

Approche historique de quelques expériences d'électromagnétisme

par A. JAMEAU
Lycée La Fontaine - 22100 Dinan
et M. BASSOULET

RÉSUMÉ

Nous avons abordé le chapitre électromagnétisme de première STI à travers l'histoire des sciences. En première partie, nous avons parcouru l'histoire de l'électricité de Thalès à Ampère, sous forme d'un cours. En seconde partie, nous avons choisi quatre manipulations inspirées de quatre grandes découvertes du XIX^e siècle. Chaque texte de manipulation est composé d'une description historique de la découverte. Il est ensuite proposé aux élèves de reproduire l'expérience. Ils ont enfin à réfléchir sur les résultats, en les replaçant dans leur contexte historique.

INTRODUCTION

En première Sciences et Technologies Industrielles (STI), dans le chapitre électromagnétisme, on a trop vite recours à l'utilisation de l'outil mathématique pour expliquer des phénomènes physiques. Cela explique sans doute le peu d'enthousiasme de nos élèves quand arrive cette partie du programme. Aussi, il nous a paru intéressant d'aborder ce chapitre à travers l'histoire des sciences.

Le professeur peut expliquer des phénomènes physiques par l'histoire de leurs découvertes. Ainsi, il peut éviter l'utilisation systématique des mathématiques, développer le sens de l'observation, inciter l'élève à exprimer clairement par écrit ce qu'il voit. Enfin, il favorise l'esprit de synthèse et la réconciliation de l'élève avec la physique.

Nous avons mené cette expérience en première STI génie électrotechnique suivant ce plan :

1. Une partie de l'histoire de l'électricité de Thalès à Ampère sous forme d'une séance de cours de deux heures.
2. L'électromagnétisme sous forme de travaux pratiques.

L'approche de l'histoire de l'électricité a consisté à noter :

- les principales découvertes,

- l'évolution des travaux au fil des siècles,
- différentes anecdotes qui soulignent la façon dont les travaux aboutirent aux résultats connus maintenant, ou des applications faites à l'époque de ces découvertes.

La première partie permet de bien comprendre l'évolution des découvertes et des mentalités, au fil des siècles.

Nous avons donc retenu le plan du cours suivant :

1. L'origine : les propriétés de l'ambre jaune.
2. Travaux de W. Gilbert : étude d'autres matières ayant les mêmes propriétés que l'ambre jaune.
3. Les premières machines électriques : boule de soufre puis de verre.
4. La conduction de l'électricité à distance.
5. Les premières théories : les deux sortes d'électricité, le fluide unique.
6. La bouteille de Leyde.
7. La pile électrique de Volta.
8. La convention d'Ampère.

Nous avons décidé d'exposer ces découvertes de façon chronologique, car les élèves ne paraissent pas bien relier les chercheurs avec leurs époques.

L'aspect « attractif » de l'exposé est fourni par :

- des manipulations avec notamment une pierre d'ambre jaune,
- la lecture de comptes-rendus de manipulations écrits par leurs auteurs,
- les présentations et les utilisations d'une bouteille de Leyde et d'une pile de Volta, fabriquées pour l'occasion,
- la projection de gravures représentant les savants et leurs découvertes.

En seconde partie, nous avons choisi quatre manipulations inspirées de quatre grandes découvertes en électromagnétisme au début du XIX^e siècle. Ces quatre manipulations correspondent à une progression logique du programme et de sa difficulté.

Malheureusement, l'insuffisance du matériel disponible pour les manipulations en électromagnétisme nous a contraints à modifier cette organisation et à proposer une séance de **TP tournants** de trois heures.

Nous avons choisi de l'effectuer après avoir traité en cours le chapitre «Électromagnétisme» au programme de la classe de première STI.

La fiche de présentation de chaque manipulation commence par un texte à caractère historique relatant les conditions dans lesquelles s'est faite la découverte du phénomène en question. Il est proposé ensuite aux élèves de tenter de reproduire l'expérience avec le matériel mis à leur disposition.

