

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

écartée de sa position

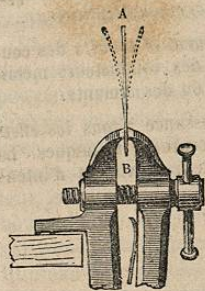


Fig. 221.

d'équilibre on l'abandonne à elle-même, cette lame exécutera une série de vibrations assez lentes pour que l'œil puisse les suivre et même les compter; mais elle ne rendra aucun son. En diminuant peu à peu la longueur de la partie libre de la lame, les vibrations deviennent de plus en plus rapides, et il arrivera un moment où un son, d'abord très-grave, sera perçu; mais alors l'œil ne pourra plus compter les vibrations. En continuant à diminuer ainsi la longueur de la lame, on augmentera la vitesse du mouvement vibratoire, et le son deviendra de plus en plus aigu.

555. *Son et bruit.* — Il faut distinguer le son proprement dit, ou *son musical*, du simple *bruit*. Le premier donne une sensation continue, dont on peut apprécier la valeur musicale, tandis que le *bruit* est une sensation instantanée ou le mélange confus de plusieurs sons discordants, comme le choc d'un marteau, le roulement du tonnerre, etc.

Propagation du son à travers les corps. Le son ne se propage pas dans le vide. Vitesse de transmission dans l'air.

556. *Le son ne se propage pas dans le vide.* — Les vibrations des corps sonores ne peuvent se transmettre jusqu'à nous que par l'intermédiaire d'un milieu pondérable et élastique.

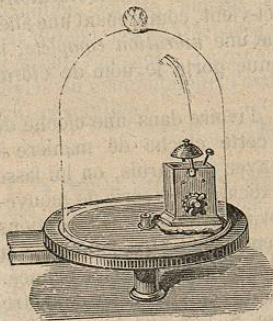


Fig. 222.

Pour le démontrer, on place sous le récipient d'une machine pneumatique et sur un coussinet de laine ou de coton (fig. 222) un timbre dont le marteau est mis en jeu d'une manière continue par un mouvement d'horlogerie. Tant que le récipient contient de l'air à la pression ordinaire, on entend distinctement les chocs du marteau sur le timbre; mais dès

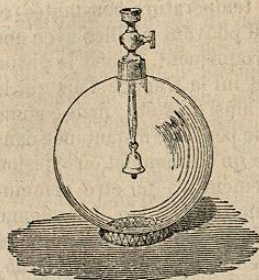


Fig. 223.

que l'on fait le vide, les sons, à mesure que l'air se raréfie, s'affaiblissent de plus en plus, et il arrive un moment où ils cessent de se faire entendre.

On peut encore démontrer ce principe à l'aide d'un ballon de verre à robinet (fig. 223), dans lequel est suspendue une clochette par un cordon peu élastique de soie ou de laine. Le vide étant fait dans ce ballon, si on agite la clochette, on n'entend aucun son; mais, dès qu'on laisse rentrer un

peu d'air, le son commence à se propager au dehors avec une intensité d'abord très-faible, mais qui augmente en raison de la quantité d'air introduit.

557. *Véhicules du son.* — L'air atmosphérique n'est pas le seul véhicule du son. Tous les corps pondérables, solides, liquides ou gazeux, peuvent aussi le transmettre. Dans les deux expériences précédentes, si, au lieu de laisser entrer de l'air dans le récipient ou dans le ballon vide, on y introduit un gaz quelconque ou une vapeur, le bruit du timbre ou de la sonnette se fait également entendre. Pour les liquides c'est un fait connu de tout le monde: sur le bord d'une rivière on entend très-distinctement le choc de deux pierres frappées sous l'eau l'une contre l'autre; réciproquement, un plongeur distingue très-bien les sons produits sur le rivage. Quant aux solides, leur conductibilité est telle, que le plus léger frottement, le choc d'une épingle au bout d'une poutre de plusieurs mètres de longueur, se fait entendre à l'autre extrémité. Qui ne sait qu'en appliquant l'oreille sur la terre on peut entendre, à de grandes distances, le roulement d'une voiture, le pas des chevaux, et sur les rails des chemins de fer la marche d'un train très-éloigné?

