

# OLYMPIADES DE PHYSIQUE 2016

## CHANT DE LUMIERE

**Comment émettre un son grâce à la lumière sur un textile ?**

POUBLANC Alix

PIETERS Romane

YVOZ Marie

## RESUME

Notre projet consiste à émettre un son grâce à la lumière avec le biais de l'effet photoacoustique. Nous avons ainsi plusieurs idées pour créer un textile innovant, nous aimerions faire un textile qui pourrait réagir à la lumière en émettant un son.

Tout d'abord, l'effet photoacoustique mis en évidence par Graham Bell, est un processus de conversion d'énergie lumineuse en énergie acoustique. La lumière est modulée en intensité pour ensuite éclairer une surface et être absorbée. La surface absorbante chauffe et va provoquer une dilatation des tranches d'air ainsi qu'une variation de température. On obtient ainsi des ondes sonores.

Pour obtenir cet effet, on a tout d'abord essayé de reproduire l'expérience de Bell. On a donc utilisé un projecteur diapo de 150W, un hacheur pour moduler l'intensité lumineuse, un entonnoir recouvert de noir de carbone, et enfin un micro pour enregistrer le son

Cependant le résultat n'était pas très convaincant et nous n'avions pas une bonne perception du son. Nous avons alors remplacé le projecteur par un DEL blanche et avons modulée son intensité lumineuse : Le son était alors audible.

Nous avons donc décidé de produire une musique avec l'effet photoacoustique. L'idée est de moduler l'intensité lumineuse de la DEL avec le signal issu d'un morceau de musique et d'émettre ce son sur un textile.

## Sommaire

Introduction	
I/ Présentation du sujet	Page 4
II/ Les ondes sonores	Page 4
III/ La lumière	Page 7
IV/ l'effet photo acoustique	Page 8
1-principe de la photoacoustique	
2-historique	
3- expérience historique	
V/ L'effet photoacoustique au lycée	Page10
VI/ Améliorations	Page 14
VII/ Vêtements innovants (Roubaix Tourcoing nouveaux types de textile?) CETI	Page17
Conclusion	

## I. Présentation de notre projet :

La lumière et le son, deux choses très différentes! La première est un ensemble de rayonnements électromagnétiques visibles (reçu par l'œil) alors que le second est une onde mécanique perçue par l'oreille.

Mais alors existe-t-il des similitudes entre ces deux phénomènes qui nous permettraient de produire un son à l'aide de la lumière? C'est à partir de cette problématique que nous avons imaginé un textile qui pourrait émettre des sons quand il est éclairé.

## II. Le son

### a. Définitions

Une onde sonore est d'abord une onde mécanique, c'est à dire la propagation d'une perturbation mécanique sans déplacement de matière du milieu.

#### Schéma de la propagation d'une onde le long d'une corde :

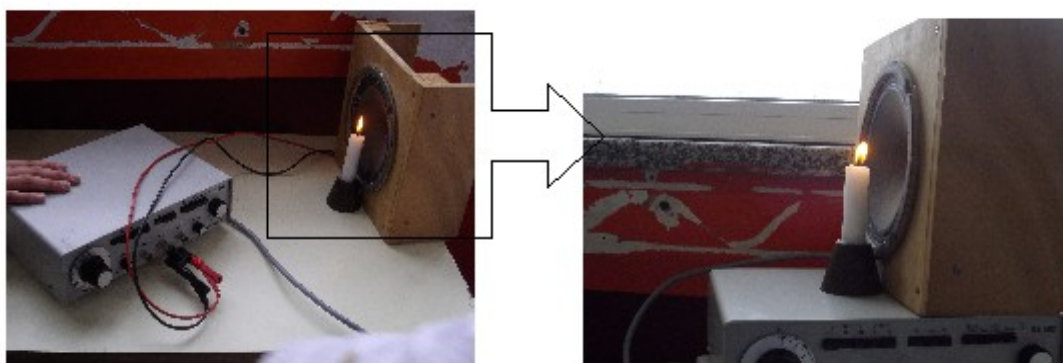
Observation : La propagation se déplace le long de la corde, le signal se propage horizontalement. On peut observer également que la corde revient toujours à sa place.

Conclusion : La propagation est transversale et n'entraîne aucun déplacement de matière : il s'agit d'une onde progressive.

### b. Ondes sonores

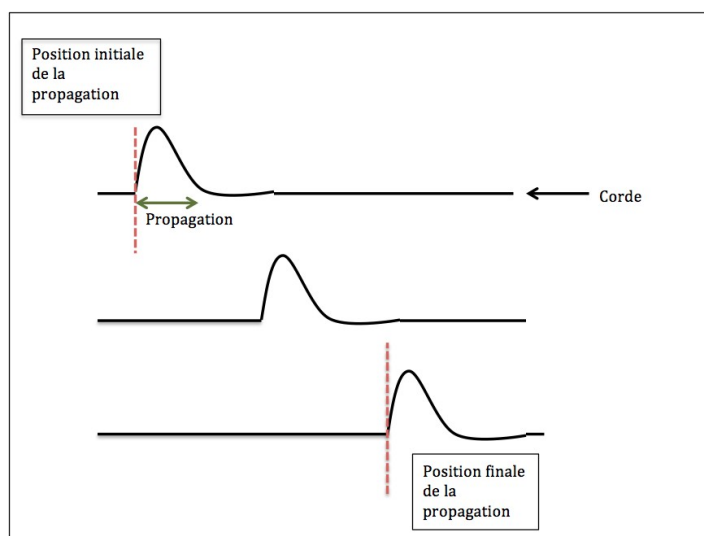
Mise en évidence : Expérience Haut parleur et bougie

Protocole : Nous avons placé une bougie devant un haut-parleur alimenté par un générateur basse fréquence

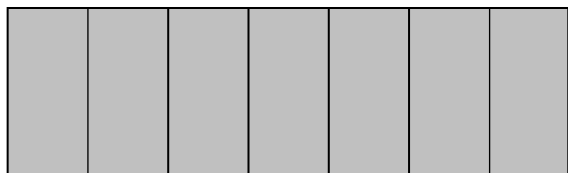


Observation : La flamme vacille lorsque le haut-parleur fonctionne.

