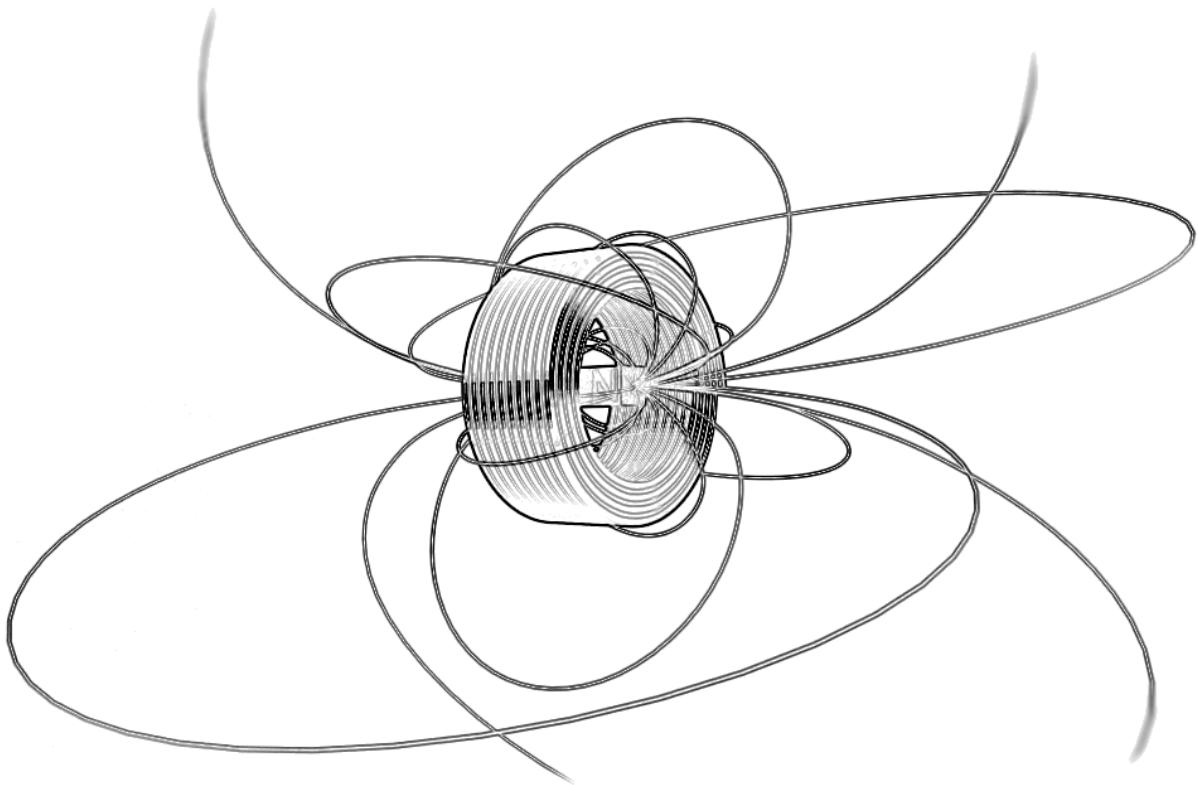


Projet de Physique P6
STPI/P6/2013 – 29

**Réalisation d'un film reproduisant les expériences
de Faraday**



Etudiants :

Marjolaine BRUN

Matthieu FLEGNY

Romain GOUTEUX

Florian CHAVAGNAT

Anastasia GOUSSAIRE

Sarah MAUCORPS

Enseignant-responsable du projet :

Diane DUVAL

Date de remise du rapport : 17/06/2013

Référence du projet : STPI/P6/2013 – 29

Intitulé du projet : **Réalisation d'un film reproduisant les expériences de Faraday**

Type de projet : **expérimental, bibliographique**

Objectifs du projet :

Nous avons pour but de réaliser les expériences les plus connues de Faraday notamment celles qui se réfèrent au courant induit et à l'induction électromagnétique.

Puis, nous devons filmer ces expériences dans l'optique de réaliser une vidéo ludique et compréhensible pour tous.

Mots-clefs du projet :

Faraday, induction, électromagnétisme, film

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **inexistant**

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE ROUEN

Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur

BP 8 – avenue de l'Université - 76801 Saint Etienne du Rouvray - tél : +33(0) 2 32 95 66 21 -

fax : +33(0) 2 32 95 66 31

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	6
2.	Répartition des tâches.....	7
3.	Historique	8
3.1.	Ses inspirations	8
3.2.	Ses premières découvertes : la rotation continue.....	9
3.3.	1831 : La découverte du phénomène d'induction électromagnétique.....	10
4.	Influence de paramètres sur le courant induit	12
4.1.	Sens de l'aimant.....	13
4.1.1.	Résultats expérimentaux.....	13
4.1.2.	Explication des observations	13
4.2.	Force de l'aimant	14
4.2.1.	Résultats expérimentaux.....	14
4.2.2.	Explication physique	14
4.3.	Superficie de la bobine	14
4.3.1.	Résultats expérimentaux.....	14
4.3.2.	Explication physique	14
4.4.	Inclinaison du banc	15
4.4.1.	Résultats expérimentaux.....	15
4.4.2.	Explication physique	15
4.5.	Nombre de spires	16
4.5.1.	Résultats expérimentaux.....	16
4.5.2.	Explication physique	16
4.6.	Vitesse de l'aimant.....	16
4.6.1.	Résultats expérimentaux.....	16
4.6.2.	Explication physique	16
4.7.	Freinage par induction	17
4.7.1.	Théorie.....	17
4.7.2.	Explications et résultats.....	20
4.7.3.	Conclusion.....	22
4.8.	Réalisation de la vidéo.....	22

5.	Conclusions et perspectives.....	24
5.1.	Conclusion générale.....	24
5.2.	Conclusions personnelles.....	24
6.	Bibliographie	26
6.1.	Livres	26
6.2.	Sites.....	26
7.	Annexes	27
7.1.	Schéma de montages.....	27
7.2.	Organigramme	28
7.3.	Courbe.....	29



1. INTRODUCTION

Notre projet consistait à effectuer un film retraçant les expériences de Faraday sur lesquelles reposent les lois de l'induction électromagnétique.

Pour ce faire, nous nous sommes référés aux cours d'électromagnétisme du semestre dernier et, nous nous sommes documentés sur les expériences réalisées par Faraday à son époque afin de tenter d'illustrer au mieux les résultats qu'il avait établis.

Nous avons dû effectuer différentes expériences afin de retrouver ces derniers et de les illustrer au mieux. C'est ainsi que nous avons passé plusieurs séances à tester différents paramètres tels que la taille de l'aimant, le nombre de spires de la bobine, ou encore l'inclinaison; afin de constater, si expérimentalement, nous arrivions à retrouver les résultats de Faraday. Certaines de nos expériences furent un succès mais d'autres nous ont posé plus de soucis et nous n'arrivions pas à retrouver le résultat énoncé par le physicien. Nous nous sommes demandé dans ces cas-ci, quelle pouvait être l'origine de ce "dysfonctionnement" pour le résoudre et obtenir une expérience fonctionnelle.

Afin de vous exposer au mieux notre projet, nous verrons, dans un premier temps, comment nous nous sommes organisés pour répartir le travail au sein du groupe. Ensuite, nous vous exposerons un historique de la vie de Faraday ainsi que ses expériences qui ont conduites à la découverte du phénomène d'induction électromagnétique. Enfin, nous aborderons le travail que nous avons effectué (que ce soit les expériences en elles-mêmes ou l'aboutissement final du montage vidéo), ainsi que les résultats que nous avons obtenus à travers nos différentes manipulations.

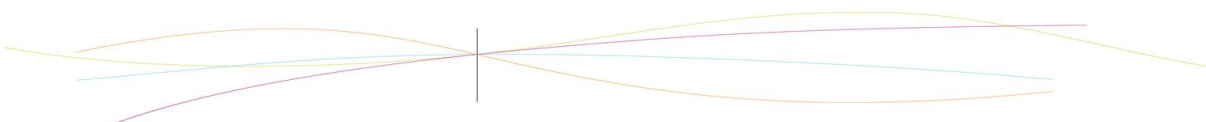


2. REPARTITION DES TACHES

Pour réaliser notre film reproduisant les expériences de Faraday, nous avons, dans un premier temps, étudié les différentes expériences que nous pouvions réaliser et filmer sans trop de difficultés techniques. Pour cela, nous avons dû réaliser un banc (Cf annexes p25) qui porte l'aimant tout au long de la majorité de nos expériences, celui-ci permettant un contrôle de la vitesse de passage de l'aimant et une visibilité plus claire des expériences pour le film. Puis, il nous a fallu réfléchir à la façon la plus claire pour exposer nos résultats expérimentaux. Nous avons donc opté pour une première prise avec des diodes qui s'allument dès que le courant passe. Dans le but de montrer qu'il y a bien la création d'un courant dans la bobine lors du passage de l'aimant. Puis pour montrer les valeurs, nous avons choisi d'utiliser un ampèremètre dans le champ de vision de la caméra.

