

## Ensemble Acoustique 1000816

### Instructions d'utilisation

07/15 TL/ALF



### 1. Description

Le jeu d'appareils de l'unité didacticielle Acoustique permet l'enseignement de connaissances générales complètes sur le thème de l'acoustique. L'unité didacticielle permet de réaliser de nombreuses expériences.

Exemples d'applications :

1. Sons de cordes
2. Le pur son acoustique
3. Colonnes d'air vibrantes
4. Colonne d'air ouverte
5. Sifflet à bec
6. Barres vibrantes
7. Infrasons
8. Ultrasons
9. Diapason avec pointe d'enregistrement
10. Ondes progressives
11. Effet Doppler
12. Figures de Chladni
13. Oscillations de cloches
14. Ondes stationnaires
15. Sons harmoniques
16. Mesure de la longueur d'onde
17. Fond de résonance
18. Caisse de résonance
19. Résonateur sphérique
20. Principes des instruments à cordes
21. Gammes des instruments à cordes
22. Mesure de la tension des cordes
23. Rapport entre l'hauteur du son et tension de corde
24. Principes des instruments à vent
25. La gamme en do majeur et ses intervalles
26. Consonnance et dissonance
27. Accord parfait en sol majeur
28. Accord parfait en sol majeur à quatre voix
29. Gamme majeure avec n'importe quel son fondamental
30. Interposition des demi-tons

Livraison sur un plateau en plastique équipé d'inserts en mousse protégeant chacune des pièces pendant leur stockage.

## 2. Fournitures

- |    |  |    |  |
|----|--|----|--|
| 1  | Plateau avec insert en mousse pour ensemble acoustique | 16 | Tige pour plaque de Chladni / dôme de cloche       |
| 2  | Sonomètre  | 17 | Sifflet de Galton                                  |
| 3  | Barrettes pour sonomètre                               | 18 | Crayon avec support                                |
| 4  | Métallophone   | 19 | Poudre de lycopode                                 |
| 5  | Plaque de Chladni                                      | 20 | Bloc en matière plastique pour pince étau de table |
| 6  | Diapason, 1700 Hz                                      | 21 | Capuchon en caoutchouc                             |
| 7  | Diapason, 440 Hz                                       | 22 | Dôme de cloche                                     |
| 8  | Diapason avec pointe d'enregistrement, 21 Hz           | 23 | Tuyau à anche                                      |
| 9  | Balance à ressort                                      | 24 | Sifflet à bec                                      |
| 10 | Clip de fixation                                       | 25 | Cordes en acier                                    |
| 11 | Pince étau de table                                    | 26 | Cordes en perlon                                   |
| 12 | Résonateurs de Helmholtz                               | 27 | Corde vibrante                                     |
|    | Ø 70 mm  | 28 | Curseur de syntonisation                           |
|    | Ø 52 mm  |    |  |
|    | Ø 40 mm  |    |  |
|    | Ø 34 mm  |    |  |
| 13 | Tube de verre pour colonne d'air ouverte               |    |  |
| 14 | Tube de Kundt  |    |  |
| 15 | Tube de verre pour colonne d'air fermée                |    |  |



### 3. Caractéristiques techniques

Dimensions : env. 530x375x155 mm<sup>3</sup>  
Masse : env. 4.5 kg

### 4. Exemples d'expériences

#### 1. Sons de cordes

- Pincer vigoureusement avec le doigt la corde moyennement tendue du sonomètre.
- Augmenter la tension de la corde en tournant la cheville à droite et pincer à nouveau cette dernière.

On perçoit tout d'abord un son grave puis un son plus aigu.

Explication : les cordes vibrantes produisent des sons acoustiques du fait de la compression et de la raréfaction alternatives de l'air ambiant. Plus la corde est tendue plus l'oscillation est rapide et plus le son est aigu.

#### 2. Le pur son acoustique

- Faites fortement vibrer le diapason (440 Hz) en utilisant le marteau du métallophone.

On perçoit un son acoustique pur de hauteur de son spécifique et invariable qui s'atténue lentement.