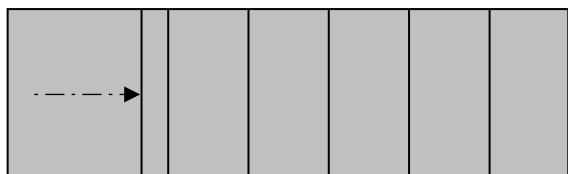
Conclusion : Le son est une onde qui se propage en perturbant le milieu (l'air dans notre cas)



## Schéma de la propagation d'un son dans l'air suivant une direction



Dans un milieu immobile, nous avons des tranches d'air.



Lors de la propagation d'un son, la première tranche est poussée et se rapproche de la 2<sup>nd</sup>



Il se produit alors une répulsion des tranches d'air 2 et 3 ce provoque un retour à sa position initiale pour la tranche 1 et un rapprochement de la tranche 3 pour la 2 et ainsi de suite.

### Déformation mécanique de l'onde sonore

La perturbation correspondante correspond à une succession de dilatation et de compression des tranches du milieu de propagation (l'air par exemple)

Ce type d'onde mécanique est qualifié de longitudinale car la perturbation est dans la même direction que la propagation.

On parle de son quand l'onde est périodique, c'est à dire quand la source de l'onde produit la perturbation périodiquement. Elle est caractérisée par une double périodicité : Une période temporelle ( $T$  : intervalle de temps entre deux répétitions de la perturbation par la source) et une période spatiale (longueur d'onde  $\lambda$  : distance entre deux perturbations dans le milieu à  $t$  fixé)

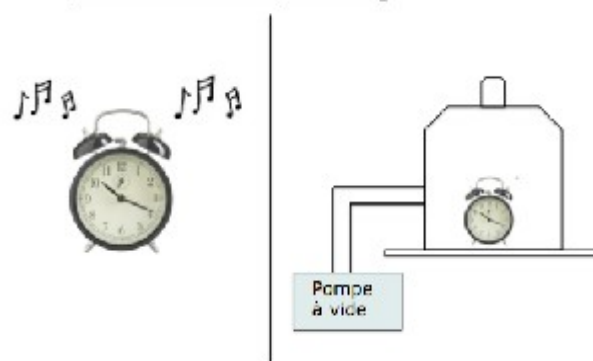
### c. Milieu de propagation et célérité

#### Expérience :

Protocole : Nous avons placé un réveil en train de sonner dans l'air ambiante. Ensuite nous l'avons placé sous une cloche reliée à une pompe à vide.



#### Schéma de l'expérience :



Observations : À l'air libre, la sonnerie du réveil est perceptible. Mais suite au vide créé dans la cloche à l'aide de la pompe, l'intensité du son libéré par le réveil diminue jusqu'à devenir inaudible.

Conclusion : Le son ne peut pas se propager dans le vide. Les ondes sonores nécessitent un milieu de propagation.

Les ondes sonores peuvent être produites par une vibration mécanique dans un milieu fluide ou solide mais pas dans le vide. Elles se propagent grâce à l'élasticité du milieu. Elles ont donc une vitesse de propagation qui dépend du milieu de propagation et de ses caractéristiques (élasticité, température, ...). Cette vitesse est appelée pour les ondes célérité et vaut environ 340 m/s dans l'air à la température ambiante.

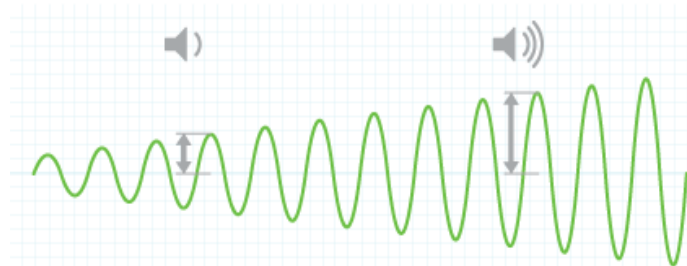
#### d. Caractérisations des sons

Les ondes sonores sont caractérisées par des fréquences entre 20 Hz et 20000 Hz (domaine de l'audible). Au delà, l'Homme ne perçoit rien. (Domaine des ultrasons)

Il ne faut pas confondre son et bruit. En effet, ce dernier est une onde non périodique qui arrive dans nos oreilles sous la forme d'un bruit peu agréable. Par contre, si l'onde est périodique on obtient un son qui est bien plus agréable.

Le son est caractérisé par 3 caractéristiques :

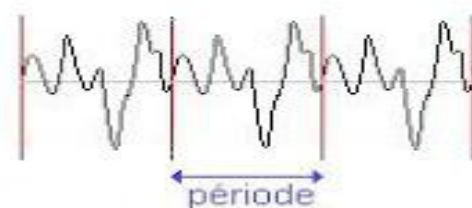
-L'amplitude : Elle correspond à la différence de pression (dilatation compression) et permet de déterminer la puissance du son. Plus l'amplitude est grande, plus le son est fort.



H

<http://s2.e-monsite.com/>

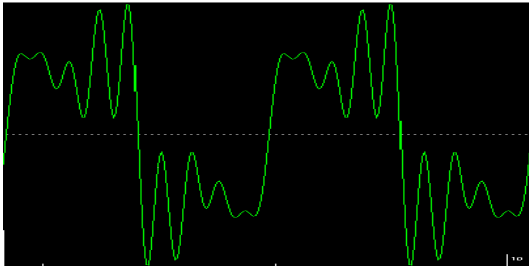
-La période ou la fréquence : Elle correspond à l'intervalle de temps au bout duquel le phénomène se reproduit identique à lui-même. Elle se note T et s'exprime en seconde (s). Elle permet de déterminer la hauteur du son. Plus la période est longue, plus le son est grave. Quand elle est courte, le son est aigu. La fréquence, nombre de répétitions du phénomène périodique par seconde, se note f et s'exprime en Hertz. C'est l'inverse de la période :  $f = 1/T$  et c'est cette grandeur qui est appelée hauteur.