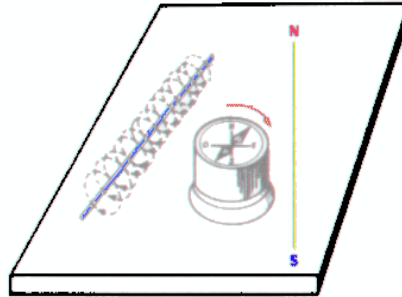
Nous nous sommes répartis les tâches (Cf annexes p26)

Cependant, devant la difficulté de certaines tâches, cette répartition a évolué. Nous avons tous participé à l'élaboration du projet en apportant nos connaissances, en faisant des recherches et en créant des objets utiles à l'aboutissement du projet, c'est-à-dire à la réalisation du film montrant les différentes expériences de Faraday sur l'induction.



3. HISTORIQUE

Michael Faraday (1791-1867) est un physicien et chimiste qui a consacré la majorité de ses recherches sur l'électricité et les champs magnétiques. Dans le domaine de la chimie, il a fait de grandes avancées en ce qui concerne l'électrolyse, ce qui a permis de réaliser des alliages métalliques permettant d'améliorer la résistance du fer. Par la suite, il s'est tourné vers la physique et plus particulièrement l'électromagnétisme.

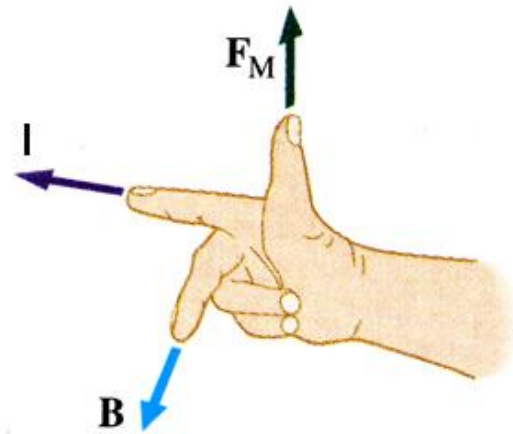
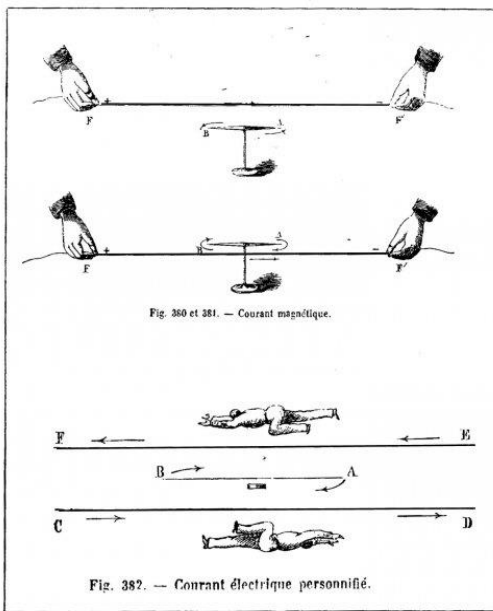


3.1. Ses inspirations

Faraday a basé ses travaux sur ceux d'Oersted et d'Ampère. Tout d'abord, Oersted a remarqué en 1820 une interaction entre électricité et magnétisme en approchant une boussole et un fil de cuivre dans lequel circulait un courant électrique. Toutefois, Oersted n'a pas réussi à dégager d'explication physique ni de relation mathématiques de ce phénomène.

Ampère a pris connaissance de cette découverte. Par la suite, il a remarqué que deux fils parallèles s'attirent quand ils sont parcourus par un courant de même sens et se repoussent quand ils sont parcourus par des courants opposés. C'est après cela qu'il a décidé de donner au fil la forme d'un cylindre qu'il a nommé solénoïde. En plaçant un noyau de fer doux au centre de celui-ci, il a donc créé l'électroaimant. Il a tiré de ceci les théories du « bonhomme d'Ampère » et de la « main droite » illustrées ci-dessous.

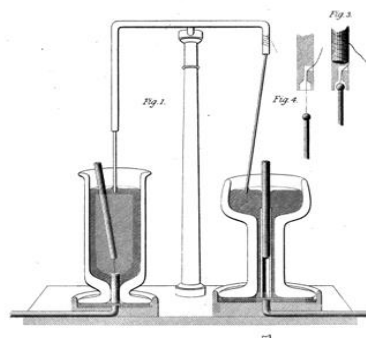




C'est à partir de ces découvertes que ses recherches concernant l'électromagnétisme ont commencé. Il a découvert un lien entre champ magnétique et électrique, permettant ainsi de transposer de l'énergie magnétique en travail mécanique.

3.2. Ses premières découvertes : la rotation continue

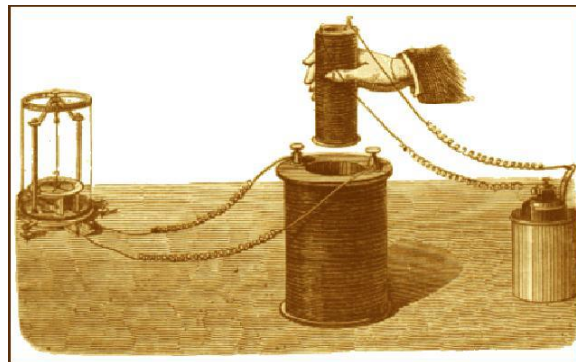
Suite aux travaux d'Oersted et d'Ampère, Faraday a mis au point en 1821 un système qui fonctionne en rotation continue. Ce système composé d'un aimant, d'une tige métallique et d'une cuve de mercure permet d'observer la rotation continue de l'aimant autour de la tige (ou de la tige autour de l'aimant selon les montages). L'image suivante représente les deux cas de figure. A gauche, l'aimant tourne autour de la tige, et à droite, nous avons l'inverse.



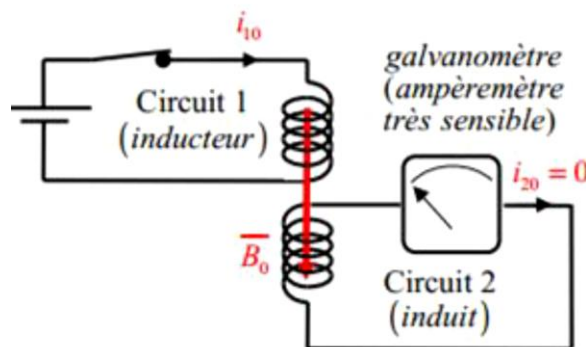
Cette expérience attira la curiosité d'Ampère. Suite à cela, les deux physiciens travaillèrent sur ce sujet, partageant ainsi leurs impressions et confrontant leurs théories. Ampère voyait en ce procédé un moyen de produire de la force vive c'est à dire de l'énergie cinétique. Ce long débat aboutit à la mise au point du théorème d'Ampère fondant, par la même occasion les bases de fonctionnement du moteur électrique.

3.3. 1831 : La découverte du phénomène d'induction électromagnétique

L'hypothèse de départ qui a orientée les recherches de Faraday est simple : si un fil parcouru par un courant électrique peut créer un champ magnétique, alors un champ magnétique doit pouvoir créer un courant électrique. Pour illustrer cela, Faraday a utilisé le dispositif suivant afin de mettre en évidence le phénomène d'induction électromagnétique.

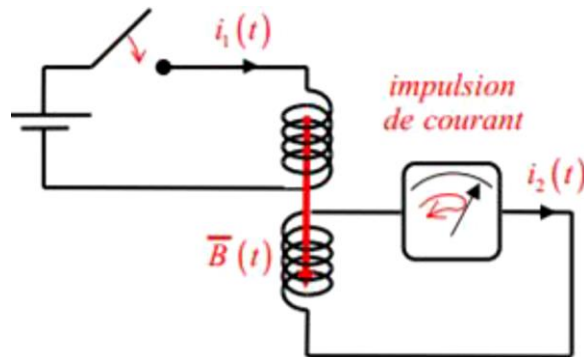


Faraday a aligné deux bobines de telle sorte que la première, reliée à un générateur, induit un courant dans la seconde qui est reliée à un galvanomètre (ampèremètre très sensible) comme illustré si après.