Explication : le diapason est composé d'un morceau d'acier courbé en U relié à une tige au point culminant (coude). Etant donné que le diapason ne vibre que selon un certain mode d'oscillations (mouvement contraire des branches de l'intérieur vers l'extérieur et inversement), il produit un son pur de hauteur invariable. On utilise le diapason pour accorder les instruments de musique en raison de cette hauteur de son constante.

#### 3. Colonnes d'air vibrantes

- Fixez le tube de verre pour la colonne d'air fermée sur la table de travail en utilisant la pince étau de table, le bloc en matière plastique ainsi que le clip de fixation.
- Introduisez le curseur de syntonisation dans le tube de verre.
- Faites fortement vibrer le diapason (440 Hz) en utilisant le marteau du métallophone. Modifiez la longueur de la « colonne d'air fermée » en étirant plus ou moins fortement le curseur de syntonisation.

La colonne d'air ne commence à résonner (phénomène de résonance) que pour une seule position du curseur de syntonisation, elle

demeure muette dans toutes les autres positions prises par ce curseur. La résonance est perceptible par une croissance de l'intensité sonore.

Explication : les colonnes d'air fermées commencent à osciller lorsque leur longueur correspond à un quart de la longueur d'onde d'excitation. Le diapason vibre à un rythme de 440 vibrations par seconde. Selon l'équation

$$\text{Longueur d'onde} = \frac{\text{Vitesse de propagation}}{\text{Fréquence}}$$
$$\frac{34000 \cdot \text{cm/s}}{440 \cdot \text{Oscillations/s}} = 77,2 \cdot \text{cm}$$

la longueur d'onde du son produit est de 77,2 cm. Le quart de la longueur d'onde correspond donc à 19,3 cm.

En présence d'un phénomène de résonance, la distance entre le piston et l'ouverture du tube est de 19,3 cm.

#### 4. Colonne d'air ouverte

- Réaliser l'expérience avec le tube de verre (14) à colonne d'air ouverte.

La colonne d'air ouverte dont la longueur est exactement le double de celle de la colonne fermée commence également à osciller lorsqu'on tient un diapason à son ouverture, ce qui est perceptible par une croissance de l'intensité sonore.

Explication : les colonnes d'air commencent à osciller lorsque leur longueur correspond à une demi-longueur d'onde ou à un multiple de demi-longueur d'onde. Des ventres d'oscillation se forment aux extrémités de la colonne d'air ouverte tandis qu'un noeud d'oscillation apparaît au milieu.

#### 5. Sifflet à bec

- Souffler dans le sifflet à bec et modifier la longueur du sifflet en sortant le piston.

Suivant la longueur du piston, on perçoit un son plus ou moins grave au timbre caractéristique.

Explication : en soufflant un courant d'air régulier dans l'ouverture du sifflet, l'air enfermé dans le corps du sifflet se met à vibrer de telle sorte que des tourbillons d'air se détachent du bec (biseau) à intervalles réguliers. Le son produit dépend de la longueur de la colonne d'air. Pour le sifflet fermé, la longueur de sifflet (mesurée à partir du bord du biseau jusqu'au fond) correspond au son fondamental d'un quart de longueur d'onde. Sur l'arête se forme une surface ventrale et sur le fond un noeud.

## 6. Barres vibrantes

- Frapper quelques barres du métallophone au moyen du marteau de percussion fourni.

La percussion des barres métalliques au moyen du marteau génère des sons harmonieux au timbre très caractéristique. Plus la barre est courte, plus le son est aigu

Explication : des barres élastiques se transforment en systèmes mécaniques pouvant vibrer si elles reposent sur les points de leurs nœuds vibratoires (à une distance des extrémités égale à environ 22 % de la longueur totale).

## 7. Infrason

- Faire osciller le diapason à pointe d'enregistrement en exerçant une pression simultanée sur les deux branches et en les relâchant ensuite brusquement.

Le diapason exécute des oscillations lentes qui sont encore bien perceptibles à l'œil. En collant le diapason à l'oreille, on perçoit un son très grave (encore à peine perceptible).

