

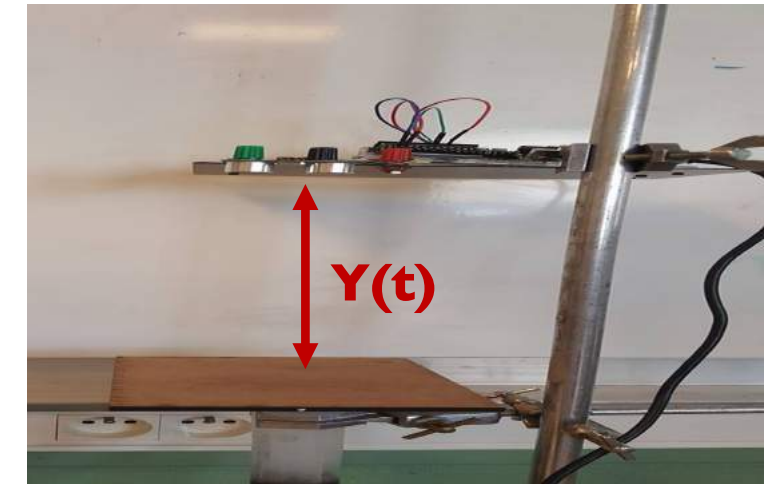
    /* 3. Calcul la distance à partir du temps mesuré */
    float distance_mm = measure / 2.0 * SOUND_SPEED;

