
OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD



Conception et réalisation d'un orgue de barbarie à lecture optique

LYCÉE

Lycée Galilée - 92230 Gennevilliers (*Versailles*)

PARTICIPANTS

Professeur de physique

Olivier JALLU

Élèves

Élèves de seconde de l'atelier scientifique et participation des élèves de BEP plasturgie

Conseil

Dominique ROBERT de l'association Manivelles et Cie

PROJET

La curiosité scientifique mène à tout. A raison d'un minimum de deux heures hebdomadaires, d'un peu de temps pris sur les vacances scolaires, la dizaine d'élèves (classe de seconde seize ans) de l'atelier scientifique du lycée Galilée de Gennevilliers (Hauts-de-Seine) avaient cette année décidé d'étudier le principe de fonctionnement, la conception et la réalisation d'un orgue de barbarie.

Une fois achevé, ils l'ont baptisé : **L'Optopan**

OBJECTIFS

Nos objectifs étaient les suivants :

- Étudier le principe de fonctionnement de l'orgue et plus particulièrement les phénomènes physiques liés aux tuyaux sonores ;

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

- Envisager le remplacement des cartons perforés par de simples feuilles de papier conçues par ordinateur ;
- Réaliser notre propre orgue (29 touches) entièrement en Plexiglas ;
- Enfin, nous avons décidé que le rapport qui serait donné aux membres du jury des Olympiades serait un cédérom.

Voilà les questions que nous nous sommes posées et les réponses que nous avons envisagées.

1. COMMENT FONCTIONNE UN ORGUE DE BARBARIE

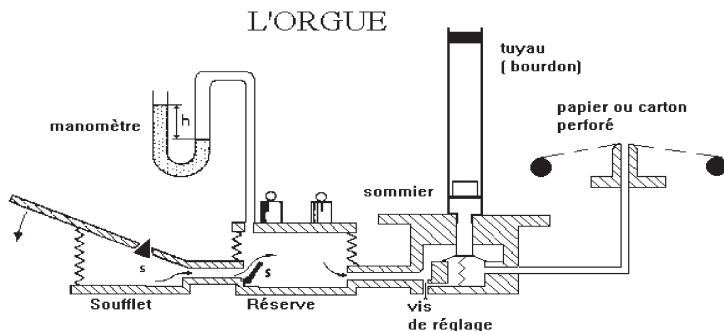


Figure 1

Le schéma de principe (cf. figure 1) de fonctionnement de l'orgue montre que l'air est envoyé dans la réserve par un soufflet actionné manuellement. Sa pression est alors augmentée de quelques centimètres d'eau sous l'effet d'un ressort schématisé par deux masses. La membrane qui ferme le tuyau sonore est alors en équilibre car de part et d'autre de cette paroi les pressions sont identiques. Le passage d'une perforation engendre une variation de pression, l'équilibre est rompu. La membrane se déforme et commande l'ouverture du tuyau. La vis de réglage permet de contrôler le rétablissement de cet équilibre dès la fin du passage de la perforation.

2. QUE SE PASSE-T-IL À L'INTÉRIEUR D'UN TUYAU SONORE ?

L'étude d'un régime d'ondes stationnaires à l'intérieur d'un tuyau sonore montre que l'amplitude de vibration des couches d'air à l'intérieur du tuyau est plus ou moins

OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

grande. Aux centres des ventres, elle est maximum. Aux nœuds de vibration, l'air est immobile car la pression est maximum. Un simple trou dans le tuyau peut modifier ce phénomène.

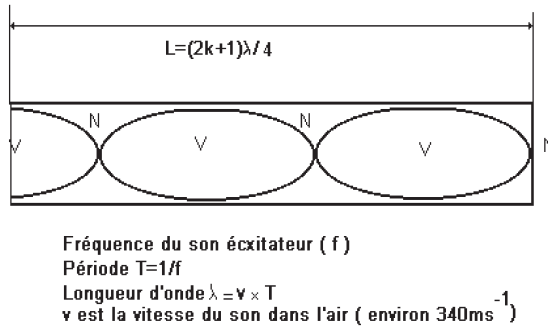


Figure 2

3. MAIS POURQUOI LE TUYAU SONNE-T-IL ?

Nous avons tenté de modifier le son émis par un tuyau sonore sans modifier la longueur L du tuyau. Seule une forte variation de température parvient à le modifier car la vitesse du son va varier. L'augmentation de pression de l'air envoyé dans le tuyau ne parvient qu'à le faire octaver et quintoyer (des analyses spectrales le montrent).

Nous pensons que dans un tuyau sonore fermé (bouchon), c'est le plus petit régime stationnaire [$k = 0$ dans $L = (2k + 1) \lambda/4$] qui s'installe soit un nœud et un ventre. Le ventre de vibration est la source sonore du tuyau, le son émis par la bouche. Le nœud est sur le bouchon. Si on déplace le bouchon la fréquence du son émis va varier. Il permet d'accorder le tuyau.

Exemple : $L = 25$ cm alors λ la longueur d'onde du son émis est $\lambda = 4L$ soit 1 m comme $\lambda = cT$ et $T = 1/f$ la fréquence du son émis est $f = c/\lambda$ soit $f = 340/1$ $f = 340$ Hz. Cette fréquence s'appelle le fondamental du tuyau.
 Si $k = 1$ alors $L = 3\lambda/4$ pour $L = 25$ cm $f = c/\lambda$
 donc $f = c/(4L/3)$ $f = 1030$ Hz.