558. *Mode de propagation du son dans l'air ou dans tout autre milieu élastique. Ondes sonores.* — Les vibrations par lesquelles le son se propage dans l'air sont constituées par une série d'ondes composées, chacune, d'une demi-onde condensée et d'une demi-onde dilatée.

Considérons (fig. 224) un tube cylindrique et indéfini XY,

Physique.

f 24

rempli d'air à une pression et à une température constantes, et supposons dans ce tube un piston PM pouvant osciller avec une grande vitesse de ab en $a'b'$ et réciproquement. Quand le piston passe de $a'b'$ en ab il pousse devant lui la tranche d'air qui le touche, celle-ci pousse la suivante et ainsi de suite; mais comme cette communication de mouvement ne peut être instantanée dans toute la longueur du tuyau, il arrive qu'au moment où le piston est parvenu à sa limite ab , le mouvement n'a pu être communiqué à l'air que jusqu'à une certaine tranche mn . La colonne d'air $abmn$ à laquelle le mouvement du piston s'est communiqué pendant qu'il exécutait sa première demi-vibration de $a'b'$ en ab , s'appelle une *demi-onde condensée*; l'air, en effet, y a été comprimé, puisque le gaz qui occupait le volume $a'b'mn$ est réduit maintenant au volume $abmn$. Mais cette première demi-onde condensée $abmn$ va communiquer son mouvement à une seconde $mnpq$, celle-ci à une troisième, et ainsi de suite; de sorte que ce mouvement de condensation se propagera dans le cylindre par une série de demi-ondes qui se succéderont en présentant chacune tous les degrés de vitesse du piston PM, allant de $a'b'$ en ab .

Réciproquement, quand le piston reviendra sur lui-même de ab en $a'b'$, il se fera dans la première couche d'air $abmn$, qui est à sa gauche, une raréfaction de longueur égale à celle de la condensation précédente, c'est-à-dire une *demi-onde dilatée*, qui prendra comme les autres tous les degrés de vitesse du piston. La seconde couche $mnpq$ se dilatera à son tour, puis une troisième, et ainsi de suite, dans le prolongement du cylindre. Chaque oscillation ou vibration complète du piston, comprenant l'allée et le retour, donnera donc naissance à deux demi-ondes, l'une condensée et l'autre dilatée, dont l'ensemble forme ce qu'on appelle une *onde sonore*.

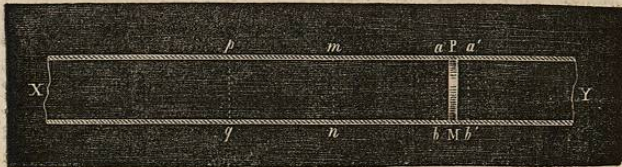


Fig. 224.

La longueur d'une onde sonore est l'étendue de la colonne d'air modifiée, ou l'espace que le son parcourt pendant la durée d'une

24.

vibration complète du corps qui le produit. Pour obtenir cette longueur, il suffit donc de diviser la vitesse du son, c'est-à-dire l'espace qu'il parcourt dans l'air en une seconde, par le nombre de vibrations complètes exécutées dans le même temps par le corps qui produit le son.

Ce que nous venons de dire de la propagation du son dans un milieu cylindrique peut s'appliquer facilement à un espace indéfini dans tous les sens. Les ondes sonores, au lieu de se développer dans une seule direction, se propagent alors sphériquement autour du centre d'ébranlement, comme ces ondes liquides que fait naître la chute d'une pierre à la surface de l'eau. On donne le nom de *rayon sonore* à toute droite partant d'un corps sonore et suivant laquelle le son se propage. La même masse d'air peut être à la fois le siège de plusieurs systèmes d'ondes qui s'étendent, sans s'altérer ni se confondre, autour de leurs centres respectifs; c'est pourquoi nous pouvons entendre d'une manière distincte les sons produits simultanément par plusieurs instruments de musique.

