

applications industrielles, parmi lesquelles nous nous bornons à mentionner les *horloges électriques*, les *chronoscopes*, destinés à mesurer des intervalles de temps très-courts, les *moteurs électro-magnétiques* et l'*électro-trieur*. Ce dernier appareil a pour but de séparer de leur gangue les minerais de fer magnétiques. Il se compose de trois roues en fonte tournant sur un même axe horizontal et portant chacune plusieurs électro-aimants disposés dans le sens des rayons. Au-dessous de ces électro-aimants arrive, sur une toile sans fin, le minerai pulvérisé, dont les parcelles d'oxyde magnétique, attirées par les électro-aimants, sont ainsi séparées de leur gangue, c'est à-dire des matériaux étrangers sur lesquels le magnétisme est sans action. Aussitôt que les électro-aimants ont dépassé la toile qui apporte le minerai, le courant, par une disposition particulière de l'appareil, cesse pour chacun d'eux; l'oxyde n'étant plus attiré tombe alors sur un plan incliné, qui le conduit dans le lieu où il doit être utilisé.

Résumé.

I. Les substances magnétiques s'aimantent instantanément sous l'influence des courants électriques.

II. Les électro-aimants sont des barres de fer doux, ayant la forme d'un fer à cheval, sur les deux branches duquel est enroulé un long fil de cuivre revêtu de soie de manière à former deux hélices continues. Quand un courant passe dans ce fil, l'électro-aimant acquiert une force magnétique très-grande, qu'il perd aussitôt que le courant cesse de passer.

III. On aimante des aiguilles ou des barreaux d'acier en les plaçant dans des tubes de verre autour desquels sont enroulés en hélice des fils de cuivre que traversent des courants. Ces hélices sont dites *dextrorsum* ou *sinistrorsum*, suivant le sens de leur enroulement.

IV. Les télégraphes, les sonneries électriques et autres appareils de ce genre (horloges, chronoscopes, etc.), reposent sur la propriété que possèdent les électro-aimants d'acquies ou de perdre instantanément leur aimantation, lorsqu'ils sont soumis à l'influence d'un courant ou qu'ils cessent de l'être.

V. Tout système de télégraphie électrique se compose essentiellement de quatre parties : 1° d'une *pile*; 2° d'un *conducteur*; 3° d'un *appareil manipulateur*; 4° d'un *appareil récepteur*. Les télégraphes actuellement employés en France sont le télégraphe Morse, celui de Hugues et le télégraphe à cadran.

CHAPITRE XXIII.

Courants thermo-électriques. — Thermo-multiplicateur. — Courants d'induction. — Expériences fondamentales. — Machines d'induction. Machines de Ruhmkorff, de Pixii et de Clarke. — Propriétés des courants d'induction.

Courants thermo-électriques. Thermo-multiplicateur.

524. *Courants thermo-électriques.* — La chaleur peut, dans certaines conditions, donner naissance à des courants électriques qui ne se distinguent des courants ordinaires que par leur tension comparativement beaucoup plus faible. Pour mettre ce fait en évidence, on se sert d'un petit appareil composé (fig. 212) d'une lame de bismuth BH, dont les deux extrémités sont soudées à une lame de cuivre CD, recourbée de manière à former un circuit dans l'intérieur duquel est une aiguille aimantée *ab* mobile sur un pivot. L'appareil étant placé dans la direction du méridien magnétique, si l'on chauffe légèrement l'une des soudures, on voit aussitôt l'aiguille se dévier de sa position d'équilibre, et prendre une direction qui indique la production d'un courant allant, dans la lame de cuivre DC, de la soudure chauffée vers la soudure froide. Si, au lieu de chauffer la soudure H, comme le représente la figure, on la refroidit

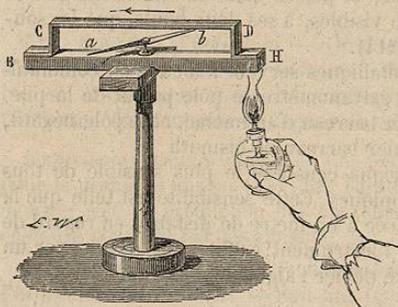


Fig. 212.

