
BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Expériences simples et peu coûteuses d'électromagnétisme en classe de première Génie Électrotechnique

par Christophe HAOUY
Professeur de Physique Appliquée
Lycée G. Baumont
Rue de l'Orme - BP 74 - 88102 Saint-Dié

RÉSUMÉ

Les TP sur l'électromagnétisme sont souvent difficiles à réaliser, soit par manque de matériel, soit par la présence d'équations ardues, soit par le manque d'intérêt même du TP pour les élèves qui se demandent où cela intervient dans la vie courante. Nous avons essayé ici de répondre à ces problèmes. Il s'agit en l'occurrence d'un TP réalisé cette année en classe de première (groupes de douze élèves pour un TP de quatre heures) qui présente des expériences électromagnétiques à partir de simples cordons d'alimentation.

Nous avons supprimé toute présence d'équation ardue (comme la «dérivée d'un signal») pour ne garder que l'aspect qualitatif des choses.

Ensuite, nous avons pris soin d'éviter l'utilisation d'objets «tout faits» : **on n'utilisera pas les bobines de cuivre du laboratoire, pas de teslamètre, etc.** Cela est, me semble-t-il, nécessaire, afin que les élèves ne croient pas à un «montage de laboratoire» dont les résultats ne sont productibles «qu'en laboratoire» et non pas dans la vie courante. D'autre part, les laboratoires sont plus ou moins bien équipés (possédez-vous six teslamètres ?).

Nous vous présentons donc ici le TP, tel qu'il a été donné à chaque binôme d'élèves (ces derniers étant ainsi groupés, le matériel nécessaire est donc à multiplier par six pour les douze élèves du TP). Toutes les notes de bas de page en italique dans le texte est un commentaire propre qui ne fut préalablement pas transmis aux élèves. Toute critique constructive est évidemment la bienvenue !

BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

EFFETS ÉLECTROMAGNÉTIQUES*TP n° 9 - Durée : 4 heures*

On a vu au cours n° 7 que courant et champ magnétique étaient étroitement liés et au TP n° 7 la manière de tracer et d'interpréter des lignes de champ magnétique. Ce TP a pour objet de vous montrer les effets magnétiques du courant.

Matériel

- une feuille de carton (support pour une feuille de papier),
- une alimentation continue avec limitation de courant,
- un GBF,
- un oscilloscope,
- une boussole,
- une résistance $1\ \Omega / 5\ \text{W}$ au moins,
- deux résistances de $22\ \Omega$,
- une plaque d'essai à trous pour enficher les résistances.

1. PRÉPARATION THÉORIQUE

Nous possédons des boussoles relativement peu sensibles, aussi est-il nécessaire d'expérimenter avec des courants relativement intenses pour observer leurs effets sur la boussole.

Les alimentations à notre disposition ne peuvent débiter que 2,5 A maximum, or il est nécessaire d'obtenir 5 A au moins dans un fil afin de détecter ses effets *électromagnétiques* sur la boussole.

Il est hors de question d'acheter une alimentation pouvant débiter 5 A (trop cher). Avec deux alimentations de 2,5 A on peut cependant y remédier.

- 1. Comment brancher et régler les deux alimentations (limitées à 2,5 A) afin d'obtenir une alimentation équivalente pouvant débiter 5 A dans une résistance R_c de $1\ \Omega$ environ ⁽¹⁾ ?**

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

La charge de notre montage est simulée par une résistance R . On souhaite que cette résistance ne s'échauffe pas trop (pour des raisons de sécurité thermique !), c'est pourquoi on se limite à 5W de dissipation maximale dans la charge ⁽²⁾.

2. *Faites le schéma électrique du montage.*
3. *Quelle doit être la valeur maximale de I absorbé par la résistance ? Combien d'alimentations doit-on prendre ⁽³⁾ ?*
4. *A quelle valeur de tension doit-on régler la (ou les) alimentation(s) pour obtenir le courant maximal dans la charge précédemment calculée ⁽⁴⁾ ?*

2. MANIPULATION

5. *Câblez le montage précédemment calculé en prenant un fil d'alimentation de longueur 2m au moins ⁽⁵⁾.*

Évitez, à présent, de toucher à la résistance de charge qui dissipe une puissance de 5 W.

On souhaite à présent observer les effets magnétiques du courant (parcourant les fils d'alimentation) ⁽⁶⁾, cependant les effets magnétiques de ce courant ne se détectent avec nos boussoles que lorsque son intensité atteint 10 A environ.