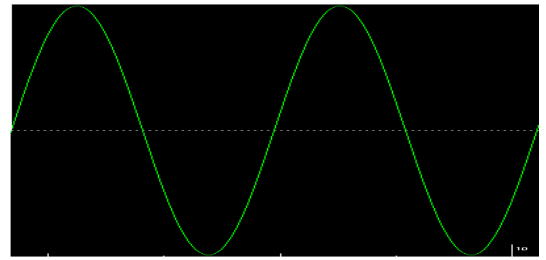
<http://2.bp.blogspot.com/>

-Le timbre : Un même son peut être perçu de différentes façons s'il est joué par exemple par une trompette, un piano ou encore la voix. C'est ce qu'on appelle le timbre du son. L'onde a une forme différente en fonction des instruments qui jouent un son de même fréquence. On peut distinguer 2 types de sons différents. Les sons purs se distinguent par leur forme sinusoïdale comme le diapason. Un son complexe, comme celui de la clarinette par exemple, est composé de plusieurs sons de fréquence multiple de la fondamentale appelés harmoniques. Ainsi un son peut être plus ou moins riche en harmoniques selon l'instrument.

Signal d'un son La3 de la clarinette (son complexe):  
pur) :



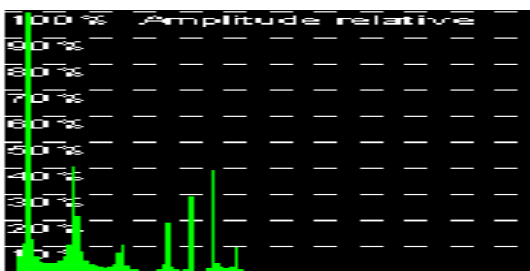
Signal d'un son La3 du diapason (son



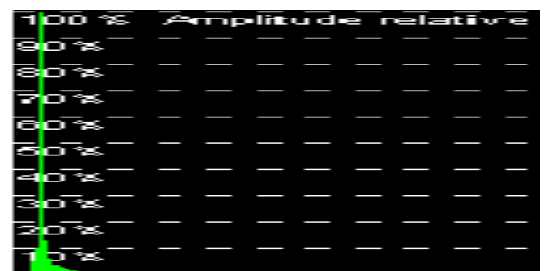
Expérience: Nous avons fait l'acquisition d'un son La3 venant du diapason et d'une clarinette. Ensuite nous avons utilisé le logiciel Analy'son, pour décomposer ce son sous la forme d'un spectre.

Observations :

Spectre du son La3 de la clarinette :



Spectre du son La3 du diapason :



Le spectre du son La 3 de la clarinette est constitué d'un pic important de fréquence 440Hz appelé le fondamental. Les 6 autres pics ont des fréquences multiples du fondamental : les harmoniques.

Le spectre du son La3 du diapason n'est constitué que d'un pic de fréquence à 440Hz. C'est le fondamental. Il n'y a pas d'harmonique.

Conclusion : Le son d'un diapason est un son pur tandis que le son émis par une clarinette est un son complexe.

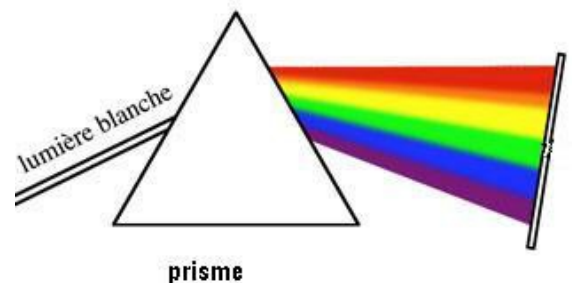
Nous souhaitons produire des sons complexes donc constitué d'une multitude de sons sinusoïdaux.

### III. La lumière :

#### a. Définitions

On appelle lumière toute onde électromagnétique sinusoïdale donc la longueur d'onde est comprise entre 400nm et 800nm.

La lumière la plus simple à utiliser est la lumière blanche. Cette dernière est qualifiée de polychromatique c'est à dire qu'elle est constituée de toutes les radiations du visible. Pour le montrer, nous avons réalisé l'expérience de Newton :

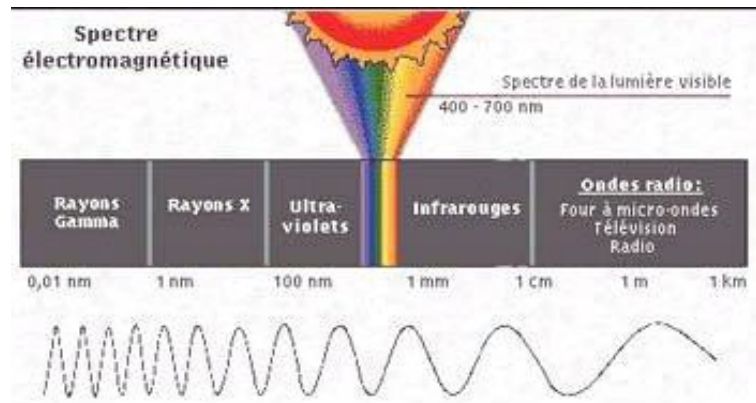


Expérience de Newton :

<http://tpe.trou.noir.free.fr/Images/lum2.jpg>

Quand un faisceau de lumière blanche traverse un prisme (expérience de Newton), on obtient sur un écran situé derrière celui-ci un ensemble de 7 teintes principales : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange et rouge. C'est le spectre de la lumière blanche.

Les lumières isolées dans l'expérience de Newton sont des ondes électromagnétiques lumineuses qu'on appelle radiations lumineuses. Elles représentent une infime partie des ondes électromagnétiques.