Le résultat de cette expérience fut le suivant : Lorsque le courant était établi dans le circuit 1, le champ magnétique permanent ainsi créé ne produisait pas de courant dans le second circuit. Il s'en est d'ailleurs assuré en vérifiant à l'aide d'un détecteur de courant à très haute densité.

Cependant, lors de la fermeture du circuit 1, c'est à dire à l'établissement du courant lorsque le champ magnétique est en train de s'établir, il a remarqué qu'il apparaissait une impulsion de courant dans le circuit 2, Il en conclut alors que le phénomène électrique créée était dû à la variation de champ magnétique et non pas au champ magnétique lui-même.

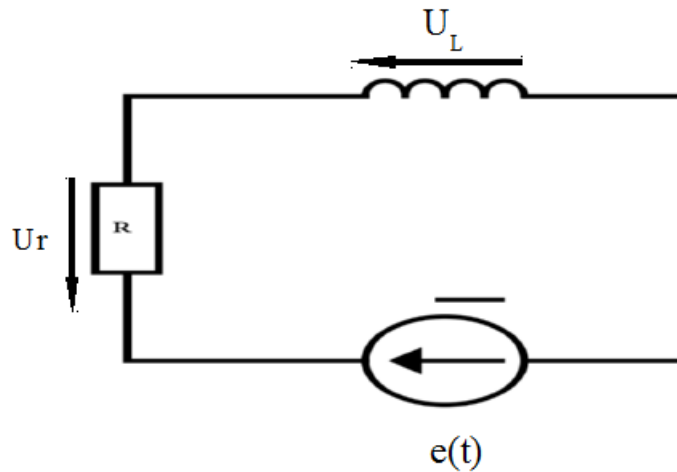


De plus, Faraday a remarqué qu'une inversion du sens du courant inducteur (qui inverse par la même occasion le sens du champ magnétique) provoque une inversion du sens de l'impulsion de courant dans le circuit 2. En définitive, il établit qu'un aimant immobile n'induit aucun courant dans le circuit électrique tandis que l'approche d'un aimant, crée lui, un champ variable qui induit un courant dans le circuit électrique.

On doit plusieurs applications techniques à ces découvertes comme la dynamo, qui consiste à faire tourner rapidement un aimant à proximité d'un fil conducteur ; les transformateurs (voir transformateur de Faraday illustré ci-après) qui permettent de faire varier la tension ou l'intensité d'un courant en jouant sur le nombre de spire ou encore les moteurs électrique et les alternateurs.



4. INFLUENCE DE PARAMETRES SUR LE COURANT INDUIT



Afin de modéliser une bobine réelle reliée à une source de tension, on établit le circuit comme ci-dessus.

Loi des mailles :

$$e(t) = L \frac{di}{dt} + R \cdot i$$

Loi de Faraday : Un circuit soumis à un flux magnétique Φ (issu d'un champ magnétique \vec{B}) variable est le siège d'une force électromotrice e (mesurée en convention générateur) telle que :

$$e(t) = - \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

Soit Σ une surface immobile, de normale \vec{n} . Cette surface est traversée par un champ magnétique dont on suppose la cause extérieure. Le flux de \vec{B} à travers Σ pour une spire est :

$$\phi = \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} \, dS$$

On remarque que le champ magnétique dépend de nombreux paramètres, c'est l'influence de chacun d'entre eux sur le courant induit que nous allons étudier.



4.1. Sens de l'aimant

4.1.1. Résultats expérimentaux

Résultats expérimentaux :

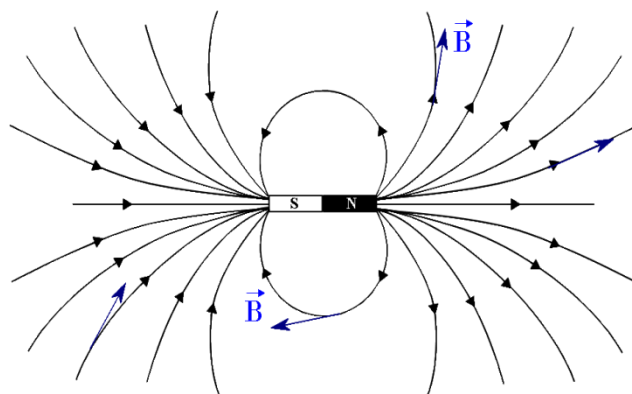
Sud en premier : 58,4 μA / -18,6 μA

Nord en premier : -47,3 μA / 13,9 μA

Conclusion expérimentale : L'intensité du courant est du même ordre de grandeur mais avec un signe opposé suivant si c'est le pôle Nord qui entre dans la bobine en premier ou le pôle Sud.

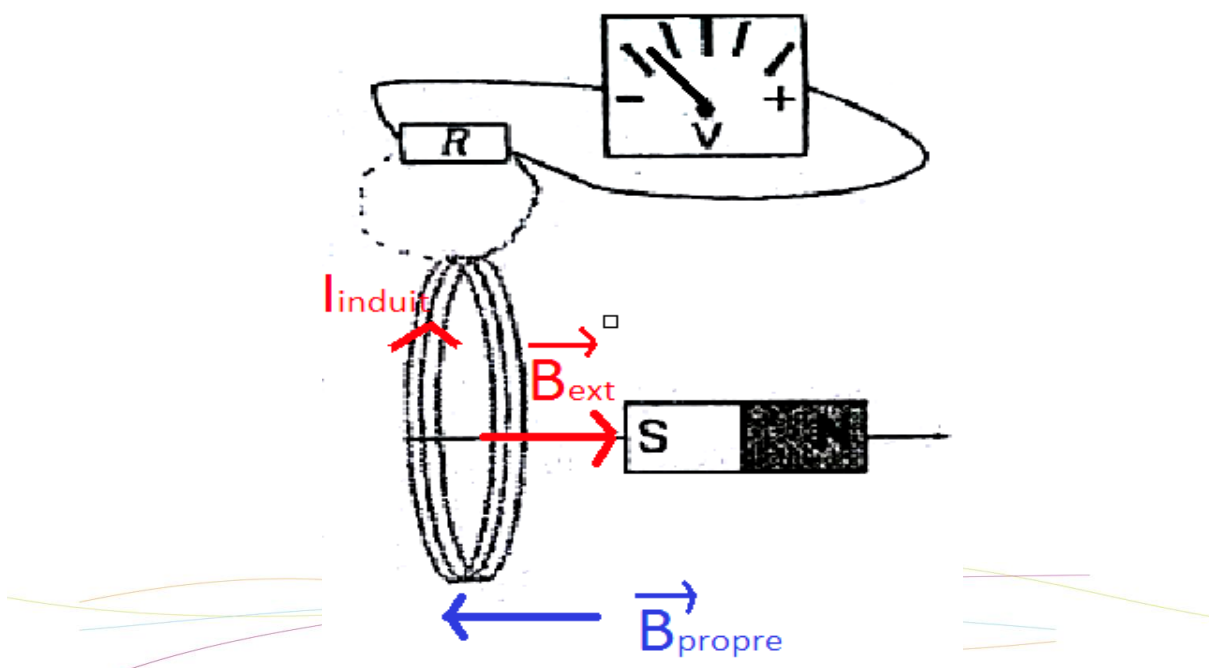
4.1.2. Explication des observations

Regardons dans un premier temps le spectre magnétique d'un aimant droit. Les champs magnétiques sont tangents aux lignes de champ.



Or d'après la loi de Lenz : « Le sens du courant induit est tel que le champ magnétique induit est opposé au champ magnétique extérieur qui est à l'origine des phénomènes d'induction. ».

Prenons le cas où le pôle Sud entre en premier dans la bobine, on aura donc la disposition suivante :



On a donc un champ magnétique induit qui est opposé au champ magnétique extérieur puis en s'aidant de la règle de la main droite, on peut mettre un sens au courant induit. Dans nos expériences, le courant induit entre dans la borne négative du voltmètre, ce qui explique le signe négatif.

Si le pôle Nord de l'aimant entre le premier dans la bobine, alors on aura le phénomène inverse.

4.2. Force de l'aimant

4.2.1. Résultats expérimentaux

Résultats expérimentaux :

petit aimant : 2,8 μA
gros aimant : 47,7 μA

Conclusion expérimentale : Un important changement de la force de l'aimant a un impact conséquent sur le courant induit.

4.2.2. Explication physique

$$\phi = \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} \, dS$$

On sait, d'après la formule que :

Or, plus la force de l'aimant est importante, plus le champ magnétique généré par celui-ci est important donc plus le flux est grand. Le flux à travers Σ est plus élevé avec le gros aimant. Par conséquent, d'après la loi de Faraday, le courant induit sera plus grand.