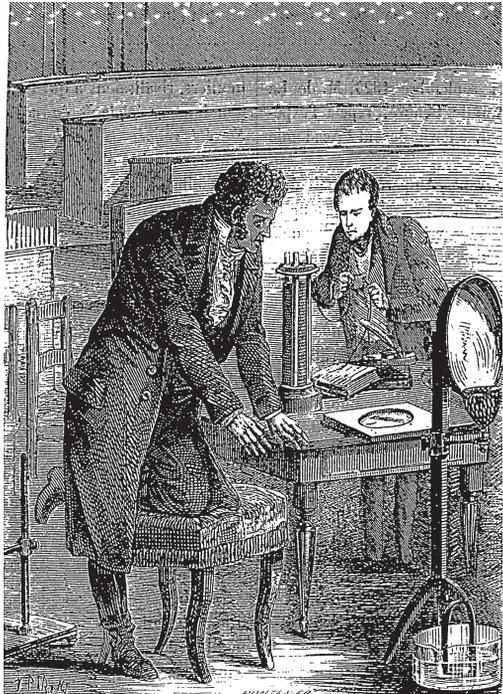
Pour finir, chaque groupe doit rédiger un compte-rendu. Les élèves doivent notamment replacer ces résultats dans leur contexte historique, afin de réfléchir sur leurs conséquences scientifiques et techniques. Cette démarche les oblige à comprendre les résultats de chaque manipulation, et à travailler sur l'évolution des sciences. Ils finissent tous par comparer le XIX^e siècle à 1996 au niveau des connaissances scientifiques et des techniques, ce qui est parfois surprenant, mais très enrichissant.

L'EXPÉRIENCE D'OERSTED

HISTORIQUE

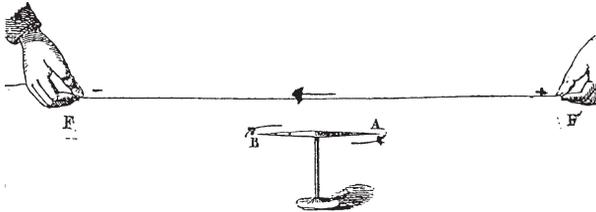
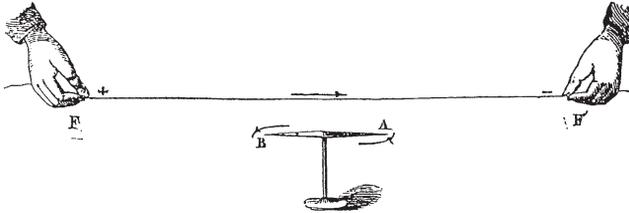
Fin 1820, Christian Oersted fait son cours à l'université de Copenhague. Il est occupé à montrer l'effet calorifique dans le fil joignant les deux bornes d'une pile de Volta. Au moment où la pile est mise en action, l'un de ses élèves lui fait remarquer qu'une aiguille aimantée placée par hasard sur la table se met à osciller. Une fois la leçon terminée, Oersted s'empresse de répéter l'expérience : l'aiguille aimantée dévie d'autant moins quelle est plus proche du fil reliant les deux bornes de la pile.

On se propose aujourd'hui de répéter cette expérience historique, et de l'interpréter.

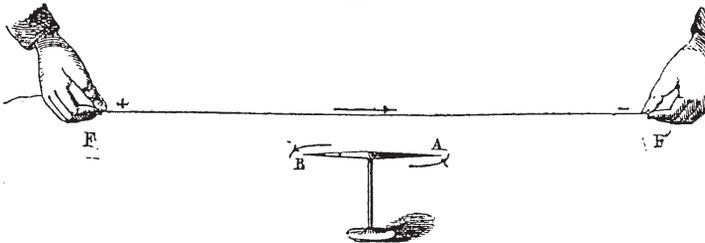
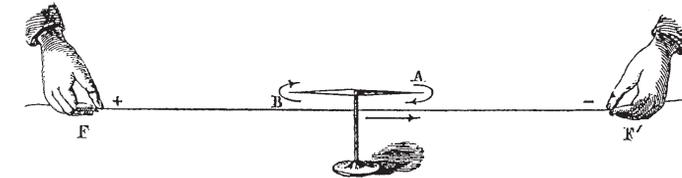


TRAVAIL À EFFECTUER

1. Proposer un schéma de montage permettant de reproduire l'expérience.
2. Réaliser le montage suivant :
 - En l'absence de courant, repérer la position «de repos» de l'aiguille aimantée.
 - Lorsque le circuit est fermé, l'aiguille aimantée dévie-t-elle toujours de la même façon :
 - a) Suivant le sens du courant dans le fil ?



