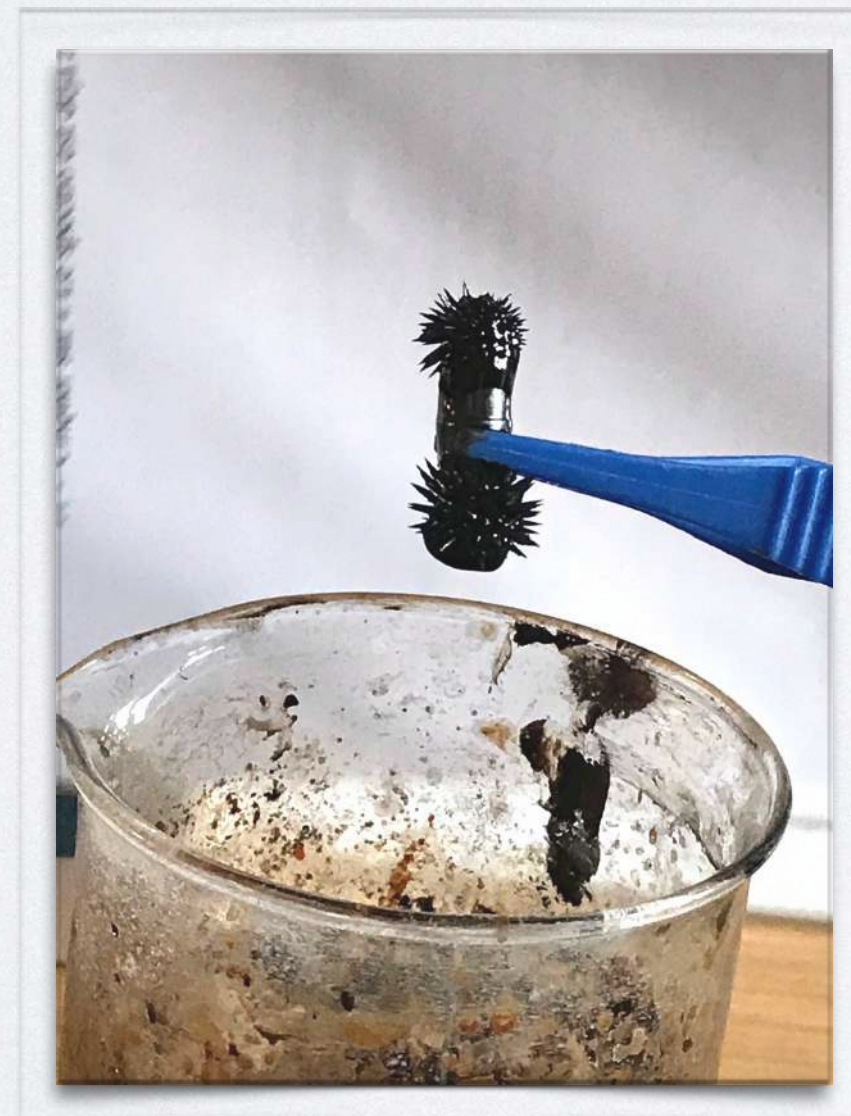
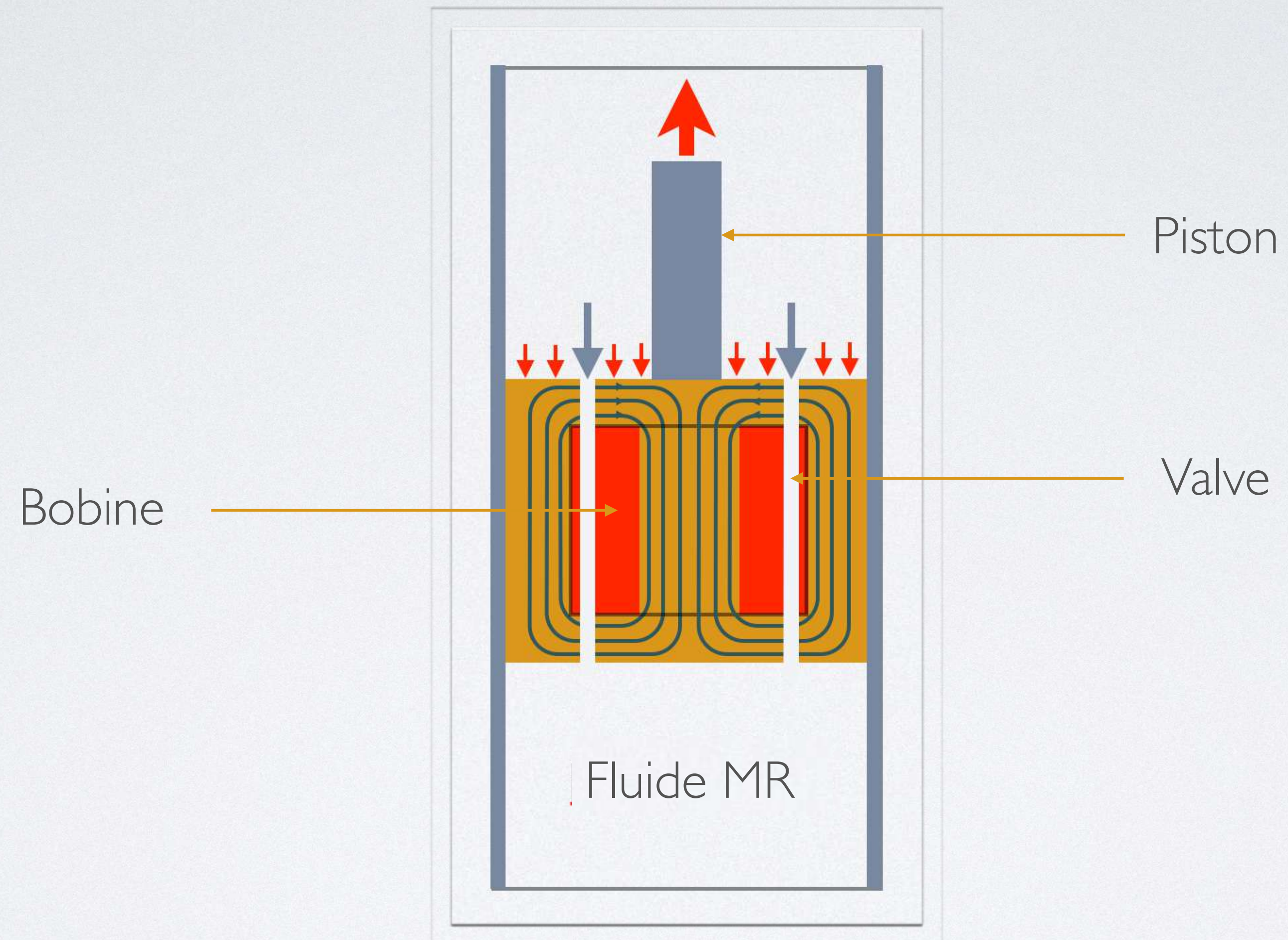


MODÉLISATION D'UN AMORTISSEUR À FLUIDE MAGNÉTORHÉOLOGIQUE

L'étude de la propriété du fluide impliqué dans ce nouveau système d'amortissement



INTRODUCTION



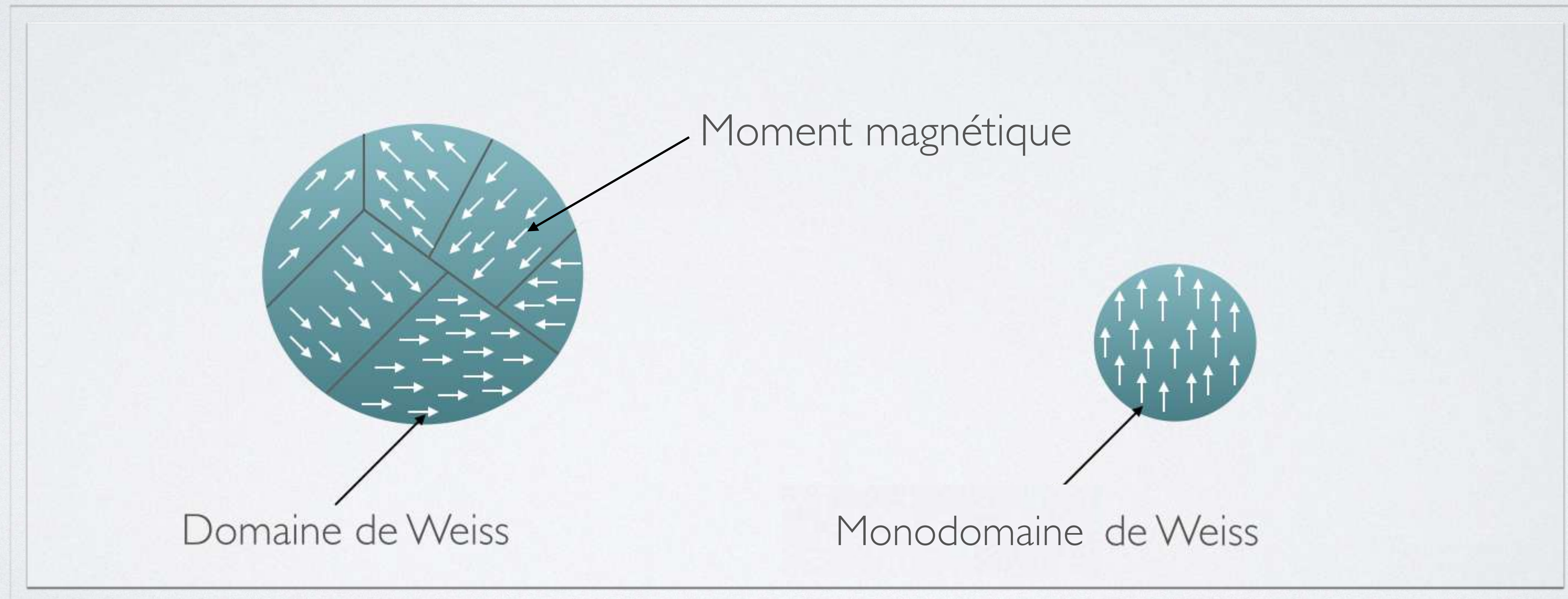
Amortisseur ferrofluide : mode valve

INTRODUCTION

Choix du ferrofluide

Particule de
fluide MR (ordre du **μm**)

Particule de
ferrofluide (ordre du **nm**)



SOMMAIRE

A. Première approche concernant le ferrofluide

- 1) Synthèse du ferrofluide
- 2) Observation microscopique

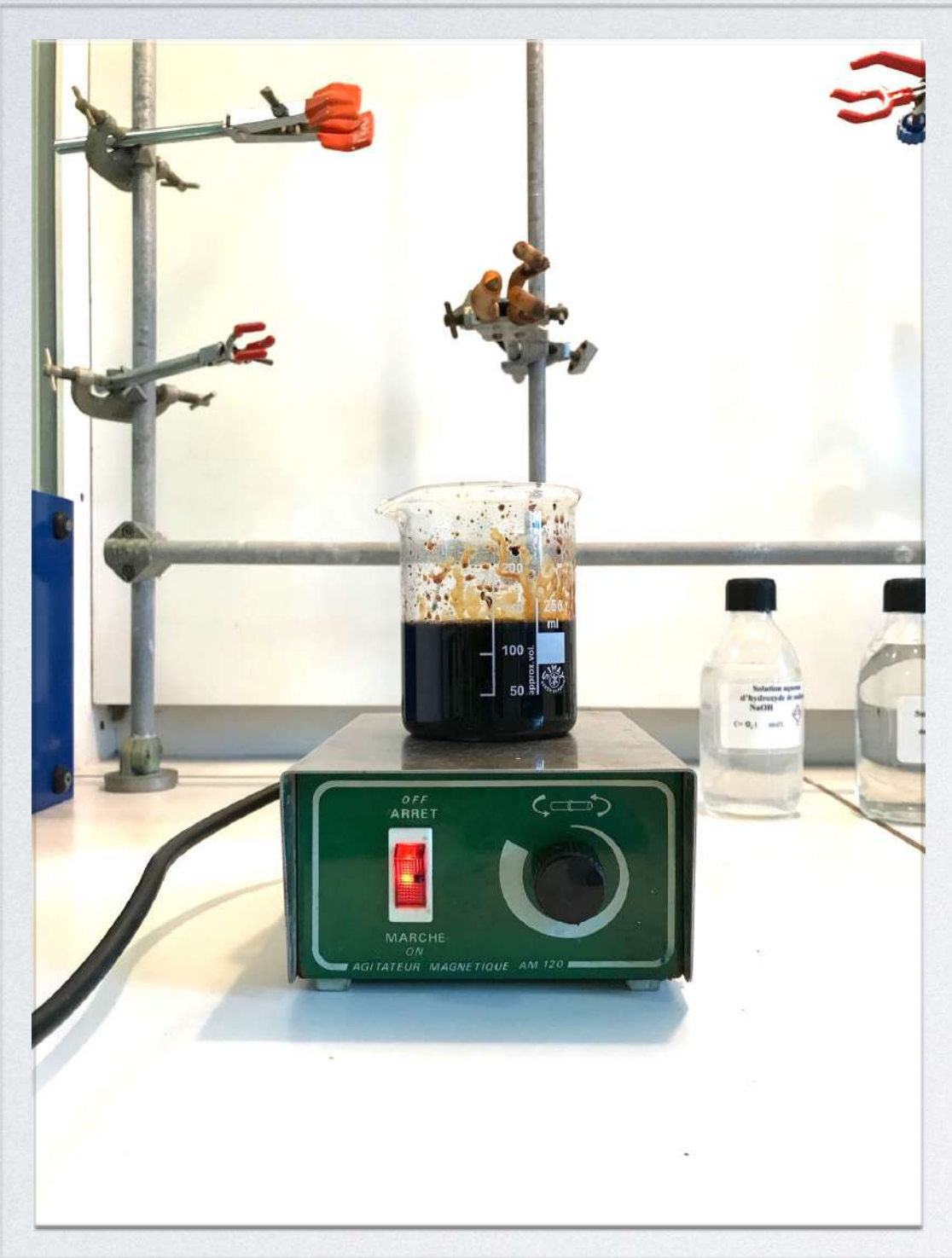
B. Prévisions du comportement du ferrofluide