4.3. Superficie de la bobine

4.3.1. Résultats expérimentaux

Résultats expérimentaux :

bobine de 17 cm^2 : 35,9 μA
bobine de 56 cm^2 : 47,7 μA

Conclusion expérimentale : Plus la bobine est grande, plus le courant induit est important.

4.3.2. Explication physique

En effet, une augmentation de la surface S entraîne une augmentation du flux magnétique ϕ et par conséquent cette augmentation de flux, en appliquant la loi de Faraday puis la loi des mailles, entraîne l'augmentation du courant induit.



Remarque : Nous avons rencontré un problème du au phénomène d'auto-induction. C'est à dire que le courant auto-induit par la bobine s'opposait au courant induit par l'aimant. Plus précisément, l'auto-induction s'opposait aux variations du courant électrique qui parcourait la bobine. Dans notre cas, si la bobine était trop grande et l'aimant trop faible, le courant auto-induit était du même ordre de grandeur que le courant induit donc les résultats obtenus étaient faux.

4.4. Inclinaison du banc

4.4.1. Résultats expérimentaux



Résultats expérimentaux :

droit : 15 μA

incliné ($\theta = 12^\circ$) : 7,5 μA

Conclusion expérimentale : Lorsque que le banc est droit, on constate un courant induit plus important que lors d'une inclinaison du banc.

4.4.2. Explication physique

Si on fait le calcul du produit scalaire de l'expression :

$$\phi = \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} \, dS$$

Nous obtenons l'expression :

$$\phi = \iint_{\Sigma} B \cos\theta \, dS$$

Donc le flux magnétique ϕ est maximal quand $\cos \theta = 1$ donc quand $\theta = 0 [2\pi]$ d'où lorsque θ augmente, on observe une diminution de i .



4.5. Nombre de spires

4.5.1. Résultats expérimentaux

Résultats expérimentaux :

50 spires : 23.6 μA

100 spires : 52.3 μA

Conclusion expérimentale : Le nombre de spires a un impact direct sur le courant induit, plus il y a des spires, plus le courant est important.

4.5.2. Explication physique

Nous avons vu que pour une spire :

$$\phi = \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} \, dS$$

Donc pour N spires, nous aurons :

$$\phi_{N \text{ spires}} = N \iint_{\Sigma} \vec{B} \cdot \vec{n} \, dS$$

Et N étant une constante :

$$e(t) = -N \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

Donc d'après la loi des mailles, plus N est grand, plus le courant induit est grand.

4.6. Vitesse de l'aimant

4.6.1. Résultats expérimentaux

Résultats expérimentaux :

rapide : 39.9 μA

lent : 25.5 μA

Conclusion expérimentale : La vitesse de l'aimant qui traverse la bobine a un impact direct sur le courant induit, plus il la traverse vite, plus le courant est important.

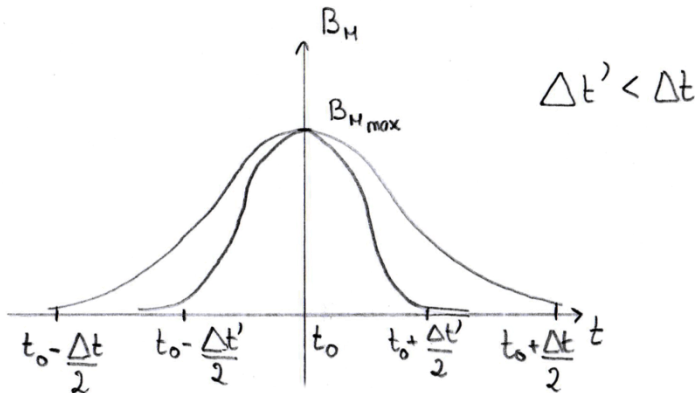
4.6.2. Explication physique

$$e(t) = -N \frac{d\phi}{dt} \quad \text{et} \quad \frac{d\phi}{dt} = \frac{d \iint \vec{B} \cdot \vec{n} \, dS}{dt}$$



Fixons notre étude à un point M se situant au sein de la bobine. La dérivé du flux de champ magnétique par rapport au temps fait donc intervenir la dérivé du champ magnétique par rapport au temps.

Or pour un point M de la bobine, $B_M(t)$ décrira une courbe similaire à celle-ci :



Lorsque la vitesse augmente, la dérivé de $B_M(t)$ par rapport au temps augmente. En effet, il est clair grâce à la courbe que si l'on augmente la vitesse donc que l'on diminue le temps de passage de l'aimant sans modifier les extremums de $B_M(t)$, $\frac{d|B_m(t)|}{dt}$ augmente.

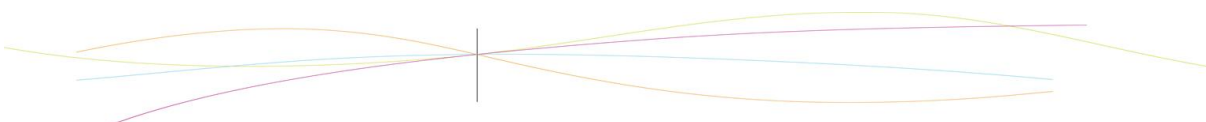
L'augmentation de la vitesse conduit à une augmentation du courant induit.

4.7. Freinage par induction

4.7.1. Théorie

Le freinage par induction utilise les forces de Laplace agissant sur le conducteur. Ces forces existent si et seulement si le conducteur est en mouvement, et plus précisément dans ce cas-ci en rotation sur lui-même. En effet, les forces de Laplace naissent lorsque le conducteur est soumis à un champ magnétique et est traversé par un courant. Ces derniers, appelés dans ce cas-ci courant de Foucault se forment lorsque dans le champ électromagnétique le conducteur se meut.

Obtention de l'équation de mouvement du solide de masse m :



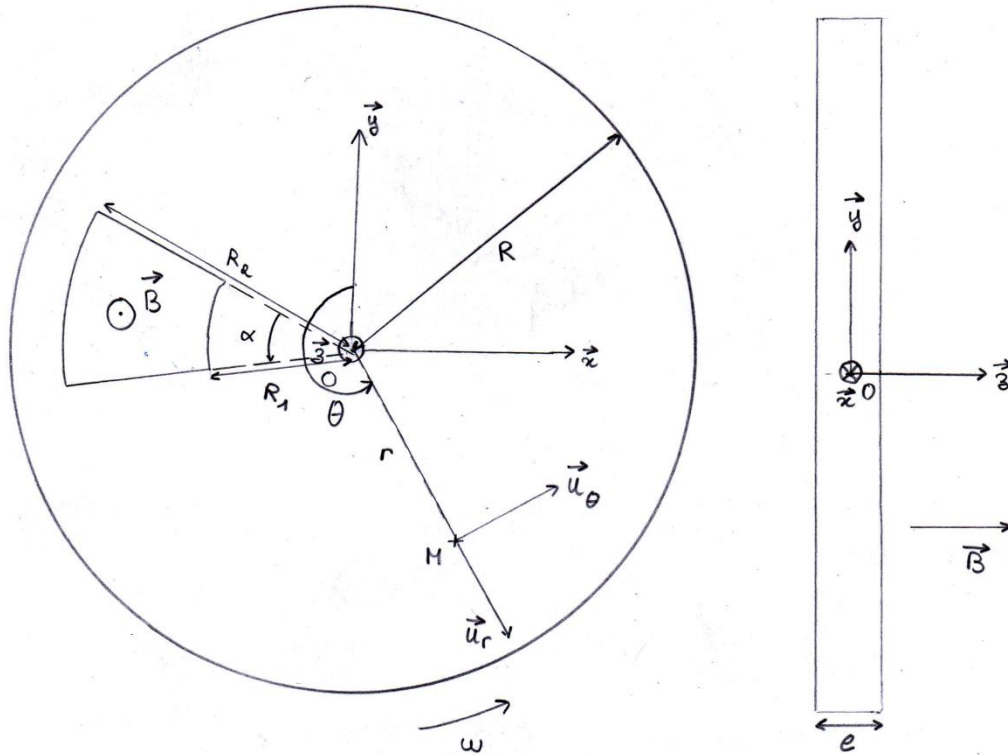


Schéma du système

La vitesse du solide entraîne grâce au champ magnétique le traversant un champ électromoteur \vec{E}_m tel que :

$$\vec{E}_m = \vec{v} \wedge \vec{B} \text{ or } \vec{B} = B\vec{u}_z$$

De plus la vitesse \vec{v} d'un point M tel que $\vec{OM} = r\vec{u}_r$ en coordonnées cylindriques car on a la relation :

$$\vec{v} = \vec{\omega} \wedge \vec{OM} \text{ ce qui nous donne } \vec{v} = \omega\vec{u}_z \wedge r\vec{u}_r = r\omega\vec{u}_\theta$$

