

TABLE DES MATIÈRES

Japonais.....	447	L'opéra.....	471
Tonkinois.....	447	L'art religieux.....	473
Annamites.....	447	Les grands classiques.....	477
Romains.....	447	C. — École classique allemande.	478
Les tons d'église.....	449	(1660 à 1885 environ.)	
B. — Les Primitifs.....	450	D. — École romantique alle-	
Les neumes.....	451	mande.....	487
La diaphonie.....	455	(1780 à nos jours.)	
Le déchant.....	455	E. — École classique italienne..	499
Le plain-chant.....	457	(1649 à 1868 environ.)	
Les mystères.....	458	F. — École romantique italienne.	507
Les ménestrels.....	459	(1797 à nos jours.)	
Les chansons de gestes....	460	G. — École classique française.	517
Les hexacordes.....	461	(1683 à 1885 environ.)	
Les nuances.....	461	H. — École romantique fran-	
Le faux-bourdon.....	463	çaise.....	525
Le choral protestant.....	464	(1775 à nos jours.)	
Le contrepoint.....	465	I. — Les contemporains.....	556
La polyphonie.....	467	K. — L'école russe.....	566
La basse chiffrée.....	469	(1804 à nos jours.)	
Le madrigal.....	469	État actuel de l'art musical.	575
La monodie.....	470		
TABLE DES FIGURES.....	579		
INDEX ALPHABÉTIQUE.....	581		

LA MUSIQUE ET LES MUSICIENS

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDE DU SON MUSICAL

A. — Production du son.

Tous les phénomènes de la nature sont produits par des vibrations.

Le son n'est donc qu'un phénomène vibratoire, tout comme la lumière, la chaleur, etc.

Selon les travaux les plus récents, les vibrations sonores, c'est-à-dire perceptibles par l'oreille, varient de 32 à 73.000 par seconde.

Celles qui produisent la chaleur, et que les physiiciens appellent vibrations calorifiques, commencent à 134 trillions (134.000.000.000.000) par seconde, et deviennent lumineuses, c'est-à-dire visibles, perceptibles par l'œil, à partir de 483 trillions. Voici les chiffres correspondant aux vibrations éthérées des sept couleurs de l'arc-en-ciel, la gamme des couleurs :

Rouge.....	483.000.000.000.000.
Orangé.....	513.000.000.000.000.
Jaune.....	543.000.000.000.000.
Vert.....	576.000.000.000.000.
Bleu.....	630.000.000.000.000.
Indigo.....	669.000.000.000.000.
Violet.....	708.000.000.000.000.

Plus rapides encore sont les *vibrations chimiques*, qui ne sont perçues par aucun de nos sens, mais seulement par certains réactifs, tels que les plaques photographiques; ces dernières atteignent la vitesse prodigieuse de 1,017 trillions par seconde, quelques-uns disent même 1,429 trillions.

Ce n'est pas à titre de simple curiosité que je fais figurer ici ces chiffres qui confondent l'imagination, mais surtout pour que le lecteur s'habitue à ne rien voir d'extraordinaire dans les nombres infiniment plus modestes des vibrations sonores, *les plus lentes de celles qui affectent nos sens*; or, ce sont les seules que nous ayons à étudier ici, et encore pas toutes, car la limite d'appréciation, par l'oreille, des sons *ayant caractère musical* (limite variable d'ailleurs selon les individus) ne s'étend guère au delà du minimum de 32 vibrations et du maximum de 8,276 par seconde, c'est-à-dire entre le son le plus grave du grand orgue (tuyau de 32 pieds), et la note la plus aiguë de la petite flûte.

Tel est le domaine des sons purement musicaux, et, à présent qu'il est délimité avec une précision suffisante, je n'en sortirai plus.

Nous n'aurons, du reste, à examiner, en fait d'acoustique, que les phénomènes sonores directement intéressants pour le musicien, qui sont ceux-ci :

- 1° La production du son;
- 2° Sa transmission par l'air;
- 3° Sa perception par l'oreille;
- 4° Ses combinaisons successives ou simultanées, gammes, intervalles, accords, consonance et dissonance;
- 5° Les conditions de sonorité des salles;
- 6° Les rapports entre l'acoustique et le rythme musical.

La première chose est de saisir bien exactement ce qu'on appelle *une vibration*.

On ne peut s'en faire une idée élémentaire plus nette qu'en examinant attentivement comment se produisent les oscillations du pendule. Prenez un fil d'un mètre de longueur, suspendez un poids à son extrémité inférieure, et vous avez constitué un pendule suffisant pour nos observations (fig. 1). A l'état de repos, il conserve nécessairement la position verticale; c'est un fil à plomb. Écartez-le

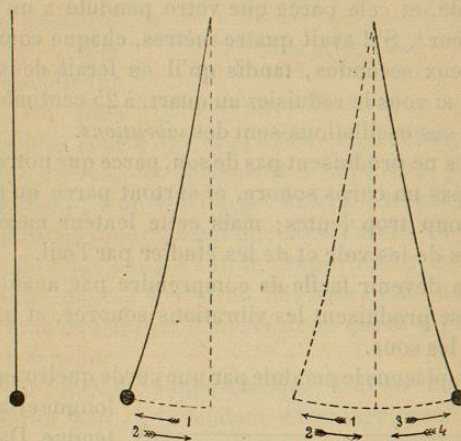


Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

de cette position qui lui est naturelle, vous le verrez y revenir par le fait de son poids; c'est une oscillation simple (fig. 2). Mais il ne s'arrête pas là; entraîné par son propre mouvement, il dépasse en sens inverse sa position de repos, puis y revient encore; à ce moment il a accompli une oscillation double (fig. 3). Et il continuera ces mouvements de va-et-vient autour de la perpendiculaire tant que se conservera l'impulsion que vous lui avez donnée.

