

Contrôle Non Destructif par courants de Foucault: optimisation des capteurs à double fonction.



Contexte:

- Le contrôle non destructif (CND):
 - intérêt et domaines d'utilisation



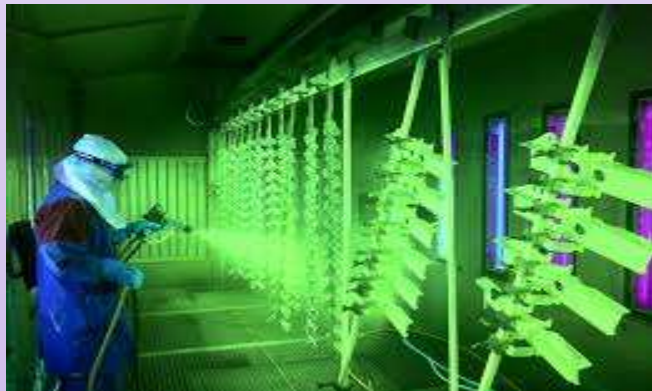
Différentes techniques du CND:



Ultrasons



Magnétoscopie



Ressuage



Radiologie

Techniques:	Avantages:	Inconvénients:
Ultrasons	<ul style="list-style-type: none"> •souplesse d'utilisation •détection précise dans l'épaisseur 	<ul style="list-style-type: none"> •difficile sur faibles épaisseurs •influence de l'état de surface
Magnétoscopie	<ul style="list-style-type: none"> •appréciation de la longueur des défauts •rapidité 	<ul style="list-style-type: none"> •impossibilité de détecter les défauts en profondeur(>2 mm) •génération de champs magnétiques intenses
Ressuage	<ul style="list-style-type: none"> •économique •rapide •bonne sensibilité aux défauts enfouis 	<ul style="list-style-type: none"> •produits inflammables , volatils et nocifs •déchets liquides rejetés à l'égout
Radiologie	<ul style="list-style-type: none"> •rapidité des résultats (15 min environ) •numérisation possible avec un traitement d'image 	<ul style="list-style-type: none"> •investissement important •règles de sécurité rigoureuses et contraignantes
Courants de Foucault	<ul style="list-style-type: none"> •détection des défauts faiblement enfouis (quelques millimètres) •pas de produits couplants 	<ul style="list-style-type: none"> •essentiellement sur métaux •ne détecte pas les défauts de forte profondeur

CND par courants de Foucault:



- en surface (fissure): longueur minimale **0,2 mm**, largeur **1 mm**

- en profondeur: **8mm** pour des défauts importants (de l'ordre de 5mm x 5mm)

profondeur de pénétration des CF :
1 à 3,5 mm

Dans l'étude de Frédéric Thollon [1]
(1995) :
un défaut 5 mm x 5 mm a pu être
détecté à **20 mm** de profondeur
dans de l'aluminium)

Problématique:

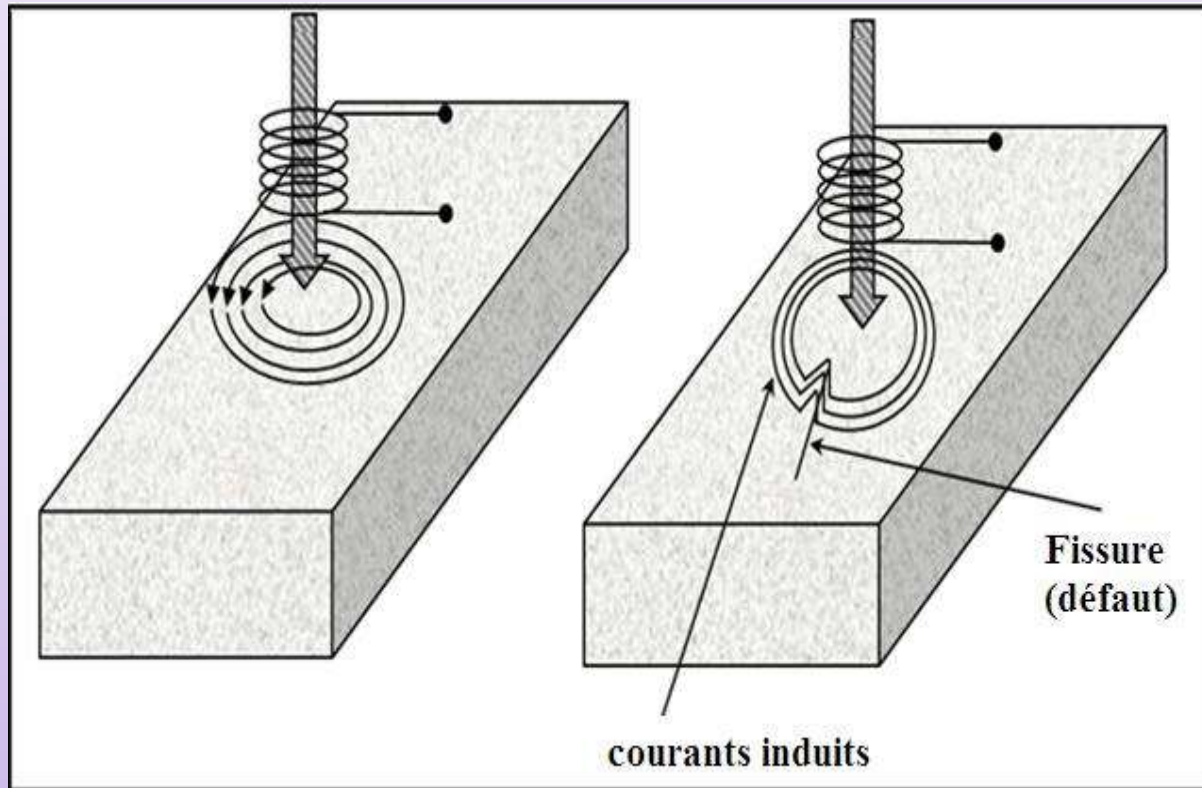
Quelles améliorations possibles sur cette méthode afin de pouvoir détecter les défauts en profondeur ?

Plan:

- I. Validation de la technique du CND par courants de Foucault.
- II. Etude de l'influence des paramètres du dispositif expérimental sur la détection des défauts enfouis.

Technique du CND par courants de Foucault:

- Explication du fonctionnement
- capteurs à double fonction:



L'impédance de la bobine en l'absence de la plaque:

$$\underline{Z} = R + jL\omega$$

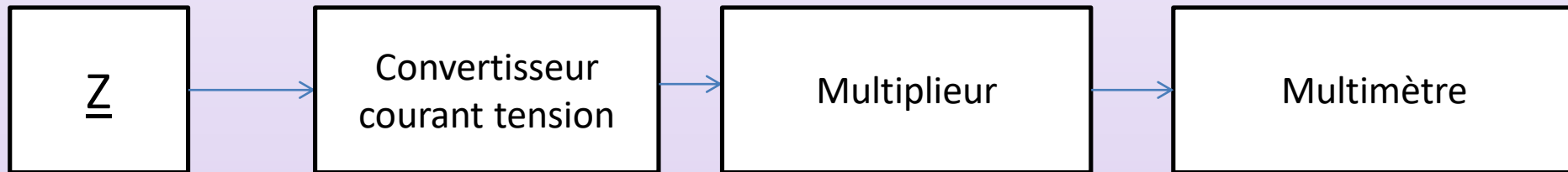
L'impédance de la bobine en présence de la plaque:

$$\underline{Z} = (R + \delta R) + j\omega(L - \delta L)$$

Dispositif expérimental:

■ Montage à détection synchrone :

❑ détection de la partie réelle de l'impédance:



❑ détection de la partie imaginaire de l'impédance:

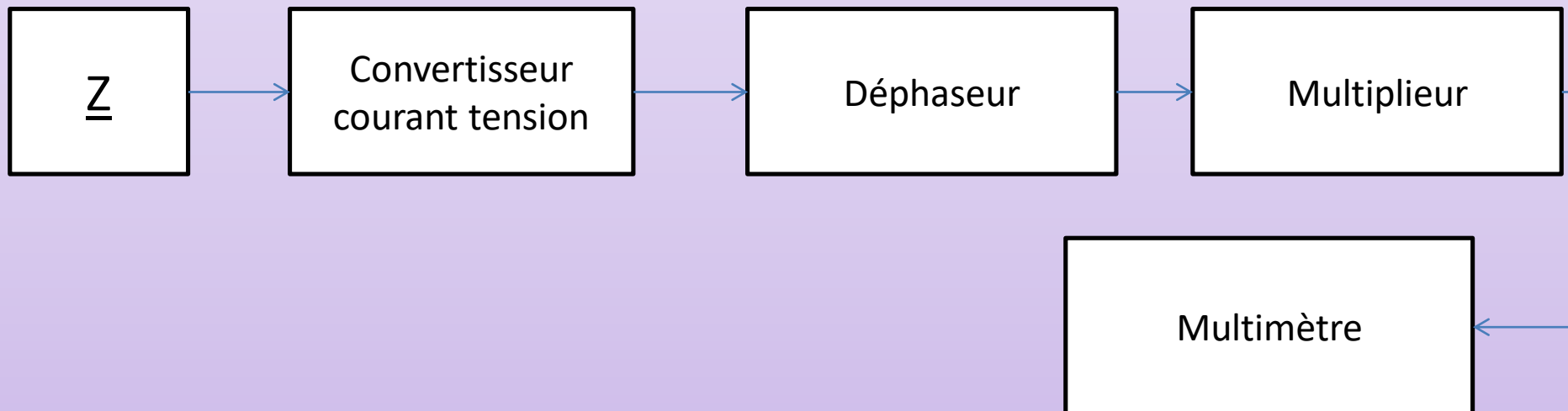
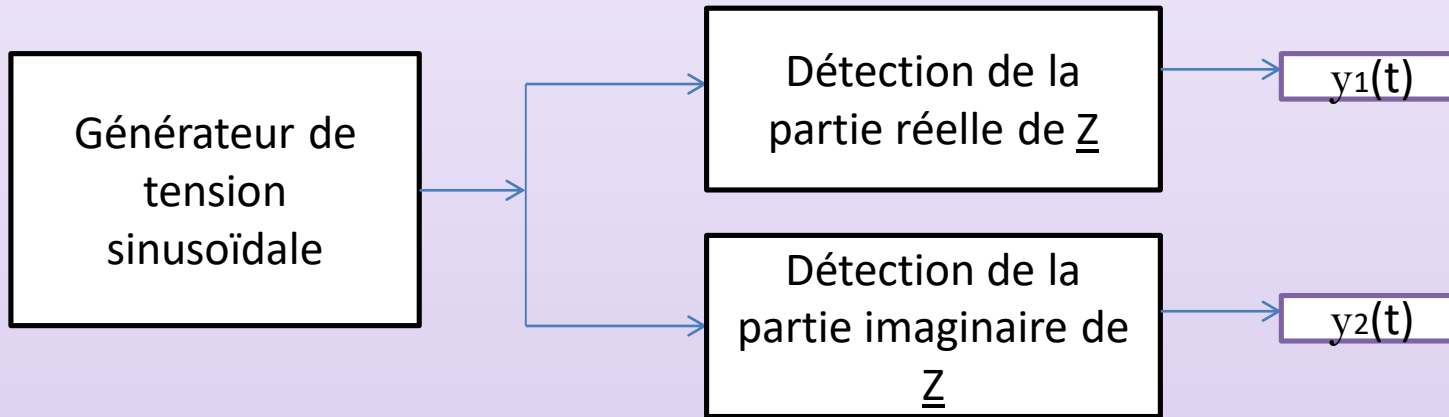


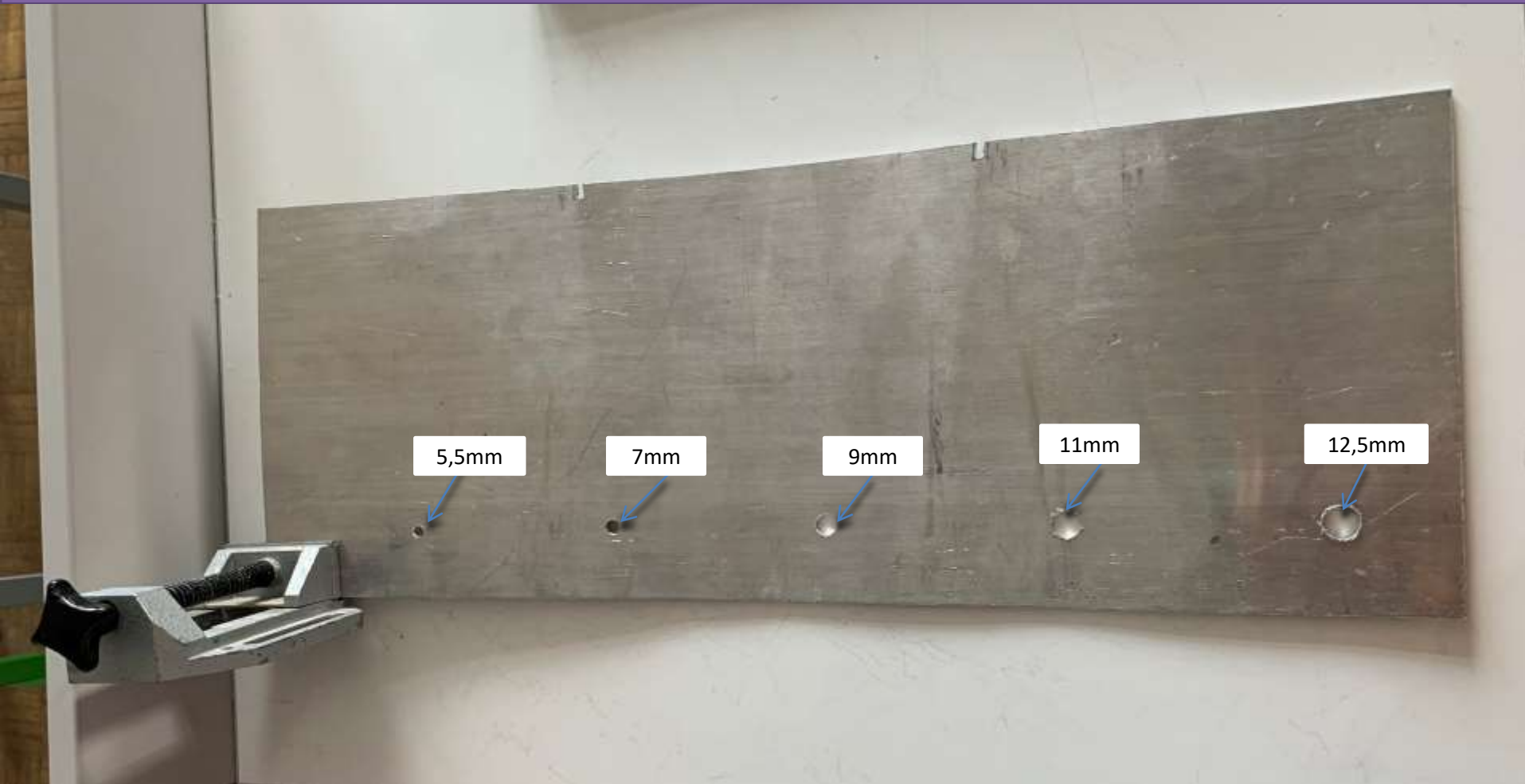
Schéma complet:



$$y_1(t) = \alpha \operatorname{Re}(\underline{Z}) \quad \text{où } \alpha = (-k R_0 i_0^2)/2$$