On en déduit donc le champ électromoteur \vec{E}_m : $\vec{E}_m = r\omega\vec{u}_\theta \wedge B\vec{u}_z = r\omega B\vec{u}_r$

Étant soumis à un champ électromoteur variable et à un champ magnétique, des forces de Laplace agissent sur le solide. La force de Laplace est décrite par la formule suivante avec $d^3\tau$ un volume élémentaire du conducteur autour du point M et \vec{j} le vecteur densité de courant :

$$d^3\vec{F}_{Laplace} = \vec{j}d^3\tau \wedge \vec{B}$$



Or d'après la loi d'Ohm locale, on a $\vec{j} = \sigma \vec{E} m$ avec σ la conductivité électrique du conducteur.

$$d^3 \vec{F}_{Laplace} = \sigma \vec{E} m d^3 \tau \wedge \vec{B} = \sigma E m d^3 \tau \vec{u}_r \wedge B \vec{u}_z = -\sigma \omega r B^2 d\tau \vec{u}_\theta$$

Il est important de remarquer que force est dirigée dans le sens contraire au vecteur vitesse pour un point M donnée du conducteur ce qui traduit bien que la force est résistive et non motrice.

On peut donc calculer le moment en O par rapport à l'axe $O\vec{u}_z$ de la force de Laplace s'exerçant sur un volume élémentaire $d^3 \tau$ autour de M :

$$d^3 \vec{M}_O(d^3 \vec{F}_{Laplace}) = \vec{OM} \wedge d^3 \vec{F}_{Laplace} \text{ d'où } d^3 \vec{M}_O(d^3 \vec{F}_{Laplace}) = -\sigma \omega r^2 B^2 d^3 \tau \vec{u}_z$$

En coordonnées cylindriques $d^3 \tau = r d\theta dr dz$, on peut donc intégrer $d^3 \vec{M}_O(d^3 \vec{F}_{Laplace})$:

$$\vec{M}_O(\vec{F}_{Laplace}) = \iiint d^3 \vec{M}_O(d^3 \vec{F}_{Laplace}) = A \iiint r^2 d^3 \tau = A \iiint r^3 d\theta dr dz \vec{u}_z \text{ avec } A = -\sigma \omega B^2$$

On approxime la volume du conducteur soumis au champ magnétique comme étant un secteur du cylindre défini R_1, R_2, α , et son épaisseur e .

$$\vec{M}_O(\vec{F}_{Laplace}) = A \int_{R_1}^{R_2} r^3 dr \int_0^\alpha d\theta \int_{-e/2}^{e/2} dz = \frac{(Ae\alpha)}{4} (R_2^4 - R_1^4) \text{ En modifiant un peu les constantes, on simplifie en } \vec{M}_O(\vec{F}_{Laplace}) = C \omega \vec{u}_z \text{ avec } C = -\frac{1}{4} \sigma B^2 e \alpha (R_2^4 - R_1^4)$$

On applique le théorème du moment cinétique : $J \cdot \frac{(d\vec{\omega})}{(dt)} = \vec{M}_O(\vec{F}_{Laplace})$ avec $J = \frac{1}{2} m R^2$

$$J \cdot \frac{(d\vec{\omega})}{(dt)} = \vec{M}_O(\vec{F}_{Laplace}) \text{ d'où } \dot{\omega} + \frac{C}{J} \omega = 0$$

En résolvant cette équation différentielle du premier ordre, on obtient :

$$\omega(t) = \omega(t=0) e^{\left(\frac{C}{J} t\right)} = \omega(t=0) e^{\left(\frac{-1}{(2mR^2)} \sigma B^2 e \alpha (R_2^4 - R_1^4) t\right)}$$

De ces équations théoriques on peut alors voir que le freinage par induction ne permet pas l'immobilisation du conducteur puisque la force de Laplace dépend de la vitesse du solide.



4.7.2. Explications et résultats

4.7.2.1. Protocole expérimental

On cherche dans cette expérience à mettre en évidence les forces de Laplace et à savoir si elles peuvent constituer une source de freinage pour un solide en mouvement. Le dispositif expérimental est constitué d'une roue en cuivre reliée à un moteur à courant continu par une courroie. Le tout est maintenu sur un bâti rigide.

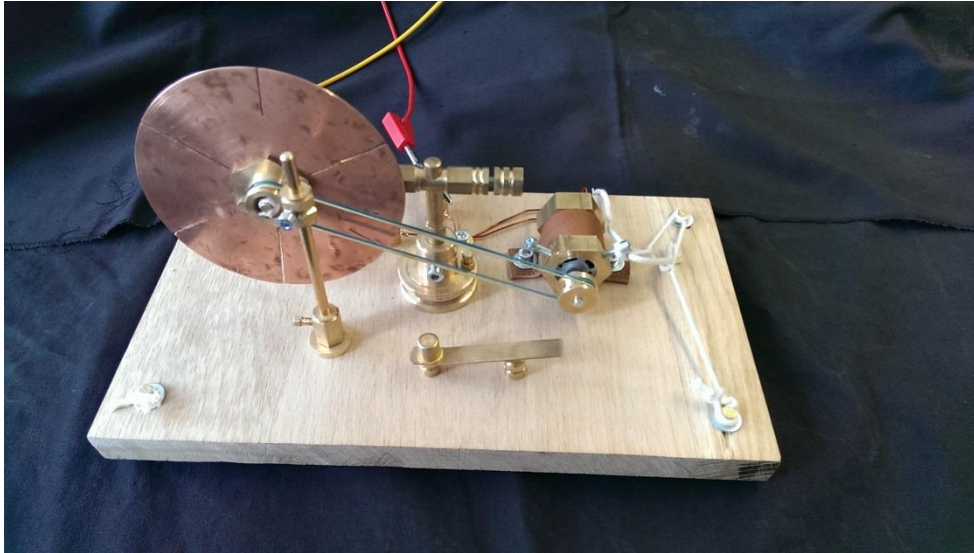


Photo du montage

Le moteur à courant continu permet de mettre en rotation la roue dans une première phase de l'expérience. Dans la seconde phase de l'expérience, le moteur agit en génératrice : la tension à ses bornes est proportionnelle à sa vitesse de rotation qui est elle-même proportionnelle à la vitesse de la roue.

Afin de mettre en évidence ces forces de freinage on réalise deux tests. Dans les deux tests, la roue est entraînée jusqu'à une vitesse voulue dans un régime quasi permanent. A partir de là, on commence un test de freinage, la source de courant n'alimente plus le moteur.

Dans un premier test, la roue est soumise aux forces de frottement notées f lié au contact entre l'axe du bâti et celui de la roue ainsi que la force de freinage liée au moteur électrique qui constitue un frein électrodynamique.

Dans un second test, un aimant en U est placé autour de la roue en cuivre lorsque le moteur n'est plus alimenté. La roue est donc soumise aux mêmes forces que dans le premier test mais aussi aux forces de Laplace.

Durant les tests de freinage, une acquisition de la tension aux bornes du moteur est réalisée par ordinateur. La comparaison des deux courbes permet donc d'identifier d'éventuels efforts de freinage agissant sur la roue.

4.7.2.2. Observations expérimentales

Dans cette partie, il est nécessaire de se référer au graphique en partie 7.3 page 29. Après avoir observé les résultats de plusieurs essais de freinage et avoir identifié la tendance, on effectue l'acquisition d'une paire de tests de freinage. La courbe T1 dessinée en bleu représente



les variations de la tension aux bornes de la génératrice en fonction du temps lors d'un freinage de la roue sans aimant. La courbe T2 en noir donne les variations de tension aux bornes de la génératrice lors d'un freinage avec l'aimant.

Lors du freinage sans aimant, le moteur n'est plus alimenté à $t > 0,4$ seconde. On observe alors une décroissance de la tension $T1(t)$ qui s'étale sur près de 7 secondes passant d'environ 0,75 V à 0 Volts. La zone correspondant aux observations est la zone 3.

Pendant le freinage avec aimant, l'alimentation du moteur est coupée à $t > 0,2$ seconde. L'aimant est placé au niveau de la roue à environ 1"1 seconde depuis le début de l'expérience. Dans l'intervalle de temps repéré par l'indice 1 sur le graphe, la décroissance est semblable à la décroissance de la tension $T1(t)$ durant la même période. Cependant, après la mise en place de l'aimant, la tension $T2(t)$ décroît relativement rapidement durant l'intervalle de temps repéré par l'indice 2. La tension atteint 0 V 2,3 secondes après le début de l'expérience.