- b) Suivant que le fil est au-dessus ou au-dessous de l'aiguille aimantée ?



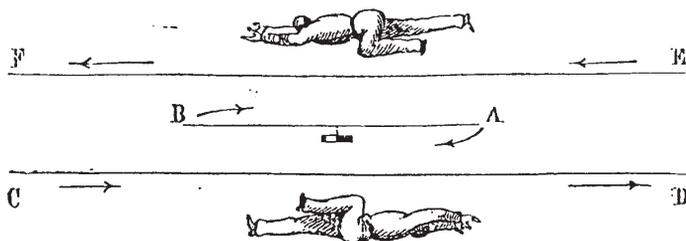
c) Suivant l'orientation du fil par rapport au plan de rotation de l'aiguille aimantée ?

d) Suivant l'intensité dans le fil ?

I (A)					
α (°)					

RÈGLE D'ORIENTATION

Selon Ampère, un observateur fictif qui serait placé sur le fil, parcouru des pieds à la tête par le courant qui regarderait l'aiguille aimantée, indiquerait le sens de déviation de l'aiguille (sens sud-nord), en tendant le bras gauche.



Avec votre montage, vérifiez la validité de la règle d'Ampère.

LA DÉCOUVERTE DE L'ÉLECTROAIMANT

HISTORIQUE

Vers le 20 septembre 1820, le physicien français Arago remarque que le fil conjonctif* en fer doux d'une pile de Volta mise en court-circuit, a la propriété d'attirer la limaille de fer. Cette propriété cesse lorsque le courant s'interrompt.

En remplaçant le fil de fer doux par une aiguille à coudre en acier, il parvient à prolonger cette aimantation après l'interruption du courant.

A cette époque, le physicien Ampère venait d'établir une règle (la règle du bonhomme d'Ampère), qui lui permettait de deviner à l'avance l'action d'un courant sur une aiguille aimantée. Il suggéra à Arago de placer son aiguille d'acier au centre d'un

* Fil métallique qui relie les deux pôles de la pile de Volta.

fil enroulé en hélice car «*d'après ma théorie (disait Ampère) on doit obtenir ainsi le maximum d'information*».

On se propose aujourd'hui, de réaliser cette expérience.

TRAVAIL À EFFECTUER

1. Proposer un schéma de montage permettant de réaliser cette expérience. Préciser quel est le dipôle qui joue le rôle de fil enroulé en hélice.
2. Si on s'intéresse à une seule spire, indiquez comment à l'aide de la règle d'Ampère on peut deviner à l'avance le sens que prendrait une aiguille aimantée placée en son centre.
3. Alimenter la bobine. Pourquoi l'aiguille aimantée dévie-t-elle ? Justifier votre réponse.
4. Pourquoi obtient-on un maximum d'action avec un grand nombre de spires ?
5. Vérifier que les pôles de l'aimant ainsi créés sont effectivement ce que vous aviez déterminé.
6. On place maintenant à l'intérieur de la bobine un noyau de fer doux. Indiquer comment à l'aide d'une aiguille aimantée, on peut comparer l'effet créé par les spires avec un noyau de fer à l'effet créé par les spires sans un noyau de fer.

L'ÉLECTRICITÉ D'INDUCTION (première partie)

HISTORIQUE

En 1830, Faraday le célèbre physicien anglais étudie l'influence des courants sur les aimants. Il constate au cours de nombreuses expériences que, lorsqu'il introduit un barreau aimanté dans une bobine de fil métallique dont les deux bornes sont reliées, il y détermine un courant galvanique*. Seulement ce courant ne dure qu'un instant. De même lorsqu'il retire l'aimant de la bobine, il observe un autre courant tout aussi éphémère mais orienté dans l'autre sens. Ce courant est appelé courant induit.

On se propose aujourd'hui de recommencer l'expérience et d'établir des règles pour prévoir le sens et l'intensité des courants induits.

* L'intensité de ce courant est repérée par un galvanomètre ; il l'a donc appelé courant galvanique (description du galvanomètre p. ???).