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

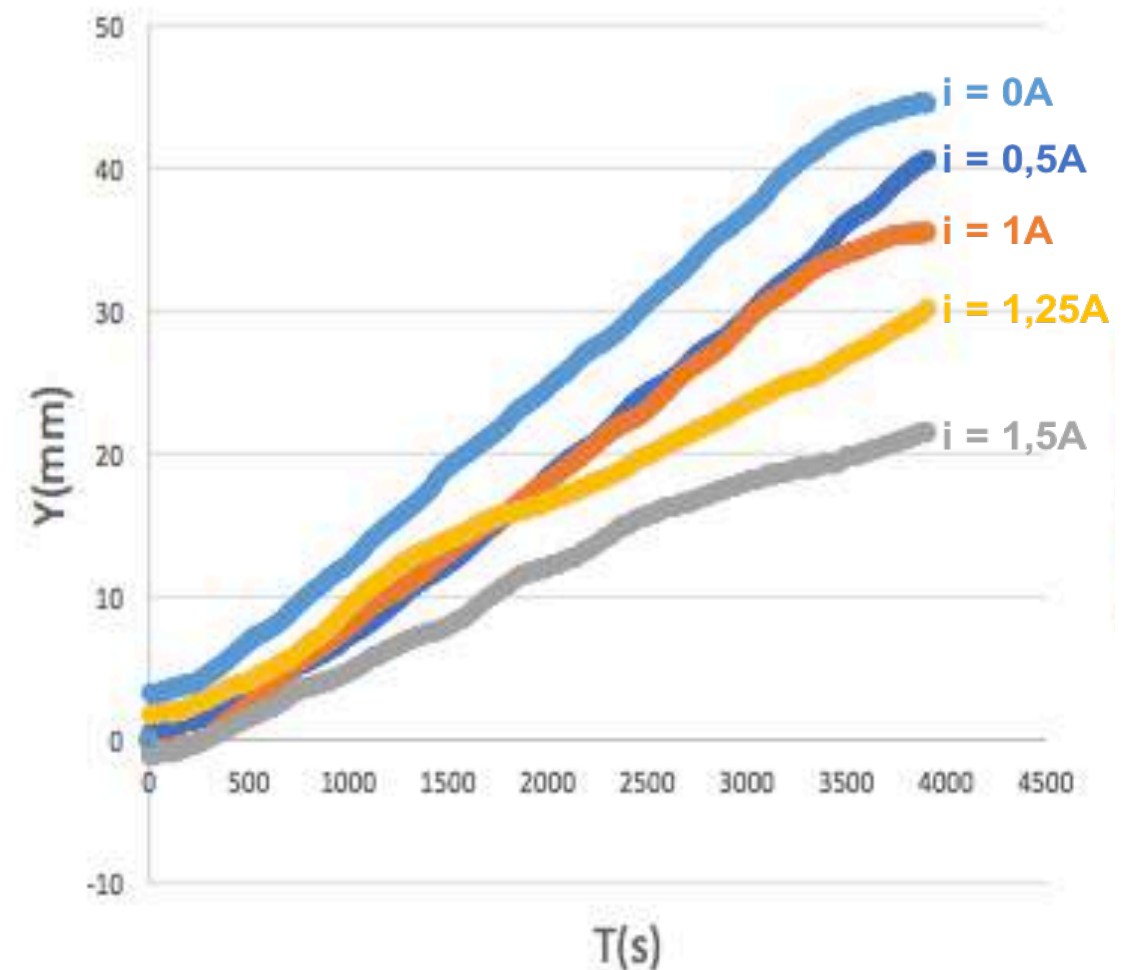
    /* Délai d'attente pour éviter d'afficher trop de résultats à la seconde */