4.7.2.3. Analyses

Afin d'étudier ces courbes, il est nécessaire de comparer ce qui est comparable. Pour les besoins de l'expérience, l'aimant n'est pas présent dès le début du test de freinage dans l'acquisition de la courbe T2. Ses effets s'observent seulement 0"9 seconde après le début du freinage. On peut donc comparer la courbe T2 à $t > t2$ avec $t2 = 1,1$ seconde avec la courbe T1 à $t > t1$ avec $t1 = 1,3$ secondes. Les valeurs de $t1$ et de $t2$ constituent les origines relatives des courbes respectives T1 et T2 en abscisse.

Dans la première expérience à $t = t1$ et dans la seconde expérience à $t = t2$, la vitesse de rotation de la roue est quasiment identique, autrement dit : $T1 (t1) = T2 (t2)$

Récapitulatif des données acquises	Origines relatives	Durée du freinage à partir des origines relatives	Écart relatif par rapport au freinage sans aimant
Freinage sans aimant	$t1 = 1$ secondes 3	5 secondes 7	0,00%
Freinage avec aimant	$t2 = 1$ secondes 1	1 secondes 2	78,00%

La durée de freinage est presque divisée par 5 par la seule présence de l'aimant. A partir de ces temps respectifs, il est clair que la présence de l'aimant et plus précisément d'un champ magnétique traversant le disque de cuivre influe sur sa décélération. On peut donc en déduire qu'il y a bien freinage par induction.

4.7.2.4. Critiques

Plusieurs points viennent perturber l'expérience et font que les résultats expérimentaux sont à prendre aux incertitudes près.

Tout d'abord, les incertitudes sur les mesures proviennent de la transmission qui est utilisé entre la roue et l'axe du moteur électrique. En effet la courroie de transmission est un élastique qui a tendance à se déformer et ainsi faire perdre une partie de l'énergie par le moteur. Il engendre de plus des perturbations visibles notamment vers la fin du freinage qui sont visibles



par des oscillations plus amples. Enfin celui-ci a tendance à se détendre dans le temps et ainsi faire varier la quantité d'effort transmis entre la roue et le moteur.

Lors de l'expérience l'aimant est placé manuellement et le temps de le placer est assez grand devant le temps de freinage qui en résulte. Un système d'électroaimant permettrait de passer à ce problème et de créer un champ magnétique sur la surface du disque désirée quasiment instantanément.

La vitesse initiale de la roue et les méthodes d'acquisition des données ne permettent pas de bien identifier le fait que l'effort de freinage permis par l'aimant diminue avec la vitesse.

Enfin la roue fabriquée en assemblant des tôles de cuivre a été rainurée dans le but d'éliminer les contraintes internes de la pièce. Celle-ci avait tendance à s'incurver. Cependant ces rainures ne profitent pas à la formation des courants de Foucault dans le conducteur.

4.7.3. Conclusion

En réalité, l'efficacité du freinage par induction n'est plus à prouver puisqu'il est fréquemment utilisé sur les camions et commercialisé majoritairement par Telma mais aussi sur des engins ferroviaires comme sur le Shinkansen au Japon.

Cependant l'expérience a bien mis en évidence le freinage par induction, puisque l'on arrive à diviser par 5 la durée de freinage par la simple présence d'un champ magnétique traversant le conducteur. Néanmoins il est important de rappeler que le freinage par induction seul ne peut en aucun cas immobiliser un conducteur, il demeure un ralentisseur. C'est pourquoi il sert avant tout de complément à d'autres systèmes de freinage comme le freinage par friction.

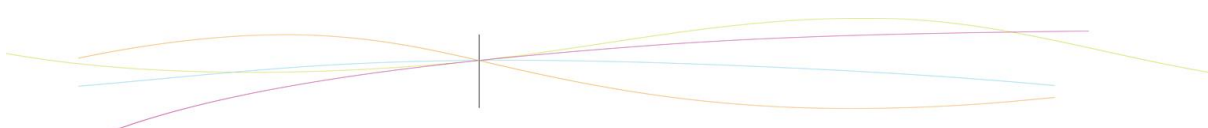
Pour conclure il est intéressant de voir que le montage expérimental regroupe trois types de freinage : le freinage par induction, le freinage par friction dû au contact des pièces métalliques et le freinage électrodynamique permis par le fonctionnement en génératrice du moteur électrique.

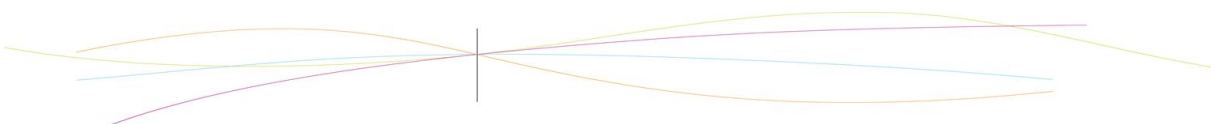
4.8. Réalisation de la vidéo

Le montage vidéo n'a pas été un exercice simple. En effet, il a fallu lutter contre de nombreux problèmes informatiques qui ont retardé le début du travail. Cependant, grâce à M. Cielat, professeur de la Section Image Études, nous avons eu accès à des ordinateurs puissants et nous avons pu travailler sur le logiciel Adobe Première CS5 qui est de très bonne qualité.

Nous avons choisi dans le film de montrer chaque expérience sur le schéma : annonce du paramètre variant - expérience en temps réel - brève explication du phénomène - expérience au ralenti avec zoom sur l'ampèremètre. Ceci offre au spectateur le temps nécessaire pour voir la différence que produit le paramètre variant sur l'importance du courant induit. Auparavant nous avons donné une explication claire du montage. Par ailleurs, nous avons illustré le phénomène d'induction en plaçant, en guise d'introduction des diodes qui s'allument, ceci à but pédagogique. Et pour aller un peu plus loin nous avons placé à la fin une expérience montrant le freinage par induction. Ceci offrant une véritable ouverture à de nombreuses autres expériences et phénomènes passionnants du cours d'électromagnétisme.

Nous avons choisi de faire un film muet pour éviter une prise de son hasardeuse et de mauvaise qualité mais aussi pour pouvoir à l'absence de son dans certains amphithéâtres, où, nous l'espérons, sera montré le film.





5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

5.1. Conclusion générale

Lors de ce projet, nous avons réussi à réaliser une vidéo courte et ludique présentant les principales expériences sur l'induction électromagnétique.

Pour cela nous avons travaillé sur l'histoire de ces expériences, la théorie qui les entoure et la mise en œuvre de celles-ci.

Chacun d'entre nous a trouvé son rythme de travail et le domaine dans lequel nous étions le plus utile. Certains ont conçu les bobines, le banc et le montage du freinage par induction utilisés pour réaliser les expériences, d'autres se sont attelés aux équations mathématiques qui concernent ces phénomènes ainsi qu'à l'étude de leur histoire et celle de Faraday. Ce projet nous a permis d'apprendre à travailler avec des gens que l'on ne connaît pas nécessairement pour aboutir au résultat attendu par chacun d'entre nous. Ce cas de figure se présentera souvent dans notre future vie professionnelle et ce projet nous y prépare tout en restant dans le cadre pédagogique de l'apprentissage.

Nous espérons que la vidéo que nous avons réalisée sera projetée lors des cours d'électromagnétisme du troisième semestre afin d'illustrer les propos des professeurs. Ce serait pour nous l'aboutissement final de notre projet.

5.2. Conclusions personnelles

Anastasia : En ce qui me concerne, ce projet fût très intéressant et enrichissant puisqu'il allie à la fois la physique et la vidéo. En effet, je trouve très original que le rendu final de notre travail soit une vidéo puisque ce n'est pas commun au sein de nos projets. De plus, celui-ci m'a permis de redécouvrir les expériences de Faraday que nous avons abordées le semestre précédent. J'ai grandement apprécié le fait de reproduire nous-mêmes ces expériences et de les illustrer de façon ludique et visuelle.

Florian : Ce projet fut pour moi assez intéressant. Il permet de retenir bien plus facilement sur le long terme les connaissances acquises en P5. Le côté pratique, un peu expérimental, est très enthousiasmant et permet vraiment de s'imprégner des notions sans pour autant aller chercher très compliqué.

Je suis cependant un peu déçu du nombre d'heures octroyées au projet et du même coup de la place un peu réduite qu'il occupe vis à vis des autres enseignements car cela fait que finalement, les expériences pour mettre en évidence les différents phénomènes se retrouvent légèrement bâclées comparé à ce qui pourrait en être si l'on s'investissait pleinement.

