s'entendre distinctement, supposons, par exemple, que l'obstacle soit placé à 170 mètres; le son doit alors parcourir, dans l'aller et retour, une distance de 2 fois 170 mètres, ou 340 mètres : c'est précisément l'espace que le son parcourt en une seconde. Donc, dans ce cas, c'est *au bout d'une seconde* qu'on entend l'écho. — Selon que la distance de l'obstacle est plus ou moins considérable, le temps qui s'écoule, avant le retour de l'écho, augmente ou diminue proportionnellement. Mais, en général, notre oreille ne peut distinguer l'un de l'autre deux sons successifs, que s'ils sont séparés par un intervalle de temps au moins égal à $\frac{1}{10}$ de seconde. Or, en $\frac{1}{10}$ de seconde, le son parcourt environ 34 mètres. Dès lors, le son direct ne pourra se distinguer du son dû à la réflexion, que si la distance de l'obstacle est plus grande que la moitié de 34 mètres, ou 17 mètres.

Dans certaines circonstances, il arrive que des obstacles multiples se trouvent disposés de façon à renvoyer un même son plusieurs fois à l'oreille, après plusieurs réflexions successives. Les échos qui se succèdent présentent alors une intensité décroissante, à cause de l'accroissement des distances parcourues par le son (*).

681. **Résonance.** — Quand on parle dans un appartement de dimensions restreintes, les échos renvoyés par les murs, pour chaque son, reviennent à l'oreille au bout d'un temps inappréciable. Pour chaque son, l'oreille ne distingue donc plus le son lui-même de l'écho qui lui succède, et la parole paraît simplement acquérir *plus d'intensité* qu'à l'air libre.

Il n'en est plus de même dans une salle un peu vaste : chacun des sons produits semble alors se continuer avec les échos qui lui succèdent, et peut même arriver à se confondre avec les sons suivants. — Cet effet, que l'on désigne sous le nom de *résonance*, est tellement manifeste dans certaines salles, que la parole y devient difficilement intelligible; les syllabes successives se confondent les unes avec les autres, en une sorte de bourdonnement.

On peut atténuer ces effets en disposant, le long des murs, des draperies qui amortissent les vibrations et rendent la salle moins sonore. — Dans nos salles de théâtre, les résonances sont amoindries par tous les détails d'architecture, qui interrompent la régularité des murs : par les galeries, le colonnades, les balcons en saillie, etc.

(*) On rencontre assez fréquemment des échos de ce genre dans les pays de montagnes. — On cite, comme l'un des plus remarquables, celui de la villa Simonetta, près de Milan. Un coup de pistolet, tiré d'une fenêtre de la villa est répété une quarantaine de fois.

CHAPITRE II

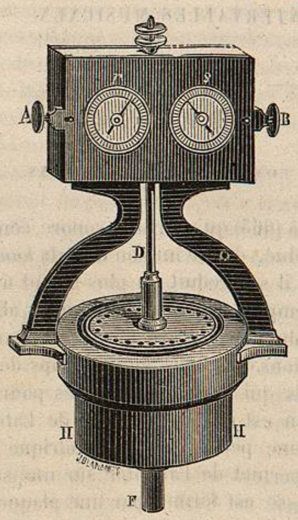
HAUTEUR DES SONS. — INTERVALLES MUSICAUX.

I. — APPAREILS DESTINÉS A COMPTER LES VIBRATIONS.

682. **Sirène.** — Nous avons vu déjà (663) qu'un corps sonore, comme une lame élastique ou une corde tendue, donne un son dont la *hauteur musicale* est d'autant plus grande qu'il se produit un plus grand nombre de vibrations dans un même temps. — C'est ce que nous allons vérifier maintenant d'une manière plus précise, au moyen d'appareils qui permettent de *compter* les vibrations effectuées en un temps déterminé. — L'un des premiers appareils qui aient été imaginés pour cet objet est la sirène, dont l'invention est due à Cagniard de Latour.