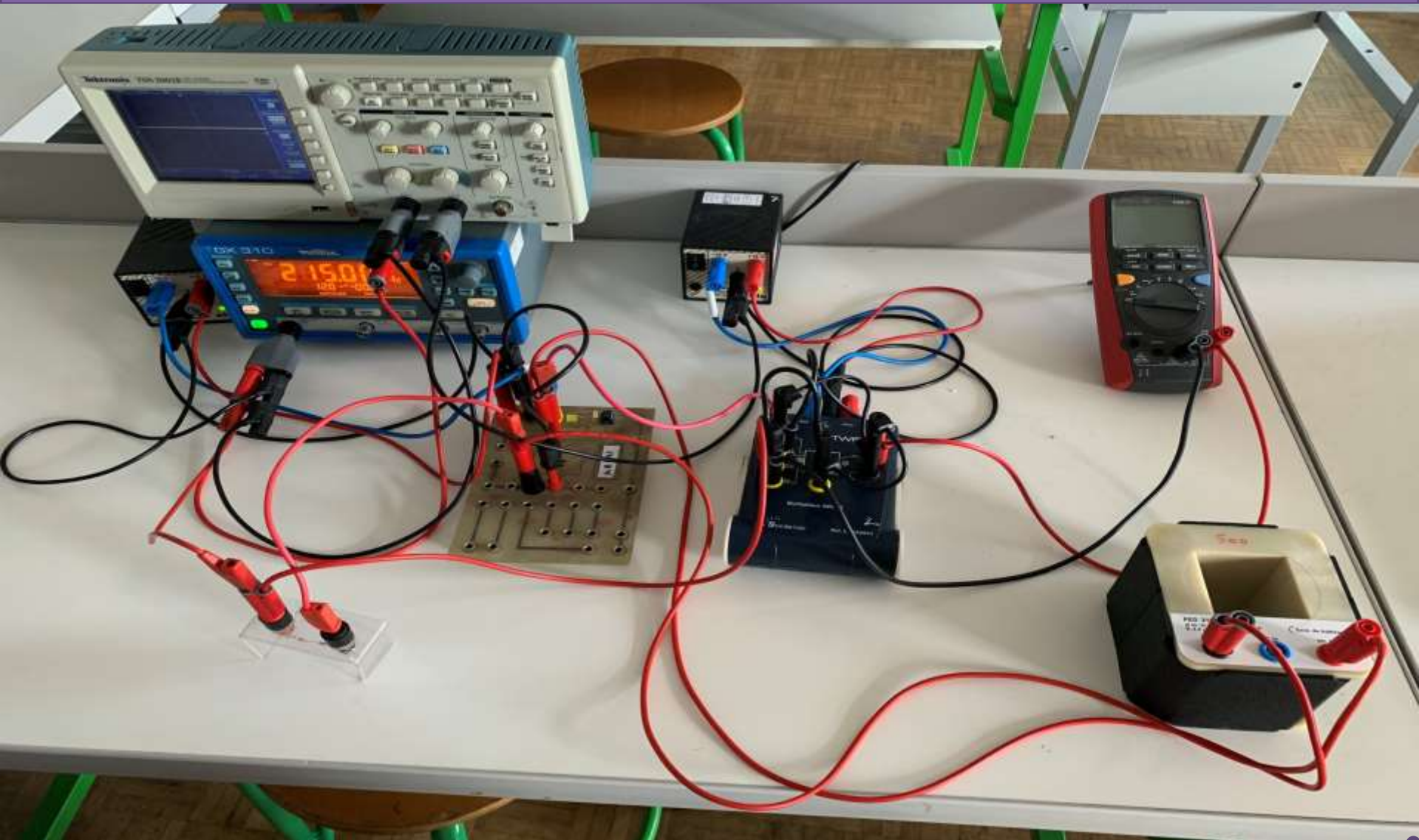
$$y_2(t) = \beta \operatorname{Im}(\underline{Z}) \quad \text{où } \beta = (k R_0 i_0^2)/2$$

Protocole expérimental:



Plaque métallique avec des défauts de différents diamètres

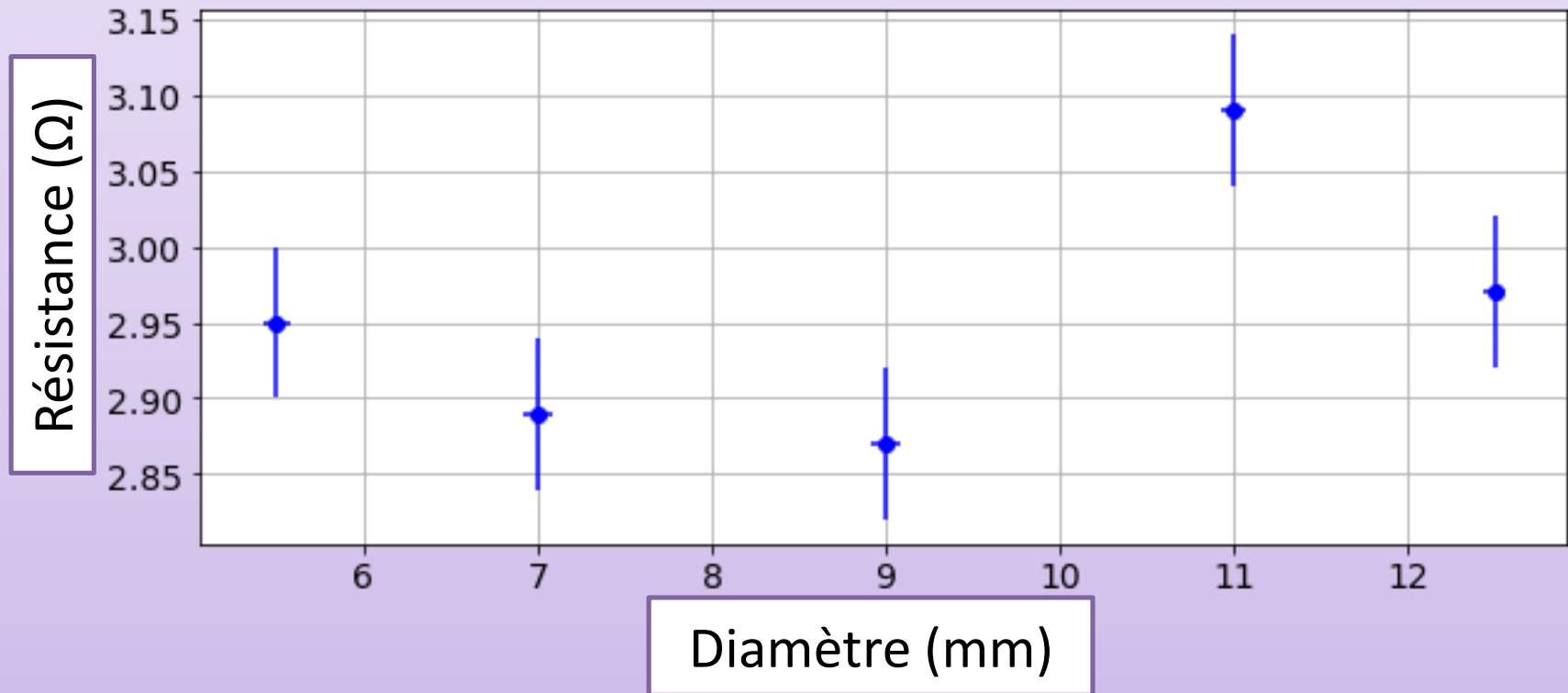
Détection de la partie réelle:



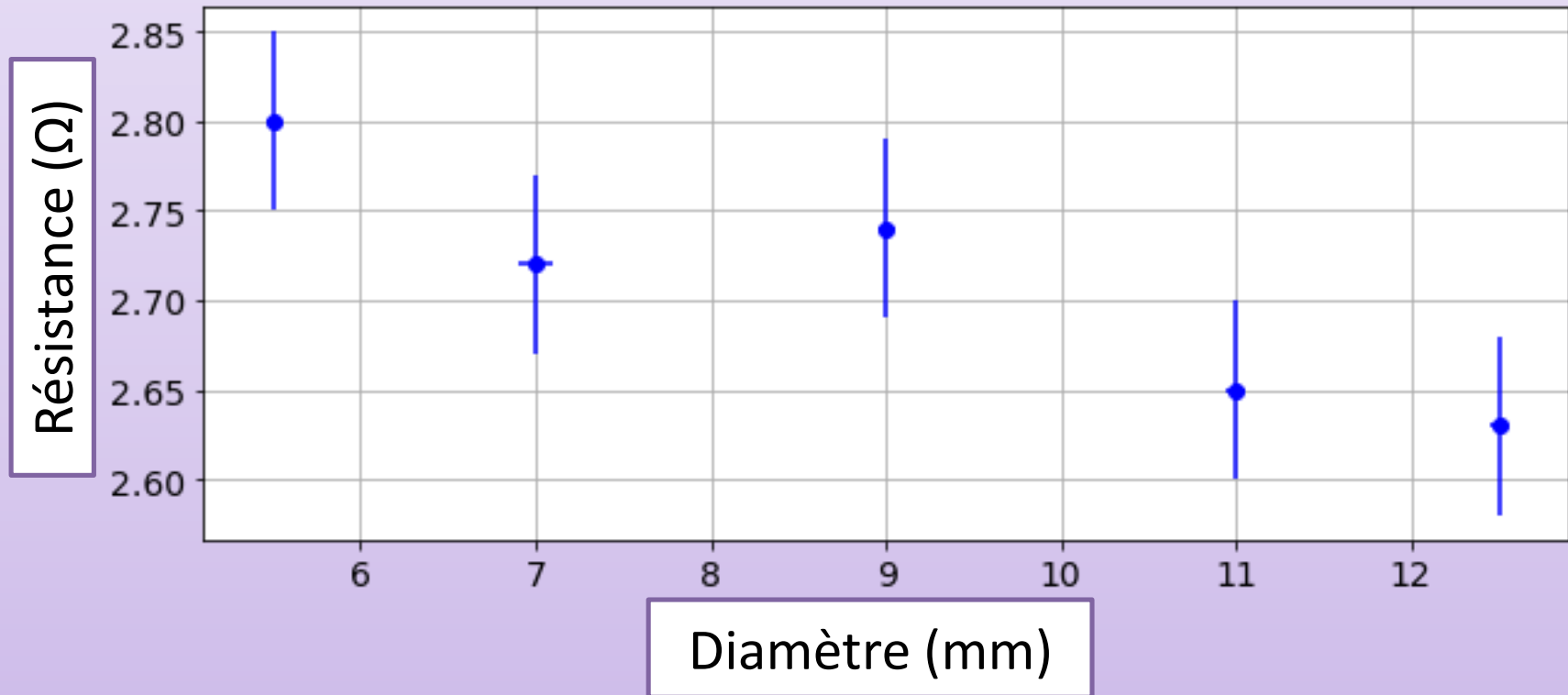
- En l'absence de défauts:
 $R = 2,57\Omega$
- En présence de défauts:

Diamètre du défaut d (en mm)	$R + \delta R$ (en Ω) Plaque verticale	$R + \delta R$ (en Ω) Plaque horizontale
5,5	$2,95 \pm 0,08$	$2,82 \pm 0,04$
7	$2,80 \pm 0,09$	$2,65 \pm 0,10$
9	$2,82 \pm 0,08$	$2,76 \pm 0,05$
11	$3,07 \pm 0,07$	$2,60 \pm 0,06$
12,5	$3,00 \pm 0,06$	$2,60 \pm 0,05$

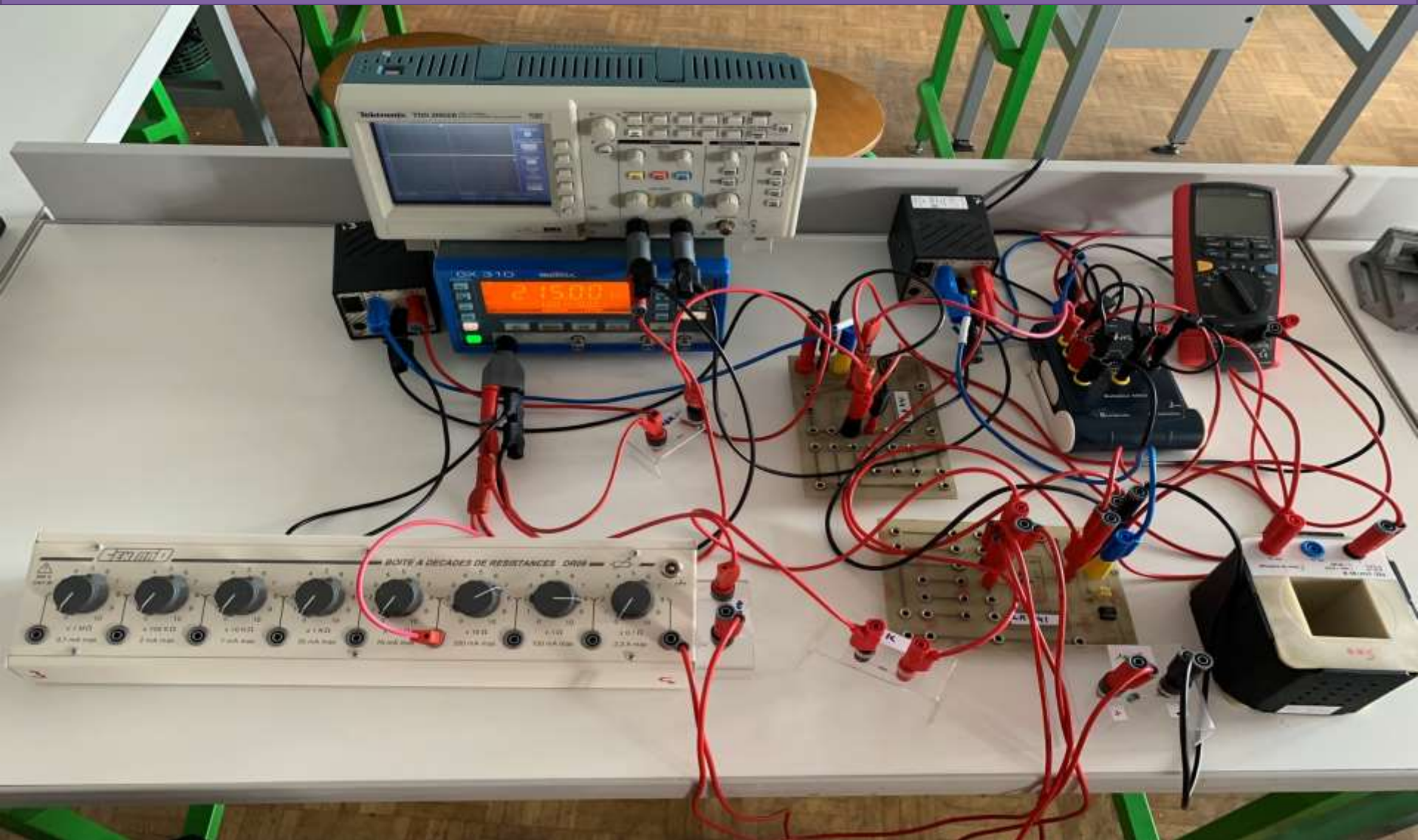
Plaque verticale:



Plaque horizontale:



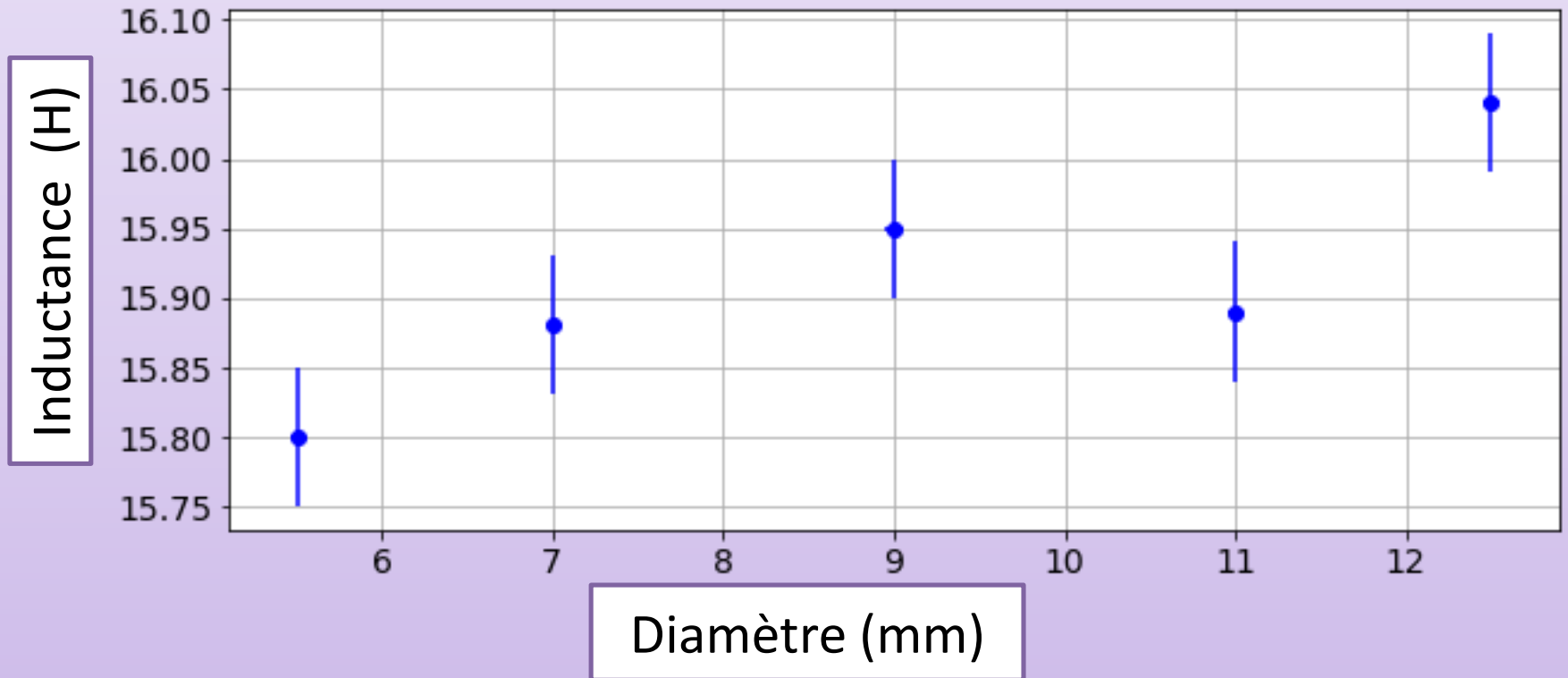
Détection de la partie imaginaire:



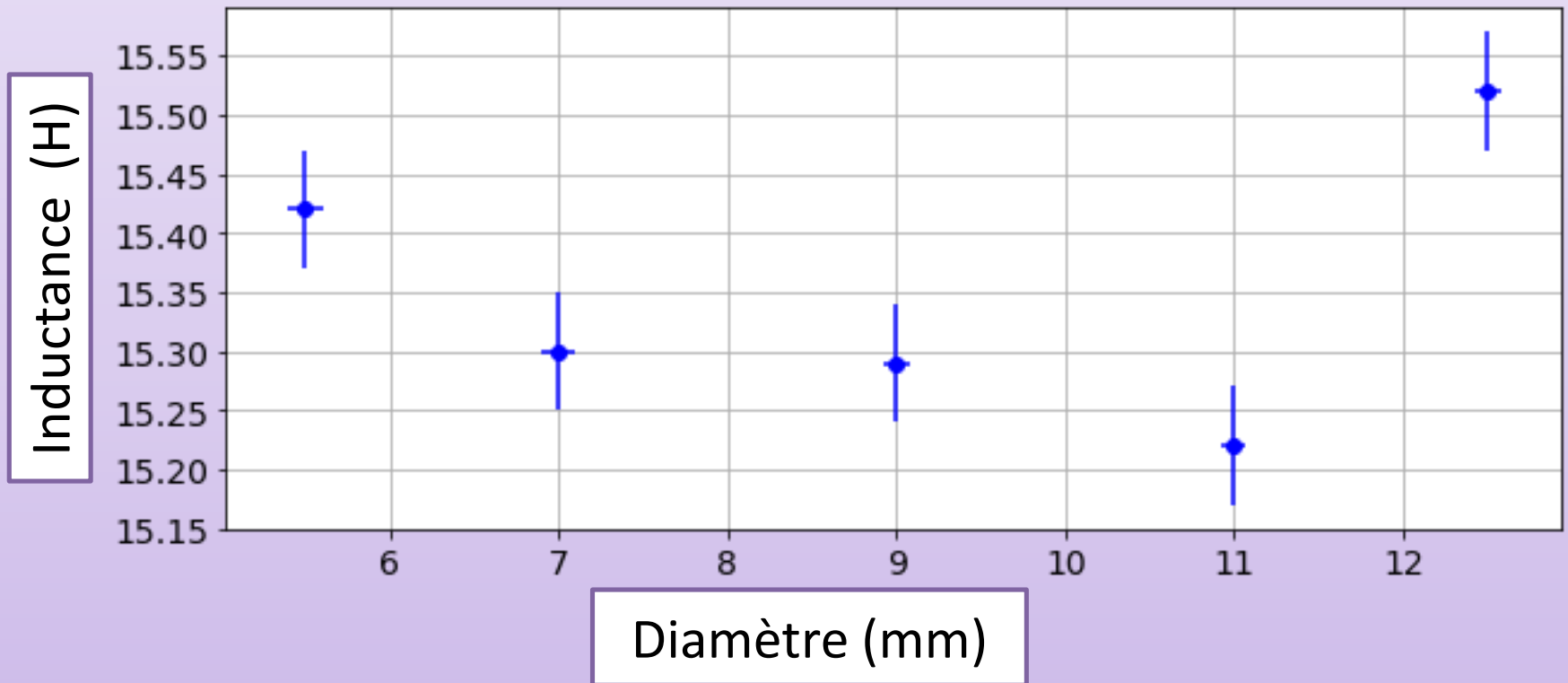
- En l'absence de défauts:
 $L = 15,97 H$
- En présence de défauts:

Diamètre du défaut d (en mm)	L- δL (en H) Plaque verticale	L- δL (en H) Plaque horizontale
5,5	15,80 \pm 0,04	15,42 \pm 0,11
7	15,88 \pm 0,02	15,30 \pm 0,10
9	15,95 \pm 0,05	15,29 \pm 0,07
11	15,89 \pm 0,04	15,22 \pm 0,07
12,5	16,04 \pm 0,05	15,52 \pm 0,08

Plaque verticale:

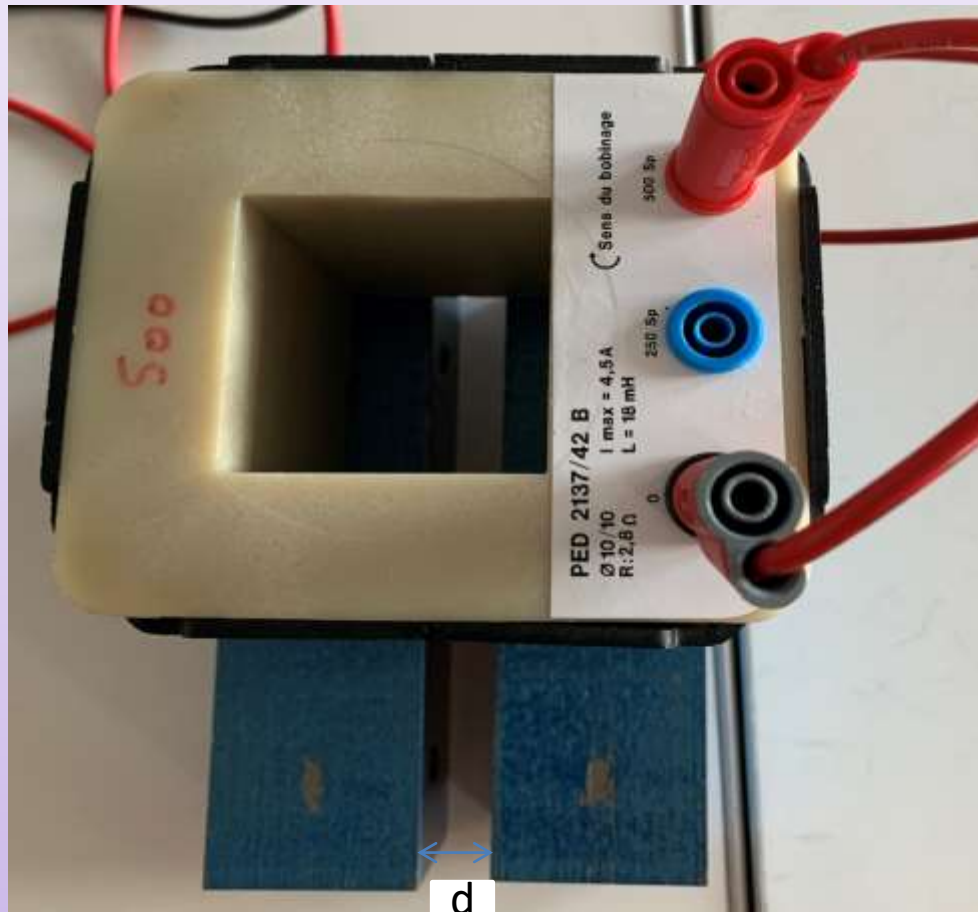


Plaque horizontale:



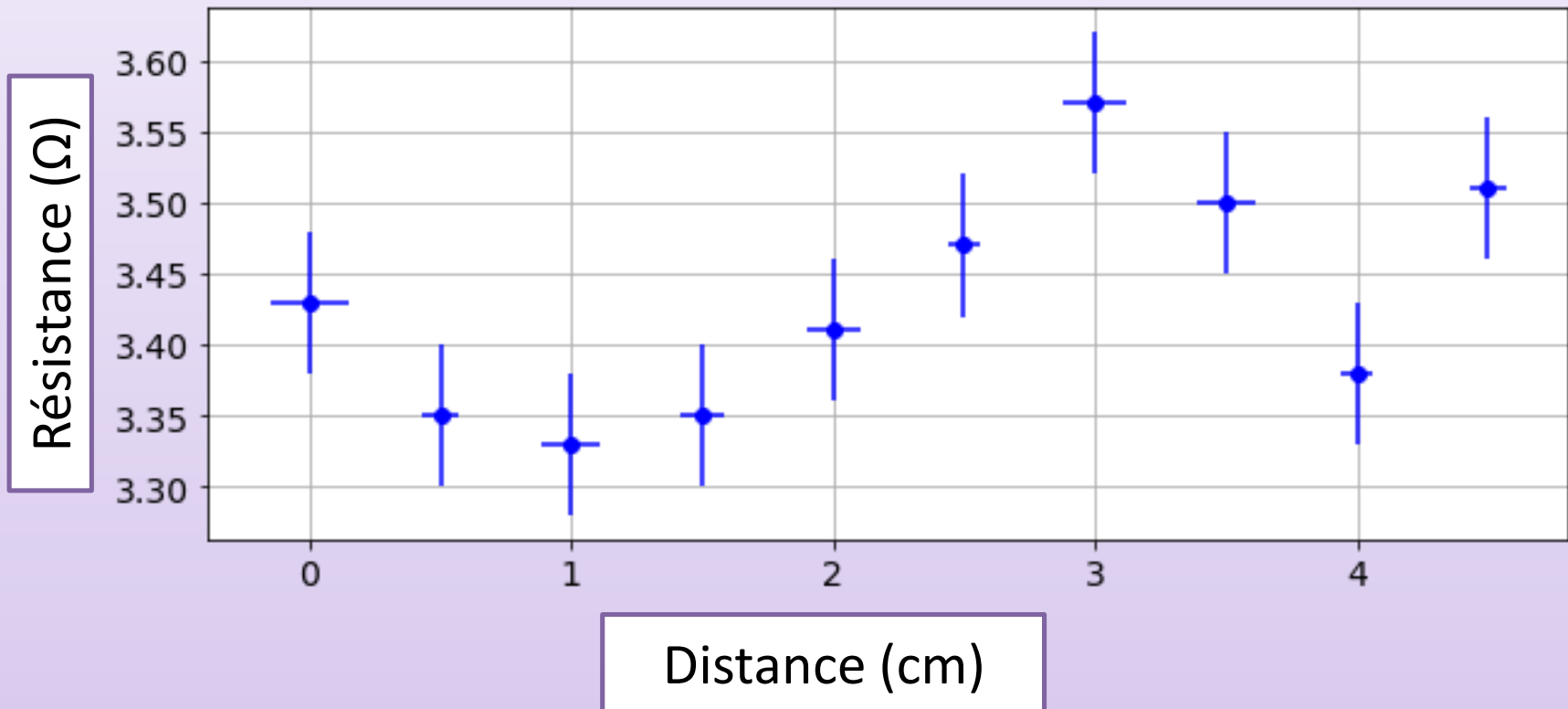
Comment augmenter la sensibilité du capteur?