[http://maisondessciences.univ-provence.fr/Local/escup/dir/lumiere/Spectre\\_electromagnetique.jpg](http://maisondessciences.univ-provence.fr/Local/escup/dir/lumiere/Spectre_electromagnetique.jpg)

Il existe des sources de lumières différentes. Une source polychromatique émet plusieurs radiations lumineuses appelées radiations monochromatiques. Une radiation monochromatique est caractérisée par sa longueur d'onde  $\lambda$  (en mètre) dans le vide ou par sa fréquence  $\nu$  (en hertz)

#### b. Propriétés de propagation des ondes électromagnétiques

La lumière se propage en ligne droite dans tous les milieux homogènes et transparents. Sa célérité est de 300 000 km/s dans le vide ou dans l'air.

Les ondes électromagnétiques et donc les ondes lumineuses (lumière) ne nécessitent pas de milieu matériel pour se propager : elles peuvent se propager dans le vide.

D'autre part depuis la Terre nous percevons des lumières provenant d'objets lumineux très lointains, ce qui montre que ce type d'onde ne subit pratiquement pas d'amortissement.

#### c. Choix de la lumière pour notre dispositif

Les ondes lumineuses sont caractérisées par des longueurs d'ondes comprises entre 400 nm et 800 nm. L'intervalle de fréquence correspondant est donc compris entre  $3,75 \cdot 10^{14}$  Hz et  $7,5 \cdot 10^{14}$  Hz.

Ces fréquences n'ont rien de commun avec celles des ondes sonores.

Le but du projet d'obtenir un son sur un textile quand ce dernier est exposé à la lumière. Comme nous évoluons dans la lumière blanche, nous essaierons de travailler avec cette dernière.

### **IV. L'effet photo acoustique**

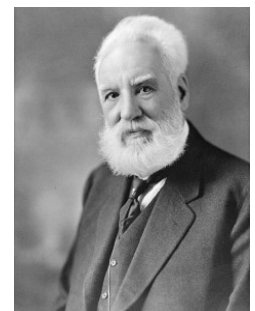
Nos recherches nous ont conduit à cet effet particulier mis en évidence par Graham Bell.

#### 1- Principe de la photoacoustique :

L'effet photoacoustique (optoacoustique) est un processus de conversion d'énergie lumineuse en énergie acoustique. Plusieurs travaux théoriques et expérimentaux ont été réalisés afin d'améliorer et de trouver des applications diverses sur cet effet dans différents milieux (gazeux, liquide et solide).

#### 2- Historique

Ce phénomène a été découvert par Alexander Graham Bell dans les années 1880 aux États Unis. Né en Écosse en 1847 et mort en 1922. Bell s'intéresse à l'acoustique et à la communication, ainsi Bell se sert d'un piano dans lequel il



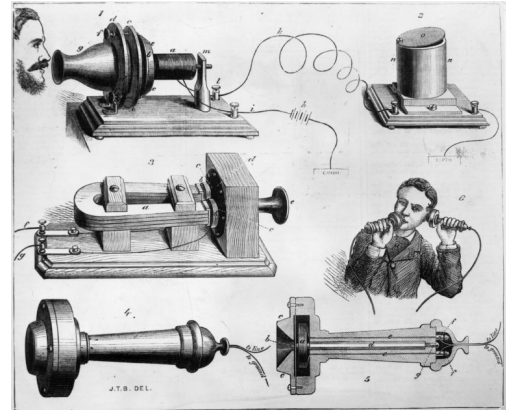


chante, et découvre que les variations de ton de sa voix font vibrer les cordes du piano. Son intérêt combiné pour le son et la communication donne naissance à un intérêt pour l'amélioration du télégraphe.

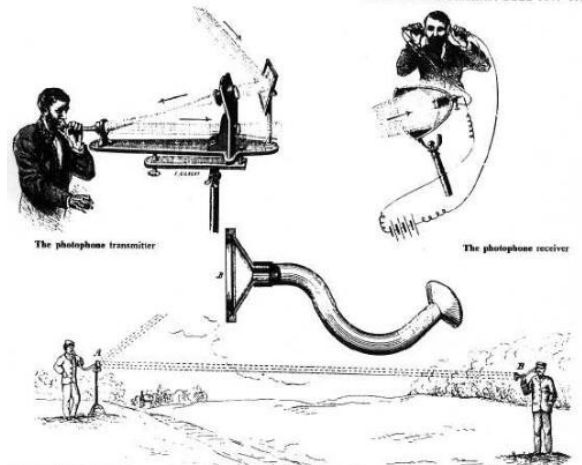
Celui-ci a conçu le téléphone et continue à peaufiner son invention après avoir fondé, en 1877, la Compagnie de Téléphone Bell. Même s'il créa le téléphone son innovation la plus importante est celle du photophone destiné à la production d'une onde sonore à partir d'une source lumineuse comme le Soleil.

Expériences historiques

- Expérience du téléphone : Pour étudier la réception des vibrations acoustiques, Bell conçoit un appareil qu'il construit à l'aide d'une plaque de verre noircie, d'un micro et d'un long levier de bois doté d'une pointe fine et flexible fixé à une membrane tendue. Une fois le son envoyé, le micro fait vibrer la pointe de bas en haut sur la membrane et trace la forme de la vibration. Comme la membrane n'est pas assez sensible, son ami médecin spécialiste des oreilles, le Dr Clarence Blake, lui donne l'oreille d'un cadavre pour l'étudier. Bell applique sa connaissance de l'oreille humaine au téléphone. En 1874, il se rend compte qu'en modulant l'intensité du courant, l'électricité permettrait de transmettre des sons de toutes sortes. Son nouveau raisonnement le mène à esquisser un téléphone rudimentaire.
- Expérience du photophone : Son expérience consistait à transporter des sons jusqu'à plusieurs dizaines de mètres grâce à la lumière du soleil. Cependant la distance sur laquelle son système s'appliquait n'excédait pas 200 mètres.