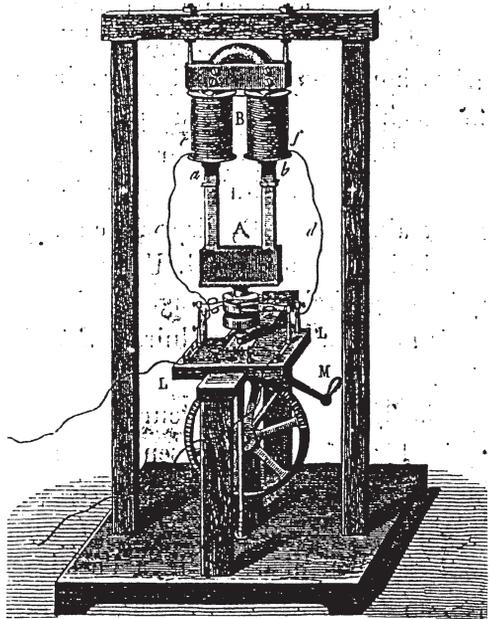
TRAVAIL À EFFECTUER

1. Proposer un montage réalisant l'expérience décrite ci-dessus.
2. Recommencer l'expérience : on s'intéresse aux propriétés du courant induit.
3. Le sens du courant est-il le même :
 - suivant qu'on approche un pôle nord ou un pôle sud ?
 - suivant qu'on approche ou qu'on éloigne un des pôles de l'aimant ?
 - comment l'intensité du courant varie-t-elle avec la vitesse de déplacement de l'aimant ?
 Résumer les résultats dans un tableau récapitulatif.
4. Faraday a donc trouvé le moyen de produire de l'électricité autrement que par une machine électrostatique ou une pile de Volta. Mais le courant ainsi créé a une existence éphémère qui l'apparente à la décharge d'une bouteille de Leyde. Aussi il demande à ses contemporains d'inventer une machine qui pourrait engendrer un courant permanent. C'est ce que réalise Pixii en 1832 avec la machine ci-après.

Deux colonnes de bois supportent un électroaimant fixe B, c'est-à-dire un morceau de fer, en forme de fer à cheval, entouré d'un fil métallique d'une longueur suffisante recouvert de soie et entouré en hélice. En-dessous peut tourner, sur un axe vertical, un fort aimant naturel rectangulaire A, dont les deux pôles a et b rasant tour à tour le fer doux de la bobine B.

Le mouvement de rotation est produit par deux roues d'engrenage et une manivelle M.

A l'aide de la gravure ci-dessus et de cette légende, donner une explication du fonctionnement de la machine de Pixii. Quelle est la forme du courant induit dans les fils *ec* et *fd* ?



On se propose de simuler un fonctionnement voisin de cette machine à l'aide d'une bobine montée sur un pivot.

1. Visualiser l'image du courant induit dans la bobine à l'oscilloscope.
2. Comparer ce fonctionnement avec celui de la machine de Pixii.

L'ÉLECTRICITÉ D'INDUCTION (*seconde partie*)

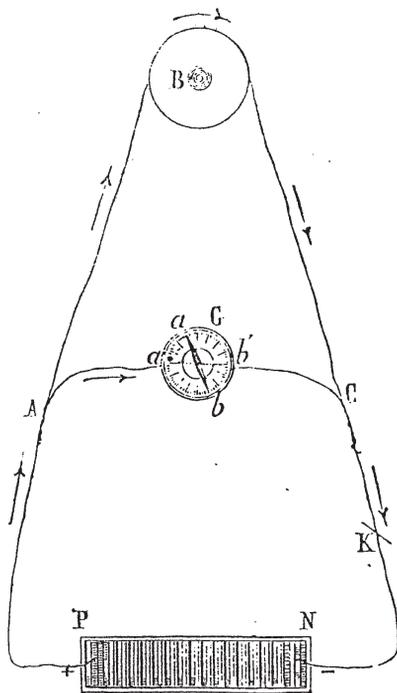
HISTORIQUE

Déjà vers 1822, A.M. Ampère étudiait l'influence des courants sur les aimants. Il remarqua qu'un petit anneau de cuivre placé à l'intérieur d'une bobine de fil enroulé en hélice, était parcouru par un courant dès qu'elle était reliée à une pile de Volta.