- 1) Etablissement du champ magnétique en fonction de l'intensité
- 2) L'étude du fluide en fonction du champ magnétique par l'expérience de la biréfringence

C. Modélisation de l'écoulement du ferrofluide en fonction du champ magnétique

- 1) Etude du temps d'écoulement du ferrofluide dans un champ magnétique
- 2) Modélisation de l'écoulement dans ce nouvel amortisseur avec un tube en U

Synthèse du ferrofluide



Préparation du ferrofluide aqueux

Réactifs : FeCl_2 , HCl , FeCl_3 , NH_3 \longrightarrow Ferrofluide aqueux

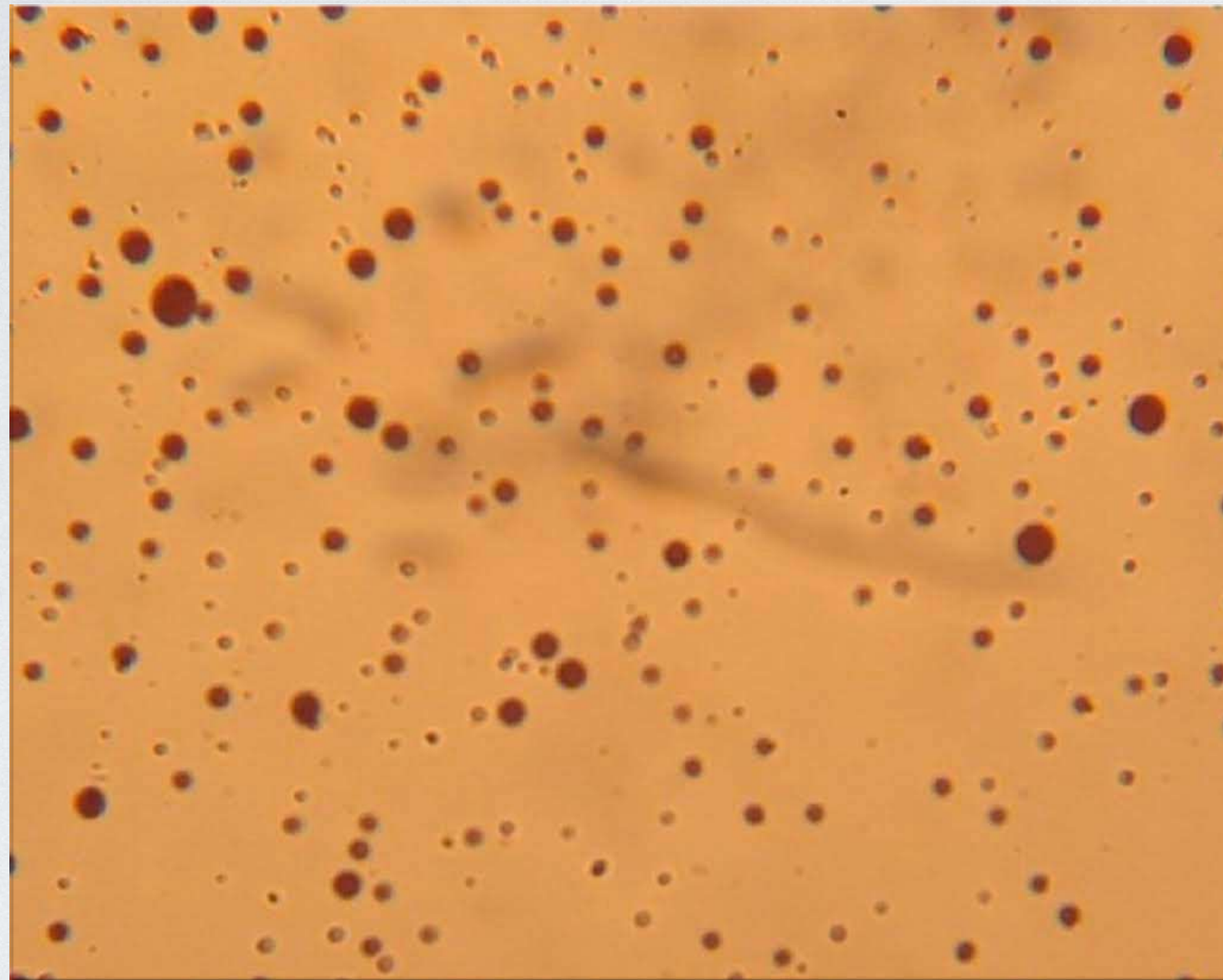
	Fe^{2+}	+ 2Fe^{3+}	+ 8NH_3	\longrightarrow Fe_3O_4	8NH_4^+
Etat initial	0,036 mol	0,029 mol	0,011 mol	0 mol	0 mol
Etat en cours	$0,036 - x$ mol	$0,029 - 2x$ mol	$0,011 - 8x$ mol	x mol	$8x$ mol
Etat final	0,034 mol	0,026 mol	0 mol	$13,4 \cdot 10^{-2}$ mol	0,01 mol

d'où $m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 0,31 \text{ g}$

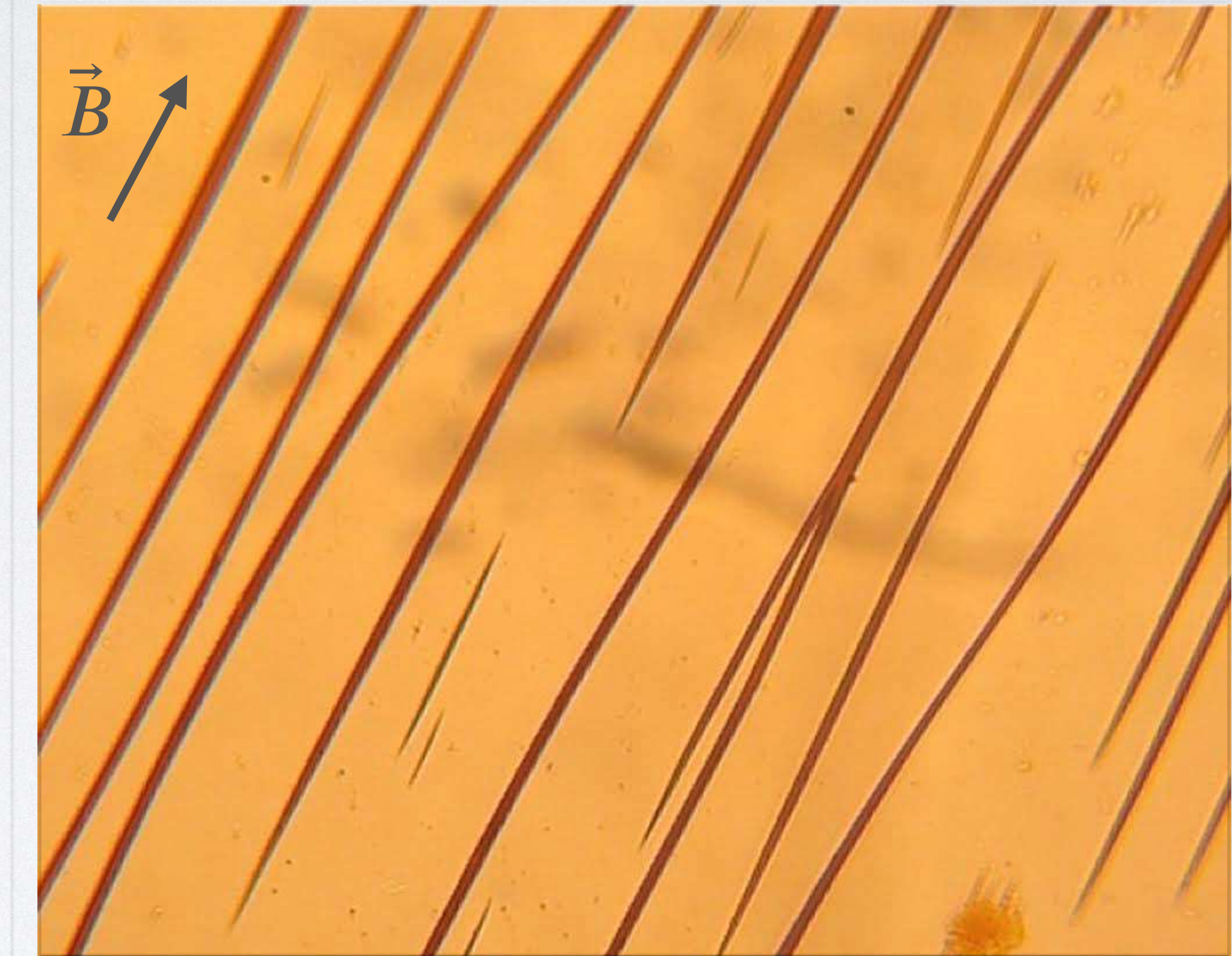
+ $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$, C_8H_{18} \longrightarrow Ferrofluide organique