La *sirène* (*fig.* 524) se compose d'une petite caisse cylindrique HH, dont le fond porte un tube F qui permet de l'adapter sur une soufflerie. La face supérieure de cette caisse est formée par une plaque AA (*fig.* 525), qui est percée d'un certain nombre de trous tels que *a*, distribués sur une circonférence, à égale distance les uns des autres : c'est par ces trous que s'échappera l'air amené dans la caisse par la soufflerie. Au-dessus, et à une très petite distance, se trouve un plateau BB, mobile autour d'un axe vertical D : il est également percé de trous tels que *b*, en même nombre que ceux de la caisse, et distribués exactement de la même manière, en sorte que, lorsqu'un trou du plateau mobile se trouvera en face de l'un des trous de la plaque fixe, tous les autres trous se correspondront en même temps. — Ajoutons enfin que les trous *a* de la plaque fixe sont inclinés dans un certain sens, et les trous *b* du plateau mobile sont inclinés en sens contraire, comme le montre la figure 525; dès lors, quand les trous se correspondent, l'air qui sort par les trous inférieurs vient frapper contre les parois des trous supérieurs et, en s'échappant dans l'atmosphère, il communique une impulsion au plateau mobile, dans le sens de la flèche *c*. Ce mouvement du plateau B détruit la coïncidence des deux systèmes de trous, et fait cesser l'échappement de l'air; mais une nouvelle coïncidence se produit, dès que le plateau B a tourné d'un angle égal à celui qui correspond à l'intervalle de deux trous consécutifs : l'air, en s'échappant de nouveau, communique une nouvelle impulsion au plateau mobile, en sorte que les périodes d'échappement de l'air deviennent de plus en plus fréquentes.

Lorsque le plateau B a acquis une vitesse suffisante, l'oreille commence à percevoir un son, dont la hauteur musicale s'élève à mesure que la vitesse augmente. — Pour nous rendre compte des caractères



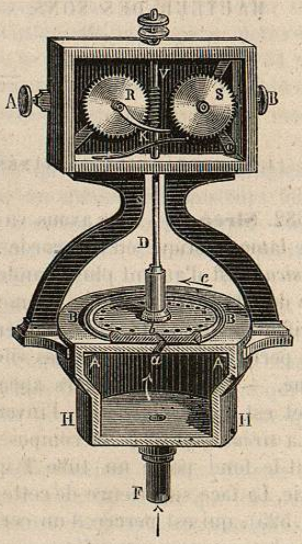


Fig. 524. Sirène Fig. 525.

de ce son, considérons, par exemple, une sirène dont la plaque fixe présente 12 trous, et examinons d'abord quel serait l'effet produit *si le plateau mobile n'en avait qu'un seul.* A chaque tour du plateau, ce trou unique viendrait se mettre successivement en coïncidence avec les 12 trous de la plaque fixe : la sortie de l'air serait donc 12 fois établie et interrompue, mais ne s'effectuerait toujours que par une seule ouverture. La succession des impulsions communiquées à l'air extérieur donnerait naissance à un son, dont la *hauteur musicale* dépendrait de la vitesse de rotation du plateau mobile. — Si maintenant le plateau mobile porte 11 autres trous, on voit que, au moment où le trou primitivement considéré établira une coïncidence, tous les autres trous correspondront aussi à des ouvertures de la plaque fixe. Dès lors, la sortie de l'air s'effectuant par les 12 ouvertures à la fois, les impulsions communiquées à l'air extérieur seront plus fortes, c'est-à-dire que

l'intensité du son sera augmentée, mais il n'y aura toujours que 12 vibrations pour chaque tour du plateau mobile.