    delay(10);
}

```

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



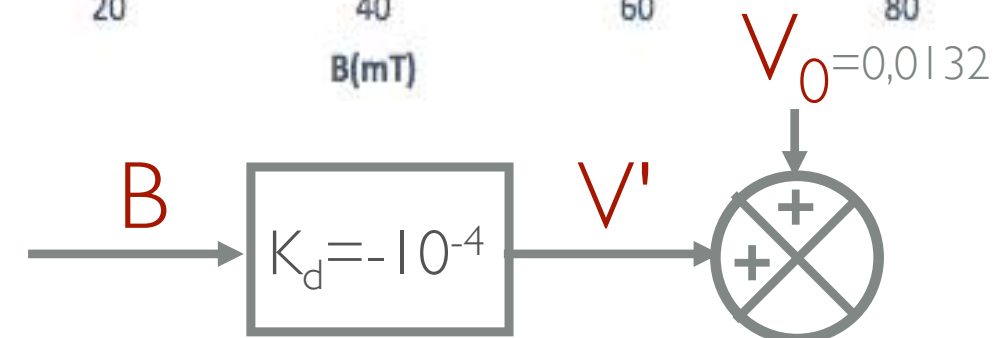
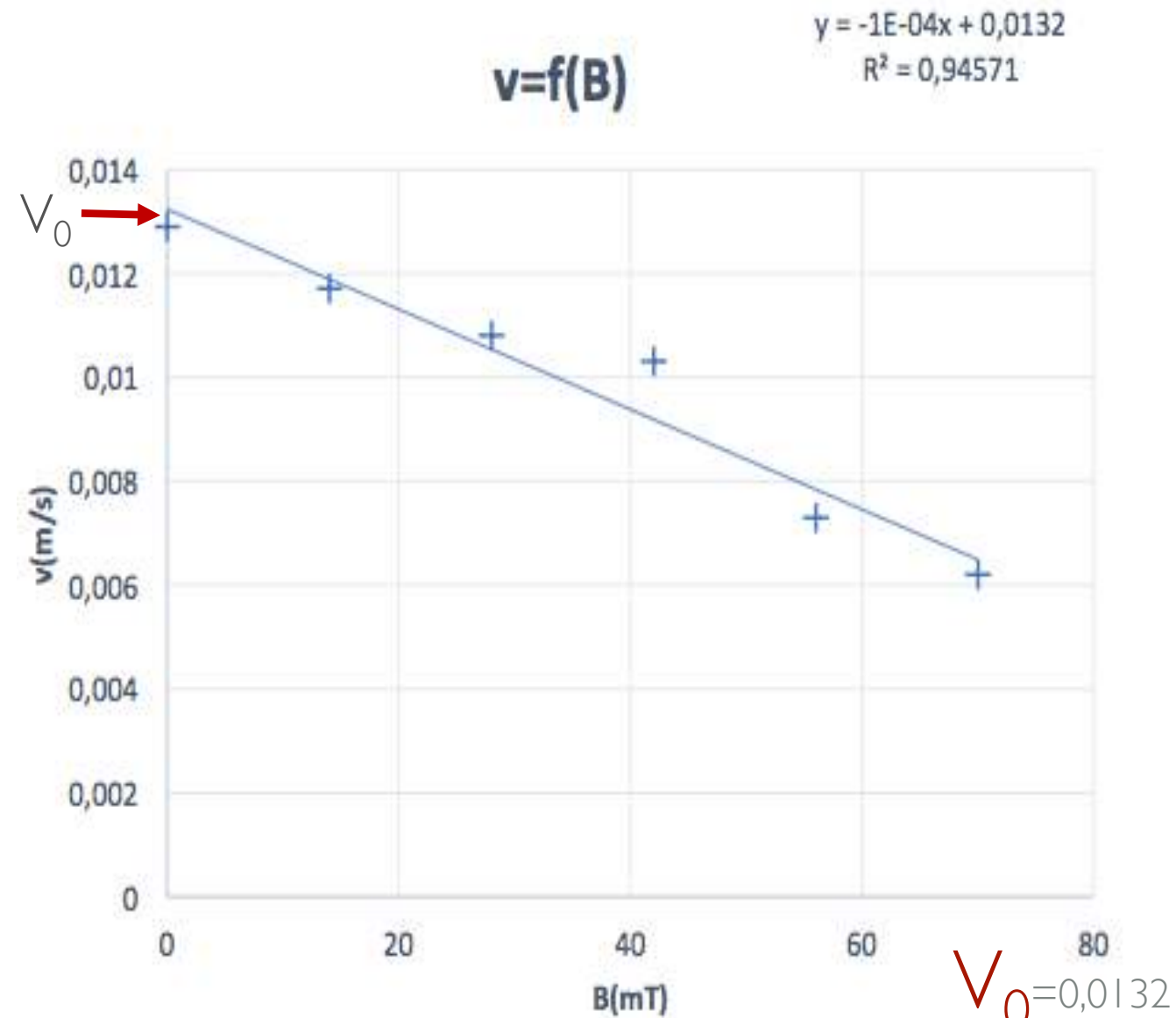
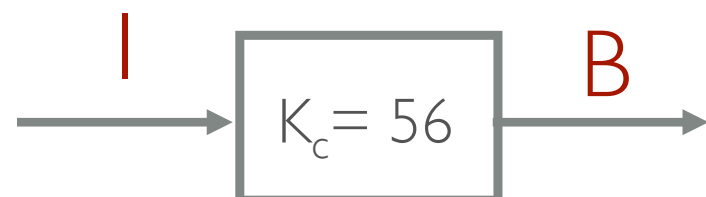