Explication : les branches du diapason vibrent en sens opposé dans un va-et-vient et compriment et raréfient l'air environnant. Si ces compressions et raréfactions tombent dans l'oreille, le tympan se met à vibrer en même temps. On entend alors un son.

Le diapason oscille à raison d'environ 20 oscillations à la seconde. Le son le plus grave qui puissent encore être perçus possède environ 16 oscillations à la seconde. Les vibrations inférieures à 16 Hertz ne sont plus perceptibles à l'ouïe. On les désigne sous le terme d'infrasons (en latin infra signifie en-dessous).

## 8. Ultrason

- Souffler dans le sifflet de Galton.

On ne perçoit plus aucun son mais seulement un bruit comparable à un sifflement.

Résultat : en raison de sa longueur réduite, le sifflet de Galton produit des sons très aigus qui ne sont plus perceptibles pour l'oreille humaine. On les désigne sous le terme d'ultrasons (en latin ultra signifie au-dessus).

## 9. Diapason avec pointe d'enregistrement

- Fixer le crayon aux branches du diapason à pointe d'enregistrement.
- Faire osciller le diapason en pressant les branches l'une contre l'autre et déplacer le crayon régulièrement sur une feuille de

papier posée sur un support suffisamment rigide.

Le crayon dessine sur le papier une ligne ondulée constituée de longueurs d'ondes constantes mais d'amplitude décroissante.

Explication : le son est généré par l'oscillation périodique de corps solides, liquides ou gazeux. Le lieu géométrique des particules vibrantes du corps en fonction du temps se situe sur une ligne ondulée (la ligne sinusoïde). En cas de choc unique, les corps vibrants exécutent une oscillation « amortie » (diminution constante de l'amplitude). Si l'alimentation en énergie est constante (tonalité continue d'un klaxon, tuyau d'orgue constamment alimenté en air), nous obtenons une oscillation non amortie d'amplitude constantes (= puissance sonore).

## 10. Ondes progressives

- Nouer la boucle de la corde vibrante à une poignée de porte.
- Tendre moyennement la corde et exécuter un mouvement latéral par à-coups avec la main.

Une ondulation est générée à partir du centre du mouvement (la main) qui parcourt la corde avec une certaine vitesse de progression, se réfléchit à l'extrémité fixe et revient au point de départ.

Explication : tout corps solide, liquide et gazeux génère des oscillations lors d'une secousse soudaine ; ces oscillations se propagent sur le support vibrant avec une certaine vitesse de propagation.

## 11. Effet Doppler

- Frapper le diapason en métal léger (1700 Hz) en utilisant le marteau du métallophone, le maintenir brièvement au repos et l'agiter de part et d'autre ensuite rapidement dans l'air.

Lorsqu'il est au repos, le diapason produit un son fort d'une hauteur constante. Lorsqu'il se trouve en mouvement, la hauteur du son varie constamment. Si l'on effectue le mouvement en le rapprochant de l'oreille, le son augmente, si le mouvement est éloigné de l'oreille, le son diminue.

Explication : la diminution de la distance de la source sonore par rapport à l'oreille raccourcit l'intervalle temporel entre deux compressions étant donné que la 2<sup>ème</sup> compression effectue un parcours plus court vers l'oreille que la première. L'oreille perçoit une fréquence plus élevée. Le son devient plus aigu. Si l'on éloigne la source sonore de l'oreille, les

intervalles de temps entre les compressions et les raréfactions sont prolongés. Le son devient plus grave.

## 12. Figures de Chladni

- Fixer la plaque de Chladni au moyen de la pince-étau et du bloc en matière plastique au plan de travail. Répartir du sable anisé ou un matériau similaire sur la plaque, de façon à ce que celui-ci recouvre un tiers de la plaque d'une fine couche.
- Faire glisser un archet de violon bien enduit de colophane exactement au milieu de deux extrémités en touchant régulièrement et légèrement une extrémité avec le doigt de l'autre main.
- Faire glisser l'archet plusieurs fois avec vigueur sur la plaque de manière à ce que celle-ci commence à produire de fortes vibrations bien perceptibles.