6. *Comment simuler, avec les fils dont on dispose, un seul fil d'alimentation parcouru par un courant de 10 A environ ⁽⁷⁾ ?*
7. *Utilisez l'alimentation pour générer le courant max dans la résistance (utilisez-la en «générateur de courant» en utilisant la limitation de courant de l'alimentation).*
8. *Réalisez la simulation précédente. Comment détectez-vous la présence d'un champ magnétique aux alentours du fil ?*
9. *Dessinez le spectre du champ magnétique créé par le fil (votre support de feuille sera la feuille de carton entaillée) ⁽⁸⁾.*

On souhaite à présent observer les effets magnétiques du courant parcourant un fil bobiné. Avec un fil bobiné de plusieurs tours, un faible courant suffit pour observer ses effets sur une boussole.

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

10. Réalisez une bobine avec un fil d'alimentation (en l'enroulant autour de la main par exemple) puis tracez son spectre.

11. Inversez le sens du fil d'alimentation. Conclusion ⁽⁹⁾ ?

On vient de voir qu'un courant génère un champ magnétique, mais inversement : est-ce qu'un champ magnétique peut créer un courant ?

Comme ce sont les effets magnétiques du courant qui nous intéressent, on peut enlever la charge et la remplacer par un fil : on ne sera plus limité par la puissance maximale dissipée dans la charge, mais par le courant maximal que peut débiter l'alimentation.

12. Limitez le courant débité par l'alimentation à sa valeur maximale puis créez un champ magnétique en bobinant un fil d'alimentation. «Récupérez» ce champ magnétique au moyen d'une autre bobine puis observez à l'oscilloscope la tension présente sur la résistance de $22\ \Omega$ (voir figure 1) : conclusion ⁽¹⁰⁾ ?

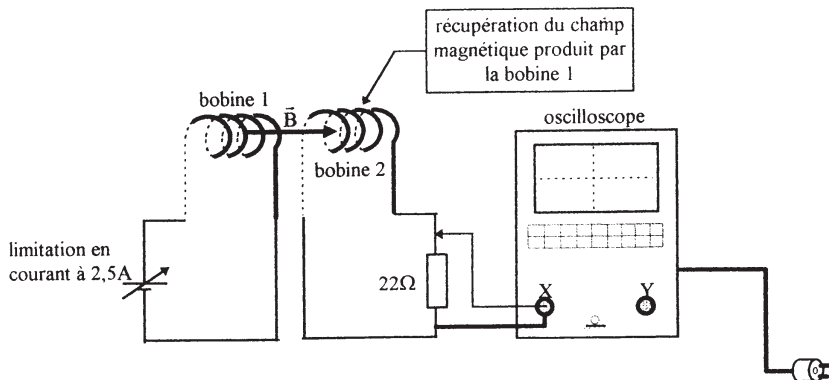


Figure 1

13. Remplacez l'alimentation par le GBF que vous réglez préalablement en mode sinusoïdal, 100 kHz, 2 V crête. Branchez ce GBF sur une résistance de charge de $22\ \Omega$ (car le GBF n'est pas limité en courant). Puis réajustez à nouveau la tension à 2 V crête ⁽¹¹⁾.

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

14. *Y a-t-il un courant continu ou alternatif dans le fil de cuivre qui a récupéré le champ magnétique ? Conclusion ⁽¹²⁾ ?*
15. *Faites varier la fréquence du GBF puis observez l'allure et l'intensité du courant créé dans le fil secondaire. Conclusion ⁽¹³⁾ ?*
16. *Modifiez l'allure du courant (GBF en mode créneaux puis en mode triangle) puis observez l'allure de la tension récupérée sur la bobine réceptrice, conclusion ⁽¹⁴⁾ ?*
17. *Bobinez à présent les fils d'alimentation du GBF de la manière suivante (fils aller et retour bobinés ensemble sur la main - voir figure 2).*

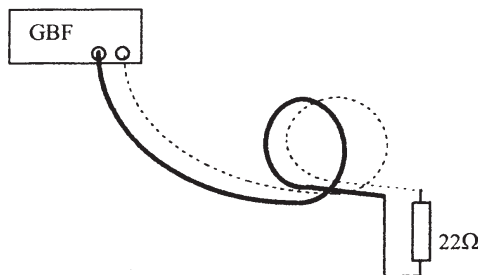


Figure 2

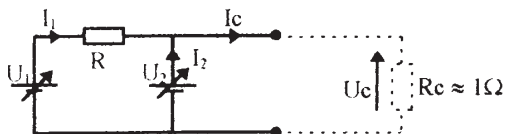
Récupérez le champ magnétique en faisant le même montage que précédemment. Y a-t-il du courant dans la bobine secondaire ? Pouvez-vous expliquer cela ⁽¹⁵⁾ ?