Marjolaine : Ce projet m'a permis de mieux comprendre notre programme sur l'électromagnétisme en mettant en application les expériences de Faraday. J'ai, personnellement, pu travailler sur un sujet que j'ai trouvé très intéressant et qui m'a beaucoup appris sur l'électromagnétisme, une matière que je n'appréciais pas particulièrement. De plus, la partie expérimentale de ce projet m'a permis de mieux comprendre ce que Faraday a réalisé à son époque, car, même en connaissant les résultats que nous devons obtenir, ce n'était pas toujours le cas et nous devons expliquer pourquoi. Pour conclure, j'ai apprécié ce projet pour sa partie expérimentale qui a rendu plus concrète la matière de P5, mais aussi pour sa partie bibliogra-



phique qui m'a ouvert les yeux sur le travail qu'a réalisé Faraday avec les moyens de son époque.

Matthieu : Ce projet a été une bonne occasion de revoir les bases du cours d'électromagnétisme dans une ambiance décontractée mais studieuse. J'ai pu observer les effets concrets des cours théoriques grâce aux expériences. Cela a été une bonne opportunité de produire un rendu final et d'apprendre de l'expérience des autres membres du groupe. Le fait de produire une vidéo a été vraiment très plaisant et plus motivant que de faire un banal dossier avec une succession d'équations et d'explications sans formes concrètes à côté. Ce fût une très bonne expérience et certainement le projet le plus motivant à finir.

Romain : Ce projet a été très instructif pour ma part, car il revenait sur un sujet que nous avons déjà traité lors des cours de P5. Ce projet m'a permis de mieux comprendre et visualiser ce que je venais d'étudier. Par ailleurs, le fait de devoir reproduire les expériences de Faraday a permis de reconstituer un raisonnement scientifique intéressant, de tirer des explications physique à partir de ce que nous observions. Ayant déjà eu des cours sur le sujet, ce raisonnement s'en est trouvé simplifié car nous connaissions les résultats avant même de faire les expériences. Ce projet fut aussi l'occasion de se rendre compte du génie des chercheurs comme Faraday qui ont réussi à formuler des relations mathématiques qui sont encore viable aujourd'hui, sans avoir le matériel dont nous disposons actuellement ni les connaissances qui sont les notre.

Sarah : Le plus gros de mon travail a été de réaliser les expériences, vérifier que les résultats expérimentaux étaient en accord avec la théorie et le montage de la vidéo. Ce projet n'a pas été toujours évident à réaliser du fait de mes importantes lacunes en électromagnétisme. Mais il m'a permis d'en combler certaines et de mieux comprendre l'ensemble du phénomène d'induction. J'ai beaucoup apprécié la partie expérimentale, et particulièrement le fait qu'il fallait imaginer l'expérience à réaliser pour montrer un phénomène. En effet, mis à part cas exceptionnel, comme les TPE au lycée, nous ne sommes jamais confrontés à ce genre de situation, or c'est dans ces moments-là que l'on comprend mieux les phénomènes physiques et qu'ils deviennent plus concrets. En ce qui concerne le montage vidéo, ce fut une belle expérience également, car je n'en avais jamais vraiment fait avant, et c'est gratifiant d'avoir un résultat correct malgré les difficultés auxquelles nous avons été confrontés. Même si ce film est largement perfectible, j'espère qu'il sera montré en cours de p5 et permettra aux élèves de mieux comprendre le cours. Pour conclure, je suis contente d'avoir participé à ce projet car il a un but concret et c'est pour moi essentiel de savoir que mon projet servira à quelqu'un.



6. BIBLIOGRAPHIE

6.1. Livres

Isaac McPhee, « Petit Précis de Physique à déguster », *Belin*, 2010

6.2. Sites

Audrey Gimenez (2006) : *Michael Faraday*, <http://mpimichelet.free.fr/faraday.html>, [consulté le 7 juin 2013].

Christine Blondel et Bertrand Wolff (2011) : *Faraday, Ampère, et le mystère des rotations continues*, <http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/courant/rotation/>, [consulté le 6 juin 2013].

Encyclopédie Larousse : *Michael Faraday*, <http://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/Faraday/119049>, [consulté le 8 juin 2013].

Gérard Borvon (2010) : *Histoire de l'électricité : Quand Faraday découvre l'induction électromagnétique*, <http://seaus.free.fr/spip.php?article646>, [consulté le 7 juin 2013].

Gérard Borvon (2012) : *De l'aimant à l'électro-aimant*, <http://seaus.free.fr/spip.php?article956>, [consulté le 9 juin 2013].

Gérard Borvon (2013) : *Au sujet du sens conventionnel du courant électrique, du bonhomme d'Ampère et du tire-bouchon de Maxwell*, <http://seaus.free.fr/spip.php?article517>, [consulté le 8 juin 2013].

Lycée de Brest (2009) : *Théorie électromagnétique de Maxwell*, <http://www.corbenic.org/MP/documents/63df6b9b208f874/P5.1.%20Induction%20%C3%A9lectromagn%C3%A9tique.pdf>, [consulté le 10 juin 2013].

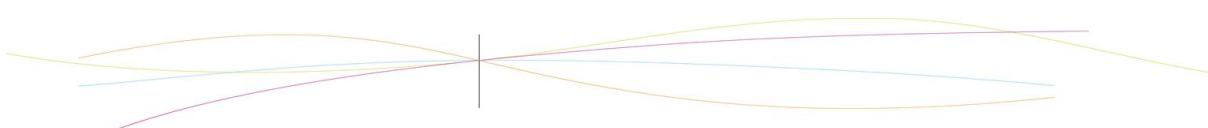
Olivier Wajsfelner (2010) : *Le phénomène induction électromagnétique*, <http://www.physique.vije.net/1STI/electricite.php?page=induction1>, [consulté le 8 juin 2013].

Université Lille : *Electromagnétisme : la découverte d'Oersted*, http://www-lemm.univ-lille1.fr/physique/ondes_enligne/chapitre7/ch7_3.htm, [consulté le 8 juin 2013].

Wikipédia : *Electromagnétisme*, <http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectromagn%C3%A9tisme>, [consulté le 9 juin 2013].

Wikipédia : *Hans Christian Ørsted*, http://fr.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_%C3%98rsted, [consulté le 9 juin 2013].

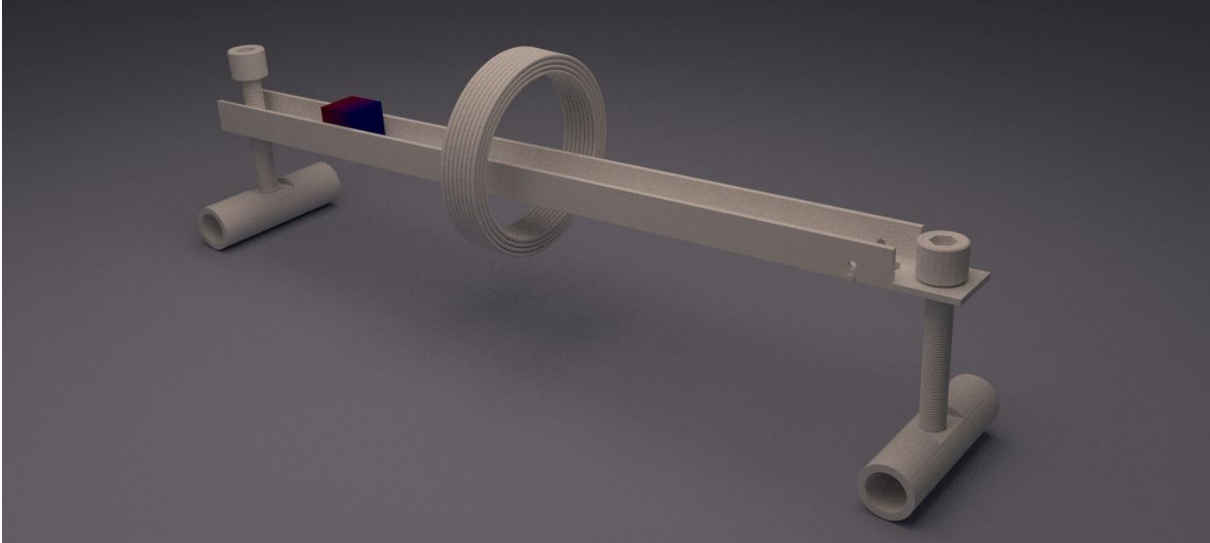
Wikipédia : *Michael Faraday*, http://fr.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday, [consulté le 9 juin 2013].