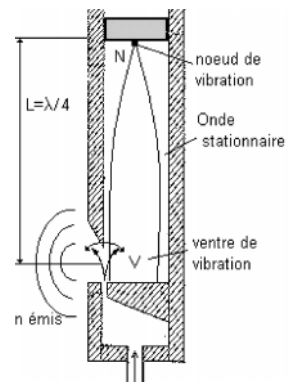


Figure 3

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

4. QU'EST-CE QUI VIBRE ?

Pour entendre un son, il faut une source sonore et une caisse dite de résonance. Un diapason posé sur une simple boîte en bois illustre bien ce fait. Le diapason porte le nom d'excitateur, la boîte celui de résonateur. Le son que vous entendez à la même fréquence que l'excitateur.

Pour un tuyau sonore, l'excitateur est une lame d'air. Cette lame d'air est semblable à une lame métallique qui en vibrant émet un son. Elle est produite par la lumière du tuyau. Le biseau placé au-dessus la fait osciller. Elle rente et sort du tuyau. La colonne d'air de longueur L est le résonateur. C'est elle qui impose la fréquence vibration à la lame d'air. Voilà pourquoi, il est difficile d'émettre un son autre que le fondamental du tuyau. Si le biseau est trop lisse la lame d'air met un certain temps à s'installer et à vibrer. Si le biseau est trop rugueux elle peut ne pas apparaître. Le tuyau ne fonctionne pas. La qualité du biseau détermine le temps de réponse du tuyau.

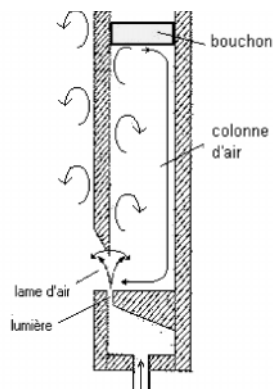


Figure 4

5. POURQUOI UN ORGUE EN PLEXIGLAS ?

Les tuyaux de l'orgue ont tous été réalisés en Plexiglas extrudé de 5 mm d'épaisseur par les élèves eux-mêmes dans les ateliers du lycée selon les cotes d'un 29 touches classique. Après avoir réalisé le premier tuyau en Plexiglas, nous avons à l'aide d'un ordinateur étudié le son émis puis comparé à celui d'un tuyau en bois identique. C'est l'étude du timbre du tuyau. Nous avons constaté une très faible différence entre le bois de 4 mm d'épaisseur et le Plexiglas de 5 mm. La rigidité des parois est un facteur qui influe sur le timbre. Notre orgue serait alors plus joli entièrement transparent.

6. QU'EST-CE QUE LA LECTURE OPTIQUE ?

Notre idée était de remplacer la lecture pneumatique par une lecture électronique. Il existe déjà un dispositif informatique pour la réalisation des poncifs. Il suffisait alors de concevoir un dispositif qui puisse lire directement ce ponctif. Le schéma de commande d'un tuyau est le suivant (cf. figure 5).

A la place des trous, nous avons donc 29 capteurs de lumière (les LDR). Si un trait du poncif passe sur un des capteurs, la résistance de ce dernier augmente. Un amplifica-

 OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD

teur opérationnel utilisé en comparateur va alors basculer et commander le transistor placé sur sa sortie.

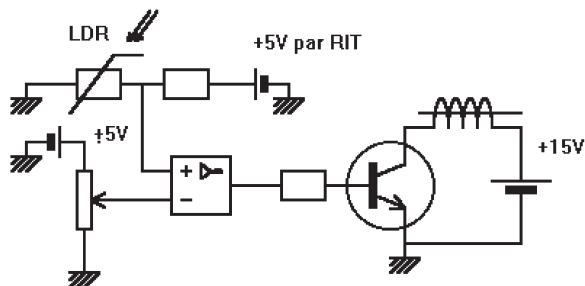


Figure 5

Résumons nous : le poncif est lu par transparence, le trait passe sur le capteur et commande l'électroaimant. Ce dernier ouvre le tuyau. L'électroaimant est placé à la sortie de la boîte à touche. Nous avons pour cela conçu une petite électrovanne en Plexiglas. L'ensemble fonctionne très bien mais présente malheureusement des fuites au niveau des électrovannes. Nous travaillons encore à les améliorer. Nous recherchons des électrovannes 6 V ou 12 V pour petits tuyaux de 2 à 5 mm fonctionnant sous pression ordinaire.

7. ET LA MUSIQUE ?

Il manquait la partie conception d'un arrangement. Un élève du groupe est musicien. Il s'est donc chargé de réaliser un arrangement de l'incontournable Amour et Printemps.

8. COMMENT LE VOIR ?

Nous avons réalisé un cédérom multimédia qui relate l'intégralité de ce projet. Ce cédérom est agrémenté de nombreuses photos, de films des manipulations de physique, on y trouve même un petit musée de la musique mécanique.

Si vous souhaitez en savoir plus sur ce projet rejoignez-nous directement par Internet sur le site que nous venons d'ouvrir :

<http://www.multimania.com/jallu/>