Pour permettre de compter les nombres de vibrations qui correspondent aux divers sons, on a pratiqué, à la partie supérieure de l'axe de rotation D, un filet de vis V (*fig.* 525), qui engrène avec une roue dentée R dont la circonférence porte 100 dents. A chaque tour du plateau, cette roue avance d'une dent : ce mouvement est indiqué par une aiguille fixée à la roue et mobile sur un cadran extérieur *r* (*fig.* 524) : chaque division de ce cadran correspond donc à *un tour du plateau.* Une seconde roue S, portant également sur son axe une aiguille qui se meut sur un cadran extérieur *s*, est destinée à compter les *centaines de tours du plateau :* pour cela, on a fixé à l'axe de la roue R un appendice K (*fig.* 525), dont l'extrémité arrive en contact avec une dent de la roue S chaque fois que la roue R a fait un tour entier; la roue S avance alors d'une dent, et son aiguille marche d'une division. — Enfin, il est utile de pouvoir, à volonté, faire engrener la roue R avec la vis V, ou interrompre l'engrenage : pour cela, il suffit de déplacer légèrement, à droite ou à gauche, la plaque verticale qui porte les deux roues, en appuyant sur l'un ou sur l'autre des boutons latéraux que présente cette plaque : on rapproche ou l'on éloigne ainsi les dents de la roue R du filet de la vis V.

Lorsqu'on veut compter le nombre de vibrations d'un son quelconque, on place la sirène sur la soufflerie, les deux aiguilles étant aux zéros de leurs cadrans, et l'engrenage n'étant pas établi. On donne le vent, et l'on amène progressivement le son de la sirène à la même hauteur que celui qu'on se propose d'étudier; on établit alors l'engrenage, et l'on note cet instant sur une montre à secondes. On maintient l'unisson aussi longtemps que possible, en réglant le vent de la soufflerie; enfin, on termine l'expérience en supprimant l'engrenage, et l'on note encore cet instant. On connaît, par les positions des aiguilles sur leurs cadrans, le nombre de tours effectués par le plateau en un temps déterminé. — Supposons, par exemple, que l'expérience ait duré 45 secondes; que l'aiguille des centaines de tours soit arrivée à la 22ᵉ division, et l'aiguille des tours à la 35ᵉ division. Le plateau aura fait 2235 tours; si ce plateau porte 12 trous, il se sera produit un nombre de vibrations égal à 2235×12, ou 26 820. Le nombre de vibrations *en une seconde* sera le quotient de 26 820 par 45, ou 596 (*).

(*) Il est important de remarquer que l'aiguille des tours n'avance d'une division qu'après chaque tour *entier* du plateau, c'est-à-dire après un nombre de vibrations égal au nombre des trous. Le plateau ayant 12 trous, on voit que le nombre des vibrations effectuées pendant *la durée totale* de l'expérience ne pourra être déterminé qu'à 12 unités près. On atténue l'erreur qui en résulte, sur le nombre des vibrations effectuées *en une seconde*, en prolongeant l'expérience aussi longtemps que possible. — La seule difficulté consiste à maintenir le son constant pendant un grand nombre de secondes, ce à quoi l'on arrive en donnant le vent, non pas d'une manière continue, mais par intermittences.

683. **Roues dentées.** — Les *roues dentées*, imaginées par Savart, peuvent également servir à compter les vibrations.

Ces roues, au nombre de trois ou quatre, sont fixées sur un axe horizontal (*fig.* 526); on leur communique un mouvement de rotation au moyen d'une courroie sans fin ACDB, qui passe sur un volant AB muni d'une manivelle M. Un compteur, semblable à celui de la sirène,

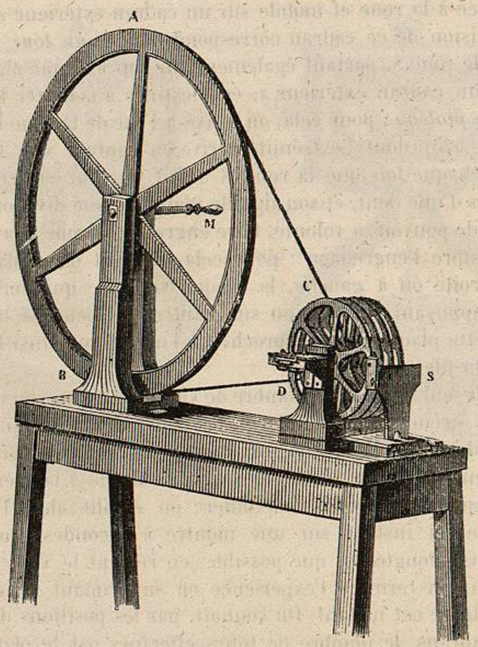


Fig. 526. — Roues dentées.

fait connaître le nombre de tours effectués par les roues dans un temps donné. — On place une carte sur le support S, de manière que, pendant la rotation, la tranche de cette carte soit rencontrée successivement par les dents de l'une des roues. Les chocs successifs déterminent dans l'air un mouvement vibratoire : le son est d'autant plus aigu que le mouvement de rotation est plus rapide. On règle la rotation de manière que le son reste fixe pendant quelque temps, et l'on opère comme avec la sirène.