Nous sommes maintenant en 1830, Faraday a pris connaissance des travaux d'Ampère sur l'influence des courants sur les aimants. Déjà, il a réussi à créer des courants dans une bobine en introduisant puis en retirant un barreau aimanté à l'intérieur de celle-ci. Il enroule alors un fil de cuivre isolé autour d'un cylindre de bois. La bobine ainsi constituée est reliée à une pile de Volta. Autour du même cylindre, il bobine un autre fil de cuivre. Cette seconde bobine est connectée à un galvanomètre (petit appareil* permettant de mettre en évidence la présence d'un courant).

Le montage est représenté ci-contre.

Lorsqu'il connecte la pile, il s'aperçoit que l'aiguille du galvanomètre dévie puis revient à sa position de repos. De même, lorsqu'il déconnecte la pile, l'aiguille dévie dans l'autre sens, puis revient à sa position initiale.



* Il est constitué par une boussole placée sous un fil métallique horizontal.

Faraday appelle le courant produit par la première bobine, courant *inducteur*, et celui qui est produit par la seconde bobine, courant *induit*.

On se propose aujourd'hui de recommencer l'expérience et d'expliquer les résultats.

TRAVAIL À EFFECTUER

1. A l'aide du matériel disponible sur votre table, proposer un schéma de montage permettant de reconstituer l'expérience de Faraday.
2. Câbler votre montage et réaliser l'expérience.
3. On s'intéresse à la **première bobine** (système inducteur) :
 - Pourquoi l'aiguille dévie-t-elle ?
Justifier votre réponse.
 - A quoi peut-on comparer cette bobine parcourue par un courant ?
4. On s'intéresse à la **seconde bobine** (système induit) :
 - Que se passe-t-il dans le fil de la bobine pendant qu'on introduit à l'intérieur de celle-ci un barreau aimanté ?
5. On s'intéresse maintenant aux **deux bobines imbriquées** :
 - Comment se comporte la bobine inductrice vis-à-vis de la bobine induite au moment où on la connecte ?
 - Comparer son action avec celle d'un aimant que l'on approche.
 - Le sens du courant induit est-il le même :
 - a) à la fermeture et à l'ouverture du circuit inducteur ?
 - b) suivant le sens du courant inducteur ?

Faites un tableau récapitulatif de ces observations.

SÉANCE DE TRAVAUX PRATIQUES : DESCRIPTION ET OBJECTIF

POSTE 1 : L'EXPÉRIENCE D'OERSTED (1820)

Objectifs

1. Identifier une source de champ magnétique.
2. Déterminer la direction et le sens du champ magnétique en un point à l'aide d'une aiguille aimantée.
3. Remarquer la proportionnalité entre le champ magnétique et le courant qui le crée.
4. Remarque que le sens du champ magnétique en un point dépend du sens du courant dans le conducteur.
5. Appliquer la règle d'orientation du champ magnétique (bonhomme d'Ampère).

Matériel disponible

- Un fil de cuivre monté sur un support dont le socle possède un rapporteur.
- Une aiguille aimantée.
- Un rhéostat de courant maximum : $I_{\max} = 10 \text{ A}$.
- Une alimentation stabilisée 9 Volts pouvant débiter 10 ampères.
- Un ampèremètre.
- Des fils de liaisons.

POSTE 2 : LA DÉCOUVERTE DE L'ÉLECTROAIMANT

Objectifs

1. Remarquer l'analogie entre une bobine parcourue par un courant et un aimant droit.
2. Identifier les faces Nord et Sud de la bobine à l'aide d'une aiguille aimantée.
3. Remarquer que le sens du champ magnétique dépend du sens du courant dans la bobine.
4. Remarquer la proportionnalité entre l'intensité du champ magnétique et l'intensité du courant qui le crée.

Matériel disponible

- Une alimentation stabilisée pouvant débiter 2 A.
- Une bobine de 1000 spires, 8Ω .

- Un noyau de fer doux.
- Une aiguille aimantée.
- Un rhéostat.
- Un ampèremètre.