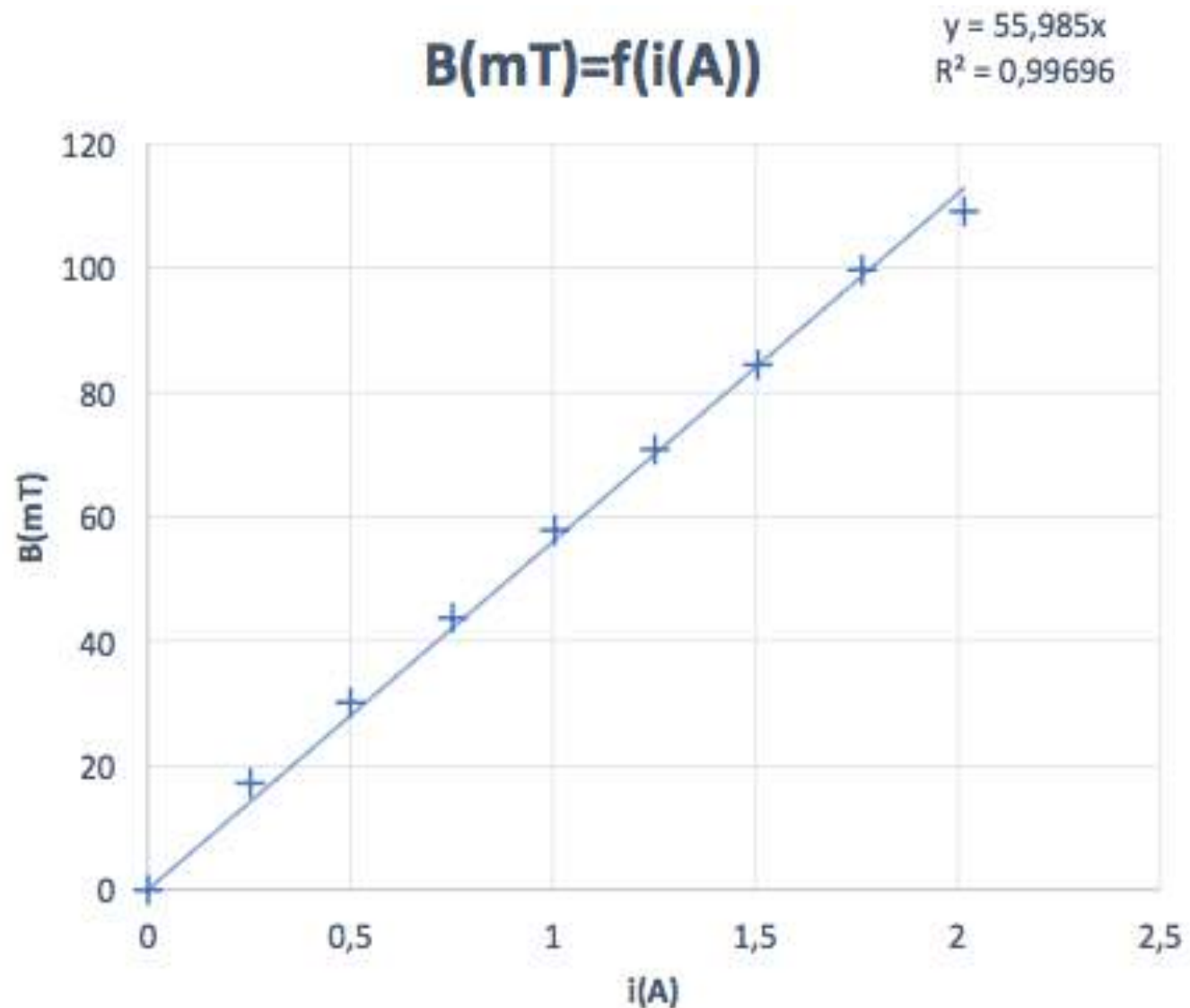
$Y=f(t)$



D. ASSERVISSEMENT DU SYSTÈME

3) Recherche des blocs manquants

Pour une masse ajoutée de 6kg :