Les oscillations du pendule ont cela de remarquable qu'elles sont rigoureusement *isochrones*, c'est-à-dire

qu'elles ont toutes la même durée ; la force de l'élan que vous imprimez à votre balancier peut faire varier leur amplitude, mais jamais leur vitesse ; elles s'éteignent progressivement en diminuant de grandeur, à cause de la résistance de l'air et du frottement du fil à son point d'attache ; mais depuis la première jusqu'à la dernière, fût-elle imperceptible, elles conserveront la durée exacte d'une seconde, et cela parce que votre pendule a un mètre de longueur¹. S'il avait quatre mètres, chaque course durerait deux secondes, tandis qu'il en ferait deux par seconde si vous le réduisiez au quart, à 25 centimètres².

Or, ces oscillations sont des *vibrations*.

Elles ne produisent pas de son, parce que notre pendule n'est pas un corps sonore, et surtout parce qu'elles sont beaucoup trop lentes ; mais cette lenteur même nous a permis de les voir et de les étudier par l'œil.

Il va devenir facile de comprendre par analogie comment se produisent les vibrations sonores, et par conséquent les sons.

Remplaçons le pendule par une corde quelconque, assez longue et faiblement tendue. Dans sa position d'équilibre, elle représente une ligne droite (fig. 4). Dérangez-la de cette position, elle y

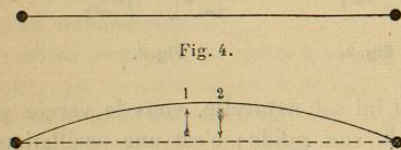


Fig. 4.



Fig. 5.

reviendra en vertu de son élasticité ; c'est une vibration simple (fig. 5). Mais elle ne s'y arrête pas ; dans son élan, elle la dépasse et

1. La longueur *exacte* d'un pendule battant la seconde est, à Paris, 99 $\frac{1}{4}$ millimètres ; aux pôles elle serait de 996, et à l'équateur 991.

2. Le nombre des oscillations est inversement proportionnel au carré des longueurs du pendule.

va accomplir un mouvement semblable dans la direction opposée, puis y revient de nouveau, ce qui constitue une vibration double (fig. 6). Et cet ensemble de mouvements oscillatoires se perpétuera tant qu'il restera trace de l'ébranlement que vous avez produit.

Les vibrations de la corde ont cela de commun avec les oscillations du pendule qu'elles sont tout aussi isochrones, c'est-à-dire qu'aucune d'elles ne saurait être plus

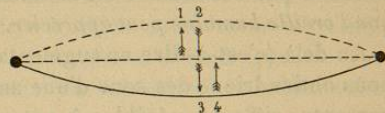


Fig. 6.

longue ni plus courte que la précédente ou celle qui suit, et qu'elles décroissent seulement d'amplitude, pour les mêmes raisons ; leur vitesse est déterminée par la longueur du corps sonore, ainsi que nous l'avons vu pour le pendule, quoique dans d'autres proportions : une corde de longueur double fournirait des vibrations de durée double, et inversement ; il en serait de même si l'on augmentait la tension.

Or, pour l'instant, supposons que, soit en raccourcissant la corde, soit en la tendant davantage, nous l'ayons amenée à faire 32 *vibrations* simples par seconde : ces mouvements seront déjà trop rapides pour être analysés et comptés par l'œil, pour lequel la corde aura pris l'aspect d'un fuseau ; mais alors se produira le phénomène sonore, et notre oreille percevra, quoique très sourd et très vague, *le son le plus grave de l'échelle musicale*¹ ; tendons graduellement la corde, nous entendrons le son monter en proportion en passant par les degrés les plus

1. Les théoriciens anglais et allemands ont l'habitude de compter l'oscillation double (aller et retour) pour une seule vibration ; pour eux, le son perceptible le plus grave est donc de 16 vibrations.

Dans le courant de cet ouvrage, nous continuerons à employer le système français, et à compter par vibrations simples.

insensibles; enfin, procédant par hypothèses, imaginons que notre corde soit douée de la faculté de supporter sans se rompre une tension indéfinie, nous arriverons à lui faire produire, en la tendant ou raccourcissant toujours, des sons de plus en plus aigus, mais conservant le caractère musical, jusqu'au moment où elle fournira 8,448 vibrations par seconde. *C'est la limite supérieure des sons que l'oreille humaine peut apprécier.*

Au delà (c'est-à-dire en augmentant encore la tension), nous obtiendrions des sons d'une acuité extrême, aigres, perçants, sifflants, pénibles à entendre, n'ayant rien de musical; puis enfin, si nous pouvions franchir le degré de tension nécessaire pour que notre corde effectue plus de 73,000 vibrations par seconde, elle continuerait indubitablement à vibrer, mais sans plus troubler le silence, car là s'arrête pour notre oreille la faculté de percevoir les mouvements vibratoires.