Volume de ferrofluide obtenu au final : 8 mL

Observation microscopique



Observation au microscope optique
du ferrofluide 100 fois dilué

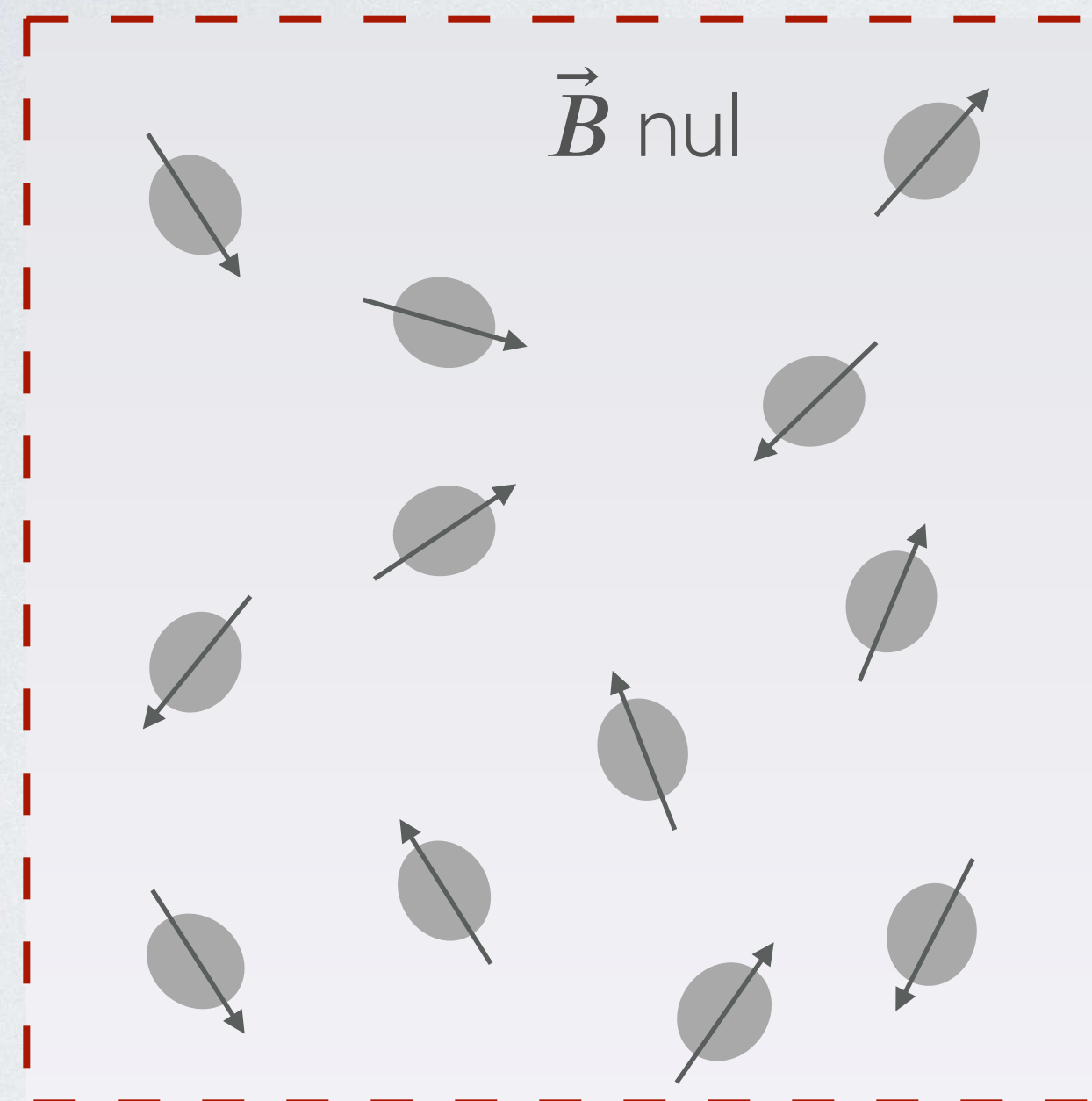


Même observation avec application
d'un aimant néodyme

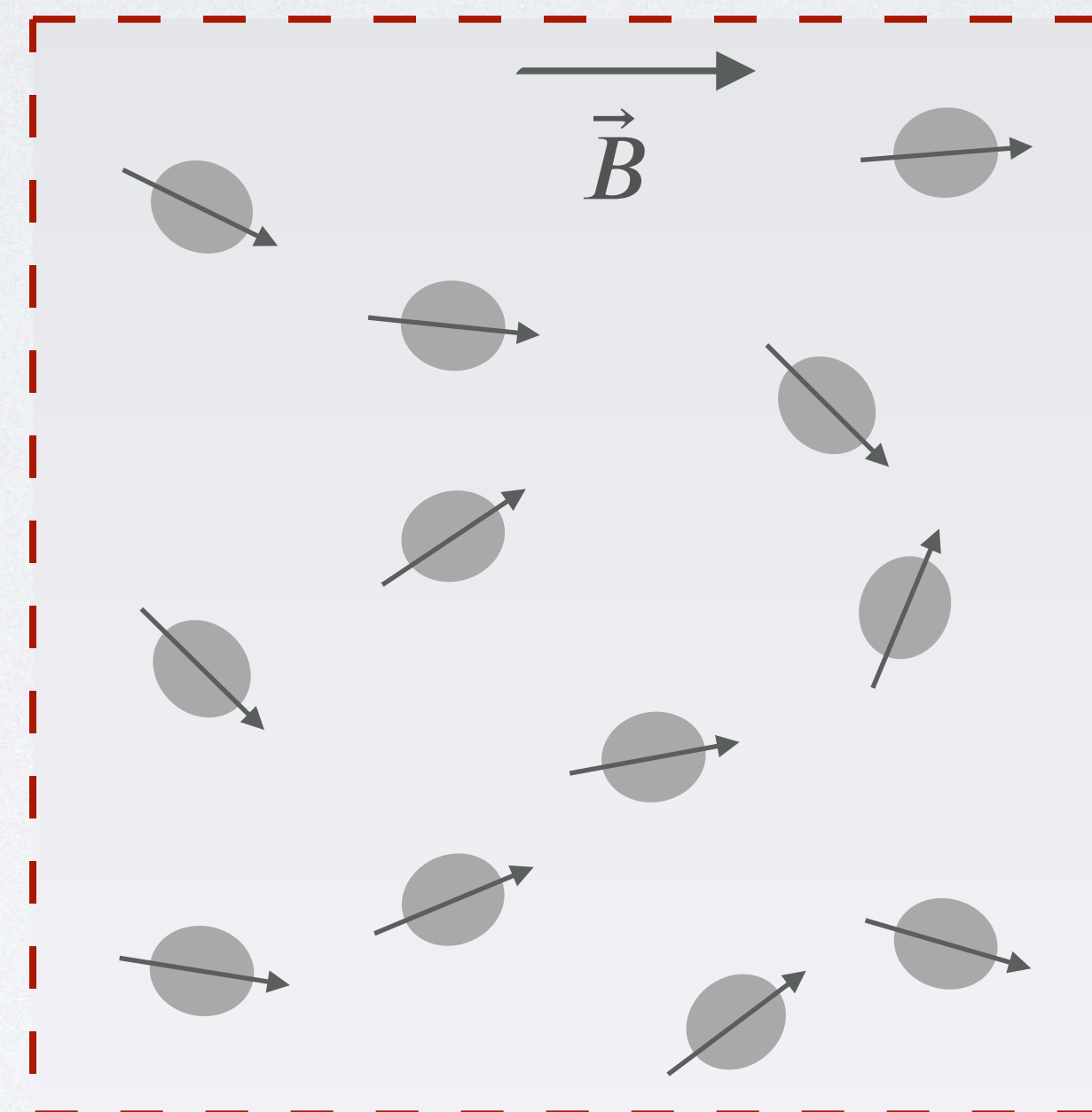
Observation microscopique

Pour les particules ferromagnétiques en suspension :

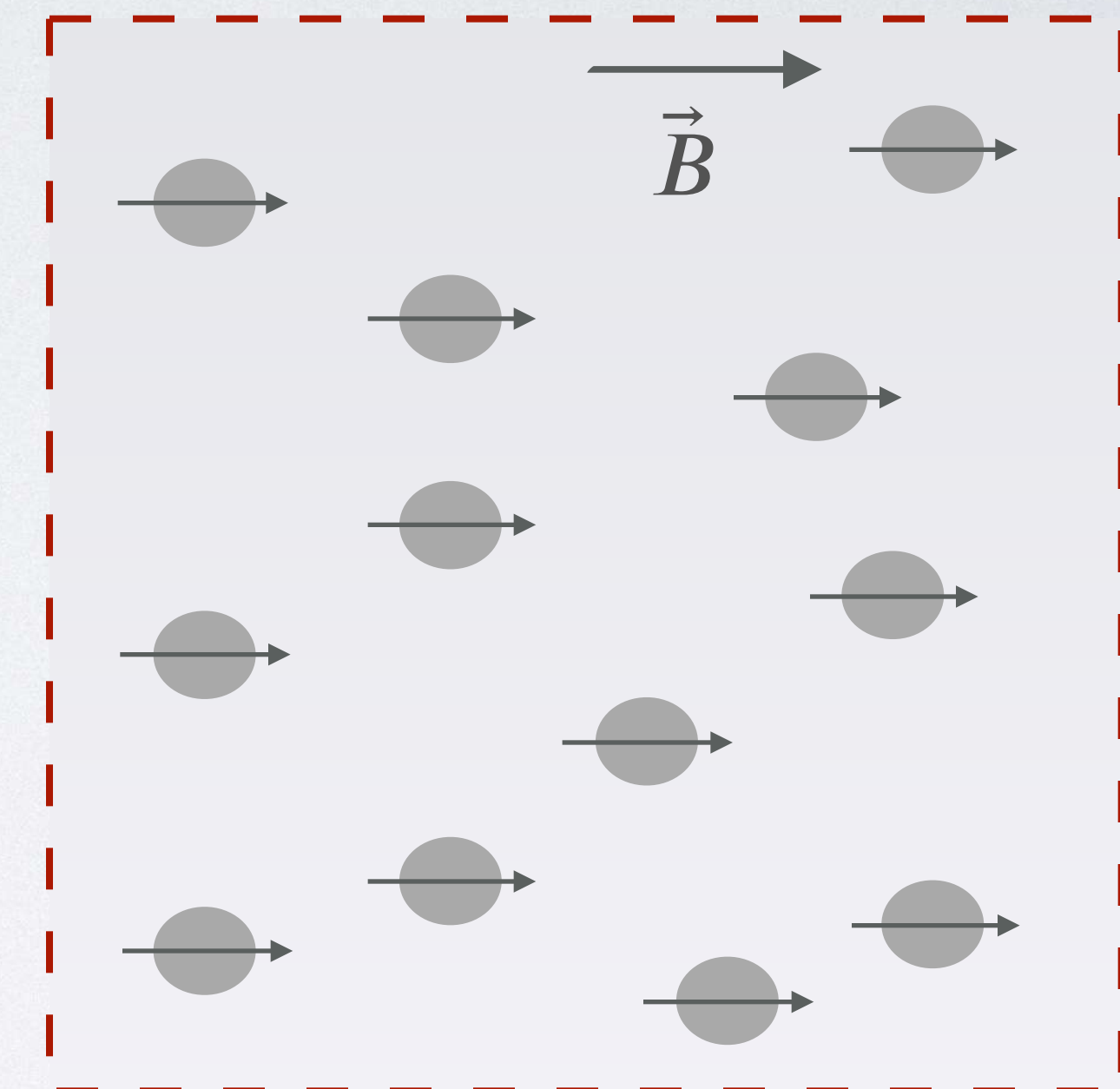
→ Moment magnétique



Orientation aléatoire
 $E_{\text{stérique}}, E_{\text{VdW}}, E_{\text{dipôle-dipôle}}$
 $E_{\text{thermique}} \gg \gg$



Amorçage des rotations
des particules



Alignement de tous les moments
magnétiques et rotation des particules
 $E_{\text{thermique}}, E_{\text{dipôle-dipôle}} \gg \gg$

Etablissement du champ magnétique en fonction de l'intensité



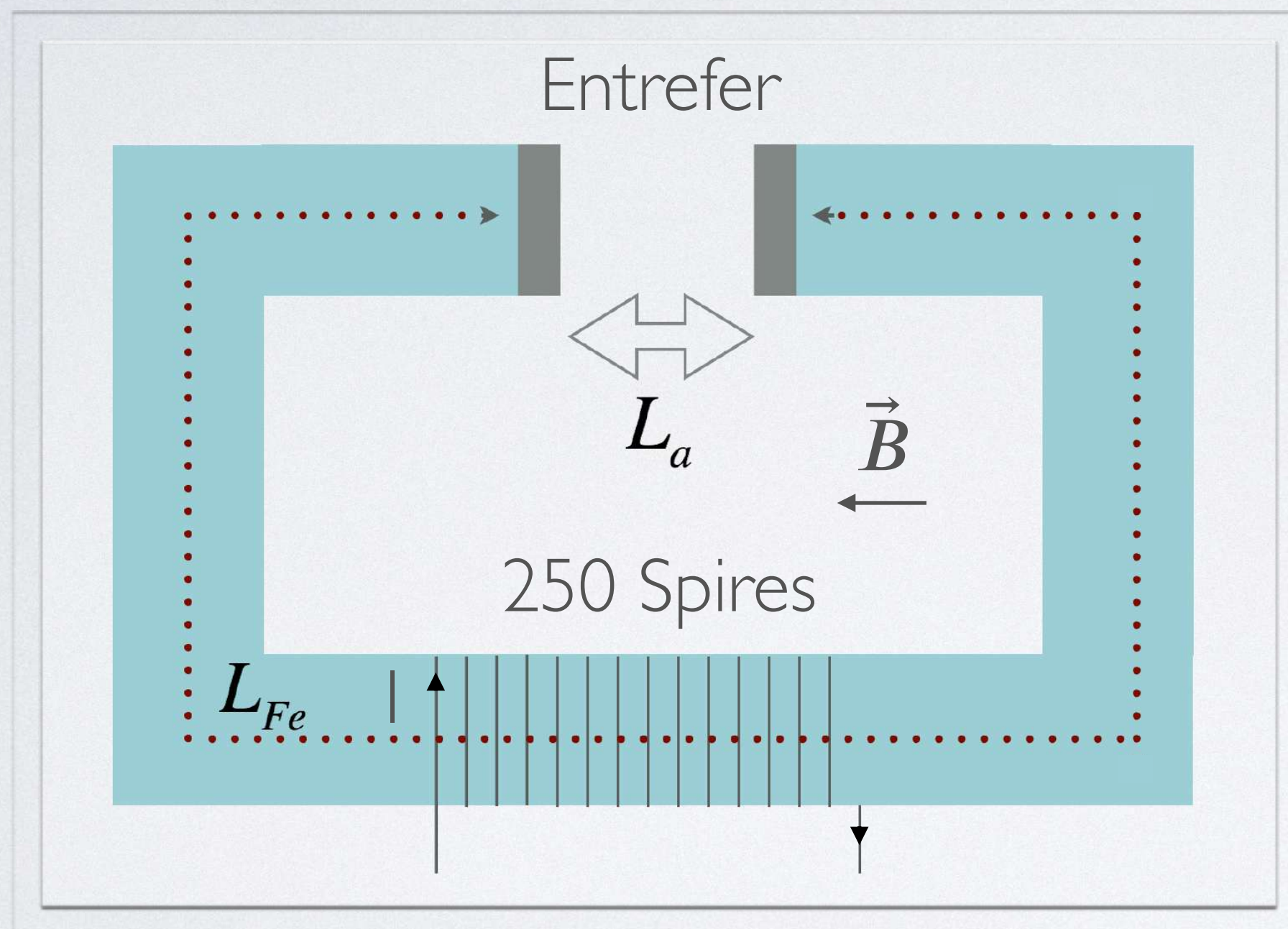
Alimentation
Electroaimant
Ampèremètre

Rhéostat
Teslamètre

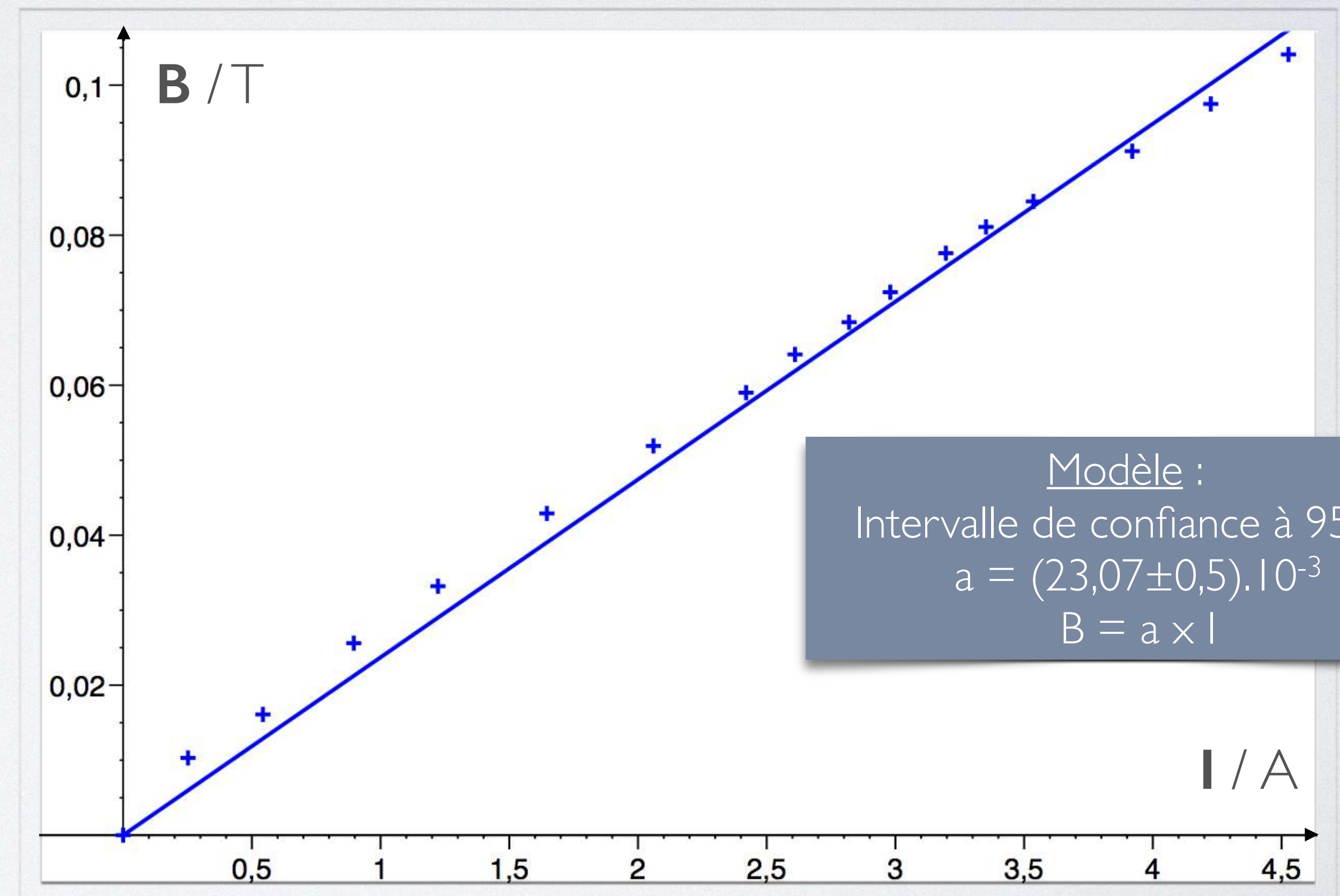
$$I < 5A$$

Etablissement du champ magnétique en fonction de l'intensité

Résultats expérimentaux



Théorie :
$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{\frac{L_{Fe}}{\mu_{rFe}} + L_a} = 29,56 \cdot 10^{-3} \cdot I \text{ T}$$