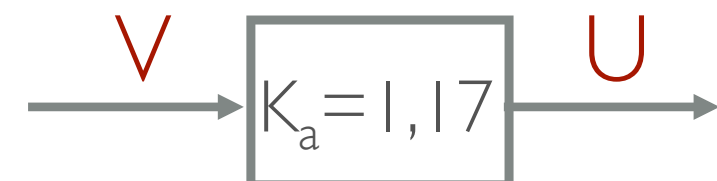
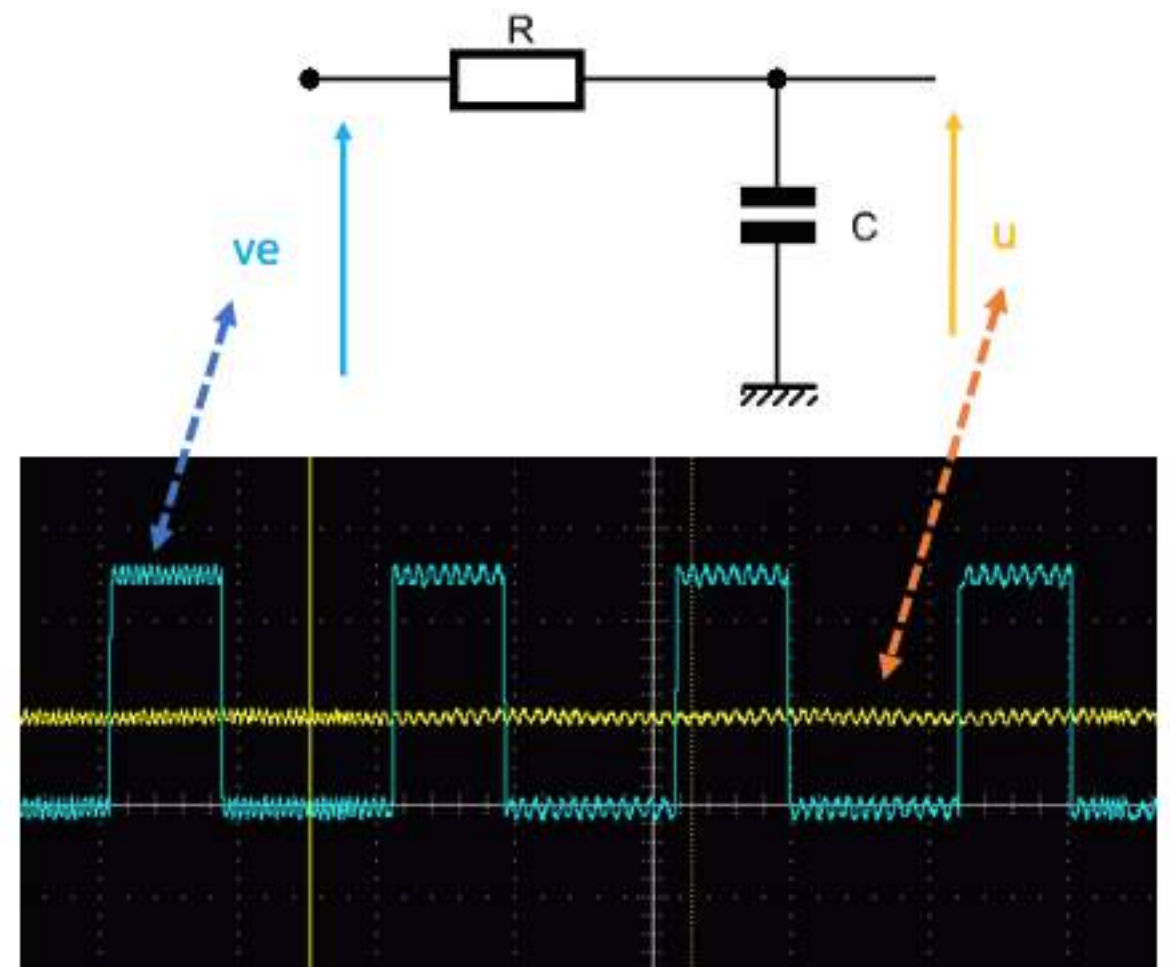
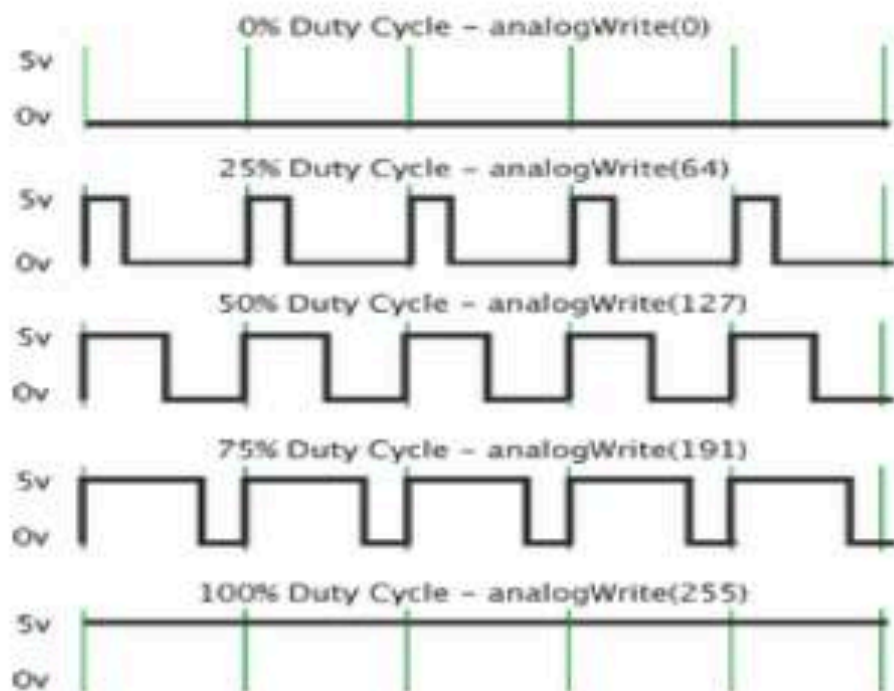


D. ASSERVISSEMENT DU SYSTÈME

3) Recherche des blocs manquants