Pour étudier maintenant de plus près les mouvements vibratoires des cordes, nous allons avoir recours à un instrument connu de tous les physiciens, et depuis longtemps, car on en attribue l'invention à Pythagore.

Cet instrument s'appelle le *monocorde*, et consiste simplement en une longue caisse rectangulaire étroite, sur laquelle une corde est tendue au moyen, soit de deux chevilles, soit d'une cheville fixe et d'un poids que l'on peut faire varier. La corde a un mètre de longueur, et au-dessous d'elle se trouve inscrite sur la table la division du mètre en décimètres, centimètres et millimètres. Cet instrument est complété par un chevalet mobile avec lequel on délimite à volonté la portion de la corde sur laquelle on veut expérimenter (fig. 7).

Voici quelques exemples des innombrables et instructives expériences que l'on peut faire avec ce simple appareil, qui se trouve dans tous les cabinets de physique.

Après l'avoir accordée dans un ton quelconque, ébranlez la corde, soit avec un archet, soit en la pinçant avec le doigt, soit en la frappant; vous entendrez ainsi le son qu'elle produit en vibrant dans toute sa longueur, un mètre; placez alors le chevalet mobile juste au milieu, à 50 centimètres, et de quelque côté que vous ébranliez la corde, elle produira un son exactement à l'octave aiguë du premier. Cela démontre que les nombres de vibrations des cordes sont *en raison inverse de leurs longueurs*.

Remplacez cette corde par une autre, de même subs-

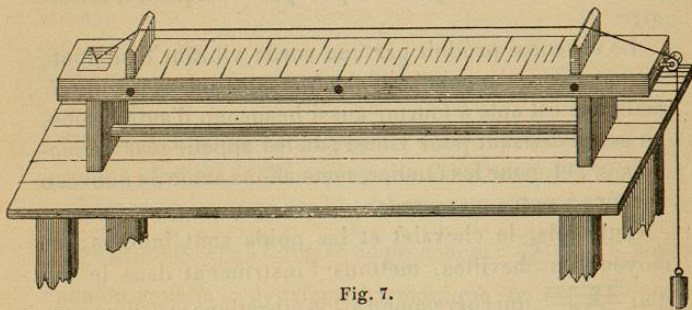


Fig. 7.

tance, dont le diamètre soit exactement double de celui de la première; donnez-lui la même tension, c'est-à-dire employez pour la tendre les mêmes poids, et vous obtiendrez l'octave inférieure. Cela démontre que les nombres de vibrations des cordes sont *en raison inverse de leurs diamètres*.

En expérimentant successivement sur deux cordes de même diamètre et soumises à la même tension, mais formées de métaux différents, on arrive à trouver que les nombres de vibrations des cordes sont *en raison inverse des racines carrées des densités*.

De même, en faisant varier dans les rapports convenables les poids tenseurs, il est facile de constater que les


nombres de vibrations des cordes sont *en raison directe de la racine carrée du poids par lequel elles sont tendues*

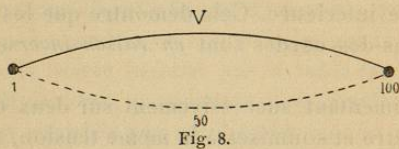
Ces quatre lois fondamentales, dont la connaissance approfondie est nécessaire pour les constructeurs d'instruments, peuvent être ainsi résumées à l'usage des musiciens :

Plus une corde est longue, grosse, lourde et faiblement tendue, plus ses vibrations sont lentes, et plus par conséquent le son est grave ;

Plus elle est courte, fine, légère et fortement tendue, plus ses vibrations sont rapides, et plus par conséquent le son est aigu.

Le son ainsi produit par une corde vibrant dans toute sa longueur s'appelle *son fondamental* ou *son naturel* ; mais elle est apte à fournir aussi beaucoup d'autres sons, en se subdivisant pour vibrer ; on les appelle *sons harmoniques*¹, et, pour les étudier, nous allons avoir de nouveau recours à notre *monocorde*.

Cette fois, le chevalet et les poids sont inutiles ; au moyen des chevilles, mettons l'instrument dans le ton d'*ut* , qui correspond à 258 vibrations et 6 dixièmes. La corde, attaquée vers son milieu avec l'archet, prend nécessairement pour vibrer une forme en fuseau, qu'on peut se représenter ainsi (fig. 8) :

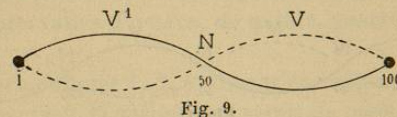



et fait entendre le son fondamental que nous connaissons déjà, et que nous appellerons ici son partiel 1. Aux deux


1. On dit aussi, dans le même sens : *sons concomitants, hypertons*, (all. *obertone* = sons supérieurs), ou encore *sons partiels*.

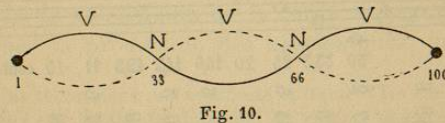
extrémités fixes, le mouvement est nécessairement nul ; le point milieu, où la vibration a sa plus grande amplitude, est un *ventre*.