ALEXANDER GRAHAM BELL 1847-1922



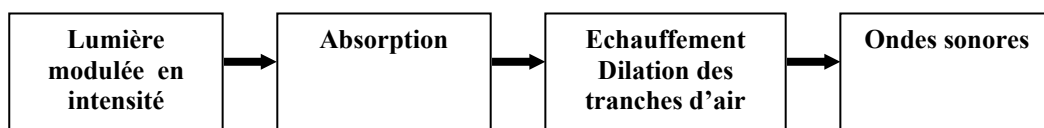
3- Interprétation



Dans un milieu solide, ce qui est notre cas, un corps absorbe plus ou moins de lumière en fonction de ces propres propriétés. Sa température de surface augmente alors et l'air situé au dessus chauffe. Ce dernier se dilate et pousse les tranches d'air situées au delà.

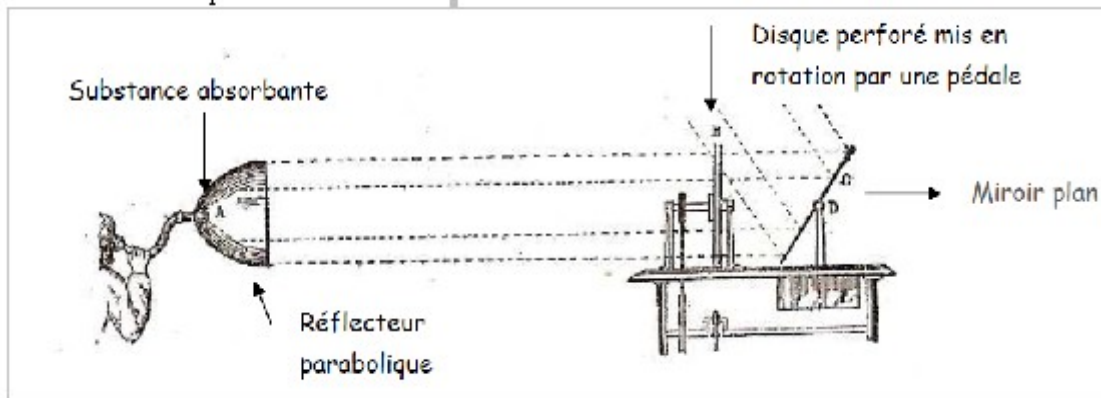
Quand la lumière arrive à intervalle de temps régulier sur la surface, les variations de température oscille au même rythme (avec la même période) que l'éclaircissement. L'air situé au dessus du corps connaît des variations périodiques de température et se

comprime puis se dilate périodiquement : Une onde sonore est ainsi créée.

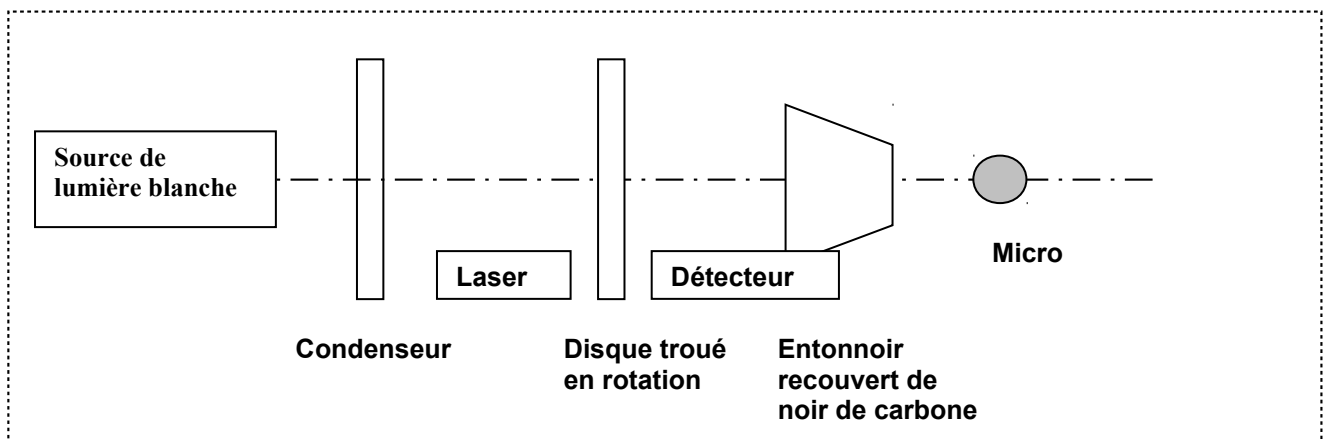


## V. L'effet photo acoustique au lycée

La lecture du BUP (bulletin de l'union des physiciens) nous a fortement guidé pour tenter d'obtenir cet effet. Voici l'expérience de G Bell :