Les courants thermo-électriques sont le résultat de l'inégale

avec de la glace, en conservant à l'autre soudure sa température normale, on voit encore un courant se produire, mais en sens inverse du premier. Dans les deux cas, l'intensité du courant est proportionnelle à la différence de température des deux soudures.

propagation de la chaleur au travers des différentes pièces métalliques composant le circuit. Pour le démontrer, on prend un circuit formé d'un seul métal, soit d'un fil de cuivre dont toutes les parties sont homogènes : si l'on chauffe un des points de ce circuit, il ne se manifeste aucun courant. Mais si l'on vient à rompre l'homogénéité du circuit, en tordant plusieurs fois le fil sur lui-même dans une partie de sa longueur, et qu'on le chauffe ensuite près de l'endroit où il a été tordu, on observe un courant allant de la partie chauffée vers cet endroit. Toutefois le courant ainsi obtenu est excessivement faible; aussi est-il préférable, pour la production des courants thermo-électriques, d'employer des circuits composés de métaux différents.

525. *Pile thermo-électrique.* — La pile thermo-électrique, dite *pile de Melloni*, du nom de son inventeur, a pour objet d'accumuler les tensions des courants thermo-électriques

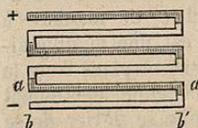


Fig. 213.

qui se produisent dans un circuit formé de plusieurs métaux. Elle se compose (fig. 213) d'une série continue de barreaux de bismuth *bb'* et d'antimoine *aa'* soudés les uns aux autres, et recourbés de manière que toutes les soudures d'ordre pair soient d'un côté, et les soudures d'ordre impair du côté opposé.

Ces barreaux, dont on peut multiplier le nombre à volonté, sont disposés par rangées verticales de quatre ou cinq couples, communiquant ensemble, et placés dans un étui rectangulaire de cuivre, qui ne laisse visibles, à ses deux bouts, que les soudures de la pile *P* (fig. 214).

Deux petites tiges métalliques servent à mettre en communication avec les fils du galvanomètre le pôle positif de la pile, représenté par le dernier barreau d'antimoine, et le pôle négatif, correspondant au premier barreau de bismuth.

La pile thermo-électrique constitue le plus sensible de tous les appareils thermoscopiques. Cette sensibilité est telle que la chaleur de la main, placée à un mètre de distance en regard de l'un des deux bouts de l'instrument, suffit pour développer un courant capable de faire dévier l'aiguille du galvanomètre.

526. *Thermo-multiplicateur.* — La pile thermo-électrique combinée avec le galvanomètre porte le nom de *thermo-multiplicateur*. C'est avec cet appareil (fig. 214), inventé par Mel-

loni, qu'ont été faites les expériences délicates dont nous avons parlé plus haut (155) sur les divers pouvoirs des corps relatifs

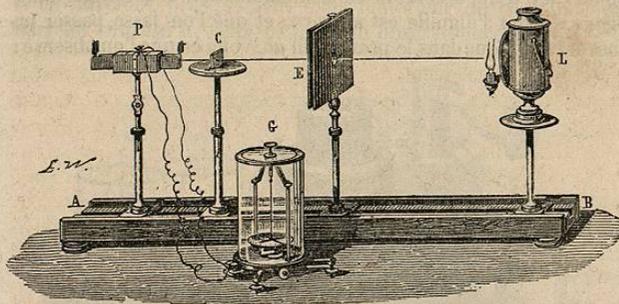


Fig. 214.

à la chaleur rayonnante. *L* est une lampe Locatelli qui sert de source de chaleur, *E* un écran mobile, percé d'une ouverture circulaire pour le passage des rayons calorifiques, *C* un support sur lequel on place les corps soumis à l'expérimentation, *P* la pile thermo-électrique, dont les deux pôles communiquent avec un galvanomètre *G*. Ces différentes pièces, moins le galvanomètre, sont fixées à des distances variables sur une règle en cuivre *AB*, d'un mètre de longueur et divisée en centimètres.

Induction électrique. Expériences fondamentales.

527. *Courants d'induction.* — On donne le nom de *courants d'induction*, ou de *courants induits*, à des courants instantanés qui se développent dans des conducteurs métalliques, sous l'influence des courants voltaïques ou des aimants.

Expériences fondamentales. — Ces expériences ont été faites pour la première fois en 1834, par Faraday, dans le but de démontrer soit la production des courants par les courants, soit celle des courants par les aimants.