684. **Compteurs graphiques. — Détermination du rapport des nombres de vibrations qui correspondent à deux sons déterminés.** — Les compteurs graphiques sont destinés spécialement à

déterminer le *rapport* des nombres de vibrations effectuées, dans un même temps, par deux sons de hauteurs différentes.

Voici l'une des dispositions les plus simples. Un cylindre EF (*fig.* 527), dont la surface a été couverte de noir de fumée, est porté sur un axe DV, dont la partie supérieure V, travaillée en filet de vis, s'engage dans un écrou pratiqué dans l'une des branches du support. Lorsqu'on fait tourner le cylindre au moyen de la manivelle M, il s'abaisse, à chaque tour, d'une quantité égale au pas de la vis. — La figure repré-

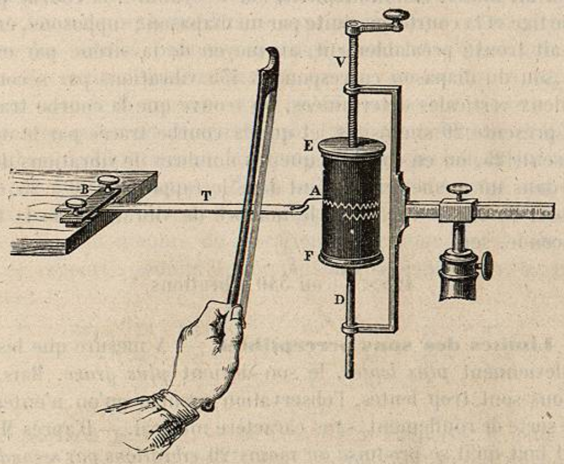


Fig. 527. — Compteur graphique des vibrations.

sente en T une tige métallique, qui est assujettie solidement par l'une de ses extrémités B, et dont l'autre extrémité porte une pointe fine A; cette pointe vient toucher légèrement la surface du cylindre. Si l'on faisait mouvoir le cylindre seul, la pointe, enlevant le noir de fumée, tracerait une hélice; si, en même temps, on fait vibrer la tige au moyen d'un archet, l'hélice paraît dentelée : chacune des sinuosités correspond à une vibration de la tige.

Disposons maintenant, l'un au-dessous de l'autre, deux corps sonores, de manière qu'ils inscrivent en même temps leurs vibrations sur le cylindre, et supposons d'abord que ces deux corps produisent des sons *de même hauteur*. Si, une fois l'expérience faite, on trace sur le noir de fumée deux lignes verticales, à une certaine distance l'une de l'autre, on trouve que les deux courbes présentent un même nombre de sinuosités dans l'intervalle de ces deux lignes. On en conclut que les deux corps ont effectué *un même nombre de vibrations* dans le même temps. — Si les deux corps rendent des sons *de hauteurs différentes*, il suffira de compter les sinuosités tracées, par l'un et par l'autre, entre deux verticales déterminées : le quotient de l'un de ces nombres par l'autre exprimera le *rapport* des nombres de vibrations effectuées, dans un même temps, par les deux corps.