NOTES

- (1) Il a été vu dans un TP précédent qu'il est interdit de connecter directement deux sources de tension (condensateur et générateur de tension par exemple) sous peine de circulation de courant trop intense entre les deux sources. Cette question a pour but de s'assurer que les élèves ont bien assimilé cette notion. A mon grand étonnement (!) ça ne les gêne toujours pas de connecter directement, en parallèle, deux sources de tension (il est vrai qu'au précédent TP on avait relié un GBF en mode créneaux à un condensateur... ce n'était pas vraiment

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

deux alimentations !...). Certains élèves connectent également les alimentations en série... La réponse attendue est la suivante :



Dans ce cas, on peut leur demander de calculer la valeur de U_2 de façon à avoir $I_c \approx 5 \text{ A}$ (ils n'y arrivent pas forcément !). Mais ces 5 A peuvent très bien faire «griller» une alimentation : $I_c = I_1 + I_2$. Si $I_2 \approx 1 \text{ A}$ et $I_1 \approx 1 \text{ A}$ on a bien $I_c \approx 5 \text{ A}$ et l'alimentation U_1 «grille», cela vient du fait que **les alimentations ne peuvent jamais être rigoureusement ajustées à la même tension** ! C'est là que l'on doit faire intervenir la résistance R à calculer de manière à ce que les alimentations tiennent.

Nous avons, par exemple, ajusté U_1 à 5,1 V ($U_2 \approx 5,0 \text{ V}$ imposé pour avoir 5,0 A dans la charge). Nous avons également pris $R = 10 \text{ m}\Omega$ (par la suite les résistances internes des alimentations et la résistance des fils d'alimentation interviennent évidemment de manière prépondérante, mais il ne s'agit ici que d'un exposé théorique).

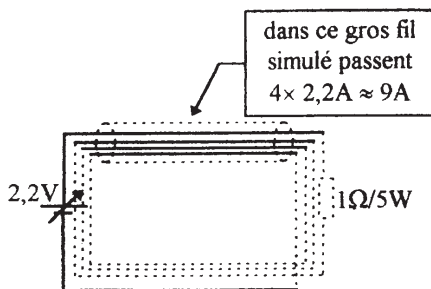
On calcule que $I_1 = \frac{U_1 - U_2}{R} \approx 10 \text{ A}$ et $I_2 = I_c - I_1 \approx -5 \text{ A}$!!! **les deux alimentations**

grillent (attention : la réversibilité en courant n'est pas forcément possible pour une alimentation !). Avec R ajustée à $40 \text{ m}\Omega$ on a $I_1 = I_2 \approx 2,5 \text{ A}$: les alimentations tiennent. Mais avec $R \approx 10 \Omega$ on a $I_1 \approx 10 \text{ mA}$ et $I_2 \approx 5 \text{ A}$: l'alimentation U_2 grille $\Rightarrow$ **R ne doit posséder une valeur ni trop forte, ni trop faible.**

- (2) La température atteinte par le composant vaut environ $T \approx R_{TH} \times P$ avec R_{TH} la résistance thermique du composant.
- (3) Bien évidemment on retrouve les calculs faits en préparation théorique avec, en prime, un calcul de puissance Joule. On est alors limité à $I_c = \sqrt{\frac{P}{R_c}} \approx 2,2 \text{ A}$, ce qui nous autorise l'emploi d'une seule alimentation de 2,5 A.
- (4) Ici on utilise les alimentations en générateur de courant, ce qui est faisable car elles sont limitées en courant. C'est une belle occasion de montrer aux élèves cette utilisation particulière des alimentations.
- (5) On pourra connecter les fils les uns à la suite des autres : aucun danger n'est à craindre car la tension d'alimentation sera inférieure à 50 V (norme NFC 15-100).
- (6) La résistance R_c n'est là que pour simuler la présence d'une charge afin de bien prendre conscience que l'on est en présence du montage le plus simple qui soit. Par la suite, cette résistance sera enlevée (car elle chauffe !) et on utilisera uniquement les alimentations en court-circuit : seule l'intensité du courant qui traverse les fils nous intéresse !

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

(7) Appel à notre imagination ! Il suffit de faire des grandes boucles avec un fil d'alimentation :



(8) Dans un TP précédent sur les aimants, nous avons appris à tracer des lignes de champ avec une boussole. Il est intéressant de remarquer que les élèves «plaquent» leur feuille sur les fils d'alimentation au lieu de la mettre perpendiculaire à ceux-ci (ils n'ont pas encore la notion de symétrie cylindrique obligatoire ici). **Il est nécessaire, ici, de faire remarquer aux élèves qu'un simple courant crée automatiquement un champ magnétique.** Ceci peut occasionner des problèmes : un fil électrique parcouru par un courant attire alors (ou est attiré par) les matériaux ferromagnétiques, d'où la nécessité de «river» les câbles électriques lorsque ceux-ci sont parcourus par un courant intense.