Avec un doigt de la main gauche, ou simplement avec une barbe de plume, opérons un très léger contact sur ce point central, juste assez pour empêcher le ventre de s'y former, et attaquons avec l'archet vers le centimètre 25 ; un nouveau point immobile, qu'on appelle un *nœud*, se formera sous notre doigt, et la corde vibrera selon cette figure (fig. 9) :



Il y aura donc un nœud et deux ventres ; chacun des segments vibrants, n'étant plus que d'une moitié de la corde, opérera un nombre double de vibrations, soit 517,2, et le son produit sera à l'octave du précédent : . C'est ce qu'on appelle le deuxième harmonique, ou son 2.


Procédant de la même manière, effleurons la corde au centimètre 33, ébranlons-la au centimètre 50, et nous entendrons le 3^e harmonique ou son 3 : . Le nombre des vibrations sera 775, et la corde aura pris cette nouvelle forme (fig. 10) :

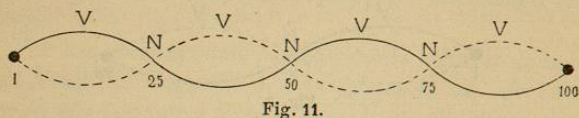


Il est à observer ici qu'en outre du nœud que nous

1. V, ventre. — N, nœud

provoquons par le contact, il s'en est formé spontanément un autre au point 66; ce fait est facile à constater en promenant successivement l'archet sur chacun des trois ventres (centimètres 16, 50 et 82 approximativement); le son 3 sortira nettement. Au contraire, si on touche avec l'archet au point 66, qui doit rester immobile, l'harmonique ne se produit plus.

On trouvera le son 4: , qui correspond nécessairement à 1,034,5 vibrations et à la forme (fig. 11):



en effleurant au point 25 et en ébranlant vers 12, 37, 62 ou 87, c'est-à-dire sur les ventres; ici deux nœuds se sont formés spontanément.

Il est facile de produire ainsi sur le monocorde, surtout en se servant d'une corde fine, les dix premiers harmoniques, dont voici le tableau, avec l'indication du point à effleurer (premier nœud), et le nombre de vibrations de chaque son, qui n'est autre que le premier chiffre multiplié par le n° d'ordre de chaque son partiel.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
							b	♭	♭	♭
		50	33,3	25	20	16,6	14,2	12,5	11	10 cent
258 6	517 2	775	1034 5	1293	1551 6	1810 3	2069	2327 5	2586	

Théoriquement, la série des harmoniques peut être considérée comme infinie, puisque la corde peut être indé-

finiment divisée; mais pour ce qui nous occupe, les dix premiers sont suffisants. Cette série donne lieu aux remarques suivantes, qui méritent de fixer l'attention:

1° Les numéros d'ordre sont égaux aux nombres de segments vibrants, ou de ventres;

2° Il y a toujours un nœud de moins que de ventres;

3° Le son fondamental, ne formant qu'un seul ventre, doit être considéré comme son propre 1^{er} harmonique¹.

4° Pris dans leur ordre numérique, les harmoniques vont toujours en se rapprochant, et forment successivement des intervalles d'octave, de quinte, de quarte, de tierce et de seconde.

5° Les harmoniques 1, 2, 4, 8 sont en rapport d'octave. (Si on poursuivait la série, il en serait de même des harmoniques 16, 32, 64, etc.) Ce même rapport d'octave se retrouve entre 3 et 6, et entre 5 et 10.

6° Les nombres relatifs de vibrations, pour deux sons en rapport d'octave..... sont comme 1:2,

—	de quinte juste....	—	2:3,
—	de quarte juste....	—	3:4,
—	de tierce majeure..	—	4:5,
—	de tierce mineure..	—	5:6,
—	de seconde majeure.	—	8:9.

7° Enfin, on obtient le nombre de vibrations d'un harmonique quelconque en multipliant par son numéro d'ordre le nombre de vibrations du son fondamental.

Le mode de subdivision de la corde en segments vibrants pour la production des harmoniques, que nous

1. Certains théoriciens ont numéroté autrement les sons harmoniques; pour eux, le son fondamental ne compte pas; ce serait le son zéro; ils appellent l'octave première harmonique; la douzième, deuxième, etc.


Le système adopté ici est celui de tous les grands physiciens actuels; il est incomparablement plus commode pour le calcul, comme on le verra dans les paragraphes suivants

venons d'exposer théoriquement, peut être démontré et rendu *visible* par un procédé des plus simples. Il suffit pour cela de placer à cheval sur la corde des petits morceaux de papier léger qui trahiront ses moindres oscillations, puis de répéter les expériences précédentes. Ceux de ces petits cavaliers qui auront été placés sur des nœuds, points où le mouvement vibratoire doit être considéré comme nul, resteront immobiles; au contraire, ceux qui se trouveront dans le voisinage des ventres, seront violemment agités ou même projetés à distances désarçonnés.

La dimension convenable à leur donner est celle-ci



(fig. 12). Pour démontrer la formation de l'harmonique 4, placez 4 cavaliers blancs sur les 4 ventres (12, 37, 62, 87 cent. approximativement), et 3 cavaliers d'une autre couleur sur les 3 nœuds (25, 50, 75 cent.). Effleurez la corde à 25 cent., ébranlez-la vers l'une de ses extrémités, et, en même temps que vous

entendrez se produire le son , vous verrez ressortir les 4 cavaliers blancs, tandis que les 3 autres resteront impassibles; ce qui est concluant (fig. 11).