Nous remarquerons enfin que, si l'on connaît à l'avance le nombre des vibrations effectuées, en une seconde, par *l'un des deux corps*, cette expérience permet de déterminer le nombre *absolu* des vibrations effectuées en une seconde par *l'autre corps*. — Supposons, par exemple, que l'on ait inscrit simultanément, sur le cylindre, la courbe produite par une tige et la courbe produite par un diapason ; supposons, en outre, qu'on ait trouvé préalablement, au moyen de la sirène par exemple, que le son du diapason correspond à 435 vibrations par seconde. Si, entre deux verticales déterminées, on trouve que la courbe tracée par la tige présente 20 sinuosités, et que la courbe tracée par le diapason en présente 25, on en conclura que les nombres de vibrations des deux corps, dans un même temps, sont dans le rapport de 20 à 25, ou dans le rapport de 4 à 5. Par suite, le nombre de vibrations de la tige, en une seconde, sera

$$425 \times \frac{4}{5}, \text{ ou } 340 \text{ vibrations.}$$

685. **Limites des sons perceptibles**. — A mesure que les vibrations deviennent *plus lentes*, le son devient *plus grave*. Mais, si les vibrations sont trop lentes, l'observation montre qu'on n'entend plus qu'une sorte de ronflement, sans caractère musical. — D'après M. Helmholtz, il faut qu'il se produise au moins 20 *vibrations par seconde*, pour que l'oreille perçoive un véritable son.

Inversement, à mesure que les vibrations deviennent *plus rapides*, le son devient *plus aigu*. Mais, si les vibrations sont trop rapides, elles ne produisent plus sur l'oreille qu'une sensation presque douloureuse ; pour une rapidité plus grande encore, l'oreille cesse de percevoir aucun son. — D'après M. Kœnig, les nombres de vibrations des sons perceptibles ne dépassent jamais 23 000 *par seconde*. — Ces limites sont d'ailleurs variables d'une personne à une autre.

II. — INTERVALLES MUSICAUX. — GAMME.

686. **Intervalle de deux sons**. — On appelle, en Acoustique, *intervalle de deux sons, le rapport des nombres de vibrations qui leur correspondent, pendant des temps égaux*.

On dit qu'un son est à l'*octave aiguë* d'un autre, lorsqu'il correspond à un nombre de vibrations *double*, dans le même temps. L'intervalle de ces deux sons est alors égal à 2.

Le plus souvent, l'intervalle de deux sons musicaux n'est pas représenté par un nombre entier ; mais, si l'on ramène la valeur numérique de cet intervalle à une expression fractionnaire irréductible, les deux termes de cette expression sont généralement des nombres d'autant plus simples, que la consonance formée par la production *simultanée* des deux sons est plus agréable à l'oreille. — C'est ce que nous allons constater par l'étude des principaux intervalles usités en musique.

687. **Gamme**. — On donne le nom de *gamme* à une série de huit sons ou *notes*, dont les deux extrêmes sont à un intervalle d'une octave, et dont les notes intermédiaires sont à des intervalles particuliers, toujours les mêmes pour les diverses gammes. — Les notes de la *gamme d'ut* sont désignées par ut_1, *ré*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*, ut_2. — La première note de la gamme est ce qu'on nomme la *tonique*.

Supposons qu'on ait déterminé, par l'une des méthodes précédentes, les nombres de vibrations de la gamme *d'ut*, et que l'on calcule ensuite, au moyen de ces nombres, l'intervalle qui existe *entre chacune des notes et la tonique*, c'est-à-dire le rapport du nombre de vibrations de chaque note, au nombre de vibrations de la tonique. — On trouve, pour ces rapports, réduits à leur plus simple expression, les résultats suivants :

ut_1	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	ut_2
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

688. **Accord parfait**. — De ces divers rapports, le plus simple, après l'octave, est le rapport $\frac{3}{2}$, qui exprime l'intervalle musical entre la cinquième note de la gamme et la tonique ; on l'appelle *intervalle de quinte* (*ut* à *sol*). C'est aussi l'intervalle dont l'oreille apprécie le mieux la justesse, et c'est celui que les musiciens emploient pour accorder entre elles les notes des instruments. Enfin, la production *simultanée* de la tonique *ut* et de la quinte *sol* produit une sensation particulièrement agréable. — Le rapport $\frac{5}{4}$, qui exprime l'intervalle entre la tonique et la troisième note de la gamme ou *intervalle de tierce* (*ut* à *mi*), donne lieu à des remarques analogues. — La succession de la tonique, de la tierce et de la quinte (*ut, mi, sol*) constitue ce qu'on appelle un *accord parfait* (*).