POSTE 3 : L'ÉLECTRICITÉ D'INDUCTION (1)

Pour mettre en évidence les courants induits, les élèves ne disposent pas d'appareil de mesure classique mais d'une seconde bobine et d'une aiguille aimantée. Ils doivent utiliser cet ensemble en tant que détecteur de courant. Puis en étudiant le sens des enroulements, ils déterminent aisément le sens du courant d'induction.

Nous proposons aussi l'étude d'une application sur l'électricité d'induction contemporaine à Faraday : la machine de Pixii.

Pour illustrer le fonctionnement de la machine, ils ont à leur disposition une bobine à noyau de fer pouvant tourner devant un aimant droit. La bobine est connectée à un oscilloscope. Lorsqu'ils font tourner la bobine, les élèves peuvent visualiser une f.é.m. induite et comparer ce fonctionnement à celui de la machine de Pixii.

Objectifs

1. Connaissance d'une cause d'existence d'une f.é.m. induite.
2. Remarquer qu'une variation du champ magnétique dans une bobine entraîne la création d'une f.é.m. induite.
3. Loi de Lenz.
4. Connaissance d'une application du phénomène d'induction électromagnétique.

Matériel disponible

- Un aimant droit.
- Deux bobines de 1000 spires, 8Ω .
- Une aiguille aimantée.
- Un aimant droit monté sur support.
- Une bobine mobile sur pivot avec son noyau de fer.
- Un oscilloscope.

POSTE 4 : L'ÉLECTRICITÉ D'INDUCTION (2)

Comme sur le poste 3, les courants induits seront mis en évidence à l'aide d'une bobine supplémentaire et d'une aiguille aimantée.

Objectifs

1. Remarquer l'analogie entre une bobine parcourue par un courant et un aimant droit.
2. Connaissance de deux causes d'existence d'une f.é.m. induite.
3. Loi de Lenz.
4. Connaissance d'une application du phénomène d'induction électromagnétique.

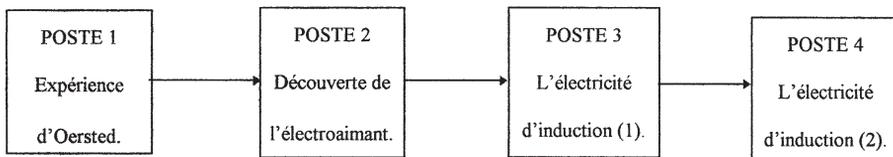
Matériel disponible

- Des bobines de Faraday.
- Une bobine de 1000 spires, 8Ω .
- Une aiguille aimantée.
- Une alimentation stabilisée et un rhéostat.
- Un interrupteur.

ANALYSE DE LA SÉANCE DE TRAVAUX PRATIQUES AMÉLIORATIONS

Les élèves ont très vite été attirés par les petits textes à caractère historique ou anecdotique introduisant les différentes manipulations. Mais, ils ont parfois eu des difficultés à en comprendre le sens. On peut donc envisager une étude préalable de ces textes, éventuellement en collaboration avec le professeur de français. Ils ont apprécié aussi l'approche essentiellement physique des travaux pratiques, même si le cours correspondant était déjà un peu oublié.

Cependant, la configuration de cette séance est à revoir. En effet, la nature historique des manipulations s'accorde mal avec un système de TP tournants. La logique de progression dans la difficulté et dans le programme correspond à l'ordre chronologique des grandes découvertes présentées suivant les quatre postes :



De ce fait, le groupe ayant effectué les manipulations dans l'ordre s'est trouvé nettement avantagé par rapport aux trois autres groupes.

Les élèves ont eu des difficultés pour manipuler ou interpréter les résultats. Le caractère historique de la séance, ne leur a pas permis d'éviter les erreurs liées à la complexité du chapitre étudié. Des problèmes d'influence du champ magnétique terrestre sur une aiguille aimantée, d'identification des pôles d'une bobine, voir d'une aiguille aimantée ont persisté. Le rôle du détecteur de courant induit dans le TP sur l'induction n'a pas été trouvé immédiatement. La vérification de la loi de Lenz a été difficilement faite, alors que le fonctionnement de la machine de Pixii a été vite compris.

Dans un souci de simplification, nous avons omis de signaler que la machine était dotée d'un redresseur mécanique de la tension induite. Pourtant, un élève a soupçonné son existence, et en a proposé un fonctionnement possible en regardant le gravure.