On utilise le capteur sur deux noyaux de fer en les écartant d'une distance d :



Partie réelle:

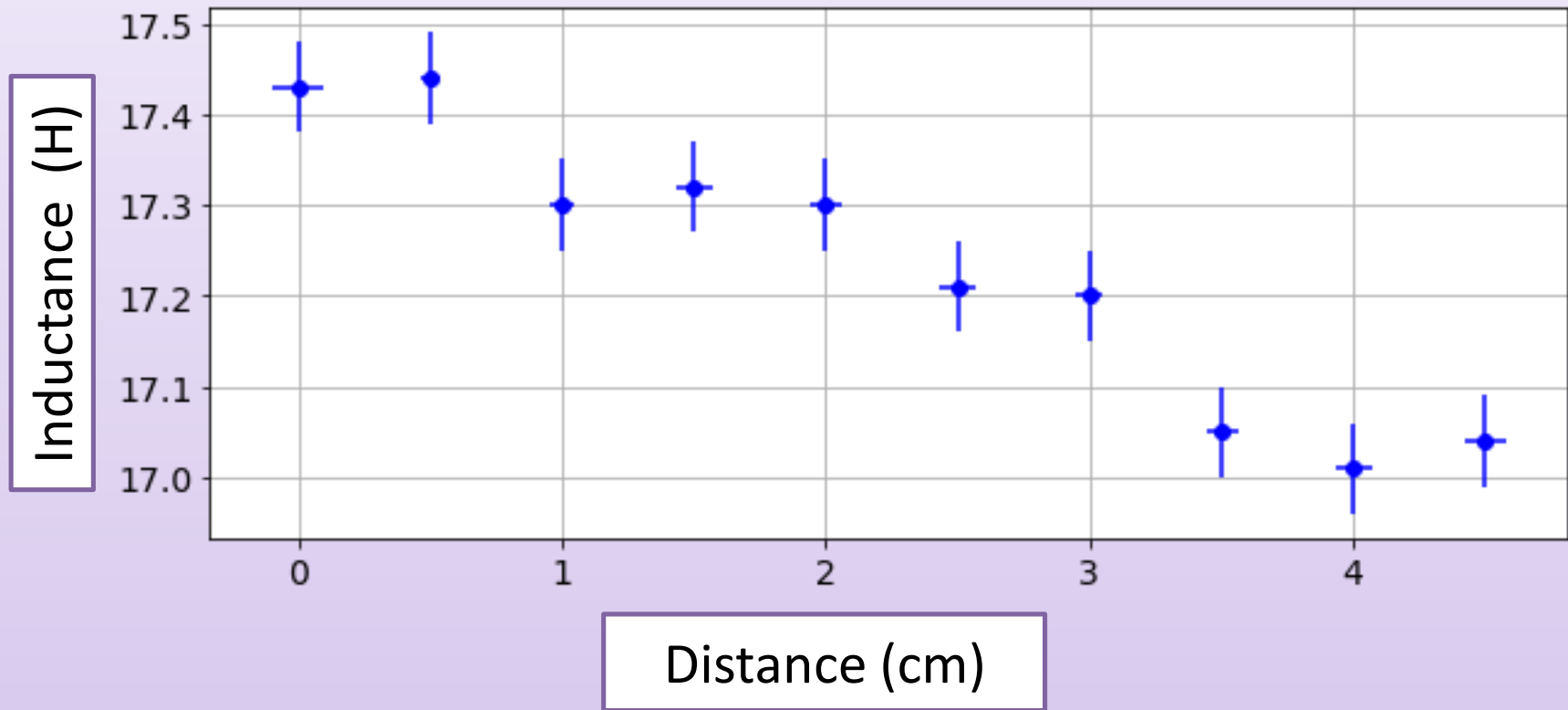
Distance d entre les deux noyaux (en cm)	R+ δR (en Ω)
0	3,43 \pm 0,15
0,5	3,35 \pm 0,07
1	3,33 \pm 0,11
1,5	3,35 \pm 0,08
2	3,41 \pm 0,10
2,5	3,47 \pm 0,06
3	3,57 \pm 0,11
3,5	3,50 \pm 0,11
4	3,38 \pm 0,06
4,5	3,51 \pm 0,07



La résistance en fonction de la distance entre les deux noyaux

Partie imaginaire:

Distance d entre les deux noyaux (en cm)	L- δ L (en H)
0	17,43 \pm 0,10
0,5	17,44 \pm 0,04
1	17,30 \pm 0,05
1,5	17,32 \pm 0,07
2	17,30 \pm 0,06
2,5	17,21 \pm 0,07
3	17,20 \pm 0,05
3,5	17,05 \pm 0,06
4	17,01 \pm 0,07
4,5	17,04 \pm 0,08