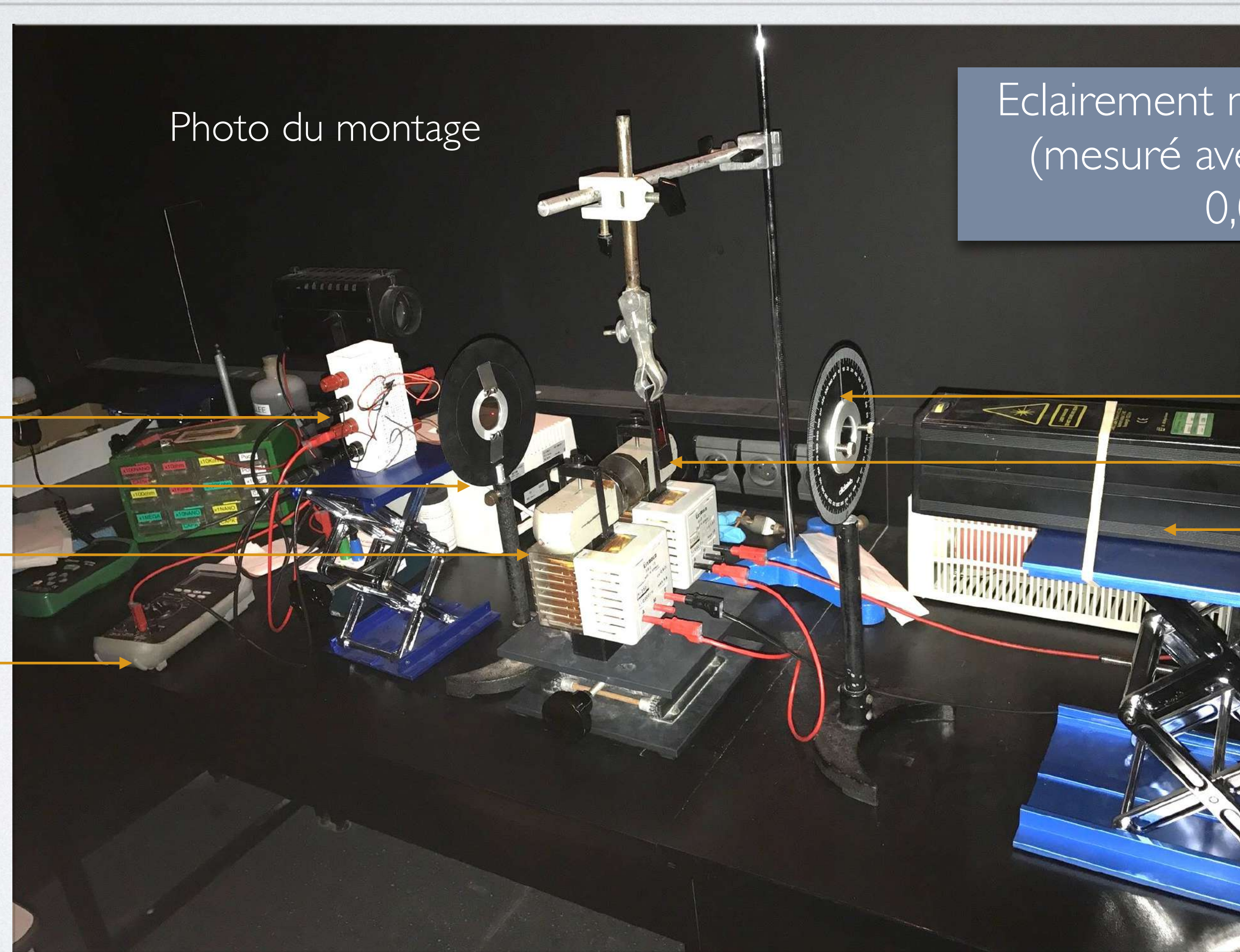
L'étude du fluide en fonction du champ magnétique par l'expérience de la biréfringence

Photo du montage

Eclairement minimal de la pièce
(mesuré avec un luxmètre) :
0,013 lux

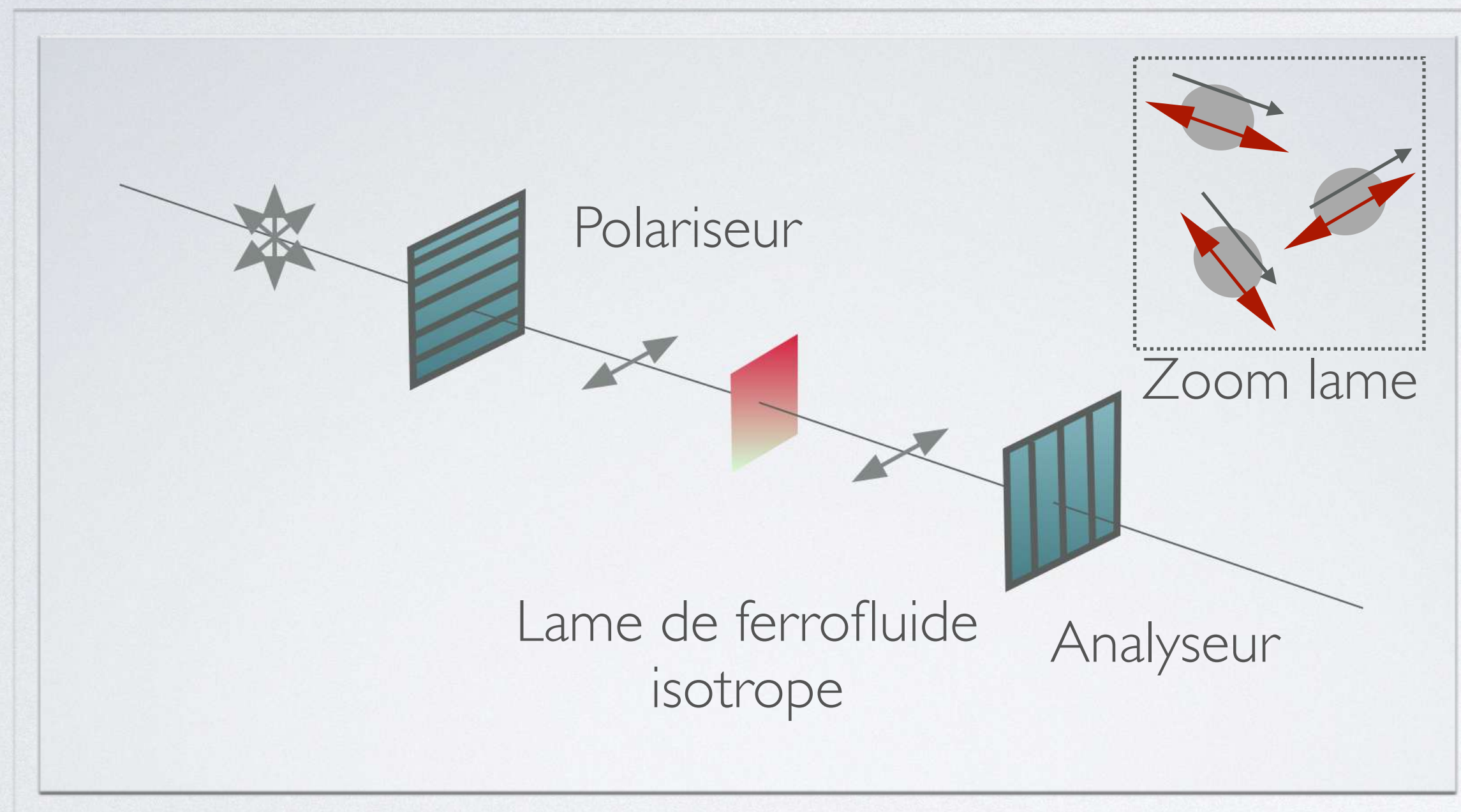
Photodiode
Analyseur
Electroaimant
(et composants associés)
Voltmètre

Polariseur
Lame de ferrofluide
Laser

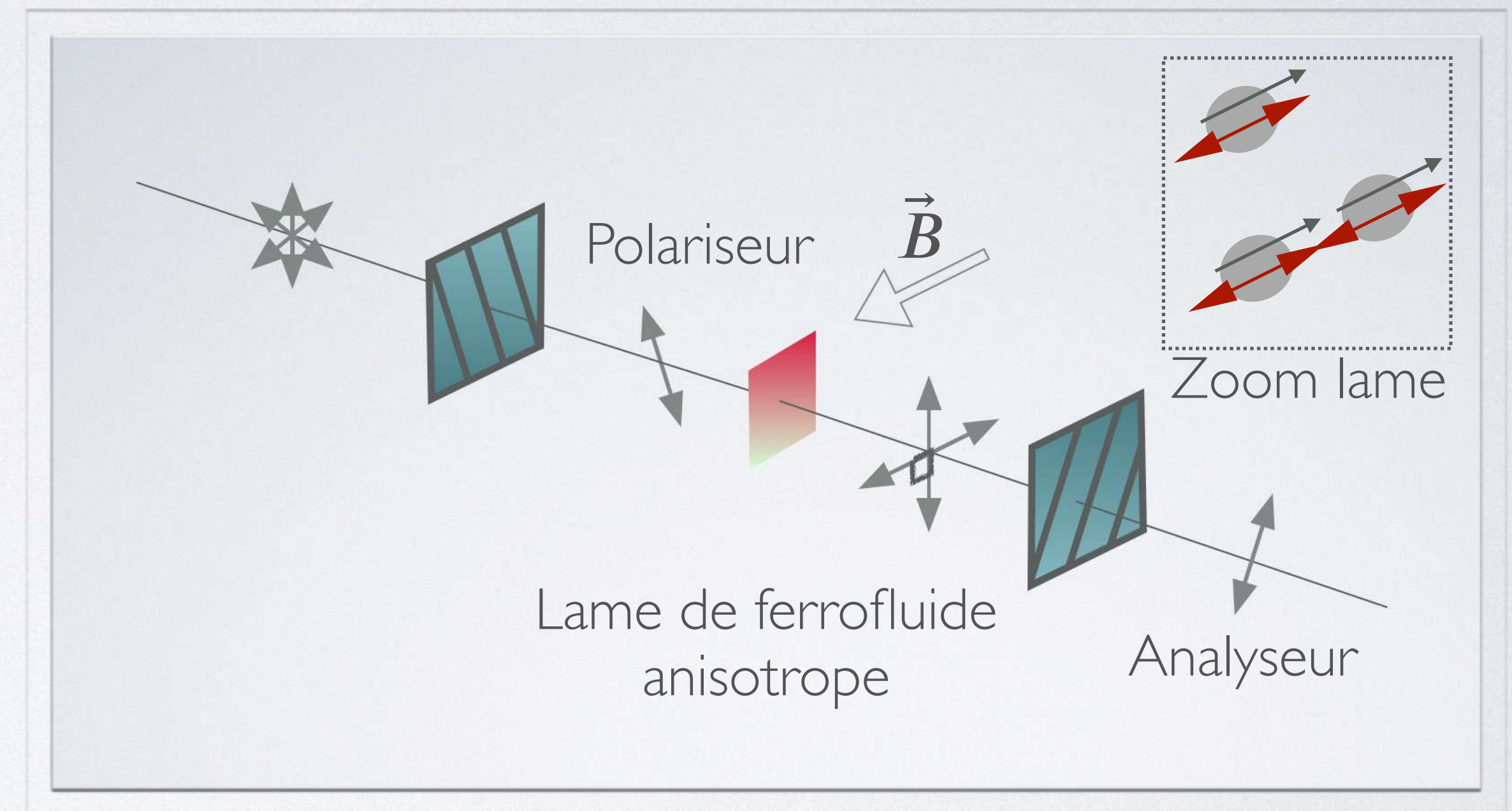


L'étude du fluide en fonction du champ magnétique par l'expérience de la biréfringence

L'anisotropie du ferrofluide :