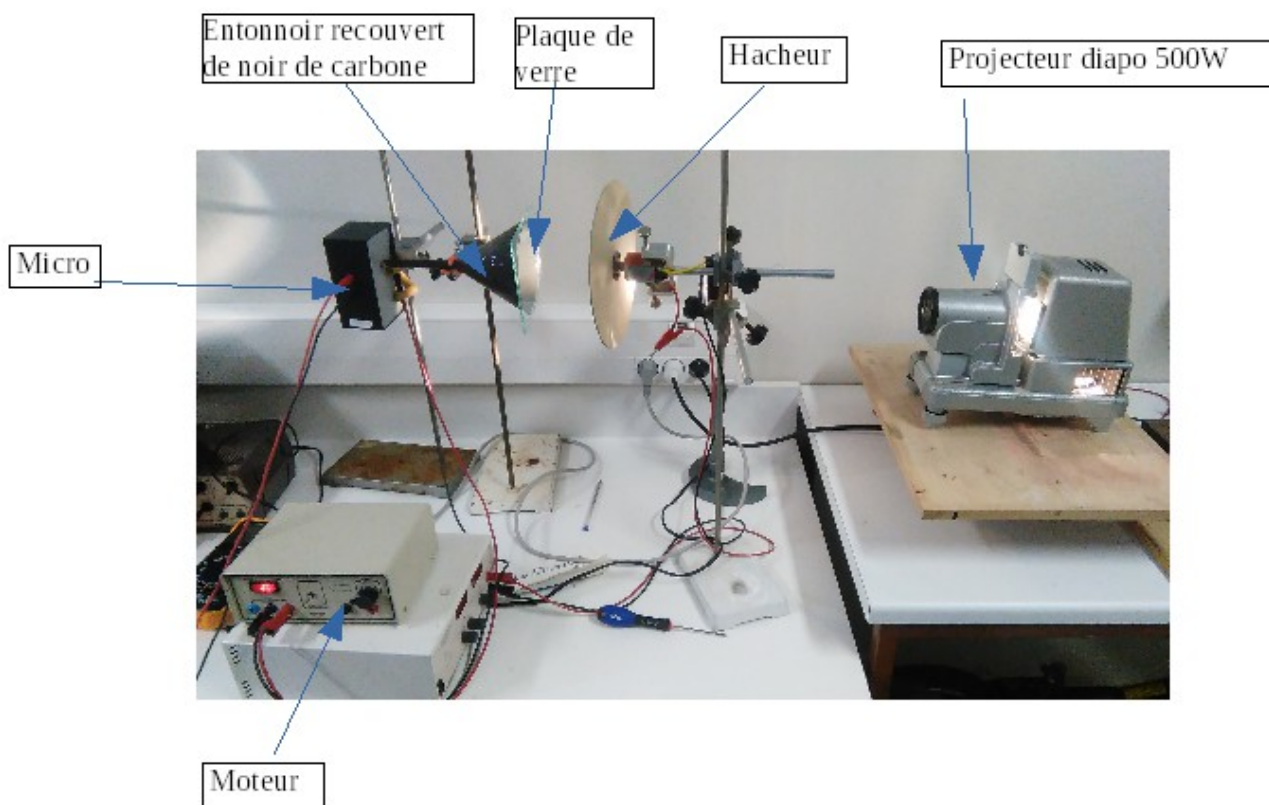
Nous avons choisi de travailler dans des conditions similaires en remplaçant les rayons du soleil par un vieux projecteur diapo de 150W traînant dans le labo du lycée.



Le disque troué en rotation permet de moduler l'intensité lumineuse de la source de lumière blanche. En effet le faisceau est coupé périodiquement avec une fréquence directement reliée à la vitesse de rotation.

Le dispositif laser/ Détecteur permet de déterminer avec une plus grande précision la vitesse de rotation du moteur. Nous avons choisi cette méthode est plus simple à utiliser que le stroboscope.





Observation : À l'oreille, il est impossible de détecter le moindre son en sortie de l'entonnoir.

Le signal enregistré par le micro est complexe. Son analyse spectrale met en évidence plusieurs pics particuliers

Conclusions :

L'intensité sonore du son produit par l'effet photoacoustique est très faible. Il est impossible de la percevoir à l'oreille. D'autre part le bruit du moteur est lui très intense et gêne la perception des autres sons. De même le ventilateur de la source de lumière utilisé se met en route après quelques minutes et perturbe également la perception du son produit par l'effet photoacoustique.

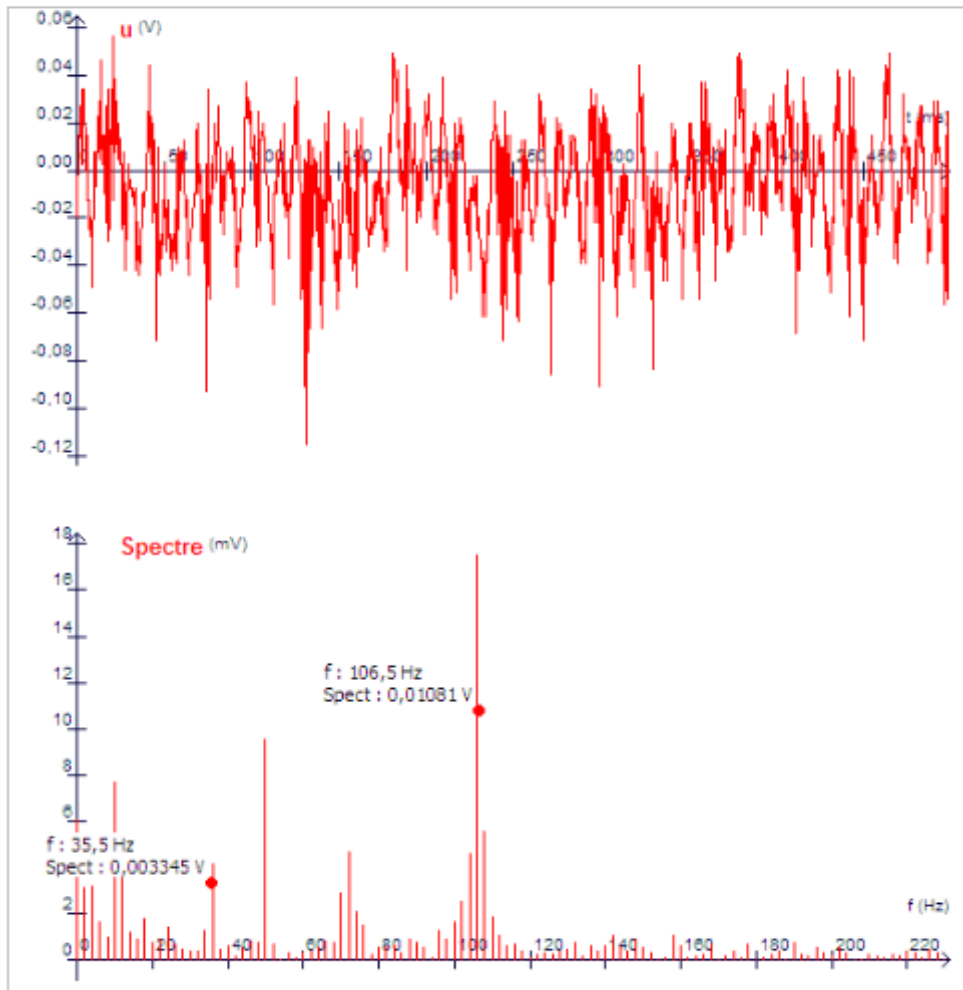
L'enregistrement du son produit donne un signal de forme complexe. En effet, il correspond à la superposition de celui du moteur, du ventilateur et peut être de l'effet photoacoustique. Connaissant la fréquence de modulation de l'onde nous connaissons l'ordre de grandeur de la fréquence du son de l'effet photoacoustique attendu, l'étude du spectre en fréquence de ce signal devait nous permettre de montrer le son étudié.