(*) La gamme tout entière peut être considérée comme dérivant de l'accord parfait nous allons montrer en effet que, si l'on prend comme point de départ la note *ut*, une succession de trois accords parfaits permet de retrouver toutes les notes de la gamme, avec les nombres de vibrations indiqués plus haut.

Et d'abord, l'accord parfait qui a pour tonique *ut* fournit les trois notes *ut*, *mi*, *sol*, dont les nombres de vibrations sont 1, $\frac{5}{4}$, $\frac{3}{2}$.

Si maintenant on forme un accord parfait dont la tonique soit la dernière note de l'accord d'*ut*, c'est-à-dire la note *sol*, on obtient, comme nombre de vibrations de la

689. Intervalles des notes consécutives de la gamme. — Servons-nous maintenant des résultats qui précèdent, pour calculer les intervalles successifs entre *deux notes consécutives* de la gamme d'*ut*. Il suffira, pour cela, de diviser chacune des expressions obtenues par celle qui la précède immédiatement. — Ce calcul est indiqué dans le tableau suivant, avec les noms que les musiciens ont donnés à ces intervalles.

INTERVALLES DE DEUX NOTES CONSÉCUTIVES DE LA GAMME.

ut_1 à *ré*	$\frac{9}{8} : 1 = \frac{9}{8}$	ton majeur.
ré à *mi*	$\frac{5}{4} : \frac{9}{8} = \frac{10}{9}$	ton mineur.
mi à *fa*	$\frac{4}{3} : \frac{5}{4} = \frac{16}{15}$	demi-ton.
fa à *sol*	$\frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$	ton majeur.
sol à *la*	$\frac{5}{3} : \frac{3}{2} = \frac{10}{9}$	ton mineur.
la à *si*	$\frac{15}{8} : \frac{5}{3} = \frac{9}{8}$	ton majeur.
si à ut_2	$2 : \frac{15}{8} = \frac{16}{15}$	demi-ton.

Sans nous arrêter à la distinction entre les tons majeurs et les tons mineurs, nous dirons que les intervalles offerts par les notes consécutives de la gamme d'*ut* forment une série comprenant *deux tons, suivis d'un demi-ton*, et *trois tons, suivis d'un demi-ton* (*).

seconde note de ce nouvel accord, $\frac{3}{2} \times \frac{5}{4} = \frac{15}{8}$; c'est la note *si*. Quant à la troisième note de ce même accord, elle aura comme nombre de vibrations $\frac{3}{2} \times \frac{3}{2} = \frac{9}{4}$; i suffit d'en prendre la moitié, c'est-à-dire l'octave grave, pour obtenir le nombre $\frac{9}{8}$, qui correspond au *ré* de la gamme.

Si l'on forme un accord parfait dont la dernière note soit la note *ut*, on aura, pour la tonique de ce nouvel accord, le nombre de vibrations 1 divisé par $\frac{3}{2}$, c'est-à-dire $\frac{2}{3}$; il suffit d'en prendre le double, c'est-à-dire l'octave aiguë, pour obtenir le nombre $\frac{4}{3}$ qui correspond au *fa* de la gamme. Enfin on aura, pour la seconde note de ce même accord, le nombre $\frac{2}{3} \times \frac{5}{4} = \frac{5}{6}$, dont il suffit encore de prendre l'octave aiguë pour obtenir le nombre $\frac{5}{3}$, qui correspond au *la* de la gamme. — On retrouve donc ainsi toutes les notes de la gamme d'*ut*.

(*) L'expression $\frac{10}{9}$, qui représente le ton mineur, est très peu différente de l'expression $\frac{9}{8}$, qui représente le ton majeur, car le rapport de ces deux expressions est $\frac{80}{81}$. Il ne diffère donc de l'unité que de $\frac{1}{81}$; c'est un intervalle qui est difficilement appréciable à l'oreille, et qui a reçu le nom de *comma*.

