**Parcours pédagogique du site *Ampère et l'histoire de l'électricité* (www.ampere.cnrs.fr)**

## Synopsis de la vidéo *De la boussole d'Arago au freinage du TGV*

***Boussole ancienne (photographie)***

Le physicien Arago avait constaté que les oscillations d'une boussole s'amortissent rapidement au voisinage d'une plaque de cuivre, chose étonnante car le cuivre n'est pas magnétique.

***Séquence filmée : amortissement des oscillations d'une boussole au voisinage d'une plaque de cuivre***

L'amplitude des oscillations de cette boussole diminue de moitié au bout de 4 ou 5 oscillations. Plaçons maintenant l'un des pôles au ras d'une plaque de cuivre. Le même amortissement est obtenu en moins de deux oscillations.

***Séquence filmée : l'expérience du "magnétisme de rotation" d'Arago***

S'interrogeant sur ce phénomène, Arago réalise en 1824 une expérience, que nous reprenons avec cet appareil de démonstration. Un mécanisme permet de faire tourner un disque de cuivre. Au-dessus du disque, plaçons un barreau aimanté. Le barreau s'oriente selon le magnétisme terrestre.

Faisons tourner le disque. Le barreau se met à tourner avec le disque, comme s'il était entraîné ! Si on inverse le sens de rotation du disque, le barreau ralentit puis se met à tourner en sens inverse.

Ce phénomène, nommé par les contemporains d'Arago "magnétisme de rotation", reste une énigme pendant sept ans.

***Portrait de Faraday puis séquence filmée : induction d'un courant par l'approche d'un aimant***

C'est en effet en 1831 que Michael Faraday parvient à expliquer ce magnétisme de rotation par l'induction électromagnétique, qu'il vient de découvrir : si un aimant et un circuit sont en mouvement l'un par rapport à l'autre, un courant est créé – ou *induit* – dans le circuit.

***Animation d'après un dessin du journal de laboratoire de Faraday***

Ainsi, d'après l'un de ses dessins, quand Faraday fait aller et venir une bobine entre les pôles d'un gros aimant en U, un courant est induit dans la bobine.

***Séquence filmée : retour à l'expérience du "magnétisme de rotation"***

Il fait un rapprochement avec l'expérience du disque d'Arago : dans les deux cas, un conducteur est en mouvement au voisinage d'un aimant.

***Dessins d'après le journal de laboratoire de Faraday***

Il substitue alors à la bobine un disque de cuivre qui tourne entre les pôles de l'aimant.
Un courant est effectivement induit dans le disque, comme le montre Faraday en dérivant une partie de ce courant à travers un galvanomètre, relié au centre et à la périphérie du disque.

***Séquence filmée : retour à l'expérience du "magnétisme de rotation"***

Le magnétisme de rotation du disque d'Arago est alors expliqué qualitativement par Faraday. Le mouvement relatif entre le disque et l'aimant induit des courants dans le disque. Or on sait, depuis 1820, qu'entre un aimant et un courant voisins, il s'exerce une force. C'est cette force électromagnétique qui entraine l'aimant.

***Le "disque de Faraday" (photographies)***

Reprenons l'expérience de Faraday avec cet aimant en U et un petit disque de cuivre. La partie inférieure du disque plonge dans un bain de mercure. Le fil rouge est connecté à l'axe du disque, et le fil noir au bain de mercure, donc à la périphérie du disque.

***Séquences filmées : l'expérience du disque de Faraday, avec un galvanomètre ancien...***

Ces fils sont reliés à un galvanomètre du XIX$^{e}$ siècle, très semblable à celui de Faraday. Faisons tourner le disque. On constate une très légère déviation de l'aiguille du galvanomètre. Inversons le sens de rotation du disque. L'aiguille dévie dans l'autre sens.

***… puis avec un milliampèremètre numérique.***

Un multimètre mesure une intensité très faible, inférieure au milliampère, ce qui explique la faible déviation de l'aiguille du galvanomètre. Lorsque le disque tourne en sens inverse, le signe moins sur le multimètre montre que le sens du courant s'est également inversé.

***Schéma : la circulation des courants induits dans le disque***

Un courant circule donc entre le centre et la périphérie du disque. En fait il se forme des boucles de courant à l'intérieur du disque.