Montage avec polariseur et analyseur à 90°
sans champ magnétique

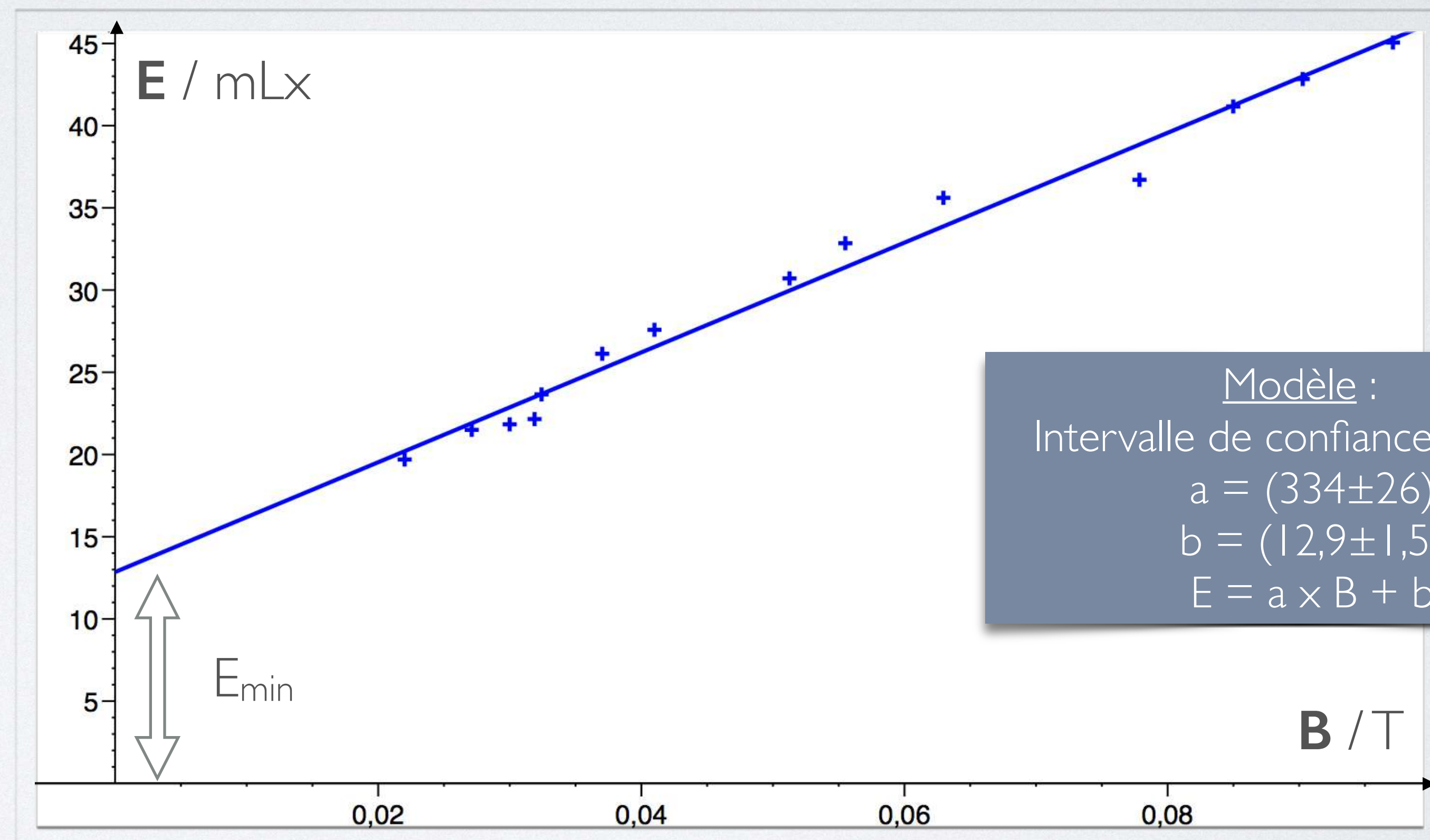


Montage avec polariseur et analyseur à 90°
avec champ magnétique

L'étude du fluide en fonction du champ magnétique par l'expérience de la biréfringence

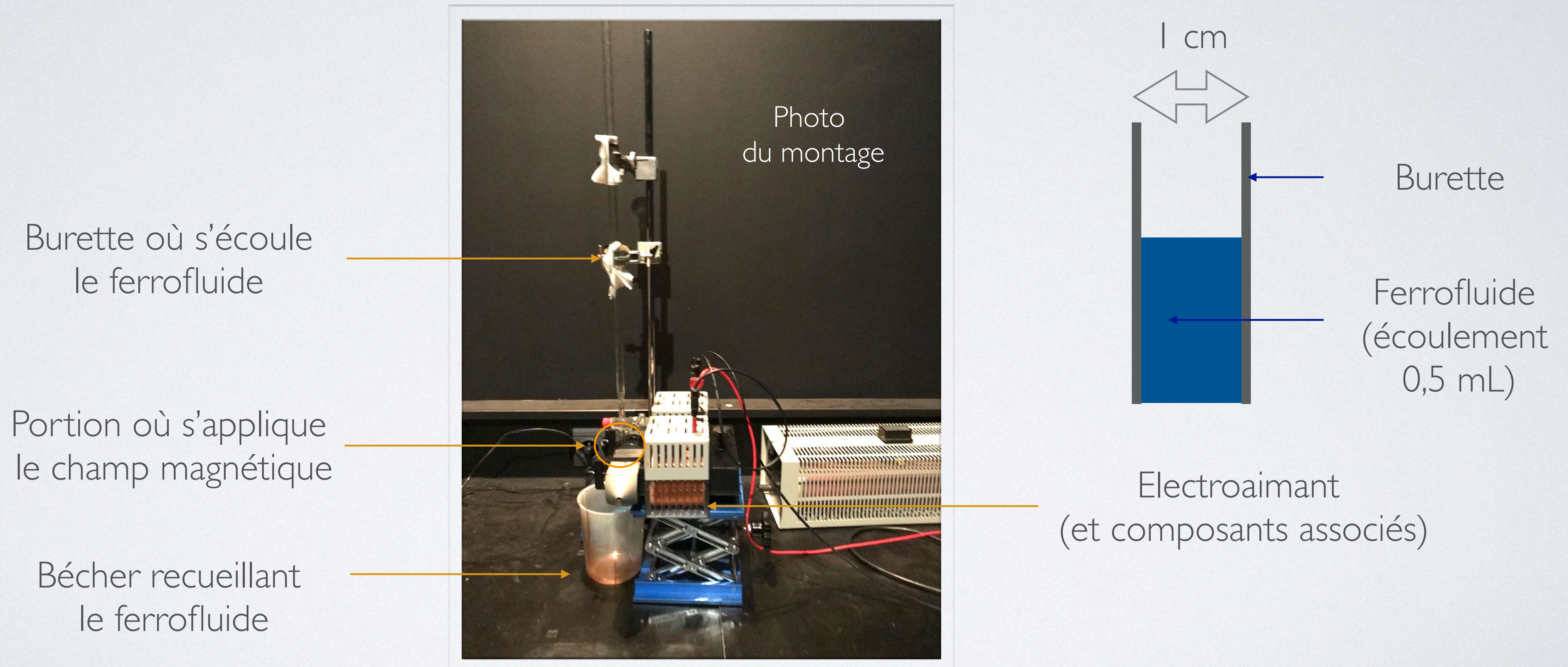
Apparition d'un point lumineux
avec champ magnétique

Résultats expérimentaux



Modèle :
Intervalle de confiance à 95 %
 $a = (334 \pm 26)$
 $b = (12,9 \pm 1,5)$
 $E = a \times B + b$

Etude de l'écoulement du ferrofluide dans un champ magnétique



Etude de l'écoulement du ferrofluide dans un champ magnétique

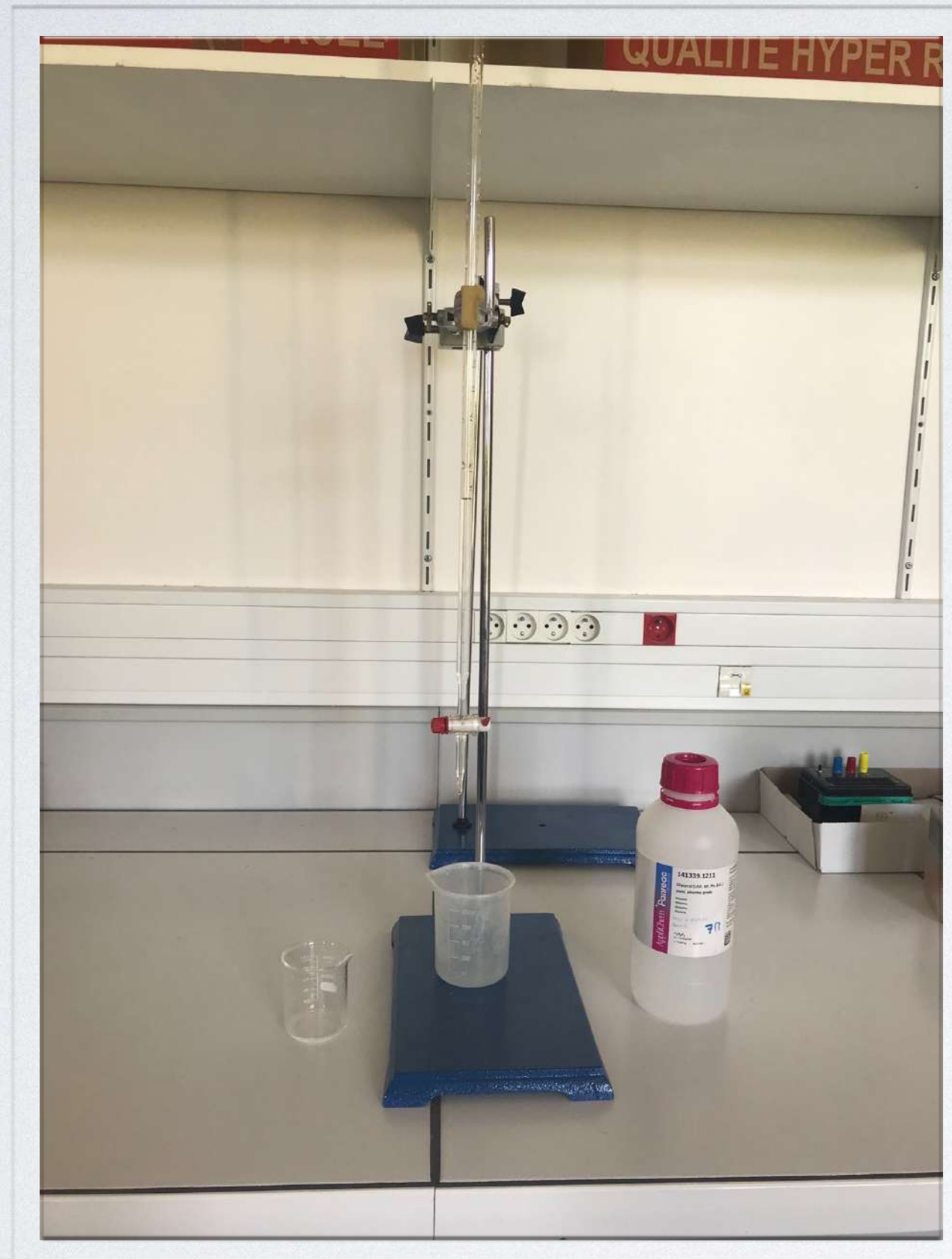


Photo du montage lors de l'écoulement du glycérol dans la burette

Détermination du temps d'écoulement du glycérol

de viscosité $\eta = 1,49 \text{ Pa.s}$ et

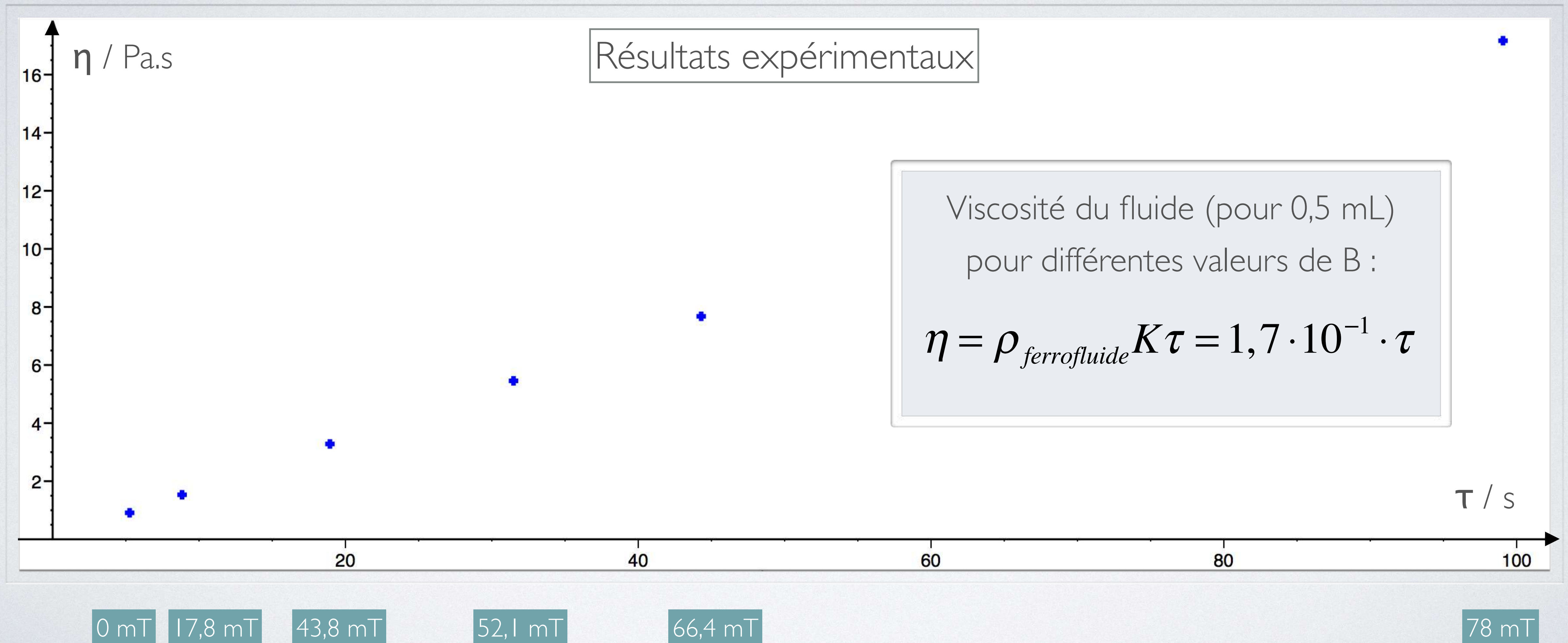
de masse volumique $\rho = 1,26 \text{ kg.L}^{-1}$:

$\tau = 30 \text{ s}$ pour $0,5 \text{ mL}$

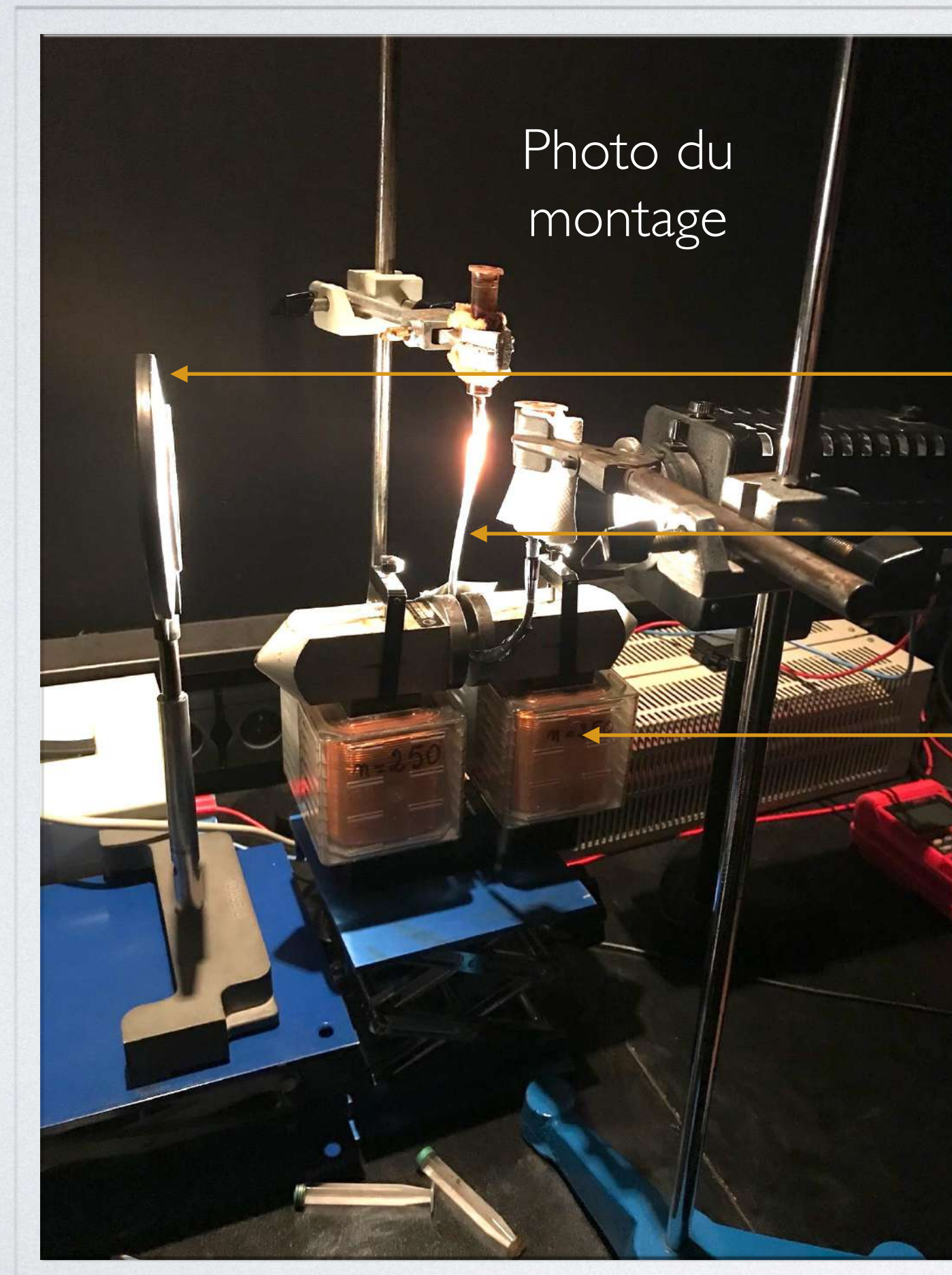
$$\frac{\eta}{\rho} = K\tau$$

Avec $K = 3,0 \cdot 10^{-2}$ pour un écoulement dans cette burette

Etude de l'écoulement du ferrofluide dans un champ magnétique

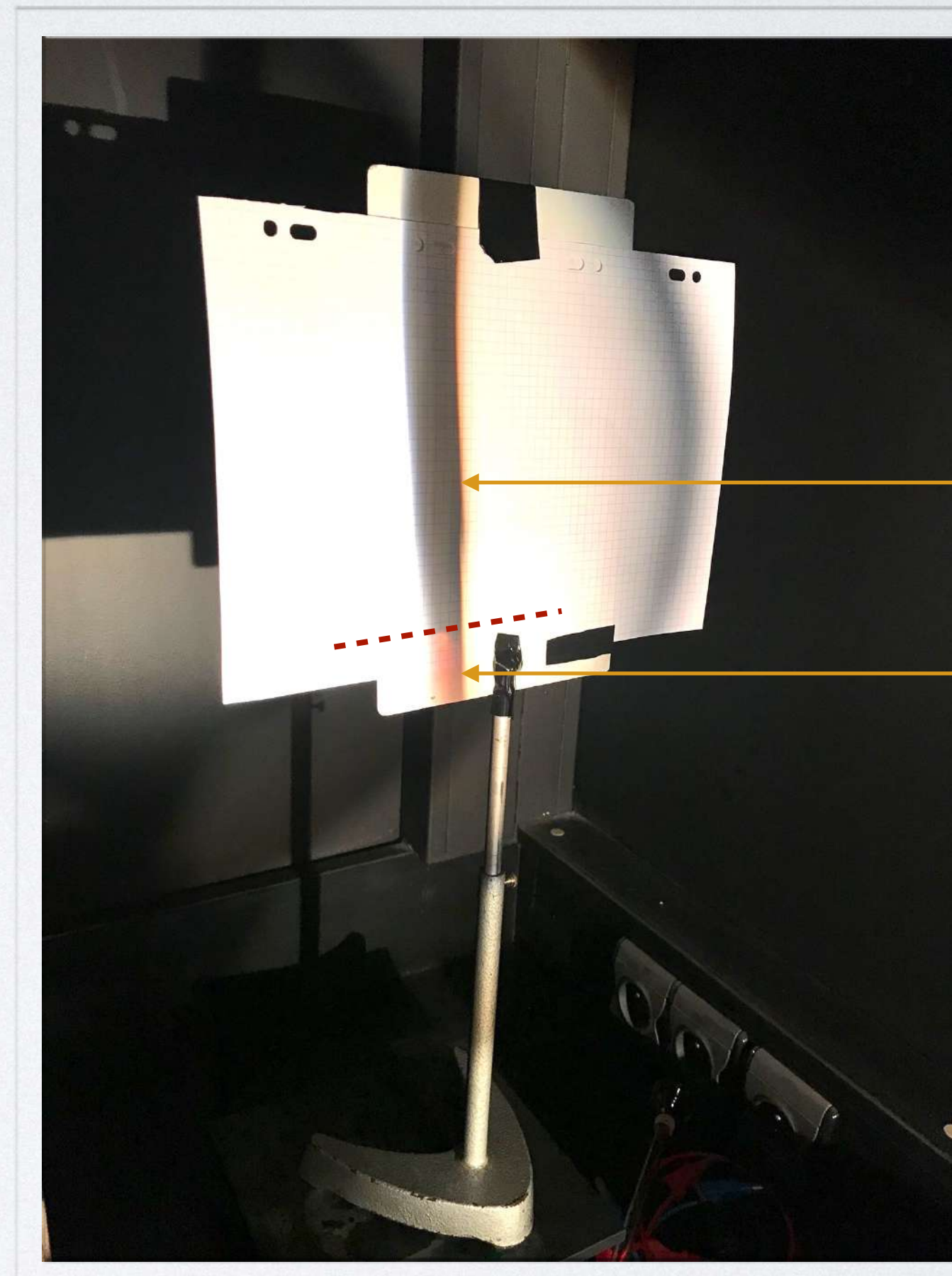


Modélisation de l'écoulement dans ce nouvel amortisseur avec un tube en U



Lentille
convergente
Tube en U avec
ferrofluide
Electroaimant
(et composants
associés)

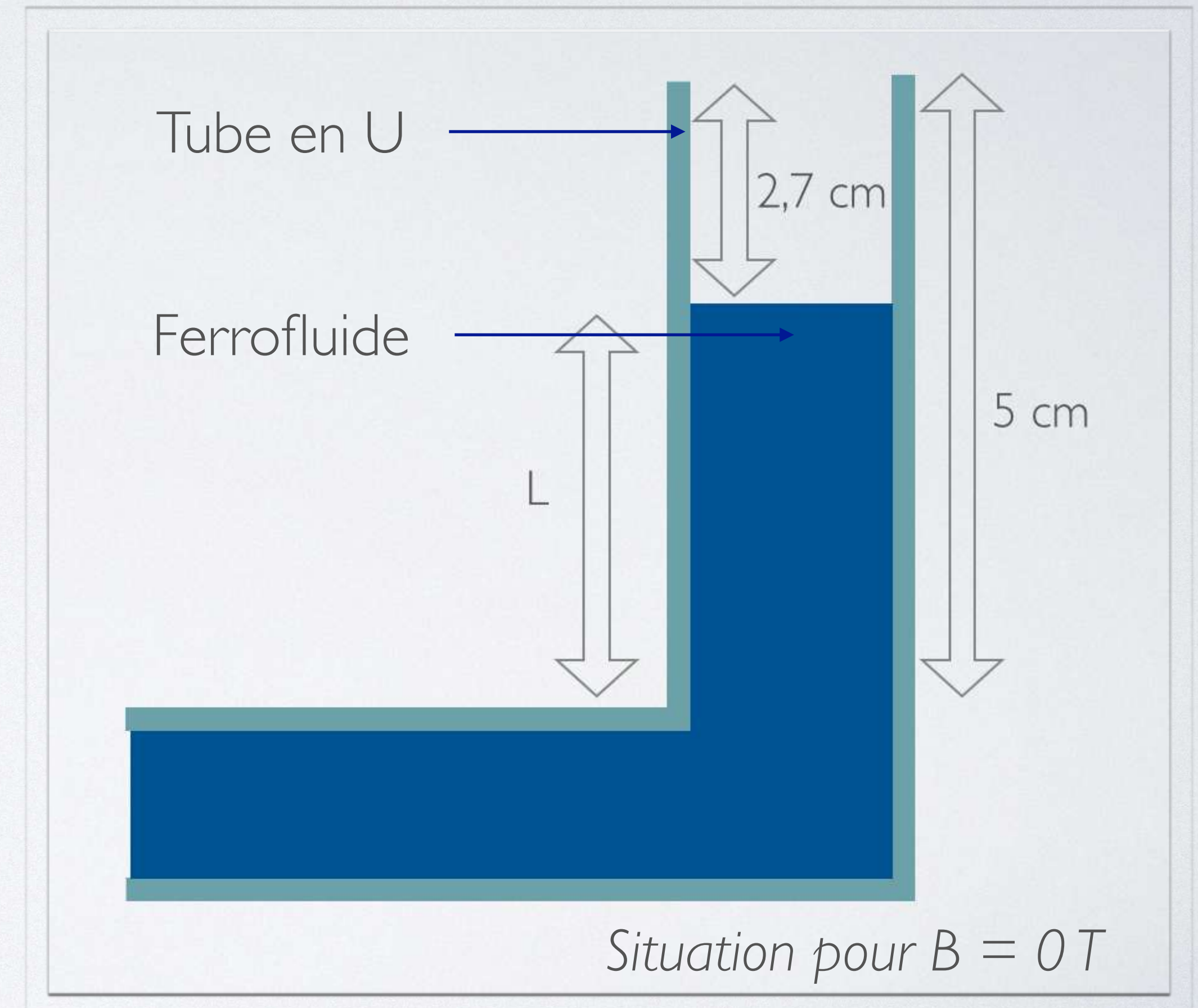
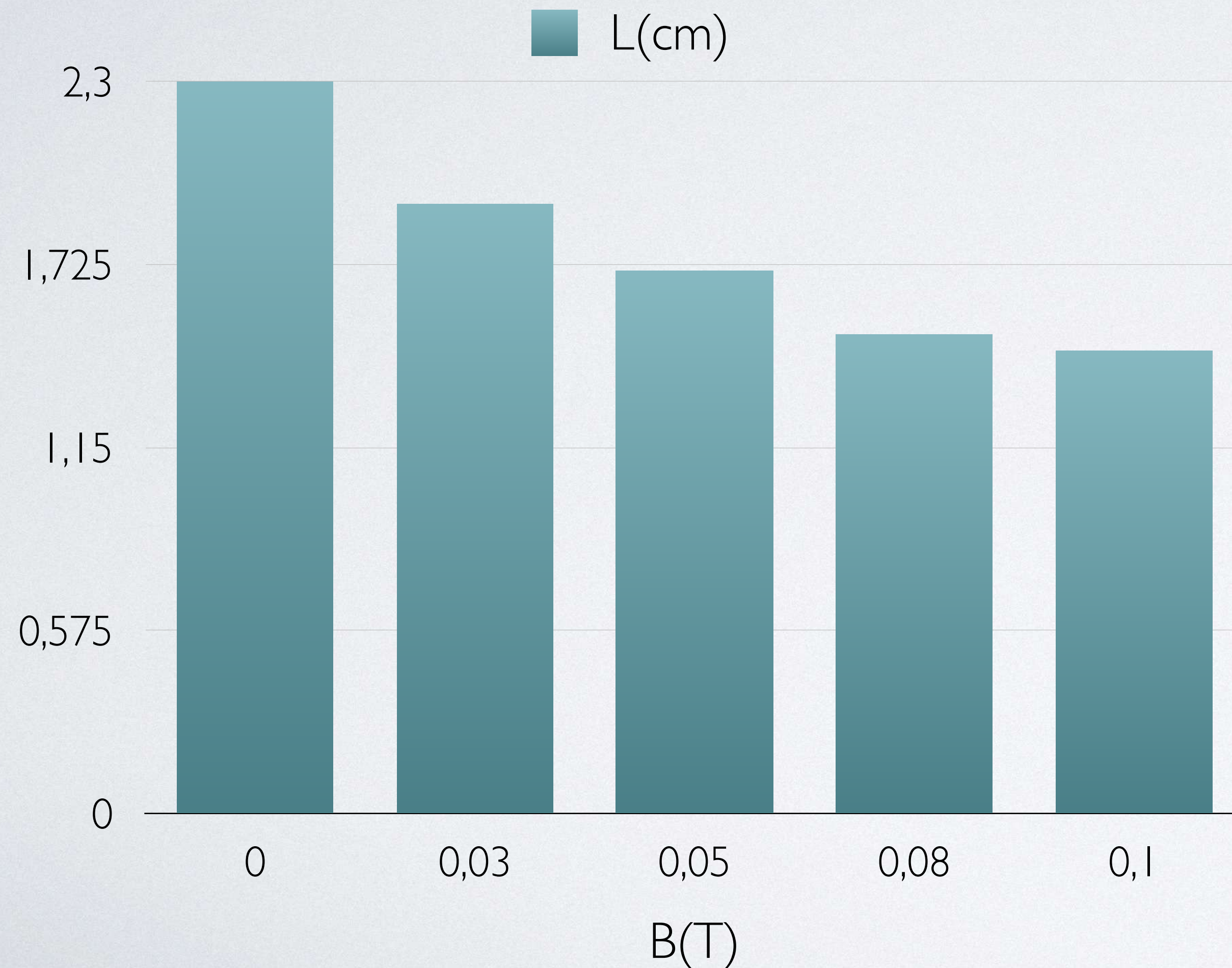
Ecran avec image renversée