Après avoir formé une première gamme d'*ut*, commençant par ut_1 et finissant par ut_2, on peut en former une seconde, commençant par ut_2 et finissant par ut_3; chacune des notes de cette seconde gamme sera l'octave aiguë de la note correspondante de la première. On en formera de même une troisième et ainsi de suite, ce qui donnera une échelle musicale, formée par une série de *gammes d'ut*, où les notes deviendront de plus en plus aiguës (*).

Mais on peut aussi se proposer de former d'autres gammes, ayant pour toniques des notes autres que *ut*. — Nous allons voir que pour conserver, dans ces nouvelles gammes, les mêmes intervalles que dans la gamme d'*ut*, il est nécessaire de substituer, à certaines notes de l'échelle précédente, des notes un peu différentes, qui prendront le nom de *dièses* ou de *bémols*.

690. Dièses. — En partant des notes fournies par les gammes d'*ut*, proposons-nous de former une *gamme de sol*, c'est-à-dire une gamme ayant pour tonique la note *sol*, qui était la quinte dans la gamme d'*ut*. — Si l'on conservait, dans cette nouvelle gamme, les notes précédemment obtenues, *sol*, *la*, *si*, *ut*, *ré*, *mi*, *fa*, sol_2, le sixième intervalle (*mi* à *fa*), qui doit être d'un ton ($\frac{9}{8}$), ne serait que d'un demi-ton ($\frac{16}{15}$); il est donc nécessaire de substituer, à la note *fa*, une note plus élevée. On emploie alors une note dont le nombre de vibrations s'obtient en multipliant celui de *fa* par $\frac{25}{24}$; cette nouvelle note prend le nom de *fa dièse*, et s'indique par *fa* ♯. — En même temps, cette substitution rend le septième intervalle (*fa* ♯ à sol_2) égal à un demi-ton, comme il doit être.

En partant maintenant des notes fournies par les gammes de *sol*, cherchons à former une *gamme de ré*, c'est-à-dire une gamme ayant

(*) La sensation produite sur l'oreille par la *succession* de plusieurs notes dépend des *rapports* que présentent entre eux leurs nombres de vibrations, et non pas des *valeurs absolues* de chacun de ces nombres. — C'est ce que l'on constate, d'une manière très simple, pour l'accord parfait en particulier, au moyen de roues dentées (*fig.* 526). Prenons trois roues dentées, montées sur le même axe, et choisies de manière que les nombres de dents de ces trois roues soient dans les rapports de 1 à $\frac{5}{4}$ et à $\frac{3}{2}$ (la première roue ayant, par exemple, 100 dents; la seconde, 125 dents; la troisième, 150 dents). Si on leur donne une vitesse de rotation uniforme, et qu'on présente successivement une carte à chacune d'elles, on constate que les trois notes obtenues forment un accord parfait. — Si l'on change la vitesse de rotation, et qu'on recommence l'expérience, on obtient trois nouvelles notes, ayant des hauteurs différentes des précédentes, mais formant encore un accord parfait. Or, dans ces expériences successives, les *valeurs absolues* des nombres de vibrations ont été modifiées, mais les *rapports* de ces nombres entre eux sont restés les mêmes.

pour tonique la note *ré*, qui était la quinte dans la gamme de *sol*. — Si l'on conservait les notes telles qu'on vient de les obtenir, *ré, mi, fa* ♯, *sol, la, si, ut*, $ré_2$, le sixième intervalle ne serait encore que d'un demi-ton. En substituant à la note *ut* la note *ut* ♯, on rend au sixième et au septième intervalle les valeurs qu'ils doivent avoir. — La gamme de *ré*, ainsi obtenue, comprend alors deux notes *diésées*; et ainsi de suite.

En général, *pour passer d'une gamme quelconque à celle qui aura sa tonique à une quinte au-dessus de la première, il suffit de reproduire les notes fournies par celle-ci, en diésant l'avant-dernière note*, ou note sensible, *de la nouvelle gamme*.