559. *Vitesse de transmission du son dans l'air.* — Nous démontrerons bientôt que la vitesse de la lumière est telle, que les plus grandes distances que nous puissions prendre sur la terre seraient franchies par elle dans un temps inappréciable pour nous. La lumière produite par l'explosion d'une pièce de canon pourra donc être aperçue par un observateur placé très-loin, au moment même où le coup partira. Mais il n'en sera pas ainsi de la détonation; un temps plus ou moins long s'écoulera toujours avant qu'elle parvienne à son oreille. Il suffira par conséquent de compter, sur un chronomètre, l'intervalle qui s'écoulera entre les deux perceptions de l'œil et de l'ouïe, pour connaître le temps rigoureusement employé par le son pour parcourir un espace donné. En divisant ensuite cet espace par le nombre de secondes écoulées, on aura la vitesse du son. Cette expérience, faite pour la première fois en 1738, entre Montmartre et Montlhéry, avait donné pour vitesse du son 333^m,48 par seconde. Elle a été répétée au mois de juin 1822, entre les hauteurs de Villejuif et de Montlhéry, par les membres du bureau des longitudes. Deux pièces de canon, placées l'une à Villejuif et l'autre à Montlhéry, tiraient alternativement de 40 en 40 minutes, de manière à croiser leurs feux. La durée moyenne de la propagation du son d'une station à l'autre fut de 54,6. En divisant par ce nombre la distance qui sépare les deux stations, 48612^m,452,

on trouva 340^m,89 pour la vitesse du son par seconde, à la température de 16° centigrades et sous la pression de 0^m,756. La vitesse du son dans l'air décroît avec la température. Ainsi, à 40° elle n'est plus que de 339 mètres, et à 0°, de 332 mètres. Mais elle est indépendante de la pression barométrique.

340. Vitesse du son dans les liquides et dans les solides. — La vitesse du son dans les liquides est beaucoup plus grande que dans l'air. Elle a été déterminée pour l'eau, d'une manière très-précise, par MM. Colladon et Sturm, à l'aide d'expériences faites en 1827 sur le lac de Genève. Une cloche suspendue à un bateau et plongée dans l'eau du lac était frappée par un marteau, dont le mouvement même produisait, au moment du choc, l'inflammation d'une fusée placée sur le bateau. Du rivage opposé, on comptait le temps écoulé entre l'apparition de la lumière et l'arrivée du son, que l'on percevait au moyen d'un cornet acoustique dont le pavillon plongeait dans l'eau. On trouva de la sorte que la vitesse de transmission du son dans l'eau à la température de 8°,4 est de 1435 mètres par seconde. Dans les solides, elle est beaucoup plus grande encore. Ainsi, d'après les expériences de Biot, la vitesse du son dans la fonte de fer est 40 fois et demie plus grande que dans l'air; elle est 12 fois plus grande dans le cuivre, 16 fois dans le fer et 18 fois dans le bois de sapin.

Problème. — Un observateur placé à l'ouverture d'un puits a laissé tomber une pierre au fond et a compté sur sa montre 3 secondes depuis le commencement de la chute jusqu'à l'instant où il a été averti de l'arrivée de la pierre par le bruit qu'elle a fait en bas. Comment peut-il déterminer par approximation la profondeur x du puits?

Les trois secondes écoulées se composent du temps t employé par la pierre pour arriver à l'eau du puits, plus du temps t' employé par le son pour remonter.