L'harmonique 8 vous permettra de culbuter 8 cavaliers placés au milieu des 8 segments vibrants, et en respectera 7 autres si vous les avez bien mis exactement aux 7 points de la corde où doivent se former les 7 nœuds.



Fig. 13.

Nous aurons lieu souvent de recourir à ce même système pour d'autres expériences plus délicates.

Jusqu'à présent, nous avons étudié le mode de vibration d'une corde considérée dans son étendue totale, puis

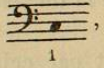
la façon dont elle se comporte lorsqu'elle est sectionnée par un léger contact en deux ou plusieurs segments vibrant séparément.

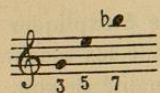
Dans le premier cas elle produit un son unique, dit son fondamental, dont la force dépend de l'amplitude des vibrations, et qui ne peut varier qu'en raison de la longueur, de la grosseur, de la tension ou de la densité de la corde; dans le deuxième cas nous la voyons se subdiviser et faire entendre de nouveaux sons, ses harmoniques, qui exigent des vibrations 2 fois, 3 fois..... 10 fois plus rapides.

Ce qu'il faut comprendre maintenant, c'est que *jamais* une corde ne vibre dans sa forme la plus simple, mais qu'à son grand mouvement général s'adjoignent toujours *plus ou moins* des mouvements partiels. Il est même vraisemblable que les mouvements partiels sont les premiers provoqués, et qu'en s'additionnant ils engendrent le mouvement général dont seul nous avons la perception nette. C'est dire qu'on n'entend jamais un son absolument pur, mais toujours un son accompagné de quelques-uns de ses harmoniques (sons concomitants).

Si notre oreille ne les distingue pas, c'est uniquement par manque d'habitude et parce que l'attention n'est pas appelée sur ce point; mais leur existence ne peut être mise en doute, bien qu'il soit assez difficile de s'en rendre compte d'une manière directe

Avec beaucoup d'attention, une oreille exercée arrive pourtant à distinguer ceux des sons partiels qui ne sont pas en rapport d'octave avec le son principal¹, c'est-

à-dire sur la note , les harmoniques impairs



; le piano et l'harmonium se prêtent assez

1. Ce qui les fait confondre trop aisément.

bien à cette expérience. La meilleure manière de s'y prendre pour cela est de jouer d'abord très doucement l'harmonique dont on désire constater la présence, afin de l'avoir bien présent à l'idée ; puis, après l'avoir laissé éteindre, attaquer vigoureusement le son fondamental et écouter longuement, car c'est souvent au moment où le son 1 est près de cesser que les autres sons partiels se dégagent plus nettement.

Autre procédé : sur le monocorde, immobilisez un point nodal, comme nous l'avons déjà fait, avec le doigt, ou une barbe de plume, ou un petit pinceau de crins, de façon à obtenir en pinçant la corde le son partiel correspondant à la division que vous avez provoquée ; continuez à pincer la corde en diminuant progressivement la pression sur le nœud, en lui rendant graduellement la liberté ; le son fondamental apparaîtra peu à peu, puis prendra la prépondérance, sans que vous perdiez pour cela la notion du son partiel visé, même au moment où tout contact aura cessé.

A défaut de monocorde, cette expérience peut se faire sur une corde de piano, de violoncelle, etc. ; en ce cas on détermine le point à effleurer en mesurant la longueur de la corde, et en la divisant par 3, 5 ou 7, selon le son partiel qu'on désire isoler.

Plus tard, quand nous parlerons des résonateurs et des vibrations par influence, nous indiquerons d'autres moyens d'investigation de nature à mettre en évidence la complexité des vibrations. Pour le moment, il suffit de savoir que ce fait incontestable est aussi bien démontré expérimentalement que par la théorie mathématique.

Or, nous arrivons ici et par cela même à expliquer l'une des choses les plus intéressantes pour les musiciens, à savoir *la cause du timbre*, de la qualité de son.

L'intensité des sons dépendant de l'amplitude des vi-

brations, *l'intonation* variant selon leur nombre, on est resté longtemps à découvrir ce qui pouvait bien produire les différences de *timbre* : c'est la *forme* des vibrations, autrement dit la coexistence, simultanément avec le son principal, de tels ou tels de ses harmoniques.

Et on conçoit la variété infinie des timbres en considérant que la moindre modification dans le mode d'ébranlement de la corde, ainsi que dans le point précis où elle est attaquée, est de nature à déterminer ou à empêcher la formation de l'un ou l'autre des sons concomitants.

Ainsi, par exemple, une corde pincée, frappée, ou frottée par l'archet près de son centre, ne pourra posséder son 2^e harmonique, l'octave, ni aucun harmonique pair, puisque ceux-ci exigent un nœud au point 50, tandis que l'ébranlement y a créé un ventre. Au contraire, en attaquant à l'un des tiers, à 33 ou à 66, on supprime les sons partiels 3, 6 et 9, ce qui donne aux autres une prépondérance apparente. D'une façon générale, on favorise le développement des harmoniques en attaquant la corde près de l'une de ses extrémités fixes. La matière qui forme le marteau qui frappe, la rapidité de l'attaque, la tension de l'archet, la façon dont il est enduit de colophane, le degré de souplesse ou de rugosité du doigt qui pince la corde, sont autant de causes qui peuvent modifier la forme de la vibration ; si nous ajoutons que les harmoniques aigus se produisent plus aisément sur les cordes longues et fines, nous aurons, je crois, passé en revue la plupart des circonstances qui sont de nature à produire et à faire varier la qualité du son, le timbre musical, en ce qui concerne les sons produits par des cordes.