Zone avec
ferrofluide
Zone sans
ferrofluide

Modélisation de l'écoulement dans ce nouvel amortisseur avec un tube en U

Résultats expérimentaux



Modélisation de l'écoulement dans ce nouvel amortisseur avec un tube en U

Modèle de Bingham pour un fluide MR :

Sans \vec{B} : Fluide newtonien

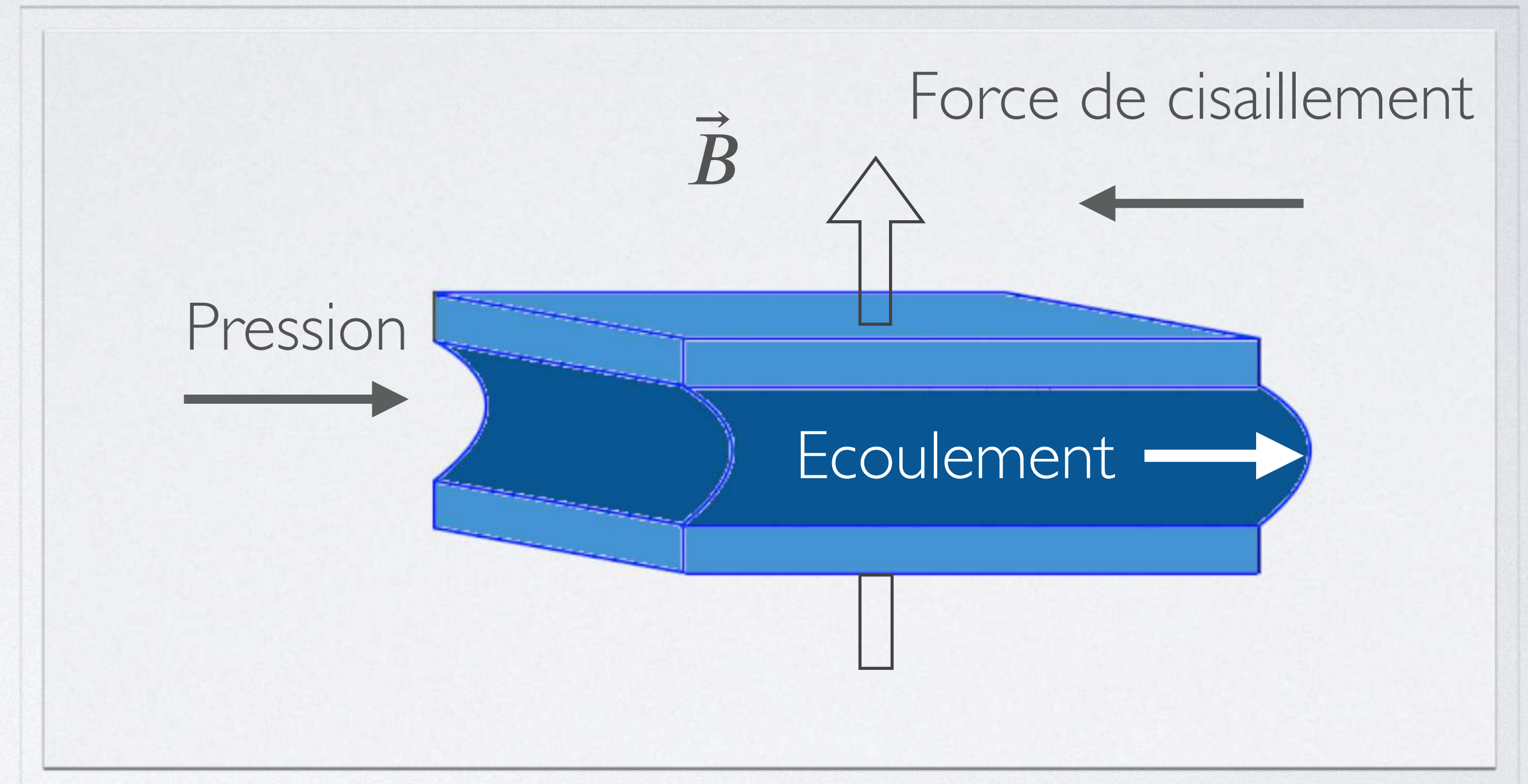
$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

τ contrainte de cisaillement
 $\dot{\gamma}$ gradient de vitesse

Avec \vec{B} :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\gamma} = 0 \text{ si } \tau < \tau_0 \\ \tau = \tau_0 + \eta \cdot \dot{\gamma} \text{ si } \tau \geq \tau_0 \end{array} \right\}$$

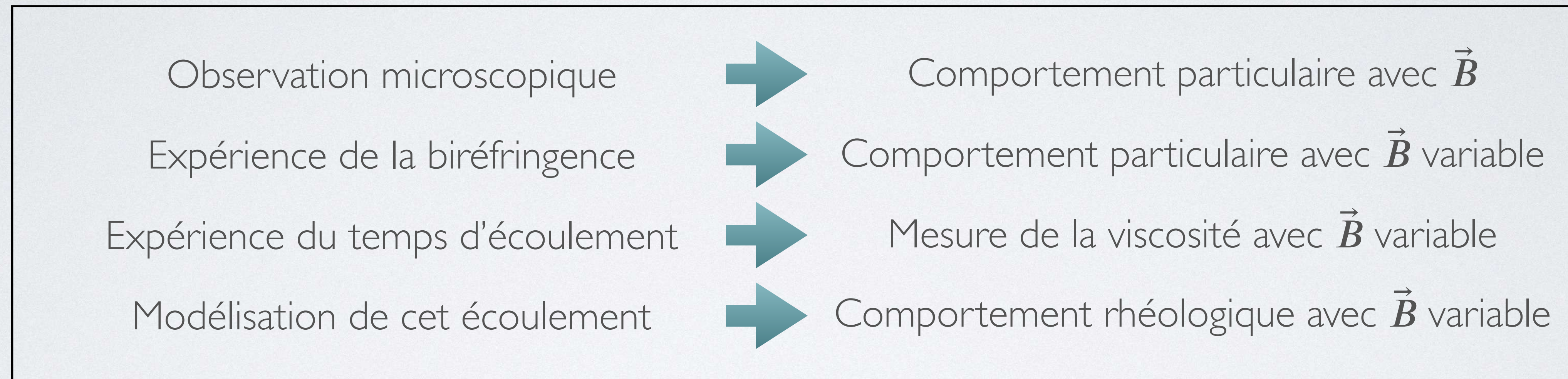
Pour notre ferrofluide :



- Tensioactif (acide oléique) stabilisant le fluide
- Energie thermique toujours présente
- \vec{B} faible et monodomaine de Weiss

CONCLUSION

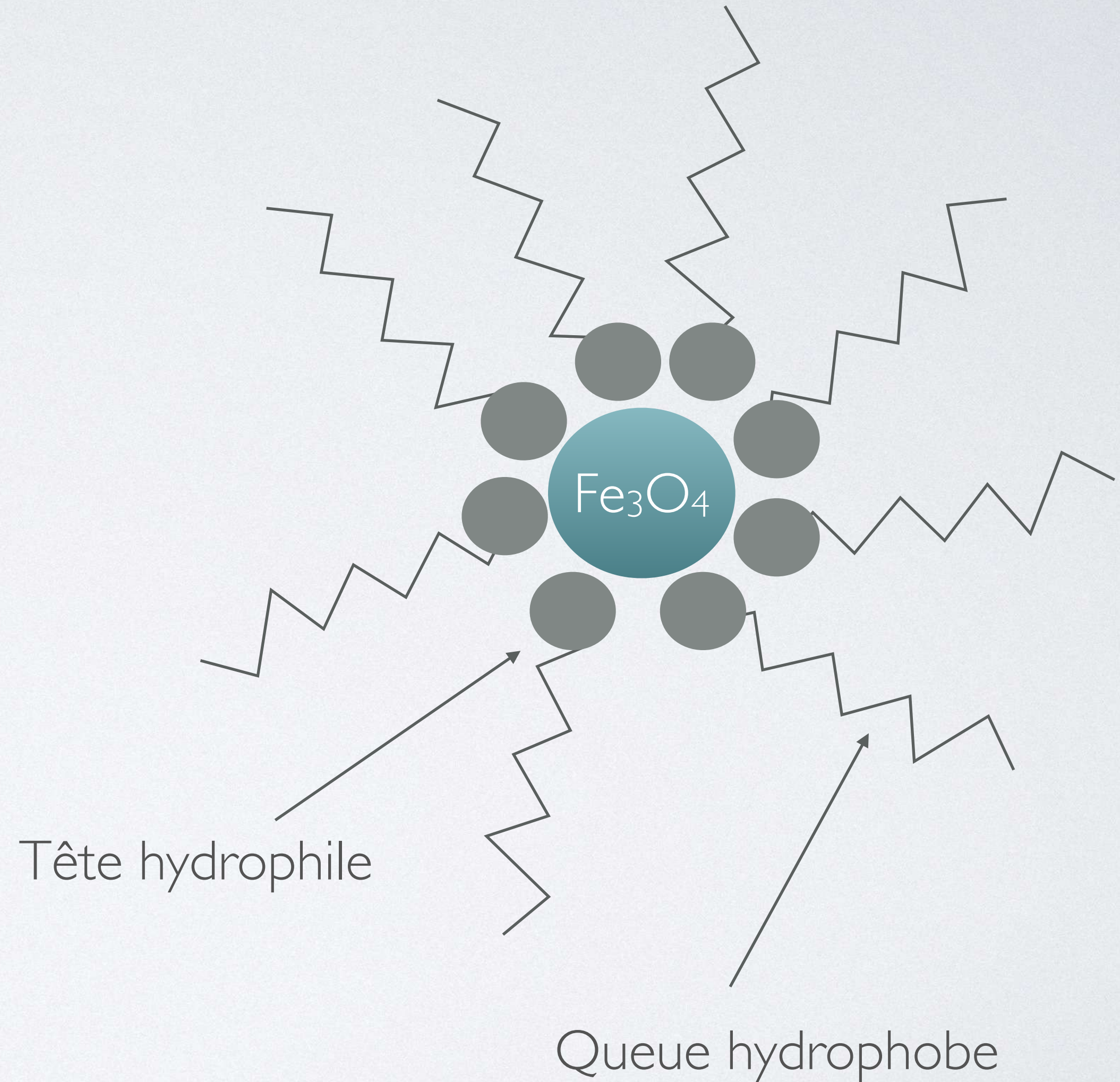
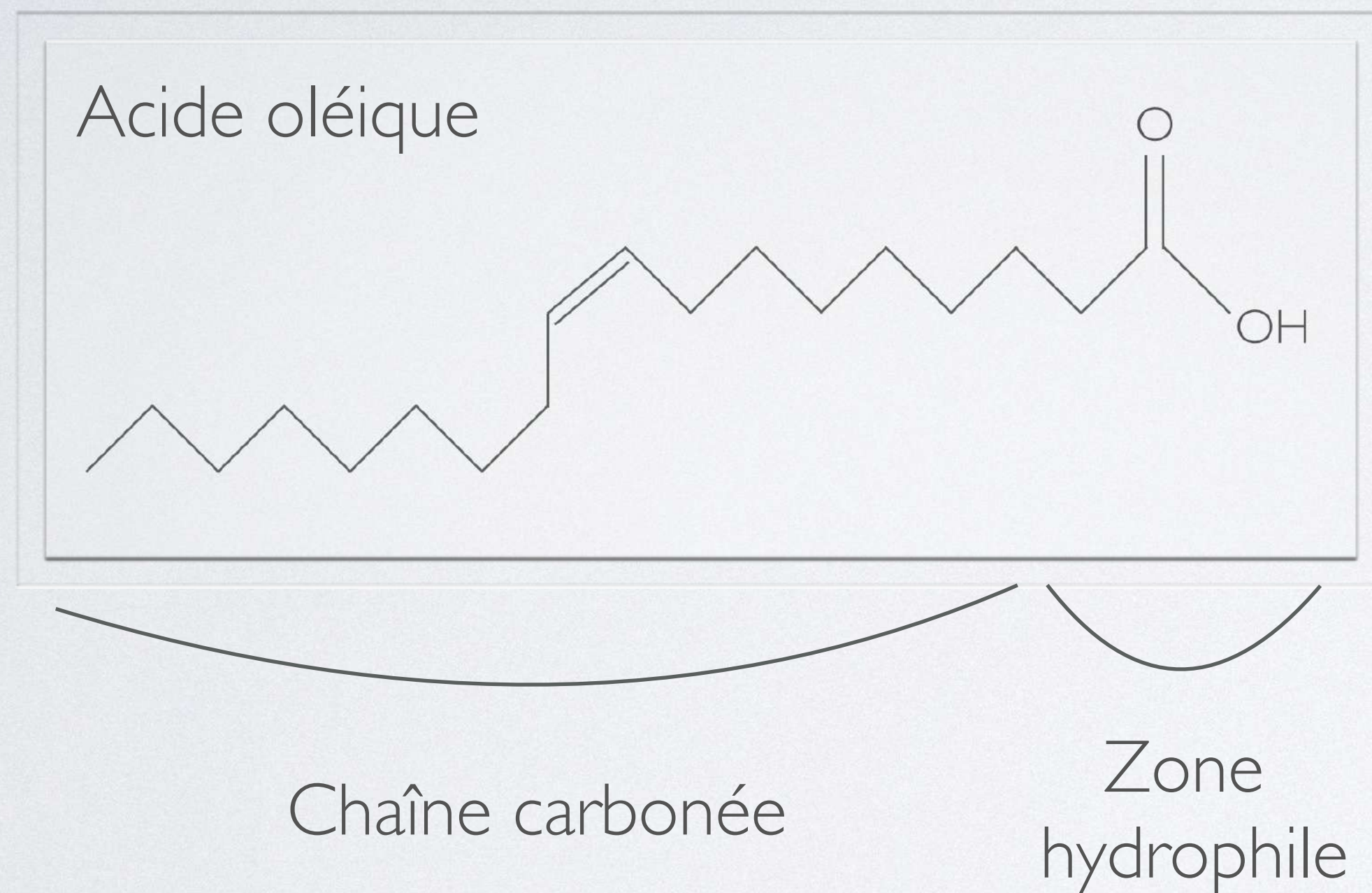
- Apport des différentes expériences pour une compréhension plus précise du rôle du ferrofluide dans ce nouvel amortisseur