Cette remarque est bien significative des capacités de compréhension de nos élèves lorsqu'ils sont intéressés.

AMÉLIORATION DE L'ENSEMBLE DE LA SÉANCE

Pour améliorer la séquence, il s'agit tout d'abord de remplacer la séance de TP tournants par deux séances de TP classiques de trois heures. Nous avons remarqué également que le temps manquait aux élèves pour bien rédiger leurs comptes-rendus d'observation. Deux séances au lieu d'une permettraient de résoudre ce problème.

On pourrait donc faire une première séance comportant les deux premières manipulations sur les sources de champs (expérience d'Oersted et découverte de l'électroaimant). Dans une seconde séance on pourrait proposer les deux manipulations sur l'électricité d'induction. De ce fait, on pourrait rapprocher ces séances de celles de cours correspondantes, et donc être plus efficace.

Enfin, on peut développer à souhait chaque manipulation. Dans l'expérience d'Oersted, on pourrait demander la valeur de l'intensité du champ magnétique au niveau de l'aiguille aimantée quand celle-ci fait un angle de 45° avec la direction du fil (dans ce cas l'intensité du champ est égale à la composante horizontale du champ magnétique terrestre).

Dans la découverte de l'électroaimant, il serait utile de commencer la manipulation par des questions préliminaires sur le champ magnétique terrestre. On pourrait aussi rajouter une partie quantitative pour illustrer la proportionnalité du champ magnétique et du courant qui le crée ($B = k.I$) ainsi que la proportionnalité du champ et du nombre de spires. On pourrait également rajouter des questions supplémentaires pour comparer les valeurs du champ au voisinage de la bobine puis à quelques centimètres de celle-ci.

Dans l'électricité d'induction (1), il faudrait aider les élèves par une question supplémentaire : «Comment créer un détecteur de courant induit à l'aide d'une bobine et d'une aiguille aimantée ?». Il serait utile d'utiliser un galvanomètre à zéro central pour déterminer le sens du courant et vérifier ainsi la loi de Lenz. On pourrait aussi proposer des manipulations supplémentaires pour mieux illustrer la f.é.m. induite due à une variation du flux (déplacement d'un aimant droit, déplacement de la bobine).

Enfin, dans l'électricité d'induction (2), On pourrait montrer à l'aide d'un oscilloscope qu'une f.é.m. induite positive tend à faire circuler un courant d'intensité positive.

CONCLUSION

L'utilisation de l'histoire des sciences dans le cours de première STI est profitable aux élèves par de nombreux aspects. En effet, revenir aux fondements des découvertes permet, parfois, de mieux comprendre la théorie énoncée. Nos élèves ont aussi une idée plus précise du temps qu'il a fallu pour mettre à jour des théories qui leurs sont enseignées : leurs difficultés à en comprendre certaines peuvent être alors mieux appréciées par l'enseignant.

Les élèves ont semblé être intéressés par l'approche historique de cette partie du programme. De plus, ils ont acquis une culture scientifique plus importante.

Cependant, il faudrait parler d'histoire des sciences par petite introduction avant chaque chapitre concerné, plutôt que sur une séance. La séance de travaux pratiques est aussi à améliorer. L'intérêt porté par les élèves à ce type de séance confirme son importance. Il reste à trouver un rythme, de façon à rendre les séances aussi efficaces qu'intéressantes.

L'expérience montre donc, qu'il serait profitable d'inclure l'histoire des sciences dans le programme de la filière STI, comme cela a été fait dans les filières scientifiques et littéraires.

BIBLIOGRAPHIE

- L. FIGUIER : «*Les merveilles de la science*» (env. 1875).
- G. BORVON : «*De Dufay à Ampère. Des deux espèces d'électricité au deux sens du courant électrique. Un moment de l'histoire de l'électricité*» - BUP n° 760, janvier 1994, pp. 27-60.
- R. TATON : «*Histoire générale des sciences*» - 4 volumes, 3472 page - PUF, Quadrige.
- J. ROSMORDUC : «*Histoire des sciences : la naissance de l'électromagnétisme*» - BUP n° 604, mai 1978, pp. 1087-1097.