Lorsque l'archet glisse sur la plaque, on perçoit un son acoustique très particulier. A certains endroits, les grains de sable se mettent également à vibrer fortement et sautent à la surface de la plaque pour ensuite former des figures sonores étranges à la surface.

Explication : des « ondes statiques » se forment sur la plaque. La plaque ne vibre pas simplement dans son ensemble au contact de l'archet mais se met à vibrer à certains endroits (les ventres d'oscillation) alors qu'à d'autres (les nœuds), elle est complètement inerte. Le contact de la plaque à une extrémité a provoqué un nœud à cet endroit.

## 13. Vibrations de cloches

- Fixez le dôme de cloche avec son ouverture dirigée vers le haut sur la table de travail en utilisant la pince étau de table ainsi que le bloc en matière plastique.
- Frapper sur le bord de la cloche à divers endroits avec le marteau (vous pouvez aussi utiliser l'archet de violon à cet effet).

La hauteur du son dépend du point d'impact. Il est tout à fait possible d'obtenir des différences pour un son entier. Si on frappe sur la cloche à certains endroits, les deux sons sont activés et l'on obtient le « battement » bien connu (croissance et décroissance périodique de l'intensité sonore dans une succession plus ou moins rapide).

Explication : les cloches sont des plaques vibrantes déformées. Les sons harmoniques ne sont la plupart du temps pas en harmonie avec le son fondamental. Les cloches se répartissent elles aussi en différentes zones

d'oscillations séparées par des lignes de nœuds.

## 14. Ondes stationnaires

- Nouer la boucle de la corde vibrante à une poignée de porte.
- Tendre moyennement la corde et exécuter des mouvements lents circulaires avec la main.
- Augmenter ensuite la tension de la corde et augmenter la vitesse des mouvements circulaires.

Les mouvements lents provoquent l'apparition de nœuds aux extrémités de la corde et d'un ventre d'oscillation au milieu. Les mouvements plus rapides génèrent trois nœuds et 2 ventres d'oscillation et lorsqu'ils sont encore accélérés 4 nœuds et 3 ventres d'oscillation.

Explication : la réflexion sur la porte entraîne la formation d'ondes statiques. L'inertie de l'oeil fait que celui-ci perçoit apparemment l'onde source et l'onde réfléchie simultanément.

Dans la composante fondamentale, la corde oscille sur toute sa longueur sous la forme d'une demi-onde. Un ventre d'oscillation se trouve au milieu et des nœuds aux deux extrémités. Dans la 1<sup>ère</sup> harmonique (octave), la corde vibre sous la forme d'une onde entière (2 ventres d'oscillation et 3 nœuds). Dans la 2<sup>ème</sup> harmonique, nous avons 3 ventres d'oscillation et 4 nœuds, etc.

## 15. Sons harmoniques

- Souffler dans le sifflet à bec avec la bouche, d'abord faiblement puis fortement.

On perçoit tout d'abord le son fondamental, puis un son nettement plus aigu lorsque l'on souffle plus fort.

Explication : pour ce sifflet couvert, des ondes statiques doivent se former en permanence de façon à ce que un nœud apparaisse au fond et un ventre d'oscillation sur l'arête du bec. C'est le cas lorsque la longueur du sifflet correspond exactement à  $1/4$  de longueur d'onde. C'est également le cas lorsque la distance de l'ouverture par rapport au fond correspond à  $3/4$ ,  $5/4$ ,  $7/4$ , etc. des longueurs d'ondes.

Outre le son fondamental, un grand nombre de sons harmoniques de nombre impair de la suite sonore harmonique sont donc également produits de manière plus ou moins accentuée.

Chaque instrument de musique ne doit son timbre tout à fait caractéristique qu'à l'apparition plus ou moins prononcée de sons harmoniques.

## 16. Mesure de la longueur d'onde

- Obturer l'extrémité du tube de verre dont la longueur exacte est de 45 cm avec le capuchon en caoutchouc et remplir le tube d'une petite quantité de poudre de lycopode au moyen d'une cuiller à café en maintenant le tube incliné, de façon à ce que la poudre soit bien répartie en petite quantité et forme une fine bande jaune à l'intérieur du tube.
- Fixez le tube de verre sur la table de travail en utilisant le clip de fixation, la pince étau de table ainsi que le bloc en matière plastique.
- Frapper très fortement le diapason (1700 Hz) sur un manche de marteau et tenir le bord d'une branche tout près de l'ouverture du tube. Reproduire éventuellement plusieurs fois ce son.