- Mise en lien avec le fonctionnement d'un point de vue mécanique de l'amortisseur, avantages et perspectives futures

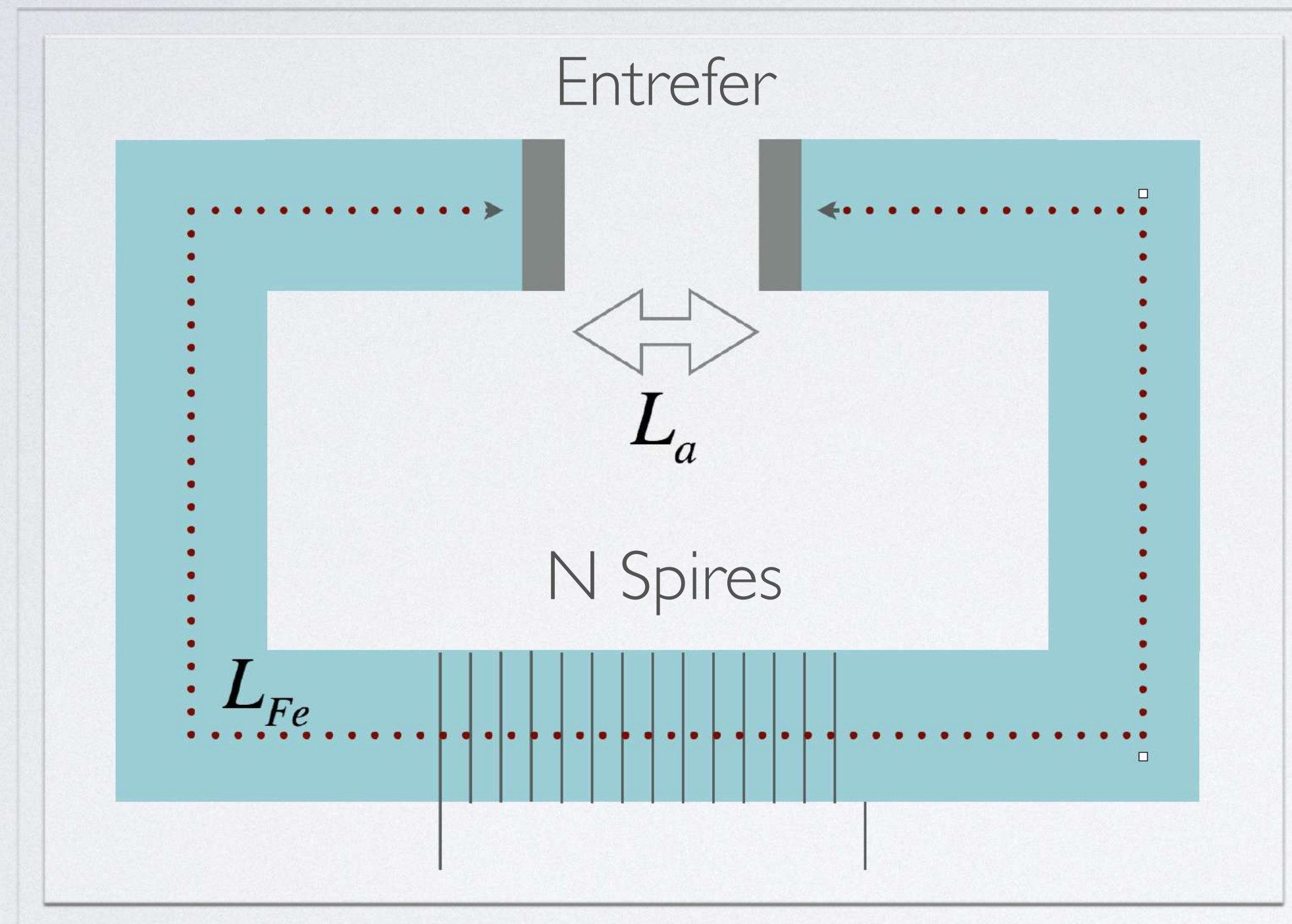
ANNEXES

Tensioactif utilisé dans la synthèse du ferrofluide



ANNEXES

Démonstration de l'expression du champ magnétique délivré par l'électroaimant



Avec :

$$\mu_{rFe} = \mu_0 \cdot \mu_{Fe}$$
$$\mu_{ra} = \mu_0 \cdot \mu_a$$

On applique le théorème d'Ampère :

$$\int \vec{H} \cdot d\vec{l} = \mu_0 NI$$

$$\Rightarrow H_{Fe} \cdot L_{Fe} + H_a \cdot L_a = \mu_0 NI$$

$$\text{Et : } H_{Fe} = \frac{B_{Fe}}{\mu_{Fe}} \text{ et } H_a = \frac{B_a}{\mu_a}$$

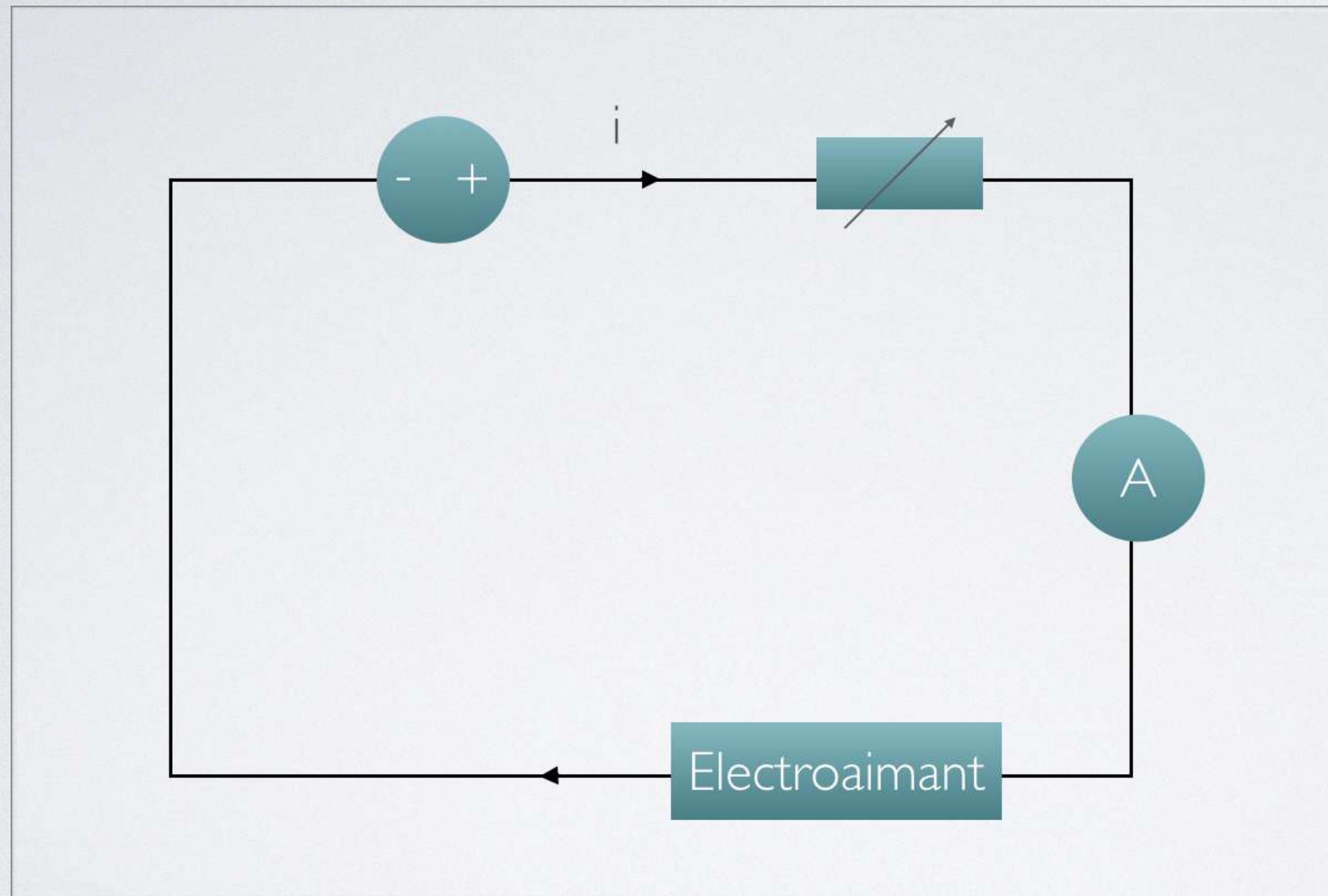
Pour un entrefer tel que $L_{Fe} \gg L_a$

$$B_a \approx B_{Fe} \approx B$$

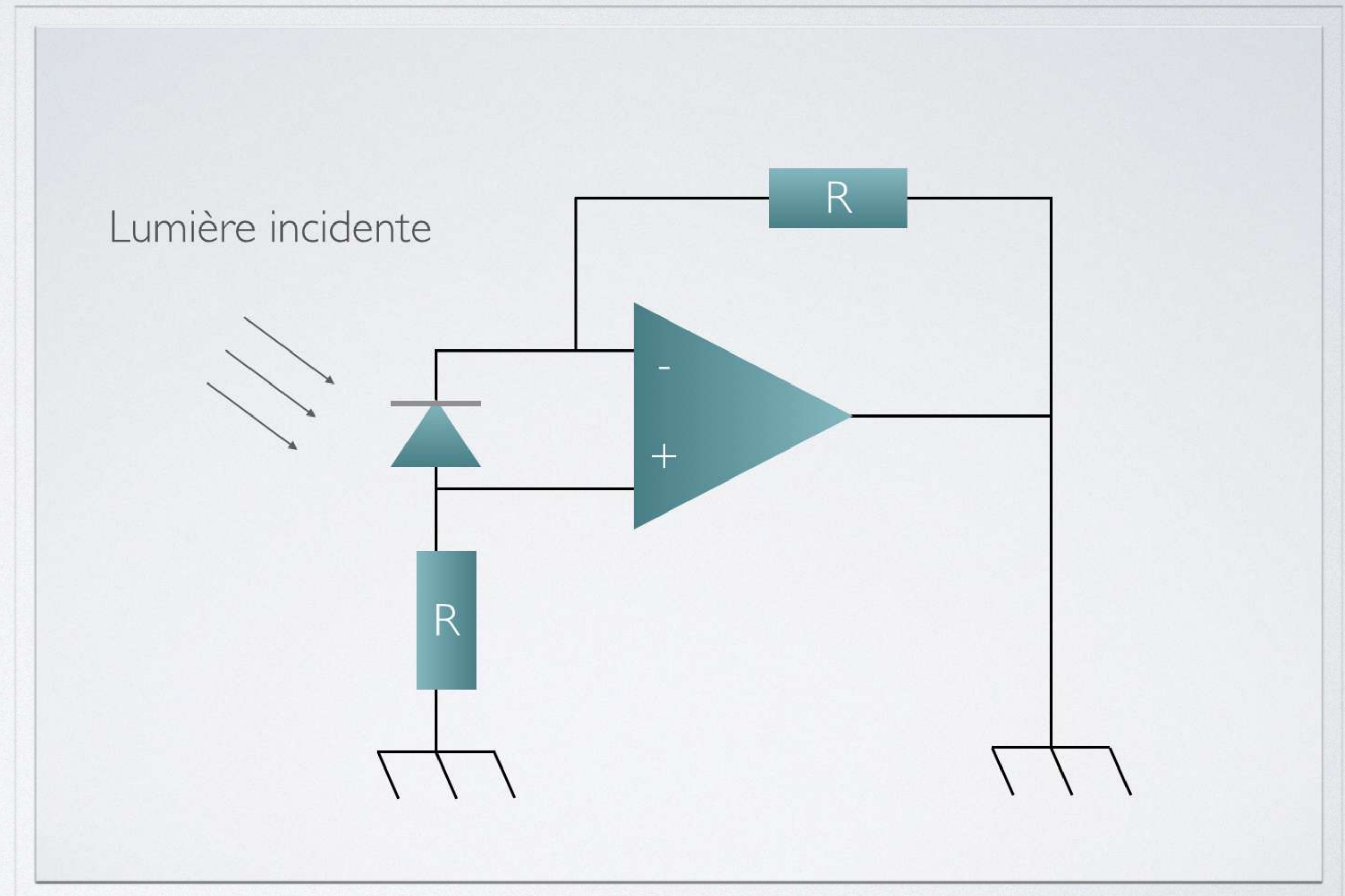
$$\text{Donc : } B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{\frac{L_{Fe}}{\mu_{rFe}} + L_a}$$

ANNEXES

Montage de la photodiode utilisée dans l'expérience de biréfringence



Montage avec alimentation contrôlée de l'électroaimant afin de créer un champ magnétique



ANNEXES

Démonstration de la loi permettant le calcul de viscosité

On suppose l'écoulement incompressible (masse volumique du fluide constante) et stationnaire :

- on a la loi de Poiseuille pour l'écoulement d'un fluide newtonien dans un tube cylindrique :

$$D_v = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta L}$$

- on réécrit l'expression grâce à la loi fondamentale de la statique des fluides $\Delta p = \rho g h$

$$D_v = \frac{\pi r^4 \rho g}{8 \eta}$$

- on a une expression simplifiée de la viscosité en exprimant $D_v = V/\tau$

$$\frac{\eta}{\rho} = \frac{\pi r^4 g}{8 V} \cdot \tau = K \tau$$