Exploitations :

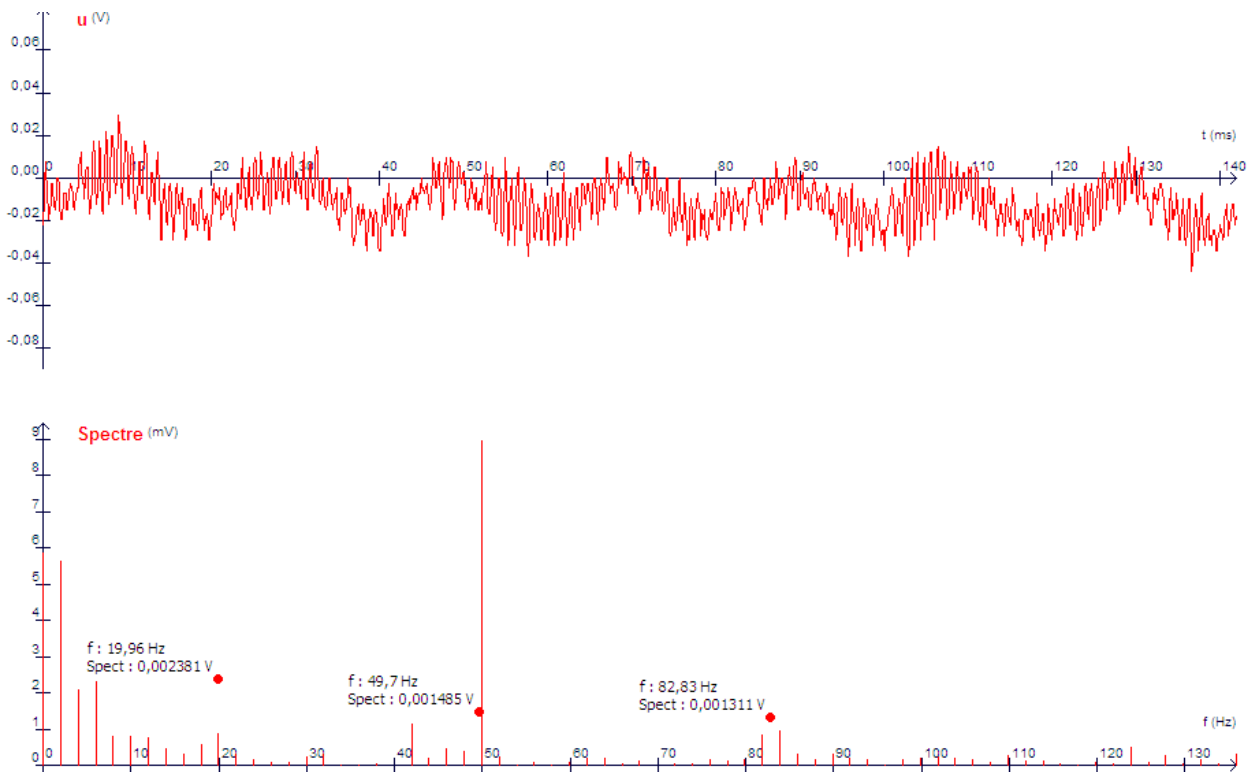
Nous avons travaillé avec plusieurs vitesses de rotation donc plusieurs fréquences de modulation.

Voici nos résultats :

### Enregistrement a 35Hz :



### Enregistrement à 20Hz



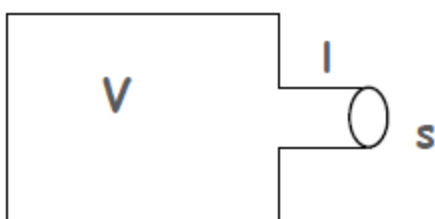
Il apparaît dans les deux cas un pic particulier correspondant à la fréquence de modulation imposée à l'aide du moteur. Nous pouvons donc penser que l'effet photoacoustique est bien présent, il est seulement trop peu intense pour être perçu par l'oreille humaine.

### Pistes d'amélioration :

Dans un premier il faut limiter les autres sons. Pour cela nous avons modifié l'orientation des éléments du montage, bloqué la potence portant le disque, ajouter de la mousse, etc... sans réel succès en vérité car même si on diminuait l'intensité des autres sons on ne parvenait pas à les supprimer.

Ensuite, il faut trouver le moyen d'amplifier le son. Pour cela nous avons recherché l'intérêt de cet entonnoir et avons compris qu'il s'agissait en fait d'un résonateur qui permettait d'amplifier une fréquence particulière. Il faut donc accorder la fréquence de modulation à la fréquence propre de notre entonnoir. Ces résonateurs sont appelés résonateurs de Helmholtz et ont une fréquence de résonance qui