$$\text{Or, de la formule } e = \frac{gt^2}{2} \text{ (60), on tire } t = \sqrt{\frac{2e}{g}} = \sqrt{\frac{2x}{g}};$$

et si nous appelons v la vitesse du son dans l'air, nous aurons $t' = \frac{x}{v}$;

donc

$$\sqrt{\frac{2x}{g}} + \frac{x}{v} = 3, \text{ ou } \sqrt{\frac{2x}{g}} = 3 - \frac{x}{v}$$

d'où

$$\frac{2x}{g} = 3^2 - \frac{6x}{v} + \frac{x^2}{v^2}$$

d'où l'on tire, en réduisant et en remplaçant v par sa valeur, 340^m;

$$x = 40^m,69.$$

341. Réflexion du son; échos. — Quand les ondes sonores rencontrent un obstacle, elles se réfléchissent à sa surface d'après la loi générale qui s'applique à la chaleur, à la lumière et à tous les corps élastiques, c'est-à-dire en faisant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence et situé dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante. C'est cette réflexion du son qui produit les échos. Ainsi, si nous supposons un son se propageant suivant AB (fig. 225) et rencontrant le plan PQ, le son se réfléchira, en faisant avec la perpendiculaire à ce plan un angle de réflexion HBC égal à l'angle d'incidence HBA, de sorte qu'un observateur placé en C entendra, indépendamment du son parti du point A, un autre son tout à fait pareil qui lui semblera venir du point symétrique A'. Ce son réfléchi sera l'écho du son direct.

On distingue les échos en monosyllabiques et polysyllabiques, selon qu'ils répètent successivement une ou plusieurs syllabes; ce qui dépend de la distance de la surface réfléchissante. L'ex-

périence prouve que pour qu'il y ait un écho véritable, il faut que le son direct et le son réfléchi soient séparés par un intervalle de temps d'au moins $\frac{1}{10}$ de seconde; d'où il suit que la distance du corps sonore à la surface réfléchissante doit être au moins de 17 mètres pour donner un écho monosyllabique (339). A une distance double, triple, etc., l'écho sera bisyllabique, trisyllabique, etc.

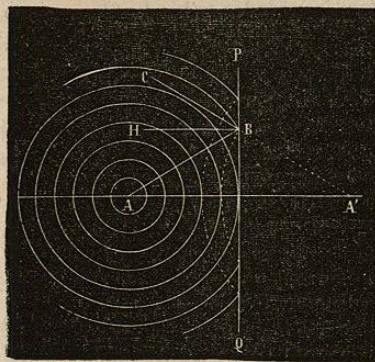


Fig. 225.

Les échos sont encore simples ou multiples. Les premiers ne rendent qu'une seule fois le son, les seconds le répètent plusieurs fois de suite. Les échos multiples sont formés en général par deux obstacles opposés, deux murs ou deux rochers, par exemple, qui se renvoient alternativement les sons, comme le font, pour les images, deux miroirs parallèles. Ces échos multiples sont très-communs dans les montagnes. Il existe dans le parc de Woodstadt, en Angleterre, un écho de ce genre qui répète jusqu'à vingt fois le même son.

Le son, en se réfléchissant sur des surfaces courbes, forme, comme la chaleur et la lumière, des foyers où viennent se concentrer les ondes sonores; c'est ainsi que, dans certaines salles voûtées, deux personnes éloignées, mais placées chacune à un foyer de réflexion, peuvent entretenir une conversation à voix basse. Il existe une salle de ce genre au rez-de-chaussée du Conservatoire des arts et métiers de Paris.

Remarque. — Lorsque la distance qui sépare un corps sonore d'un obstacle réfléchissant le son émis par ce corps est inférieure à 17 mètres, c'est-à-dire à la distance nécessaire pour qu'il y ait une séparation nette entre le son direct et le son réfléchi, ces deux sons se superposent en partie, et l'observateur placé dans le voisinage du corps sonore constate que les sons directs sont à la fois renforcés et prolongés. Le son acquiert ainsi plus d'éclat, mais il peut devenir confus si sa prolongation, nommée *résonnance*, est par trop considérable. Cette résonnance s'observe principalement dans les grandes salles dont les parois sont nues; les draperies et les tentures, en raison de leur peu d'élasticité, ont pour effet d'y mettre obstacle. Nous n'avons pas besoin d'insister sur ce sujet pour faire comprendre de quelle utilité est, pour l'architecte, la connaissance des lois de la propagation et de la réflexion du son dans la construction des salles de théâtre ou autres lieux destinés soit à des concerts, soit à faire entendre la parole des orateurs.