1^o *Expérience qui démontre la production des courants par l'influence des courants.* — Soit une bobine en bois *M* placée, comme la représente la fig. 215, dans une autre bobine *K*. Sur la première bobine est enroulé un long fil de cuivre *ab* revêtu de soie; sur l'autre bobine est également enroulé dans le même

sens un second fil *cd*; ces deux fils forment par conséquent deux hélices semblables et superposées. Cela fait, si l'on met les deux bouts *c* et *d* du second fil en communication avec un galvanomètre *G* dont l'aiguille est au zéro, et que l'on fasse passer un courant voltaïque dans le premier fil *ab*, voici ce que l'on observe :

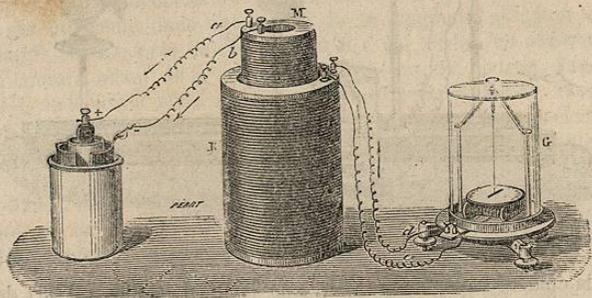


Fig. 215.

Au moment même où le courant commence à traverser le fil *ab*, de *a* vers *b* par exemple, l'aiguille du galvanomètre éprouve une déviation qui indique qu'un courant instantané et de sens inverse du premier s'est développé dans le fil *cd*. Mais cet effet ne dure qu'un instant très-court; car l'aiguille, après quelques oscillations, revient au zéro et s'y maintient tant que le courant voltaïque continue à passer dans le fil *ab*. Mais si l'on interrompt ce courant, l'aiguille du galvanomètre est de nouveau déviée en sens contraire de la déviation précédente; ce qui prouve qu'à l'instant même où le courant s'est arrêté dans le fil *ab*, un nouveau courant, direct cette fois, c'est-à-dire de même sens que le courant *ab*, s'est encore développé instantanément dans le fil *cd*. Le courant voltaïque *ab* sous l'influence duquel se sont produits les deux courants instantanés dans le fil *cd* s'appelle courant inducteur, et ceux-ci, courants induits; on dit encore que le fil *ab* est le fil inducteur et le fil *cd* le fil induit.

2^o Expérience qui démontre la production des courants par les aimants. — Nous avons vu (310) que les courants voltaïques développent le magnétisme dans le fer et dans l'acier; réciproquement, un aimant fait naître, dans des circuits métalliques, des courants induits. Pour le démontrer, on prend une bobine creuse en bois *M* (fig. 216), sur laquelle on enroule un

seul fil de 200 à 300 mètres de longueur. Les deux extrémités de ce fil étant mises en communication avec un galvanomètre *G*, si on introduit brusquement dans l'intérieur de la bobine un barreau aimanté *A*, voici ce que l'on observe encore :

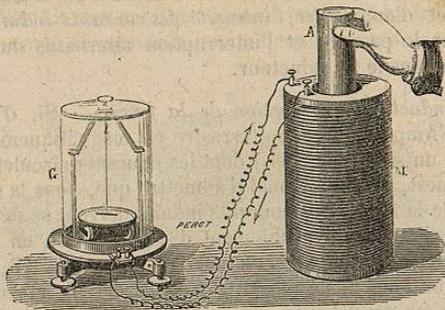


Fig. 216.

Au moment où le barreau est introduit, le galvanomètre indique le passage dans le fil d'un courant instantané de sens inverse des courants qui, d'après la théorie d'Ampère, circuleraient autour du barreau, assimilé à un solénoïde. Ce courant ne dure qu'un temps très-court; car l'aiguille du galvanomètre revient promptement à sa position d'équilibre, et s'y maintient tant que l'aimant reste dans la bobine. Mais si l'on retire rapidement le barreau, un nouveau courant, qui cette fois est direct, se développe encore dans le fil.

Remarque. Le même effet se produit si, au lieu d'introduire dans la bobine un barreau aimanté, on y place une barre de fer doux et qu'on en approche ensuite un fort aimant. Le fer doux, s'aimantant aussitôt par influence, développe immédiatement dans le fil un courant qui cesse dès que l'aimant reste fixe, et qui se reproduit en sens inverse au moment où on l'éloigne.