Or, un son ne nous produit une impression agréable, musicalement parlant, que s'il est suffisamment timbré, coloré et caractérisé par la présence de quelques-uns de ses harmoniques ; *théoriquement pur*, il nous paraîtrait fade, *sans timbre*.

Ce que nous appelons un son *riche, chaud*, qu'il s'agisse d'une voix ou d'un instrument, c'est un son qui est tout naturellement accompagné par un certain nombre d'harmoniques, dont nous n'avons pas la perception distincte, mais qui lui donnent sa couleur caractéristique.

Mais les cordes ne sont pas les seules sources sonores exploitées par les musiciens, et nous avons encore à examiner deux autres modes de production du son, les tuyaux et les plaques ou membranes.

Ce n'est pas au hasard que nous avons choisi les cordes comme début dans cette étude; seules elles nous permettraient de rendre les expériences visibles et tangibles. A présent que nous savons comment se produit chez elles le phénomène sonore, il nous sera plus aisé de comprendre, par analogie, la façon dont les sons se forment dans les tuyaux.

Là aussi les vibrations sont isochrones; elles varient selon la longueur des tuyaux, elles se subdivisent, comme celles des cordes, pour produire les harmoniques; là aussi nous retrouvons des nœuds et des ventres, là aussi les différences d'intonation, d'intensité et de timbre reconnaissent pour cause des modifications de vitesse, d'amplitude et de forme; il y a donc les plus grands rapports entre les phénomènes que nous avons déjà expliqués et ceux que nous avons à analyser; mais les lois ne sont plus absolument les mêmes.

Tout d'abord, de palpable et apparent qu'il était, le corps sonore devient invisible et intangible; c'est l'air, c'est *la colonne d'air* contenue dans l'intérieur du tuyau; et le rôle du métal, du bois ou de la substance quelconque dont il est fait se borne uniquement à déterminer la forme et les dimensions de la masse d'air qu'il emprisonne, qui seule vibre.

Ce point est très important à saisir; il n'y a pas très

longtemps qu'il a été démontré, et beaucoup d'artistes, même parmi ceux qui cultivent les instruments à vent, ne l'admettent qu'avec difficulté. Or il est certain que quatre tuyaux, l'un en buis, l'autre en ébène, le troisième en cuivre et le quatrième en porcelaine ou toute autre matière, si on arrive à leur donner identiquement la même longueur, le même diamètre, le même degré de poli intérieur et de résistance, et en toute chose *la plus complète ressemblance*, produiront des sons qui ne différeront en rien, pas plus par la force que par la hauteur ou la qualité de son. La substance dont est fait le tube sonore n'a aucune influence sur ses vibrations; ses dimensions exactes font tout, et le tuyau lui-même ne prend aucune part à la production du son. D'éminents facteurs, Sax à Paris et Mahillon à Bruxelles, ont construit, pour démontrer expérimentalement ce fait, l'un des clarinettes en cuivre, l'autre une trompette en bois, sans parvenir à déraciner entièrement les idées fausses que beaucoup de musiciens conservent à cet égard; plus récemment, un physicien connu et un modelleur, Reghizzo et Columbo, se sont associés pour construire à Milan un orgue dont les tuyaux sont en carton. Moi-même je possède plusieurs cors des Alpes suisses en écorces enroulées, et une sorte de cornet à bouquin en bois, d'origine finlandaise, qui donnent exactement l'impression de la trompette ou d'autres instruments en cuivre. Bien mieux, dans certains jeux d'orgue, pour des raisons d'économie, les tuyaux les plus graves sont souvent construits en bois, tandis que le métal est employé pour ceux du médium et de l'aigu, sans qu'il en résulte une différence appréciable dans le timbre général. Il faut donc s'habituer à considérer comme *seul corps sonore*, dans les instruments à vent, *l'air qu'ils contiennent*.

Un tube peut être ouvert à ses deux extrémités ou à l'une d'elles seulement, et la colonne d'air se comporte de

façon différente dans ces deux cas, que nous devons par conséquent étudier séparément.

Nous commencerons, pour plus de clarté, par les tubes ouverts aux deux bouts, qu'on appelle *tuyaux ouverts*.

Ici, inversement à ce que nous avons observé pour les cordes, la forme la plus simple de vibration, celle qui fournit le son fondamental, se compose d'un seul nœud au milieu du tube et de deux ventres, un à chaque extrémité; et quand on y pense bien, c'est tout naturel. Comment est causé ici l'ébranlement sonore? Par un souffle léger et régulier que nous faisons passer perpendiculairement au-dessus de l'un des orifices, comme quand on siffle dans une clef; ce souffle, se brisant contre les parois du tube, engendre le frémissement d'où naissent les vibrations; or, où pourraient-elles être plus vigoureuses qu'à l'endroit même où le souffle se produit, c'est-à-dire

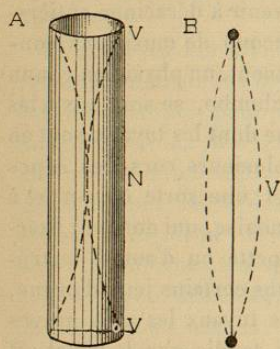


Fig. 14.