542. *Interférence des sons.* — On désigne ainsi le concours ou la rencontre de deux demi-ondes sonores de valeur égale, mais d'état différent, c'est-à-dire l'une condensée et l'autre dilatée; ce concours a pour effet leur neutralisation réciproque et, par suite, la destruction complète des deux sons qu'elles propageaient. D'où résulte ce principe de physique, en apparence paradoxal, que *du son ajouté à du son peut, dans certaines cir-*

constances, avoir pour résultat de produire le silence. On explique ainsi comment deux instruments de même nature placés trop près l'un de l'autre et jouant à l'unisson peuvent se nuire et même s'annuler mutuellement.

Qualités du son. Intensité et hauteur du son. Sirène.

545. *Intensité du son.* — L'intensité du son dépend de l'amplitude des vibrations qui le produisent. Il suffit, pour s'en convaincre, de considérer une corde vibrante; on constate facilement que le son qu'elle rend s'affaiblit à mesure que l'amplitude de ses oscillations diminue. Plusieurs causes peuvent faire varier l'intensité du son : 1° la distance du corps sonore; 2° la densité de l'air; 3° l'agitation de l'air; 4° le voisinage d'un corps sonore.

1° *Distance du corps sonore.* — On démontre par le calcul que l'amplitude des mouvements vibratoires dans une masse d'air sphérique indéfinie et homogène est en raison inverse du carré de la distance au centre d'ébranlement; par conséquent, *l'intensité du son, dans un milieu indéfini, est inversement proportionnelle au carré des distances.*

Cette loi ne s'applique pas à la propagation du son dans un tube cylindrique. M. Biot s'est assuré, en effet, que dans les tuyaux des aqueducs de Paris la voix ne diminue pas sensiblement d'intensité à une distance de 931 mètres, et qu'il est possible de s'entretenir à voix basse d'une extrémité à l'autre d'un tel conduit. C'est sur cette propriété que repose l'emploi des *tubes acoustiques* destinés à transmettre la voix dans les différentes pièces et aux divers étages d'une maison ou d'un édifice.

2° *Densité de l'air.* — Nous avons vu précédemment qu'en faisant résonner un timbre sous le récipient d'une machine pneumatique où on fait le vide, l'intensité du son décroît à mesure que l'air se raréfie. Il résulte de ce principe que le son doit diminuer d'intensité dans les hautes régions de l'atmosphère. C'est en effet ce qui a été observé par Saussure, sur le sommet du mont Blanc, et par Gay-Lussac dans son voyage aérostatique.

3° *Agitation de l'air.* — Le son se propage beaucoup mieux dans un air calme que dans un air agité. La direction du vent a aussi une grande influence sur son intensité. Chacun sait, en effet, qu'à une distance égale, le son se fait beaucoup mieux entendre dans la direction du vent que dans le sens opposé.

4^o *Voisinage d'un corps sonore.* — Le son est toujours renforcé par le voisinage d'un corps sonore. Une corde tendue dans l'air et mise en vibration loin de tout corps sonore ne rend qu'un son très-faible, tandis qu'elle donne un son très-intense lorsqu'elle est tendue sur une large caisse à parois minces et élastiques, comme dans le violon, la guitare, le piano, etc. Cela tient à ce que la caisse et l'air qu'elle renferme vibrent à l'unisson avec la corde. Le *porte-voix* et le *cornet acoustique* reposent sur ce principe.

544. *Hauteur du son.* — La hauteur du son dépend du nombre des vibrations exécutées, dans un temps donné, par un corps sonore. Plus ce nombre est grand, plus le son est *haut* ou *aigu*; plus il est petit, plus le son est *bas* ou *grave*. On démontre ce principe au moyen d'un instrument nommé *sirène*, qui permet de compter facilement le nombre des vibrations correspondant à tel ou tel son.