528. Emploi du fer doux pour augmenter l'intensité des courants induits. — Supposons que dans la bobine inductrice *M* (fig. 215) on place un barreau de fer doux : au moment où le courant passe dans cette bobine, le fer s'aimante à la manière d'un électro-aimant. Or, cette aimantation subite a pour effet de développer aussitôt dans le fil de la bobine extérieure *K* un courant induit magnéto-électrique de même sens que le courant

induit volta-électrique produit par le courant de la pile circulant dans la bobine inductrice M. Si l'on interrompt le circuit, le même effet se reproduit en sens inverse par la désaimantation subite du fer doux. D'où il résulte qu'un barreau de fer doux placé à l'intérieur et dans l'axe d'une bobine d'induction a pour effet d'augmenter l'intensité des courants induits, développés par le passage et l'interruption alternatifs du courant voltaïque dans le fil inducteur.

529. *Induction par l'action de la terre.* — Si, d'après la théorie d'Ampère, le globe terrestre est magnétiquement assimilable à un solénoïde (308) dont les courants circuleraient de l'est à l'ouest, il est rationnel d'admettre que, sous la seule influence de la terre, des courants induits doivent se développer dans des circuits convenablement disposés. C'est, en effet, ce qu'il est facile de démontrer au moyen d'une spirale AB (fig. 217) formée d'un long fil de cuivre recouvert de soie et communiquant par ses deux bouts avec un galvanomètre très-sensible.

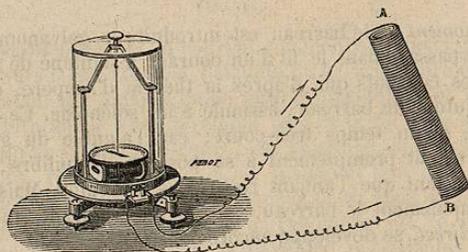


Fig. 217.

Cette spirale étant d'abord placée de manière que son axe soit parallèle à l'aiguille d'inclinaison, si par un mouvement rapide on change sa position, l'aiguille du galvanomètre accuse aussitôt la production instantanée d'un courant induit. Ce courant aura son maximum d'intensité si la spirale est amenée perpendiculairement à sa première direction.

Machines d'induction. Machine de Ruhmkorff. Machines de Pixii et de Clarke. Propriétés des courants d'induction.

550. *Machine d'induction de Ruhmkorff.* — Cette machine, se compose (fig. 218) d'un cylindre en bois B, sur lequel s'en-

roule d'abord un *fil inducteur* d'environ 40 mètres de longueur et de 2 millimètres de diamètre, puis par-dessus, le *fil induit*, lequel est beaucoup plus fin et a une longueur de plusieurs kilomètres. Le tout forme une bobine de 15 à 20 centimètres de diamètre, terminée par deux disques de verre qui servent à l'isoler : les deux fils sont entourés de coton imprégné lui-même d'une couche isolante de gomme-laque ou de poix de résine.

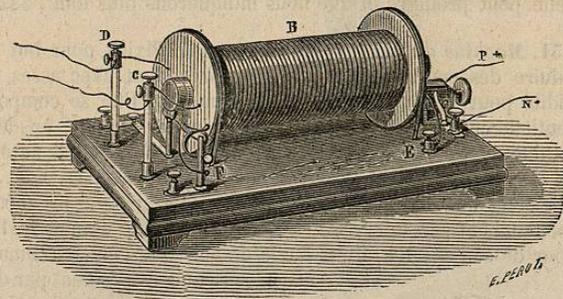


Fig. 218.

Les deux extrémités du fil inducteur s'attachent l'une au bouton F, l'autre au bouton E, lesquels communiquent avec les pôles N et P d'une pile de Bunsen. Un petit appareil nommé *commutateur*, placé à droite de la bobine, permet de fermer ou d'ouvrir à volonté le circuit, et de faire entrer le courant de la pile par l'un quelconque des deux boutons E et F. Ce commutateur n'est autre chose qu'un petit cylindre d'ivoire que l'on peut faire tourner sur son axe, et sur lequel sont fixées deux demi-viroles en cuivre laissant entre elles et de chaque côté une bande d'ivoire libre. Deux ressorts en acier communiquant avec le fil inducteur pressent sur ce cylindre, de telle sorte que le courant passe ou est interrompu selon qu'on les fait appuyer sur le cuivre ou sur l'ivoire.

