

# Thème I. Ondes et Signaux (Induction)

## TP n°23 Induction & Mesure de champ magnétique

Vendredi 6 juin 2025

### Capacité exigibles du programme :

- ✓ (Chapitre n°24) Mesurer la valeur de l'inductance mutuelle entre deux bobines et étudier l'influence de la géométrie.
- ✓ Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A).
- ✓ Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
- ✓ Simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.
- ✓ Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
- ✓ Comparer deux valeurs dont les incertitudes-types sont connues à l'aide de leur écart normalisé.

### Matériel

- Boussole des tangentes (4 exemplaires) :
  - Montage Boussole des tangentes,
  - Multimètre,
  - Alimentation continue délivrant 0A à 5A,
- Inductance mutuelle (4 exemplaires) :
  - deux bobines,
  - GBF,
  - oscilloscope,
  - deux mutlimètres,
  - une résistance 100  $\Omega$ ,
  - un LC-mètre,
  - carcasses ferromagnétiques feuilletées/non feuilletées.

### Données

Perméabilité absolue du vide :  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$

## I Mesure du champ magnétique terrestre horizontal : la boussole des tangentes

Le champ magnétique terrestre est produit par des mouvements de convection dans le noyau liquide terrestre. Il est essentiel à la vie car il protège les êtres vivants des particules de haute-énergie émises depuis le Soleil.

### Objectif

Mesurer la composante horizontale du champ magnétique terrestre, à l'aide d'une boussole des tangentes.

La boussole des tangentes est un dispositif constitué de grandes bobines plates, verticale, comportant  $N$  spires (pouvant être modifié) de différents rayons  $R$ , au centre de laquelle est placée une aiguille aimantée sur un support horizontal, car un rapporteur.

Le champ magnétique créé par une bobine plate est perpendiculaire au plan de la bobine et a pour intensité :

$$B_b = \mu_0 \frac{NI}{2R}$$

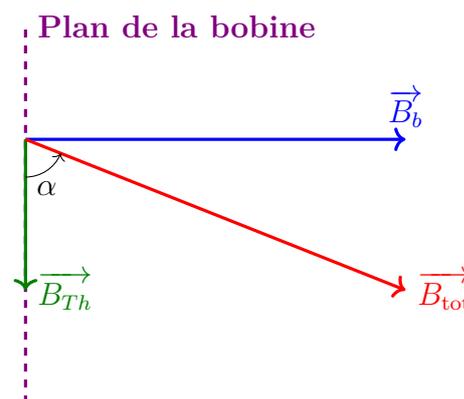
où  $I$  est l'intensité du courant dans la bobine.



On note  $\vec{B}_{Th}$  le champ magnétique terrestre horizontal et  $\vec{B}_b$  le champ magnétique créé par la bobine lorsqu'elle est alimentée.

Le champ résultant des champs terrestre et créé par la bobine est noté  $\vec{B}_r$ .

La méthode consiste à mesurer l'angle  $\alpha$  entre le champ  $\vec{B}_{Th}$  et le champ résultant  $\vec{B}_{tot}$ .



### Questions préliminaires

- Q1. Comment s'oriente la boussole par rapport au champ magnétique dans lequel elle est plongée ?
- Q2. Comment s'oriente la boussole quand la bobine n'est pas alimentée ?
- Q3. Comment s'oriente la boussole quand la bobine est alimentée ?

### Protocole

- Q4. Proposer un **protocole expérimental précis** permettant la mesure du champ magnétique terrestre horizontal. On réfléchira à un protocole permettant de le mesurer le plus précisément possible compte tenu du matériel à disposition.

### Expérience

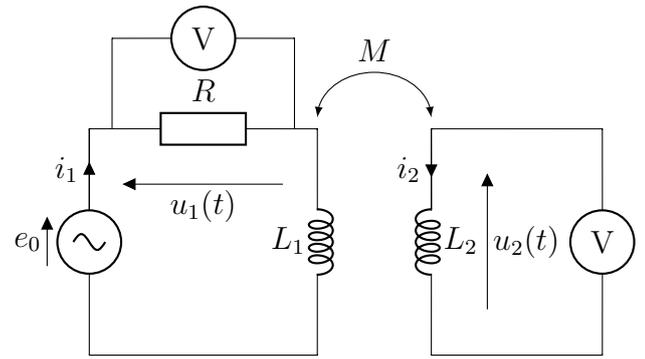
- Mettre en œuvre le protocole.
- Réaliser les mesures nécessaires.

### Exploitation et conclusion

- Q5. Exploiter les mesures effectuées pour en déduire la valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre, avec son incertitude (cf poly incertitudes - §II).

## II Circuits couplés par inductance mutuelle

Afin de mesurer le coefficient d'inductance mutuelle entre deux bobines, on réalise le montage ci-dessous où la première bobine est reliée en série avec un générateur de tension sinusoïdale de fréquence  $f = 1 \text{ kHz}$  et avec une résistance  $R = 100 \Omega$ . Deux voltmètres permettent de mesurer des tensions aux bornes de la résistance et de la deuxième bobine. Les deux bobines sont face à face et en interaction magnétique.



### Questions préliminaires

Q6. Pourquoi peut-on considérer que le courant est nul à travers la deuxième bobine ?

On peut établir que (cf TD24) :  $u_2 = -M \frac{di_1}{dt}$  et  $u_1 = Ri_1(t)$ . Alors  $u_2 = -\frac{M}{R} \frac{du_1}{dt}$ .

En régime sinusoïdal forcé, on utilise la notation complexe :  $\underline{u}_1 = U_1 e^{j(\omega t + \varphi_1)}$  et  $\underline{u}_2 = U_2 e^{j(\omega t + \varphi_2)}$ .

On obtient :  $U_2 = \frac{|M|}{R} \omega U_1$

Q7. Que peut-on mesurer à l'aide du multimètre pour accéder aux amplitudes ? En utilisant quel mode ?

### Protocole

Q8. En déduire un protocole détaillé pour mesurer la valeur de  $M$ .

### Expérience

Mettre en œuvre le protocole.

### Exploitation et conclusion

Q9. Exploiter les mesures effectuées pour en déduire la valeur du coefficient d'inductance mutuelle.

Q10. Déterminer l'incertitude-type sur la valeur de  $M$ . Pour cela, utiliser les notices constructeurs du multimètre (sur les mesures de  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $R$ ) et la méthode de Monte-Carlo (cf poly incertitudes - §III.3 + poly boîte à outils python).

### Expérience : Influence du noyau de fer

Recommencer la mesure, cette fois en plaçant les deux bobines sur un noyau de fer.

Q11. Commenter.

### Coefficient de couplage

Pour deux circuits en interaction magnétique, on définit le coefficient de couplage  $k = \frac{|M|}{\sqrt{L_1 L_2}}$ .

Q12. Calculer le coefficient de couplage des deux bobines, sans et avec le noyau magnétique.

### Expérience : Influence de la distance

Étudier l'influence de la distance entre les deux bobines sur le coefficient d'inductance mutuelle.

Représenter le graphe de l'inductance mutuelle en fonction de la distance entre les deux bobines.

Q13. Commenter.