Sirène. — Cet instrument, inventé par Cagniard de Latour, doit son nom à la propriété qu'il possède de pouvoir rendre des sons au sein d'une masse liquide. Il se compose (fig. 226) d'une boîte cylindrique *abcd* de 10 centimètres de diamètre et d'environ 3 centimètres de hauteur. Cette boîte est recouverte par un plateau fixe *P*, et se termine inférieurement par une

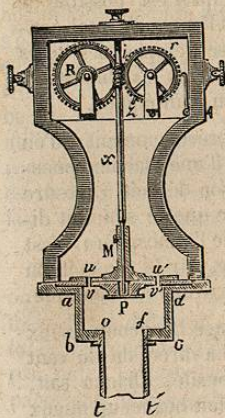


Fig. 226.

ouverture *of* qui communique avec un tuyau *porte-vent tt'*. Le plateau fixe est percé de trous *vv'* inclinés à sa surface, et disposés circulairement à égale distance les uns des autres. Sur ce plateau s'applique exactement, mais sans exercer sur lui de frottement sensible, un disque mobile *M* également percé de trous obliques *uu'* correspondant à ceux du plateau fixe *P*, mais inclinés en sens contraire, de sorte que tous les trous du plateau fixe sont ouverts ou fermés à la fois, suivant que la rotation du disque fait coïncider avec eux les ouvertures *uu'* ou les intervalles pleins qui les séparent. Le disque mobile *M* est fixé à un axe de rotation *x*, lequel se termine, à sa partie supérieure, par

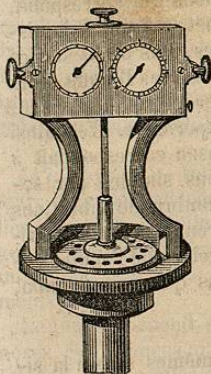


Fig. 227.

une vis sans fin *i*. Cette vis fait tourner une roue *r* dont la circonférence présente 100 dents, et dont l'axe porte un petit taquet *z* qui fait à chaque tour avancer d'une dent une seconde roue indépendante *R*. Les axes de ces roues portent des aiguilles qui se meuvent sur des cadrans divisés que l'on voit dans la fig. 227, où la sirène est représentée dans son ensemble.

Pour mettre cet instrument en activité, on place le tuyau *porte-vent tt'* sur une soufflerie. L'air, traversant la caisse et les trous du plateau fixe, vient frapper obliquement les orifices du disque mobile, et communiquer ainsi à ce disque un mouvement de rotation, pendant lequel les trous du plateau fixe sont alternativement ouverts et fermés. Il en résulte une suite d'écoulements et d'arrêts qui font entrer l'air en vibration, et qui finissent par produire un son lorsque le mouvement de rotation du disque est assez rapide. Supposons, pour plus de simplicité, qu'il n'y ait qu'un seul trou au plateau fixe et vingt dans le disque mobile : le passage de l'air sera vingt fois libre et vingt fois interrompu pendant une révolution du disque; on aura, par conséquent, vingt vibrations complètes pour chaque révolution. Si nous supposons maintenant le plateau fixe percé d'autant de trous que le disque mobile, chaque trou produira le même effet qu'un seul : le son sera donc vingt fois plus intense; mais le nombre des vibrations ne sera pas changé.

Pour connaître maintenant le nombre des vibrations qui correspondent par seconde à tel ou tel son, il reste à calculer le nombre des tours que fait le disque pendant le même temps, et à multiplier le résultat obtenu par 20, puisque chaque tour engendre 20 vibrations. Or, au moyen de la vis sans fin *i*, que porte l'axe de rotation, la roue dentée *r* avance d'une dent pour chaque révolution du disque; et comme cette roue porte 100 dents, il en résulte qu'elle fait un tour entier pour 100 révolutions. Mais chaque tour de cette roue fait aussi avancer d'une dent la seconde roue indépendante *R*. Les deux aiguilles indiqueront donc, sur leurs cadrans respectifs, l'une le nombre des tours du disque, l'autre les centaines de tours. Supposons que

l'on veuille connaître le nombre des vibrations qui correspond, par seconde, au *la* du diapason (361) : on met la sirène à l'unisson de cet instrument pendant deux minutes, puis on lit sur les cadrans le nombre des tours qu'a faits le disque. Il suffit alors de multiplier ce nombre par 20 et de diviser le produit par 120, nombre des secondes écoulées pendant l'expérience. C'est ainsi qu'on a trouvé que le *la* de l'ancien diapason correspondait à 440 vibrations complètes ou 880 vibrations simples par seconde*. En déterminant de la sorte le nombre de vibrations qui appartient à des hauteurs de son différentes, on peut vérifier le principe que nous avons énoncé, savoir, que l'acuité des sons croît avec le nombre des vibrations qui leur donnent naissance.