La poudre de lycopode se met à vibrer vigoureusement près des ventres d'oscillation alors qu'elle demeure complètement inerte aux nœuds. Les particules de poudre tombent au fond du tube et forment à cet endroit des amoncellements périodiques qui se répètent 4,5 fois le long de l'axe du tube.

Explication : le diapason en métal léger possède une fréquence de 1700 vibrations à la seconde. Selon l'équation simple

$$\text{Longueur d'onde} = \frac{\text{Vitesse du son}}{\text{Fréquence}}$$

$$\frac{340 \cdot \text{m/s}}{1700 \cdot \text{Hz}} = 0,2 \cdot \text{m}$$

la longueur d'onde correspondante est de 20 cm. Dans un tube de 45 cm de long, il est donc possible « d'emmagasiner » 4½ demi-ondes ou 2 ondes pleines et un quart d'onde, comme l'a montré l'expérience. On obtient toujours un ventre d'oscillation à l'ouverture du tube et un nœud au fond.

## 17. Fond de résonance

- Faites fortement vibrer le diapason  $a' = 440$  Hertz en utilisant le marteau du métallophone et placez-le sur le plateau de table en utilisant sa tige.

Le son du diapason à peine perceptible à l'air libre est à ce point amplifié lorsque le diapason est posé sur la table qu'on peut à présent l'entendre clairement dans toute la pièce.

Explication : entraînée par les vibrations amplifiées et désamplifiées du manche, la table se met à vibrer. Etant donné que la surface effective de la table est sensiblement plus grande que celle du diapason, l'intensité du son s'accroît considérablement.

## 18. Caisse de résonance

- Frapper avec force le diapason  $a' = 440$  Hertz et le poser sur le manche sur la caisse de résonance du sonomètre..

On obtient une amplification significative du son.

Explication : même explication que pour l'expérience 17.

## 19. Résonateur sphérique

- Tenir les résonateurs de Helmholtz l'un après l'autre avec la petite pointe contre l'oreille.

On perçoit un son dont la gravité est proportionnelle à la taille du diamètre du résonateur.

Explication : chaque cavité quelle qu'elle soit (tube, sphère creuse) possède une certaine composante fondamentale, quasiment exempte de sons harmoniques. Cette composante fondamentale peut être activée en soufflant dans la cavité par l'ouverture de cette dernière ou en frappant seulement avec le doigt replié contre la cavité. L'oscillation propre n'est cependant en premier lieu également activée que lorsque le bruit environnant contient des sons qui sont en harmonie avec la composante fondamentale du résonateur. Le résonateur sphérique permet donc de vérifier le contenu en sons partiels d'un son. Lorsqu'un silence absolu règne dans une pièce, le résonateur demeure muet.

## 20. Principes des instruments à cordes

- Glisser la barrette sur chant sous la corde du sonomètre de façon à ce que le bord droit corresponde exactement au chiffre 20 de l'échelle de mesure et que la corde de 40 cm soit divisée en deux sections d'une longueur égale à 20 cm chacune.
- Accorder la moitié de la longueur de la corde au diapason (440 Hz)  $a'$  (la du diapason) en tournant la cheville.
- Comparer les hauteurs du son à 40 cm, 20 cm, 10 cm et 5 cm de longueur de corde en pinçant la corde ou mieux, en utilisant un archet.

A une longueur de corde de 20 cm, on obtient le ton-étalon  $a' = 440$  Hertz, à 40 cm, le ton  $a = 220$  Hertz, plus grave d'un octave, à 10 cm le ton  $a'' = 880$  Hertz plus haut d'un octave et à une longueur de corde de 5 cm, le ton  $a''' = 1760$  Hertz, plus aigu de 2 octaves..