à l'extrémité du tube? C'est donc là un point de très forte vibration, un ventre. Le nœud qui se forme spontanément au milieu du tuyau a pour effet de diviser la colonne vibrante en deux demi-segments qui représentent la somme du segment unique d'une corde rendant son son principal (fig. 14). Quand la corde donne sa note fondamentale, elle est ébranlée par le milieu; le tuyau, lui, est mis en vibration par un de ses bouts; de là la différence de forme, qui entraîne nécessairement avec elle, comme nous le savons, une différence de timbre.

Ceci n'est pas une hypothèse, mais un fait positif et indiscutable, qui a été vérifié par l'expérience suivante, que chacun peut répéter : prenez un tube en verre, ou un

tuyau d'orgue dont une des parois a été remplacée par une vitre; au moyen d'un fil, faites descendre jusqu'au milieu une mince membrane saupoudrée de sable fin, puis mettez le tuyau en vibration; le sable ne bougera pas, parce que nous sommes au point nodal, au point fixe où les vibrations sont nulles. Abaissez la membrane jusqu'à l'orifice inférieur, ou élevez-la jusqu'à l'orifice supérieur, et le sable sera violemment agité ou projeté au dehors, témoignant ainsi, à l'instar des cavaliers du monocorde, la présence de vibrations énergiques.

Si on force un peu le souffle, on provoque la division de la colonne en quatre demi-segments avec deux nœuds (fig. 15), ce qui donne pour résultat le son partiel 2.

En soufflant encore plus fort, on obtient toute la série des harmoniques, la masse vibrante se divisant pour chacun d'eux en deux demi-segments de plus, c'est-à-dire en 4, 6, 8, 10, etc., et le nombre des vibrations augmentant dans le même rapport, selon les nombres naturels 1, 2, 3, 4, 5, etc.



Fig. 15.

Plus un tuyau est long, plus le son qui lui est propre est grave; en doublant la longueur on obtient l'octave inférieure, ce qui prouve qu'ici comme pour les cordes, le nombre des vibrations est *inversement proportionnel à la longueur du corps vibrant*.

Pour étudier le mode de vibration des *tuyaux fermés* à l'une de leurs extrémités, reprenons le tube ouvert qui nous a servi précédemment et mettons un bouchon à l'un de ses orifices; ainsi modifié, il donne un son à l'octave au-dessous du son primitif. Enfonçons le bouchon jusqu'au milieu, et nous voilà revenus, avec un timbre différent, à la même note que produisait le tube ouvert. Il est facile de déduire de là la façon dont l'air s'est comporté;

au point d'ébranlement, à l'extrémité ouverte, il s'est formé un ventre, tout naturellement, mais l'extrémité fermée correspond à un nœud, au même nœud qui existait au milieu du tuyau ouvert.

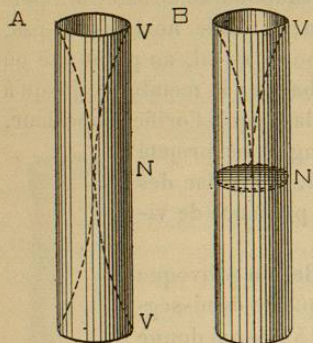


Fig. 16.

La figure 16 le fera comprendre.

Le tuyau fermé fonctionne comme une moitié de tuyau ouvert.

L'expérience démontre que le fond du tube est toujours le siège d'un nœud, et la partie ouverte le siège

d'un ventre. Il en résulte que si on force le souffle pour amener le tuyau fermé à produire des harmoniques, le mode de division le plus simple que puisse adopter la colonne d'air est celui-ci (fig. 17). Nous avons trois demi-segments vibrants, d'où résulte le son partiel 3.



Fig. 17.

Forçons encore le souffle, et, étant toujours donnée l'obligation d'avoir un nœud à un bout et un ventre à l'autre, le tuyau ne pourra se diviser autrement que de cette manière (fig. 18): avec 3 nœuds, 4 ventres, et conséquemment 5 demi-segments vibrants. Le son produit sera l'harmonique 5.

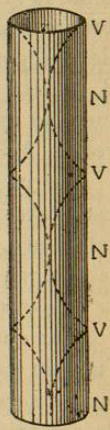
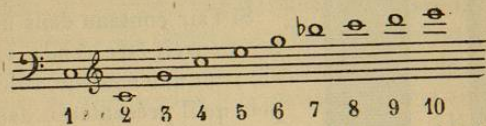


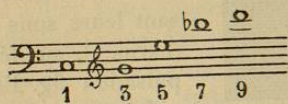
Fig. 18

Un tuyau fermé est donc dans l'impossibilité de produire les harmoniques 2 et 4, de même que tous les harmoniques de nombre pair, qui exigent la présence d'un nœud au milieu de la colonne d'air.