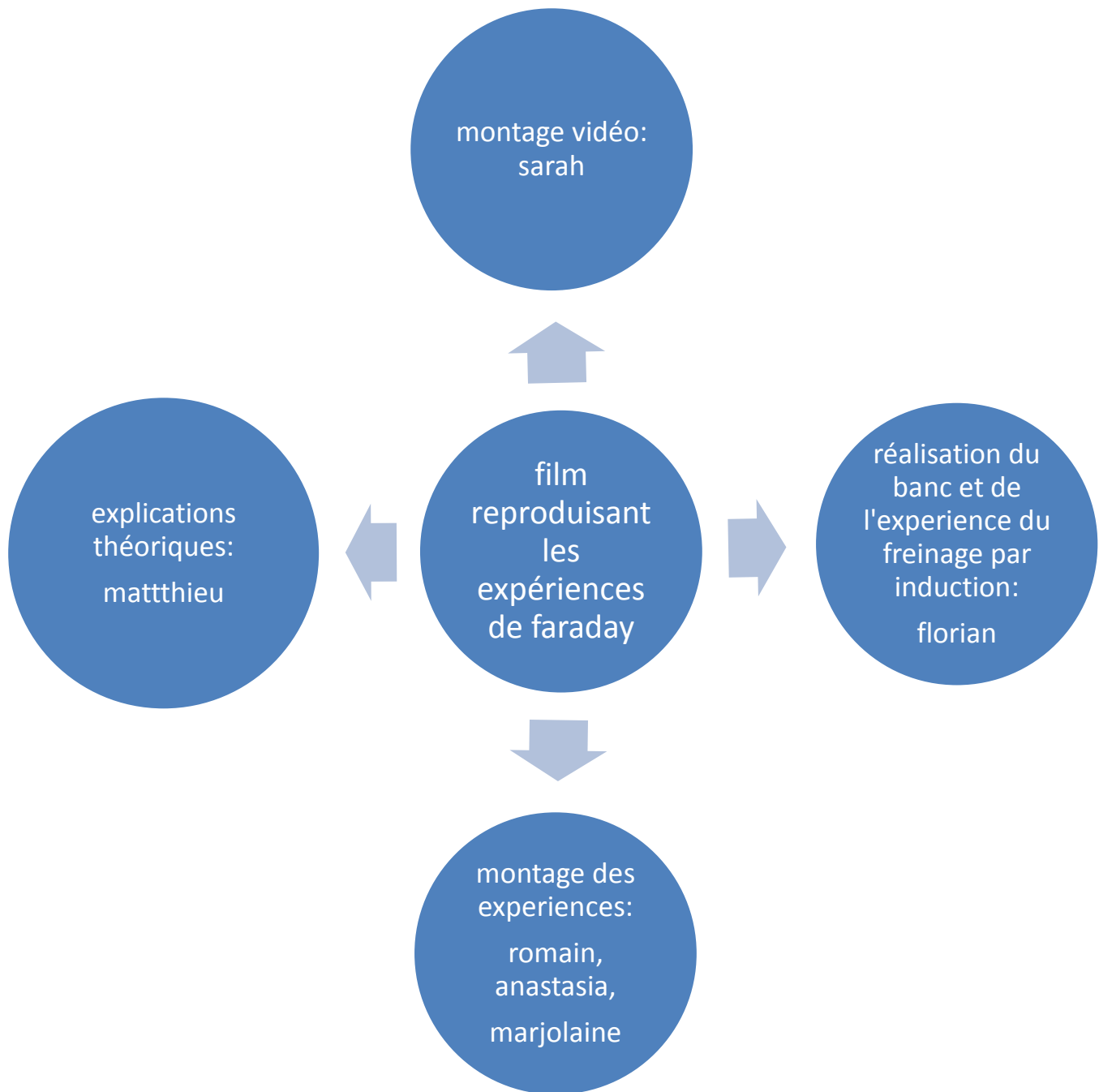
7. ANNEXES

7.1. Schéma de montages

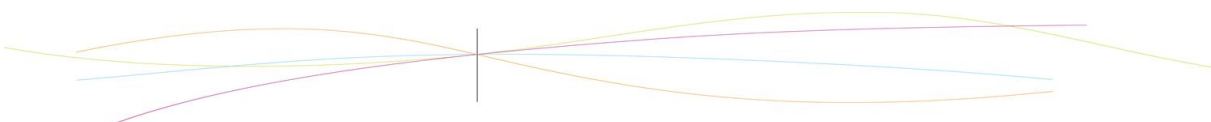
Modélisation 3D du banc, utilisé lors de la plupart de nos expériences, et réalisé sur Blender par Florian Chavagnat :



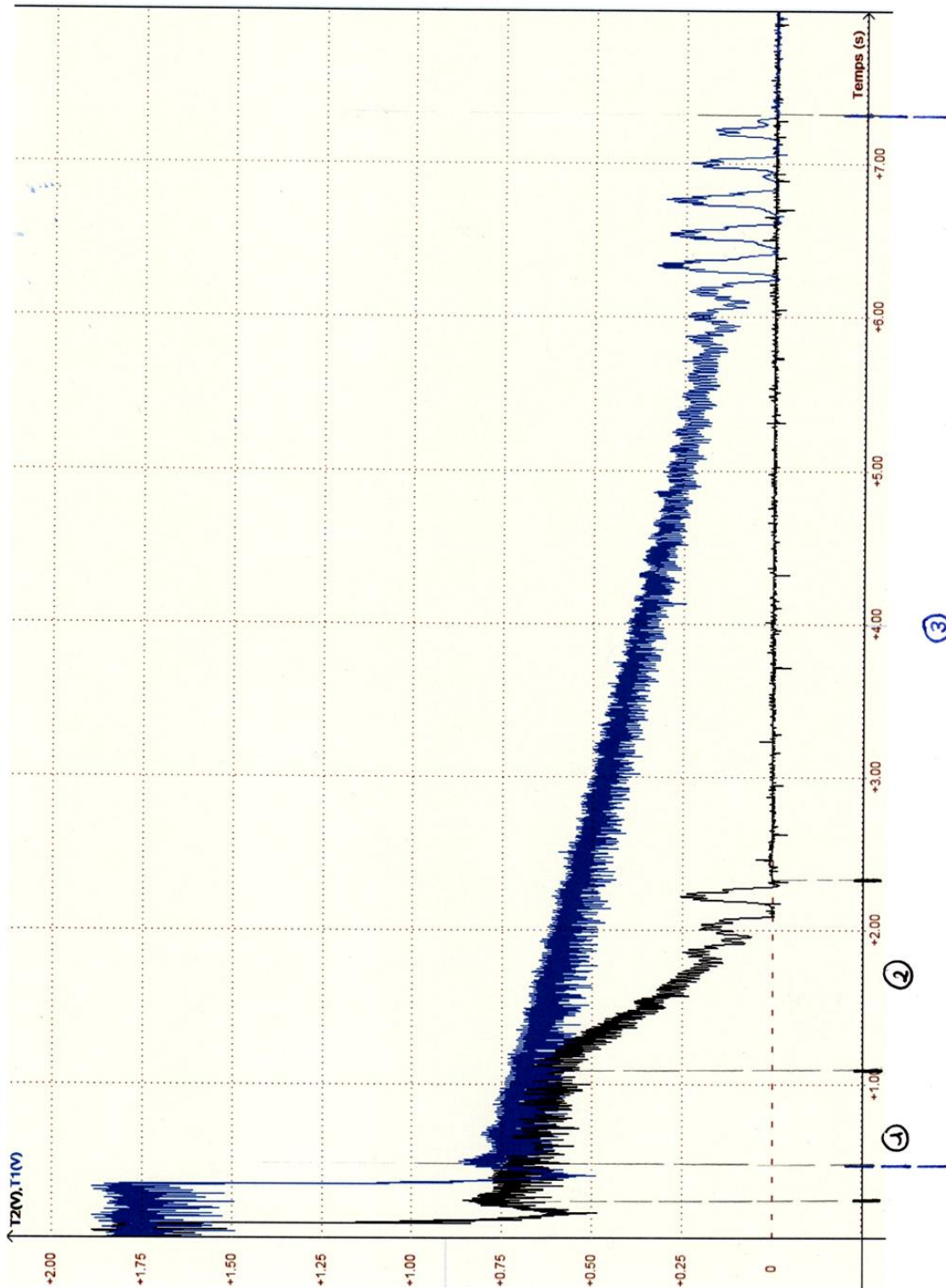
7.2. Organigramme



Organigramme de la répartition initiale des tâches



7.3. Courbe



Courbe de freinage de la roue (Cf 4.7.2.2)