Explication : pour une longueur de corde double, on obtient un ton plus grave d'une octave, pour une demi-longueur de corde la

1<sup>ère</sup> octave et pour un quart de longueur de corde, la 2<sup>ème</sup> octave. Les fréquences des cordes ont un comportement inversement proportionnel à celui de leurs longueurs.

## 21. Gammes des instruments à cordes

- Jouer la gamme connue à l'oreille humaine sur le sonomètre en déplaçant la barrette et calculer les longueurs respectives de la section de corde vibrante et le rapport de cette section à la longueur totale de la corde (40 cm).

Ton	Longueur de corde	Rapport de longueur
Do	40 cm	1
Ré	35,55 cm	8/9
Mi	32 cm	4/5
Fa	30 cm	3/4
Sol	26,66 cm	2/3
La	24 cm	3/5
Si	21,33 cm	8/15
Do'	20 cm	1/2

Explication : la longueur de la corde doit être réduite de moitié si l'on veut atteindre l'octave sous les mêmes conditions (tension, épaisseur de la corde, etc.). Pour les autres tons de la gamme, on obtient des indices très simples exprimant le rapport entre les longueurs de cordes vibrantes et la longueur totale de la corde. Plus ces chiffres sont petits, plus le son est mélodieux. (Octave 1:2, Quinte Do/sol 2:3 etc.)

## 22. Mesure de la tension des cordes

- Placer la balance à ressort sur le sonomètre et suspendre l'extrémité de la corde en perlon dans la fente de la balance.
- Accorder la corde en utilisant le diapason  $a' = 440$  Hertz au ton-étalon en vissant la cheville.
- Déterminer la tension de la corde avec la balance à ressort.

La tension de la corde est de 5,5 kg pour la corde en perlon.

## 23. Rapport entre la hauteur du son et la tension de la corde

L'expérience 22 a montré que pour obtenir le ton-étalon, il fallait tendre la corde en perlon avec 5,5 kg. Quelle est la tension d'une corde

pour un ton La plus grave d'un octave (220 Hz) ?

- Dévisser la cheville jusqu'à ce que le ton se produise.
- Placer la barrette sous le chiffre 20 (demi-longueur de corde) pour vérifier et accorder à nouveau la demi-longueur de corde au ton-étalon (la du diapason). La corde entière vibre alors à la mi-fréquence.

La tension de la corde est passée à 1,4 kg.

Explication : la fréquence d'une corde est proportionnelle à la racine carrée du poids de tension. Si la force qui tend la corde est multipliée par 4, 9, 16, la fréquence augmente du double, du triple et du quadruple. 1/4 de 5,5 est (environ) égal à 1,4, comme l'indique la mesure prise.

## 24. Principes des instruments à vent

- Souffler dans le sifflet à bec avec la bouche et modifier la longueur effective du sifflet en tirant plus ou moins le fond.

Pour une faible longueur de sifflet, on obtient des sons aigus et pour une longueur plus importante des sons plus graves.

Explication : si le flux d'air est faible, des ondes statiques se forment, la longueur du sifflet correspondant alors à une longueur de quart d'onde. Si le flux d'air est plus important, on obtient des sons harmoniques dont la fréquence est un multiple impair du son fondamental.

Si le sifflet est ouvert, la composante fondamentale est deux fois plus importante que celle du sifflet fermé.

## 25. La gamme en do majeur et ses intervalles

- Pour déterminer les intervalles, il faut diviser la fréquence la plus élevée par la fréquence la plus basse la plus proche.

Pour l'intervalle la/do = 1188/1056, le dénominateur commun est 132, on obtient donc 9/8, 10/9, 16/15, 9/8, 10/9, 9/8 et 16/15.

Explication : les intervalles de chaque ton de la gamme ne sont pas de taille identique. Nous faisons une distinction entre de grands intervalles composés de tons entiers (9/8), entre de petits intervalles composés de tons entiers (10/9) et entre des intervalles de demi-tons (16/15).

## 26. Consonnance et dissonance

- Jouer les différents accords sur le sifflet à bec.