Un autre aspect peut être dégagé : un fil de cuivre parcouru par un courant intense n'attire pas un fil électrique en cuivre placé en l'air (le cuivre n'est pas ferromagnétique), mais si ce dernier fil est lui-même parcouru par un courant électrique alors on est en présence de deux champs magnétiques qui coexistent : les fils sont repoussés ou attirés selon le sens de parcours du courant. Une force existe donc entre les deux fils de cuivre : cette force peut mettre en contact ces fils et on est alors en présence d'un court-circuit qui peut faire griller un montage !

On peut également parler de la définition légale de l'Ampère... et des forces de Laplace que l'on verra dans un cours ultérieur.

(9) Le champ magnétique change de sens (donner ensuite aux élèves la «règle de la main droite»). Il faut remarquer que les lignes de champs passent à l'intérieur de la bobine. Ainsi, afin d'avoir un champ magnétique plus intense, il suffira de diminuer le diamètre de la bobine : les lignes de champ seront plus «resserrées» qu'avant ce qui est significatif d'un champ magnétique plus intense qu'avant (les lignes de champ ne représentent pas les équipotentielles magnétiques, ce que les élèves ont assimilé assez facilement avec un TP précédent).

(10) L'intérêt de cette manipulation est d'observer qu'il n'y a pas propagation «hertzienne» d'énergie lorsque le champ magnétique reste constant dans le temps. La présence d'un champ magnétique dans la bobine 2 ne signifie nullement qu'il y a transfert d'énergie (l'énergie reste stockée).

 BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

- (11) Expliquez pourquoi la tension a diminué.
- (12) *En alternatif, il y a donc propagation d'énergie. Ici cela peut créer un danger : un circuit est fait pour fonctionner avec un certain courant (appareils de mesure par exemple) : il ne faut pas qu'un courant parasite, créé par un champ magnétique extérieur, perturbe le montage. On peut parler des transformateurs, mais aussi de la Compatibilité Électromagnétique, des crashes d'avions dus aux perturbations électromagnétiques (interdiction d'utiliser des appareils électriques au décollage des avions), aux fours micro-ondes, aux parasites sur la télévision dus aux bougies des moteurs à explosion et à la radio-transmission par voie hertzienne !*
- (13) *On observe que la sinusoïde récupérée a son amplitude qui augmente lorsque la fréquence augmente, d'où la nécessité d'émettre en HF si l'on veut une émission de forte puissance rayonnée. D'où également les problèmes qui apparaissent lorsqu'un courant est brutalement coupé dans un circuit (convertisseurs pour moteurs électriques par exemple) et qui génèrent de fortes perturbations électromagnétiques.*
- (14) *On s'aperçoit alors que seule la sinusoïde n'est pas déformée lors de sa «propagation» hertzienne, d'où la nécessité d'utiliser une sinusoïde si on ne veut pas dégrader une information (émission d'un signal à spectre étroit nécessaire en transmission hertzienne). Il est à remarquer ici que notre bobine est attaquée «en courant» car la résistance de $22\ \Omega$ mise en série avec la bobine possède une impédance bien plus élevée que cette dernière (pour s'en assurer il suffit d'observer à l'oscilloscope l'allure de la tension aux bornes de la résistance). L'allure de la tension issue du GBF est donc identique à l'allure du courant débité et donc du champ magnétique créé. On observe alors que le signal récupéré ressemble étrangement à une «dérivée» du signal émis (on observe des créneaux lorsqu'on émet des triangles, et on observe des pointes de courant lorsqu'on émet des créneaux). Cela permettra de justifier, dans un cours ultérieur, la relation $e = -\frac{d\phi}{dt}$.*
- (15) *Les champs magnétiques s'annulent mutuellement. Ici on regarde donc ce que l'on peut faire pour limiter le rayonnement d'énergie : ce genre de «bobinage» est utilisé pour réaliser des rhéostats (qui ne doivent pas être inductifs). Cela nous donne l'occasion de parler des astuces de câblage : serrer les fils «aller» et «retour» dans une ligne de transmission, en les torsadant par exemple. Éviter les boucles de courant si on ne peut annuler le champ magnétique émis. On peut également parler des câbles blindés (confinement des lignes de champ) pour la transmission de signaux HF ou audio.*