Si donc un tuyau ouvert est apte à produire tous les sons partiels dans l'ordre naturel de leur succession, on ne peut demander au tuyau fermé que les sons partiels impairs¹.



Harmoniques d'un tuyau ouvert de 1^m,314 de longueur, fournissant 258 vibrations simples pour le son fondamental.



Harmoniques d'un tuyau fermé de 0^m,657 de longueur, fournissant le même nombre de vibrations.

Les figures de tuyaux qui précèdent, dans lesquelles l'exactitude complète a été sacrifiée à la clarté, seraient de nature à créer une idée fautive, si nous n'examinions à présent avec plus de détails l'état de l'air à l'intérieur du tube sonore. Il ne vibre pas transversalement comme les cordes (et c'est là justement ce que nos dessins précédents pourraient laisser croire), mais longitudinalement. Les vibrations consistent ici en pulsations consécutives, d'où résultent des condensations et des raréfactions alternatives de chaque portion de la masse d'air. Les molécules d'air ébranlées en premier se précipitent sur leurs voisines, auxquelles elles communiquent leur mouvement, déjà légèrement amoindri; celles-ci agissent de même sur les suivantes, et ainsi de suite, l'oscillation *longitudinale* diminuant constamment d'amplitude jusqu'au point nodal, où on peut la considérer comme nulle. Mais là, s'il n'y a pas de mouvement, se trouve la plus forte densité; l'air y

1. C'est le principe de construction d'un des plus beaux instruments de l'orchestre, la clarinette.

est fortement comprimé, et cette compression devient à son tour, en raison de l'élasticité de l'air, la cause d'une pulsation semblable imprimée à la portion aérienne contiguë.

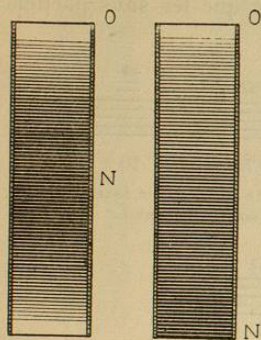


Fig. 19.

Tuyau ouvert. Tuyau fermé.

Si l'air contenu dans des tubes pouvait être rendu visible, s'il avait une couleur, voici l'aspect qu'il présenterait dans des tubes soit ouverts, soit fermés, de mêmes dimensions produisant leurs sons fondamentaux, (harm. 1), au début de chaque pulsation (fig. 19).

La distance entre le nœud N et l'orifice O étant plus grande du double dans le tuyau fermé, celui-ci produit moitié moins de vibrations que le tuyau ouvert, et résonne conséquemment à l'octave grave.

On peut imaginer de même la situation de l'air pour la

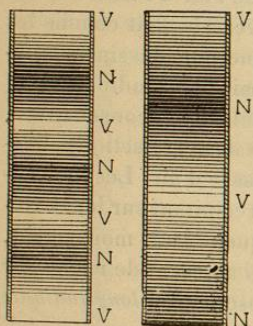


Fig. 20.

Tuyau ouvert. Tuyau fermé.

production de chaque harmonique, en tenant compte que partout où cet harmonique exige un nœud il y a augmentation de densité, puisque à ce point l'air est comprimé entre deux portions vibrantes agissant sur lui en sens opposé, tandis qu'à chaque ventre l'air, fortement dilaté, exécute les mouvements de va-et-vient qui constituent la vibration et déterminent sa période.

Voici les mêmes tuyaux produisant leur troisième harmonique (fig. 20).

On voit qu'ici encore le tuyau fermé se comporte comme un demi-tuyau ouvert; il ne pouvait faire différemment,

et c'est ce qui fait qu'il ne pourra jamais produire qu'un harmonique sur deux, c'est-à-dire seulement les harmoniques impairs, le son fondamental étant appelé 1.

Ces mêmes faits peuvent se vérifier expérimentalement en perçant un trou dans la paroi des tuyaux au point exact correspondant à un ventre; que les tubes soient ouverts ou fermés, le son saute immédiatement à celui de ses harmoniques qui correspond à la division qu'on a ainsi provoquée.

Ainsi, dans un tuyau *ouvert*, si l'on pratique une petite¹ ouverture au milieu, cette ouverture, mettant le point central en communication avec l'air extérieur, s'opposera à ce qu'il puisse s'y produire les variations de densité qui constituent le nœud; ce nœud étant indispensable à la formation du son fondamental et de tous les harmoniques d'ordre impair, ce tuyau ne pourra désormais produire que les sons partiels 2, 4, 6, 8, etc.

De même, dans les tuyaux *fermés*, il suffit de pratiquer un trou au tiers, au cinquième ou au septième de la longueur totale, pour provoquer la formation des sons 3, 5 ou 7, à l'exclusion du son principal, qui ne peut admettre aucune division de la colonne d'air.

Avant de quitter les tuyaux, nous avons encore à examiner les diverses façons dont ils peuvent être mis en vibration.

Les cordes, dont nous avons fait le point de départ, sont susceptibles d'être ébranlées de trois manières : par un doigt qui les pince, par un archet qui les frotte, par un marteau qui les frappe.

Les tuyaux entrent en vibration sous deux influences distinctes : par le *frôlement de l'air* se brisant contre l'un

1. Il est nécessaire que cette ouverture soit très petite; sans quoi le tuyau serait simplement raccourci, et produirait un nouveau son fondamental plus élevé.