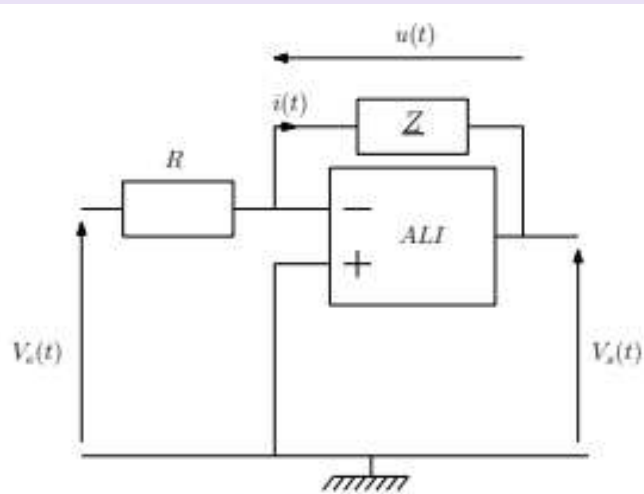


L'inductance en fonction de la distance entre les deux noyaux

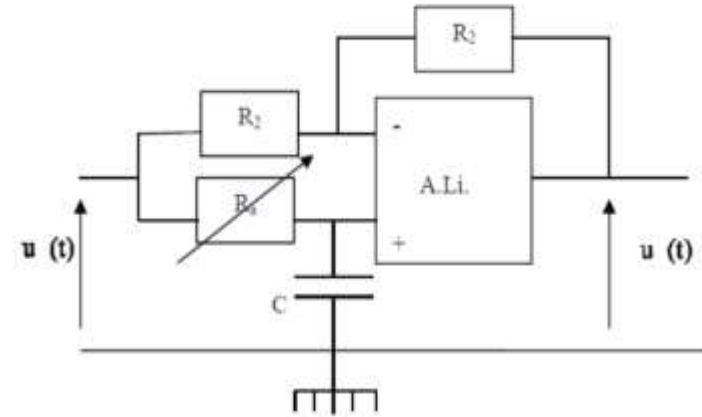
Conclusion

Merci pour votre attention

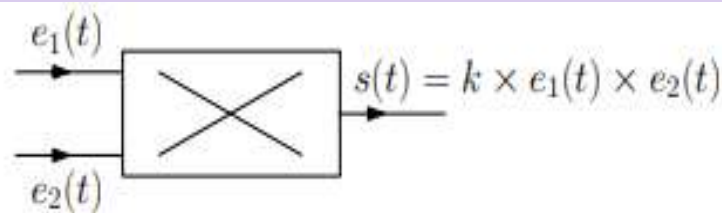
Annexe 1: circuits électriques



Convertisseur courant-tension



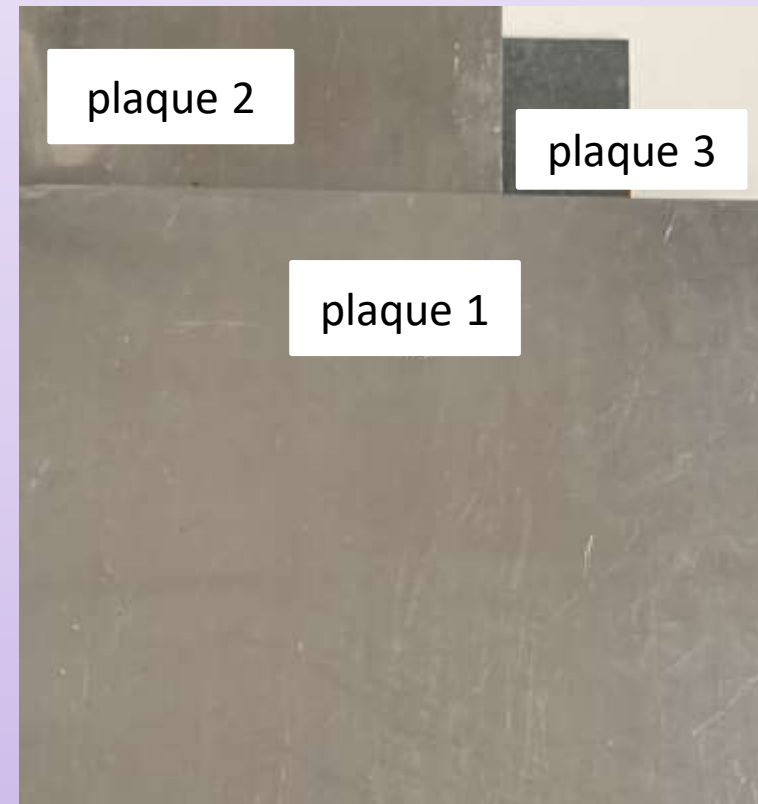
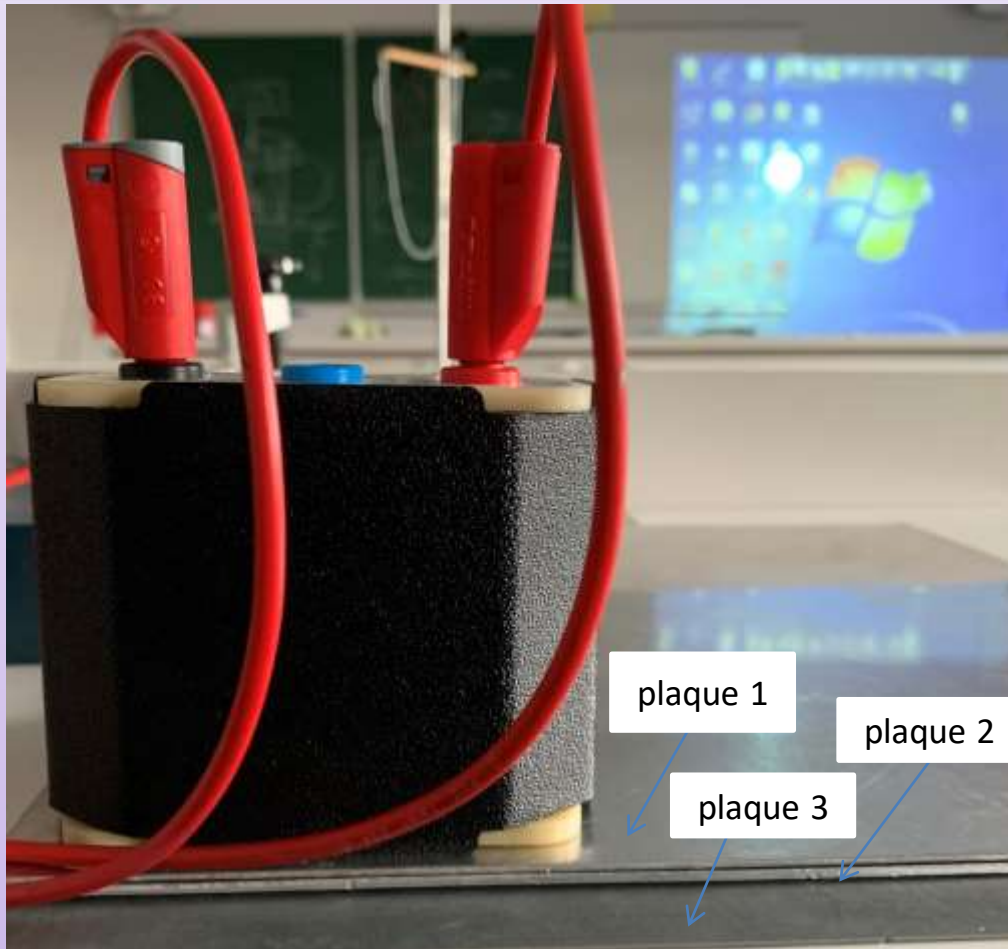
Circuit déphaseur



Fonctionnement d'un multiplieur

Annexe 2: étude de l'influence de la profondeur

Mesure de $\text{Re}(\underline{Z})$ et $\text{Im}(\underline{Z})$ en changeant la position de la plaque avec défaut (plaque 2):



• Sur la partie réelle de \underline{Z} :

Re(\underline{Z}) avec plaques sans défaut (en Ω)	Re(\underline{Z}) avec plaque 2 en dernière position (en Ω)
2,01	$1,96 \pm 0,06$

Re(\underline{Z}) avec plaques sans défaut (en Ω)	Re(\underline{Z}) avec plaque 2 en deuxième position (en Ω)
2,51	$2,49 \pm 0,06$

• Sur la partie imaginaire de \underline{Z} :

$\text{Im}(\underline{Z})$ avec plaques sans défaut (en H)	$\text{Im}(\underline{Z})$ avec une plaque 2 en dernière position (en H)
16,19	$16,09 \pm 0,03$

$\text{Im}(\underline{Z})$ avec plaques sans défaut (en H)	$\text{Im}(\underline{Z})$ avec plaque 2 en deuxième position (en H)
15,96	$15,71 \pm 0,08$

Annexe 3: code python pour le traçage des courbes

```
1 from matplotlib import pyplot as plt
2 import numpy as np
3 x=np.array([0,0.5,1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,4.5])#x est la distance ou le diamètre
4 y=np.array([3.43,3.35,3.33,3.35,3.41,3.47,3.57,3.50,3.38,3.51])#y est soit R ou L
5 xerr=np.array([0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05,0.05])#xerr est l'incertitude
6 yerr=np.array([0.15,0.07,0.11,0.08,0.10,0.06,0.12,0.11,0.06,0.07])#yerr est l'incertitude
7 fig,ax=plt.subplots(figsize=(10,4))
8 plt.errorbar(x, y,xerr, yerr,fmt='ob', label='both limits (default)')
9 ax.set_xlabel('Distance (cm)',fontsize='18')
10 ax.set_ylabel('Resistance ( $\Omega$ )',fontsize='18')
11 plt.xticks(fontsize='14')
12 plt.yticks(fontsize='14')
13 ax.plot()
14 ax.grid()
```

Bibliographie:

- [1] Frédéric Thollon : Conception et optimisation de capteurs à courants de Foucault pour la détection de défauts profonds dans des matériaux amagnétiques :
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00140036/document>