```
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



D. ASSERVISSEMENT DU SYSTÈME

4) Limites de l'expérience

Effet rémanent

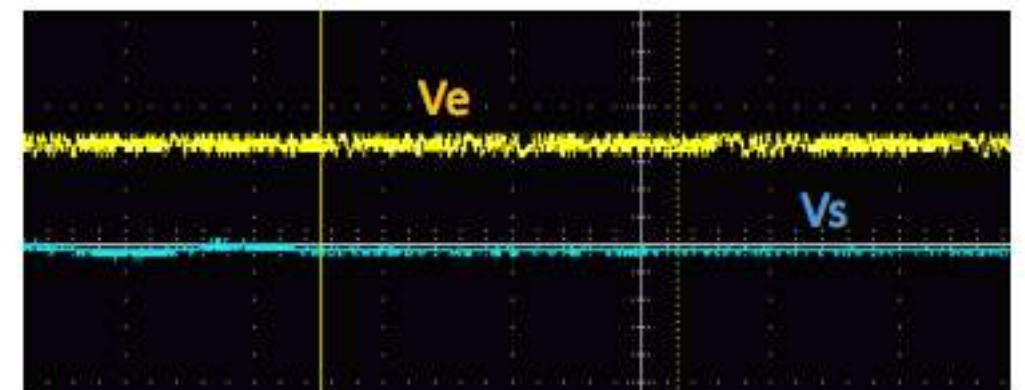
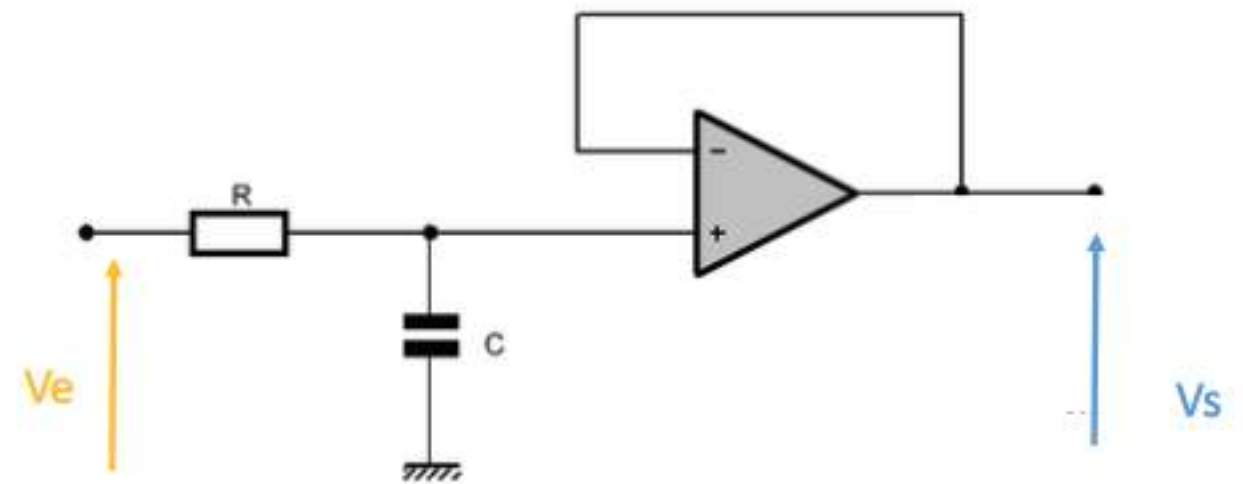