***<u>Séquence filmée :</u> l'expérience d'Arago tentée avec un disque présentant des coupures radiales***

De même, il se forme des boucles de courants induits dans le disque d'Arago. Si on incise ce disque suivant un certain nombre de rayons, l'aimant ne peut plus induire ces boucles de courants à l'intérieur du cuivre. Il ne s'exerce alors plus de force sur l'aimant, et celui-ci n'est pas entrainé.

***Schémas : sens des courants induits dans le disque de Faraday et force de freinage***

Pour sa propre expérience où l'aimant est fixe, Faraday fournit non seulement l'explication qualitative par les courants induits, mais il définit la règle qui fixe le sens du courant induit en fonction du sens de rotation du disque. La force qui s'exerce entre l'aimant et les courants à l'intérieur du disque s'oppose à la rotation du disque. C'est donc une force de freinage.

***Photographies puis <u>séquence filmée</u> : freinage des oscillations d'un pendule***

C'est ce que montre une expérience classique depuis le XIXe siècle. Un disque de cuivre, fixé à l'extrémité d'un pendule, oscille entre les pôles d'un électro-aimant. En l'absence de courant dans l'électro-aimant, lançons le pendule. Puis faisons passer le courant : l'amplitude des oscillations diminue fortement. En 1855 Léon Foucault observe une expérience de ce type et il s'étonne de la "destruction apparente du mouvement" qu'on y observe.

***Photographies puis <u>séquences filmées</u> : la machine de Foucault, la mise en rotation du disque de cuivre...***

Il reprend alors l'expérience de Faraday avec un appareil destiné à étudier de plus près ce mystère. Un système d'engrenages permet de lancer à grande allure un disque de cuivre entre les pôles d'un électroaimant.

***… et le freinage du disque par induction***

Lorsque ce dernier n'est pas branché, le disque une fois lancé poursuit son mouvement sur son élan. Rapprochons alors les pièces polaires de l'électroaimant et actionnons l'interrupteur : le freinage est spectaculaire. Reprenons : le disque est lancé. Fermons l'interrupteur. Le disque s'arrête

***… un effort important est nécessaire pour maintenir le disque en rotation***

Si l'on veut maintenir la rotation du disque contre la force de freinage créée par l'électroaimant, il faut exercer un effort très important. Coupons le courant dans l'électroaimant : on relance le disque sans effort. Rétablissons le courant : il faut à nouveau exercer un effort important pour maintenir la rotation.

***Portrait de Foucault***

Comme l'écrit Foucault, "si on veut que le mouvement persiste, il faut fournir un certain travail". Il interprète alors cette expérience selon le principe de l'équivalence entre le travail et la chaleur, récemment énoncé mais encore discuté.

***Reprise de la <u>séquence filmée</u> : effort pour maintenir le disque en rotation***

Le travail fourni par l'opérateur pour faire tourner le disque doit se retrouver sous forme de chaleur dissipée par les courants dans le disque. Foucault vérifie qu'en faisant tourner le disque assez longtemps, celui-ci s'échauffe jusqu'à devenir brûlant.

***Gravure : le dispositif de Tyndall, variante de la machine de Foucault***

Tyndall rend l'expérience spectaculaire en faisant tourner entre les pôles d'un aimant un cylindre de cuivre contenant un alliage fusible . En 2 minutes de rotation, l'alliage à l'intérieur du cuivre est entièrement fondu.

***Gravure : la machine de Foucault***

Avec Foucault, l'expérience de Faraday a changé de fonction. Sa machine est destinée, écrit-il, à montrer au public "un curieux exemple de la conversion de travail en chaleur".

***Portrait de Foucault***

La démonstration de Foucault rencontre un tel succès que les courants créés par induction à l'intérieur d'une pièce métallique, découverts par Faraday, sont appelés "courants de Foucault".

***Système de freinage électromagnétique d'un Train à Grande Vitesse (au Japon)***

Le ralentissement d'un disque en rotation sous l'action d'un électro-aimant est aujourd'hui couramment utilisé pour le freinage de véhicules lourds tels le TGV.

***Générique de fin, crédits photos...***

**Mise en ligne, janvier 2011**