Les deux extrémités du fil induit, après avoir traversé le disque de verre représenté à gauche de la figure, s'attachent aux boutons C et D, qui supportent deux colonnes de verre isolantes. Dans l'intérieur de la bobine est placé un faisceau de fils de fer qui a pour but de renforcer le courant induit (328), et dont une des extrémités (celle de gauche sur la figure) fait saillie en dehors de la bobine. Au-dessous de cette extrémité du

faisceau magnétique est un petit appareil nommé *interrupteur*, et dont le mécanisme absolument semblable à celui de la sonnerie électrique que nous avons précédemment décrite (321), est destiné à produire des vibrations rapides au moyen desquelles le courant inducteur est successivement interrompu et rétabli. Telle est en résumé la construction de cette machine, remarquable entre toutes par l'intensité extraordinaire des effets qu'elle peut produire et que nous indiquerons plus loin (333).

551. *Machine de Pixii.* — La machine de Pixii a pour but de produire des courants induits qui se succèdent avec assez de rapidité pour devenir sensiblement continus. Elle se compose essentiellement (fig. 219) d'un électro-aimant fixe ABC au-dessous duquel est un aimant en fer à cheval DGHE, mobile autour d'un axe vertical KL. Les extrémités opposées A et D, C et E, de l'électro-aimant et de l'aimant, quoique très-rapprochées, ne se touchent pas. Ceci posé, si l'on fait tourner l'aimant DGHE au tour de son axe KL, il est facile de voir que l'électro-aimant

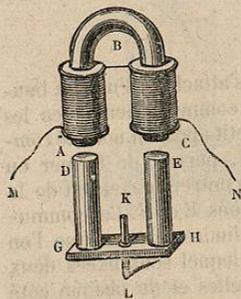


Fig. 219.

552. *Machine de Clarke.* — Cette machine (fig. 220) repose sur le même principe que la précédente, mais elle en diffère en ce sens que c'est l'électro-aimant qui est mobile et qui tourne avec son hélice devant un aimant fixe. Cette disposition inverse rend l'appareil plus portatif, et permet d'obtenir une rotation plus rapide, ce qui augmente l'énergie des courants induits. R est une roue portant une chaîne sans fin, destinée à transmettre un mouvement de rotation rapide aux deux bobines B et B', formées chacune d'un cylindre en fer doux, au-

tour duquel s'enroule un long fil de cuivre entouré de soie. L'aimant AA' se compose de plusieurs fers à cheval en acier, fixés ensemble à une planche horizontale P. En C se trouve un

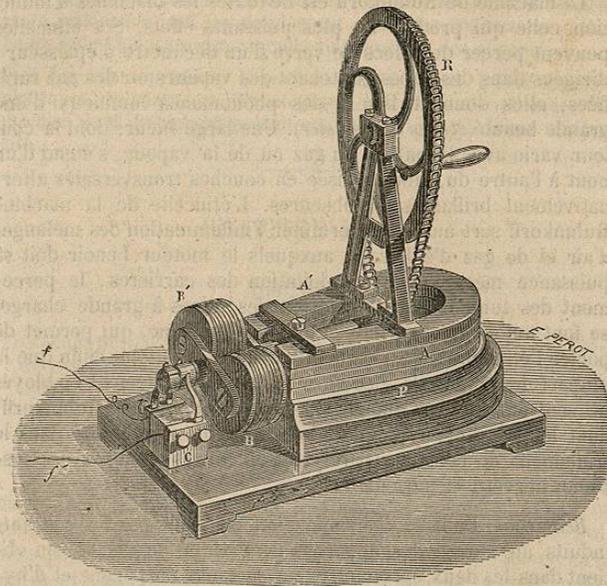


Fig. 220.

parallélépipède de bois, dont les deux faces latérales sont recouvertes de bandes métalliques avec lesquelles communiquent deux ressorts en acier, dont les extrémités libres appuient sur un commutateur analogue à celui que nous avons décrit précédemment (330), et qui permet de changer à volonté le sens des courants. A cette pièce de bois s'attachent également les fils *f* et *f'* devant servir de conducteurs aux courants d'induction développés par la machine.

555. *Caractères et propriétés des courants d'induction.* — Les courants d'induction, malgré leur instantanéité, possèdent toutes les propriétés des courants voltaïques ordinaires. Ils donnent naissance à de vives étincelles; ils peuvent rougir des fils de

platine, aimanter des barreaux d'acier, décomposer l'eau, les oxydes, les sels, et produire dans l'organisation animale des commotions violentes.