Activation

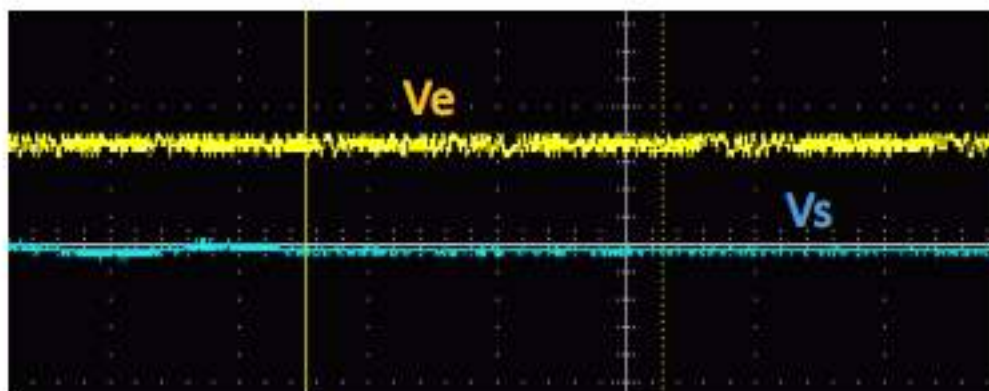
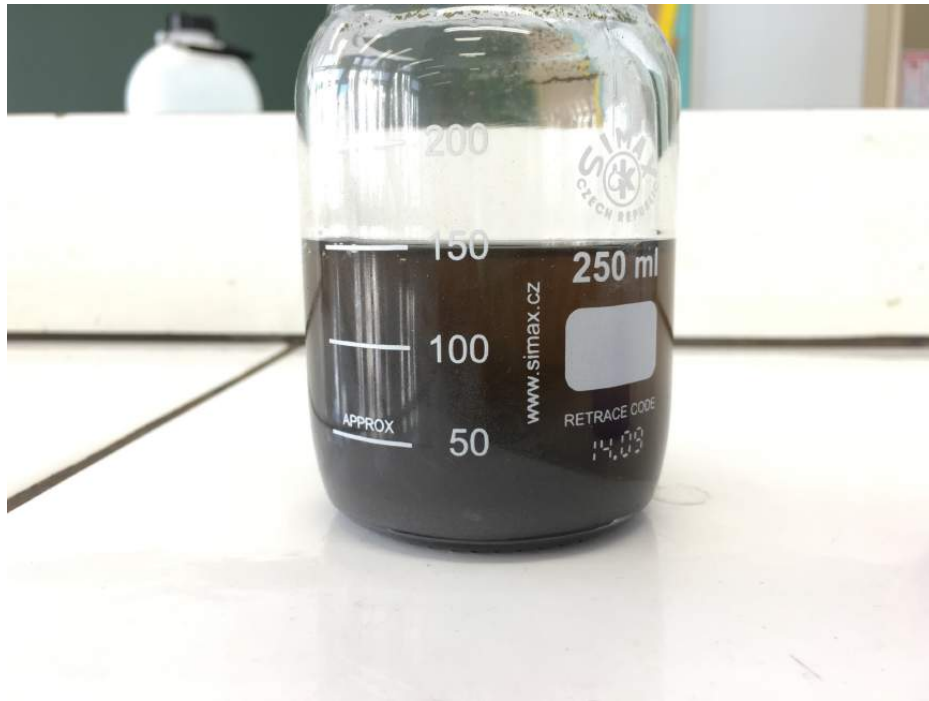