Remarque. Tous les gaz font rendre les mêmes sons à la sirène lorsqu'ils impriment au disque une vitesse égale. Il en est de même de l'eau, dans laquelle l'instrument peut aussi produire des sons quand on fait arriver dans sa caisse un courant suffisamment rapide; ce qui prouve que la hauteur du son ne dépend que du nombre des vibrations exécutées dans un temps donné, et non de la nature des corps qui le produisent.

545. *Procédé graphique.* — Ce procédé consiste essentiellement dans l'emploi d'un cylindre tournant uniformément sur son axe au moyen d'un mouvement d'horlogerie, et dont la surface est recouverte d'une couche mince de noir de fumée. S'il s'agit, par exemple, de déterminer le nombre de vibrations accomplies dans un temps donné par un diapason, on adapte à l'une des branches de l'instrument une pointe fine qui vient toucher légèrement la surface du cylindre, et dont le mouvement de va-et-vient trace sur cette surface une ligne dentelée en forme de zigzag. Chaque dentelure correspondant à une vibration complète, il suffira donc de compter le nombre de ces dentelures pour avoir le nombre de vibrations exécutées pendant l'expérience. Ce procédé, très-précis, comme on le voit, est principalement employé pour déterminer le rapport des nombres de vibrations accomplies dans le même temps par deux sons de hauteurs différentes.

* Par un arrêté du 16 février 1859, le diapason normal ne doit plus donner que 870 vibrations simples par seconde (360).

546. *Limite des sons perceptibles.* — D'après Savart, les sons les plus graves que l'oreille humaine puisse entendre correspondraient à 16 vibrations simples par seconde, et les plus aigus à 36000. Mais ce ne sont là, on le comprend, que des limites approximatives, susceptibles de varier beaucoup suivant le degré de susceptibilité de l'ouïe.

547. *Timbre.* — Indépendamment de l'intensité et de la hauteur, on reconnaît encore dans les sons une qualité particulière que l'on appelle *timbre*. C'est par elle que nous distinguons facilement l'un de l'autre deux sons ayant la même intensité et la même hauteur, mais provenant de deux instruments différents.

Le timbre dépend essentiellement de la nature des corps sonores. Ses nuances, dans la voix humaine, sont, pour ainsi dire, infinies, et par elles nous pouvons reconnaître avec une sûreté merveilleuse une personne au son de sa voix. Les conditions physiques qui font varier le timbre selon la nature des corps sonores ne sont pas encore connues.

Remarque. Tous les sons, forts ou faibles, aigus ou graves, et quel que soit leur timbre, se propagent avec la même vitesse. Chacun sait, en effet, qu'en écoutant un concert à différentes distances on entend toujours la même mesure et la même harmonie, ce qui prouve que les sons se succèdent dans le même ordre et aux mêmes intervalles, c'est-à-dire avec une vitesse égale pour tous.

Résumé.

I. *L'acoustique* est la partie de la physique qui a pour objet l'étude du son.

II. Le son résulte d'un mouvement vibratoire imprimé à la matière pondérable.

III. Le son ne se propage pas dans le vide. On le démontre au moyen d'un timbre d'horlogerie placé sous le récipient d'une machine pneumatique.

IV. Tous les corps solides, liquides ou gazeux, peuvent servir de véhicule au son.

V. Le son se propage dans un milieu élastique par une série d'ondes sonores, composées chacune de deux demi-ondes consécutives, l'une condensée et l'autre dilatée.