La machine de Ruhmkorff est de toutes les machines d'induction celle qui produit les plus puissants effets. Ses étincelles peuvent percer des blocs de verre d'un décimètre d'épaisseur ; dirigées dans des tubes contenant des vapeurs ou des gaz raréfiées, elles donnent lieu à des phénomènes lumineux d'une grande beauté (*tubes de Geissler*). Une large lueur, dont la couleur varie avec la nature du gaz ou de la vapeur, s'étend d'un bout à l'autre du tube, divisée en couches transversales alternativement brillantes et obscures. L'étincelle de la machine Ruhmkorff sert aussi à déterminer l'inflammation des mélanges d'air et de gaz d'éclairage auxquels le moteur Lenoir doit sa puissance mécanique. L'exploitation des carrières, le percement des tunnels par l'explosion des mines à grande charge, se font aujourd'hui au moyen de cette machine, qui permet de porter l'étincelle à de grandes distances. Ajoutons enfin que la plupart des appareils électro-médicaux actuellement employés ne sont autre chose que de très-petites bobines de Ruhmkorff, dont les courants rapides et intermittents sont usités dans le traitement de certaines paralysies ou autres maladies des systèmes nerveux et musculaire.

Remarque. Dans la décomposition de l'eau par les courants induits au moyen des appareils de Pixii ou de Clarke, on obtient dans les deux éprouvettes un mélange d'oxygène et d'hydrogène, parce que le sens des courants change à chaque demi-révolution, soit de l'aimant, soit de l'électro-aimant. Quand on veut obtenir les gaz séparés, il faut donner aux courants une direction constante, ce que l'on obtient en changeant, au moyen du commutateur, l'ordre des communications à chaque demi-révolution.

Résumé.

I. La chaleur peut, dans certaines circonstances, donner naissance à des courants qui ont reçu le nom de courants *thermo-électriques*. Ces courants ne se distinguent des courants ordinaires que par leur tension comparativement beaucoup plus faible.

II La pile thermo-électrique a pour objet d'accumuler les tensions des courants thermo-électriques qui se produisent dans un circuit formé de plusieurs métaux. Les métaux employés dans sa construction sont le bismuth et l'antimoine.

III. Combinée avec le galvanomètre, la pile thermo-électrique constitue le plus sensible de tous les appareils thermométriques. Cet appareil, inventé par Melloni, a reçu le nom de *thermo-multiplicateur*.

IV. On appelle *courants d'induction* ou *courants induits* des courants instantanés qui se développent dans des conducteurs métalliques sous l'influence des courants voltaïques ou des aimants.

V. Les courants induits peuvent donner naissance à tous les effets physiques, chimiques et physiologiques des courants voltaïques. La machine de M. Ruhmkorff produit ces effets à leur maximum d'intensité.

CHAPITRE XXIV.

ACOUSTIQUE.

Production du son. — Propagation du son à travers les corps. — Vitesse de transmission dans l'air. — Réflexion du son ; échos — Intensité du son. — Hauteur du son. — Sirène.

Production du son.

554. *Production du son.* — Le son est toujours le résultat d'un mouvement vibratoire imprimé à la matière pondérable. Lorsqu'on pince, par exemple, une corde de violon, de harpe ou de guitare pour en tirer un son, on distingue très-bien le mouvement de va-et-vient qu'elle exécute de chaque côté de sa position d'équilibre, et dont la succession constitue le mouvement vibratoire. Chaque mouvement complet de va-et-vient, comprenant une allée et une venue, est ce qu'on nomme une *vibration complète*; le seul mouvement d'allée ou de venue porte le nom de *vibration simple*.

Si l'on suspend une petite balle d'ivoire dans une cloche de verre, et qu'après avoir incliné cette cloche de manière à mettre la balle d'ivoire en contact avec ses parois, on lui fasse rendre un son, on voit cette balle exécuter une série de mouvements dont la succession rapide met en évidence les vibrations de la cloche. Cette seconde expérience peut être faite avec la plupart des corps sonores, ce qui démontre le principe énoncé.

Les vibrations, pour se faire entendre, doivent cependant être portées à un certain degré de vitesse. Si l'on fixe dans un étai (*fig. 221*) une longue lame d'acier B A, et qu'après l'avoir