691. **Bémols.** — Des considérations analogues conduisent à l'introduction des *bémols*. — Partons encore des notes fournies par les gammes d'*ut*, et proposons-nous de former une gamme ayant sa tonique à une quinte *au-dessous d'ut*, c'est-à-dire une *gamme de fa*. Avec les notes *fa, sol, la, si, ut, ré, mi*, fa_2, le troisième intervalle (*la* à *si*), qui devrait être d'un demi-ton, est d'un ton ; le quatrième intervalle, qui est d'un ton, n'est que d'un demi-ton. On rendra à ces deux intervalles les valeurs qu'ils doivent avoir, en substituant à la note *si* une note plus basse, dont on obtiendra le nombre de vibrations en multipliant celui de *si* par $\frac{24}{25}$: cette nouvelle note prend le nom de *si bémol*, et s'indique par *si* ♭.

En partant de même de cette gamme de *fa*, pour former une gamme ayant sa tonique à une quinte au-dessous de *fa*, c'est-à-dire une *gamme de si* ♭, on sera conduit à substituer, à la note *mi*, une note plus basse, c'est-à-dire *mi bémol*. Cette nouvelle gamme contiendra alors deux notes *bémolisées*; et ainsi de suite.

En général, *pour passer d'une gamme à celle qui aura sa tonique à une quinte au-dessous de celle de la première, il suffit de reproduire les notes fournies par celle-ci, en bémolisant la quatrième note de la nouvelle gamme* (celle qui est à une quinte au-dessous de l'octave).

692. **Gamme tempérée.** — Par ce qui précède, on voit que, dans l'intervalle d'une seule octave, devraient se placer 21 sons différents, savoir : les sept notes de la gamme d'*ut*, leurs dièses et leurs bémols. Si l'on voulait réaliser, dans plusieurs octaves successives, toutes ces notes sur des instruments à sons fixes, tels que l'orgue, le piano, on compliquerait à la fois la construction et le jeu de l'instrument. Cette considération a conduit les musiciens à l'idée du *tempérament*.

On divise l'intervalle d'octave en 12 demi-tons *moyens*, égaux entre eux, et constituant la succession des notes naturelles, avec leurs dièses et leurs bémols (*). — Une note *diésée* se confond alors avec la note suivante *bémolisée* (ainsi l'*ut dièse* se confond avec le *ré bémol*; le *ré dièse* se confond avec le *mi bémol*, etc.). Les tons entiers, majeurs et mineurs, sont remplacés eux-mêmes par un intervalle décomposable en deux demi-tons moyens.

(*) La valeur du *demi-ton moyen* est déterminée par cette condition que, dans une octave, le produit de ces douze intervalles égaux doit être égal à 2. La valeur du demi-ton moyen est donc représentée par $\sqrt[12]{2}$ ou 1,060. — En comparant les notes ainsi obtenues avec celles que fournissaient les nombres précédents, il est facile de voir que les notes de la gamme tempérée n'en diffèrent que de quantités très petites.

693. **Nombres absolus de vibrations des notes employées en musique. — Diapason normal.** — Jusqu'ici nous n'avons considéré que les *rapports* des nombres de vibrations des diverses notes de l'échelle musicale; dans la pratique, il est nécessaire, pour accorder entre eux les divers instruments, de fixer le nombre *absolu* des vibrations de l'une de ces notes, ce qui fixera en même temps les nombres de vibrations de toutes les autres.

D'après les conventions adoptées en France, l'*ut* le plus grave du violoncelle correspond à un nombre de vibrations, par seconde, représenté par 65,25. On le désigne par ut_1, et l'on affecte de l'indice 1 toutes les notes comprises entre ut_1 et son octave aiguë : dans l'octave suivante, les notes se distinguent par l'indice 2; dans la troisième octave, par l'indice 3, etc. Au-dessous de ut_1, on emploie, d'octave en octave, les indices — 1 et — 2.

Pour accorder les instruments, on se sert d'un *diapason* (*fig.* 512), qui rend un son déterminé de l'échelle musicale. — Le diapason normal donne la note la_3, qui correspond à 435 vibrations par seconde (*).

(*) Ces vibrations sont des ***vibrations doubles***, formées chacune d'une allée et d'une venue du corps sonore (662). Les auteurs qui entendent, par le mot de vibrations, des ***vibrations simples***, formées chacune d'une allée ou d'une venue, donnent alors à la note la_3 un nombre de vibrations égal à 870 par seconde.