On obtient de vraies consonnances pour l'octave, la quinte, la quarte, la tierce majeure et la tierce mineure. Les dissonances correspondent à la seconde et la septième ainsi qu'à l'accord des tons directement voisins.

## 27. Accord parfait en sol majeur

- Produire simultanément les tons sol mi ré sur le sifflet à bec.

On perçoit un accord d'une consonnance particulière que l'on désigne par accord parfait en sol majeur.

Explication : lorsque plusieurs tons sont supposés former une consonnance, ils doivent le faire par paire. L'accord parfait en sol majeur est composé d'une tierce majeure et d'une tierce mineure. Le rapport entre les fréquences des tons sol mi ré est un rapport très simple, à savoir : 4:5:6.

Pour obtenir ce rapport numérique, il faut que les fréquences fondamentales indiquées sur le sifflet à bec soient respectivement divisées par 6.

(Les fréquences de base imprimées ont à être multipliées par 33 afin d'obtenir fréquences physiquement correctes).

Pour des raisons de fabrication, le tuyau à anche et le métalophone peuvent en outre se différencier par un écart de gamme audible.

## 28. Accord parfait en sol majeur à quatre voix

- Ajouter l'octave sol' à l'accord parfait en sol majeur. Jouer donc simultanément sol si do' sol'.

On obtient « un accord parfait en sol majeur à quatre voix » particulièrement complet et consonnant.

Explication : L'accord parfait à quatre voix contient les consonnances suivantes :

l'octave	1:2
la quinte	2:3
la tierce majeure	4:5
la tierce mineure	5:6

## 29. Gamme majeure avec n'importe quel son fondamental

- Sur le métalophone, jouer d'abord la gamme en do majeur en commençant par do et ensuite la gamme en sol majeur en commençant par sol.

La gamme en do majeur de do' à do'' possède un son pur. Une grave erreur apparaît à fa' dans la gamme en do majeur commençant par do'. Le ton est d'un demi-ton trop grave.

Explication : selon l'expérience n° 25, pour chaque gamme, il faut avoir les intervalles suivants :

9/8, 10/9 16/15, 9/8, 10/9, 9/8, 16/15.

La succession de tons sol'...sol'' sur la plaque du métalophone a cependant les intervalles suivants :

10/9, 9/8, 16/15, 9/8, 10/9, 16/15, 9/8

Les intervalles soulignés sont corrects, les autres plus ou moins erronés.

Les intervalles 9/8 et 10/9 sont juxtaposés mais trop près, de telle sorte qu'ils se distinguent à peine l'un de l'autre, ce qui explique que l'erreur de sol' à si'' est peu importante. Par contre, l'erreur entre mi'' et fa'' est grave. L'intervalle est ici de 16/15, alors qu'en réalité, il devrait être de 9/8. C'est la raison pour laquelle on entend un fa'' d'un demi-ton trop grave.

## 30. Jouer des intervalles de demi-tons

- Jouer la gamme de sol' à sol'' sur le sifflet à bec après s'être assuré que le ton la' du sifflet est bien accordé avec le la du diapason. Pour cela, faire vibrer le diapason et effectuer la comparaison.

La gamme en sol majeur jouée sur le sifflet est entièrement pure.

Explication : A la place du ton fa', un nouveau ton est interposé, le fa dièse' qui est calculé de manière à ce que l'intervalle entre mi' et fis' soit de 9/8 et celui entre fa dièse'' et sol'' de 16/15. Ceci est dû au fait que l'on augmente la fréquence du fa en la multipliant par 25/24.

Les nouveaux tons résultant de l'augmentation des tons sont appelés : do dièse, ré dièse, mi dièse, fa dièse, sol dièse, la dièse, si dièse

On signale cette augmentation par l'ajout d'une croix placée en avant sur la partition.

Les tons plus bas d'un demi-ton sont obtenus en multipliant le ton plus élevé par 24/25. Ces tons sont signalés sur la partition par l'ajout d'un b placé en avant. On les appelle : do bémol, ré bémol, mi bémol, fa bémol, sol bémol, la bémol, si bémol.

Les tons do dièse et do bémol, etc. sont assimilés sur le piano avec un nombre restreint d'erreurs.