VI. Le son parcourt dans l'air, à la température ordinaire, environ 340 mètres par seconde. Sa vitesse dans l'eau est de 1435 mètres. Dans les solides, elle est beaucoup plus grande encore.

VII. Quand les ondes sonores rencontrent un obstacle, elles se réfléchissent en faisant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence et situé dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante. La réflexion du son produit le phénomène de l'écho.

VIII. L'intensité du son dépend de l'amplitude des vibrations qui le produisent. Elle est inversement proportionnelle au carré de la distance.

IX. La hauteur du son dépend du nombre des vibrations exécutées dans un temps donné par un corps sonore.

X. La sirène est un instrument destiné à compter le nombre des vibrations qui correspondent à tel ou tel son.

XI. Tous les sons, quels que soient leur intensité, leur hauteur ou leur timbre, se propagent avec la même vitesse.

CHAPITRE XXV.

Vibrations des cordes. — Théorie physique de la musique. — Gamme et intervalles musicaux. — Accords; sons harmoniques. — Instruments à vent. Tuyaux sonores.

Vibrations des cordes.

548. *Vibrations des cordes.* — On distingue, dans les cordes, deux sortes de vibrations : les *vibrations transversales* et les *vibrations longitudinales*. Les premières s'exécutent perpendiculairement à la longueur des cordes, et s'obtiennent soit avec un archet, comme sur le violon, soit en pinçant les cordes comme sur la guitare ou sur la harpe, soit par la percussion, comme dans le piano. Les secondes ont lieu dans le sens de la longueur des cordes; on les fait naître en frottant celles-ci longitudinalement avec un morceau de drap saupoudré de colophane.

549. *Vibrations transversales des cordes. Sonomètre.* — Ces vibrations sont les seules importantes à connaître pour la

théorie de la musique, dont nous allons nous occuper. Elles sont soumises aux quatre lois suivantes :

1^{re} loi. *Les nombres de vibrations exécutées par une corde dans un temps donné sont en raison inverse de sa longueur.*

Soit n le nombre des vibrations exécutées par une corde d'une longueur quelconque pendant un certain temps : si l'on diminue successivement sa longueur de manière à la réduire à la moitié, au tiers, au quart, au cinquième, etc., le nombre des vibrations sera, dans le même temps, $2n$, $3n$, $4n$, $5n$, etc.

2^e loi. *Les nombres de vibrations des cordes sont en raison inverse de leur diamètre.*

Par exemple, si l'on prend deux cordes de cuivre ou d'acier également tendues et de même longueur, mais dont l'une ait un diamètre double de l'autre, la plus mince fera, dans le même temps, deux fois plus de vibrations que la plus grosse.

3^e loi. *Les nombres de vibrations d'une corde sont proportionnels aux racines carrées des poids qui la tendent.*

Représentons encore par n le nombre des vibrations d'une corde tendue par un poids quelconque : si ce poids est rendu 4, 9, 16 fois plus grand, le nombre des vibrations deviendra, dans le même temps, $2n$, $3n$, $4n$, etc.

4^e loi. *Les nombres de vibrations des cordes de matières différentes sont en raison inverse des racines carrées de leurs densités.*

Soient deux cordes de même longueur et de même diamètre tendues par le même poids : l'une à boyau, dont nous représenterons la densité par 1, et l'autre en cuivre, dont nous pouvons représenter la densité par 9. Soit n le nombre de vibrations exécutées dans un temps donné par la corde en cuivre; le nombre de vibrations exécutées dans le même temps par la corde à boyau sera $3n$.

Ces quatre lois fondamentales que Lagrange, en 1759, a le premier déterminées par le calcul, peuvent être démontrées expérimentalement au moyen du *sonomètre*. Cet instrument (fig. 228) se compose d'une caisse rectangulaire en bois MN de 1 mètre de longueur environ sur 15 centimètres de largeur. Cette caisse, dont les parois sont minces et très-élastiques, a pour but de renforcer le son, comme dans le violon ou la guitare. A ses deux extrémités sont deux chevalets fixes A et B