Désactivation

Saturation



E. CONCLUSION



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

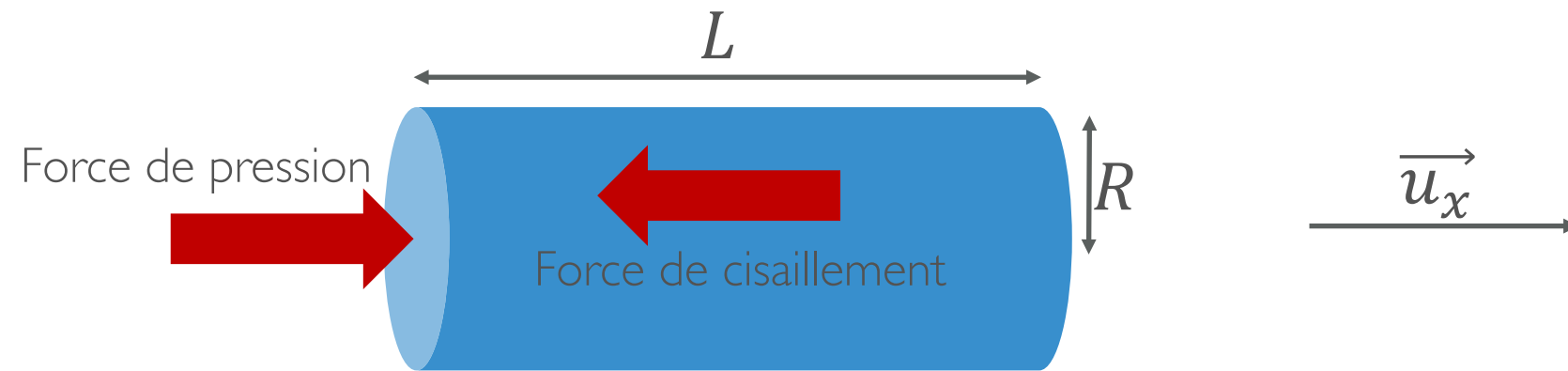
    for i in range(p):
        out[i] = moyenne(l[:2*i+1])
    for i in range(p, n-p):
        out[i] = moyenne(l[i-p:i+p+1])
    for i in range(n-p,n):
        out[i] = moyenne(l[-(n-i):])

    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 pression : $\vec{dF}_p = -dP \cdot \pi \cdot R^2 \vec{u}_x$

Force de cisaillement : $\vec{dF}_\eta = \tau_0 \cdot 2\pi \cdot R \cdot dx \vec{u}_x$

PFS appliqué sur la portion de fluide, projeté selon \vec{u}_x :

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

$$\int dP = \frac{2\tau_0}{R} \int dx$$

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

Annexe

Conduite horizontale cylindrique de section constante (même champ de vitesse à l'entrée et à la sortie) :

Nombre de Reynolds : $Re = \frac{\rho V (2R)}{\eta}$

Perte de charge : $\Delta P_{tot,reg} = \left(P_e + \cancel{\rho g z_e} + \cancel{\frac{\rho V_e^2}{2}} \right) - \left(P_s + \cancel{\rho g z_s} + \cancel{\frac{\rho V_s^2}{2}} \right) = P_e - P_s$

Donc $\Delta H = \frac{\Delta P_{tot,reg}}{\rho g} = \frac{8L\eta}{\pi R^4 \rho g} V \pi R^2 = \frac{8L\eta V}{\rho g R^2}$

Donc $\Lambda = \frac{\frac{\Delta P_{tot,reg}}{\rho g}}{\frac{V^2}{2g} \frac{L}{2R}} = \frac{\frac{8L\eta V}{\rho g R^2}}{\frac{V^2}{2g} \frac{L}{2R}} = \frac{32\eta * 2}{2R\rho V} = \frac{64}{Re}$

Donc $\Lambda = \frac{64}{Re}$