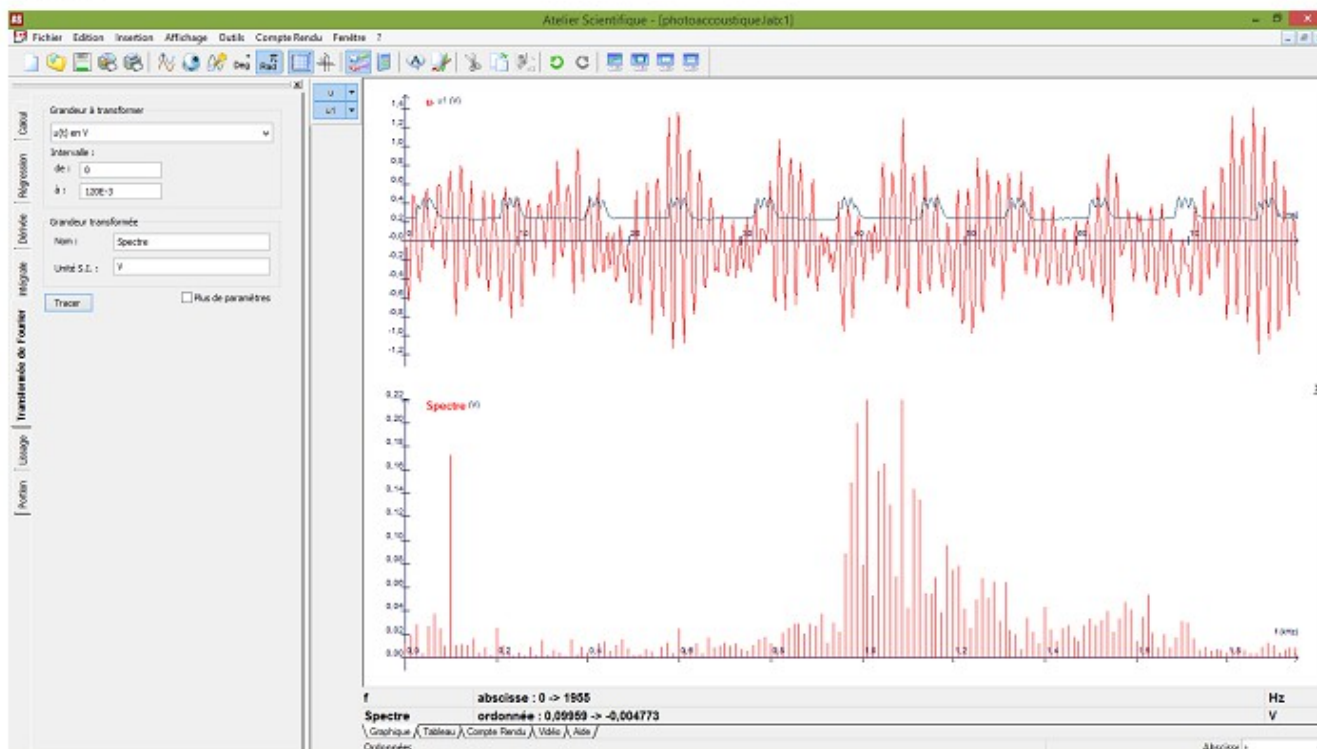
dépend du volume d'air contenu ainsi que des dimensions de l'ouverture  $f_1 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{l \times V}}$



où c est la célérité des ondes sonores  
 Dans le cas de notre entonnoir la longueur  $l=0,08\text{m}$  ; la section  $s= 0,006\text{m}^2$  et le volume  $V= 0,0209\text{m}^3$ . La fréquence de résonance est donc de 102 Hz,  
 En essayant de modifier le hacheur pour obtenir cette fréquence, le son lié à l'effet photoacoustique devrait être plus intense.

Nous avons augmenté le nombre de trous du hacheur pour augmenter la fréquence est atteindre une fréquence plus importante. Nous avons également utilisé un montage amplificateur pour augmenter le signal reçu du micro

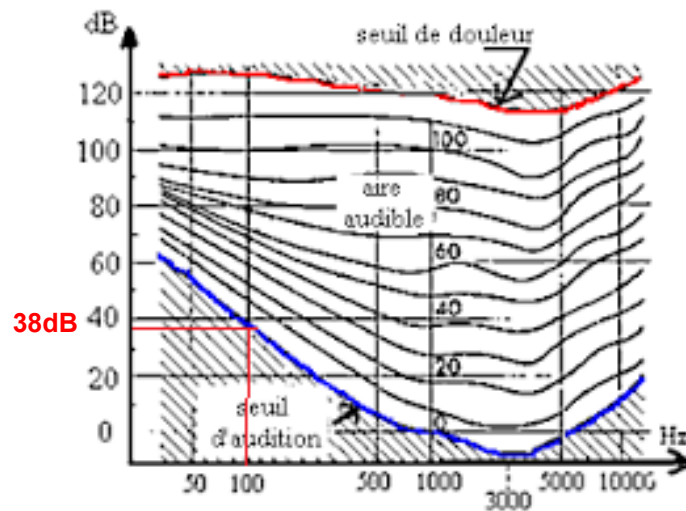
$$f_{\text{modulation}}=102\text{Hz}$$





Un pic apparaît clairement à 102Hz ce qui correspond à la fréquence de modulation.

Le son produit reste très difficile à percevoir à l'oreille son niveau sonore étant très faible. En effet, aux alentours de 100Hz, le niveau sonore minimum requis pour percevoir le son est de 38dB.



Pour essayer d'augmenter l'intensité sonore du son produit, nous avons essayé d'utiliser une lampe halogène de 120W. La difficulté principale que nous avons rencontrée est la focalisation de la lumière sur le hacheur. En effet, il fallait éloigner de façon importante ce dernier et l'énergie lumineuse captée sur notre surface devenait trop faible.



## VI/ Améliorations

### 1- Premier essai

Nos réflexions et nos essais n'ont pu aboutir à une bonne perception du son car le moteur du hacheur reste trop bruyant. Il fallait penser à tout simplement le supprimer. Mais dans ce cas comment continuer de moduler la lumière.

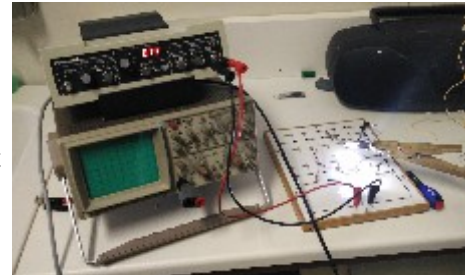
Au bout du compte un hacheur se contente de couper le faisceau en faisant passer l'intensité lumineuse de 0 à une valeur maximale. Une alimentation variable pourrait faire la même chose. C'est pourquoi nous avons choisi de travailler avec un GBF (générateur basse fréquence)

Il nous a fallu penser à choisir une autre source de lumière car le vieux projecteur de diapo ne peut pas être alimenté avec ce type de générateur.

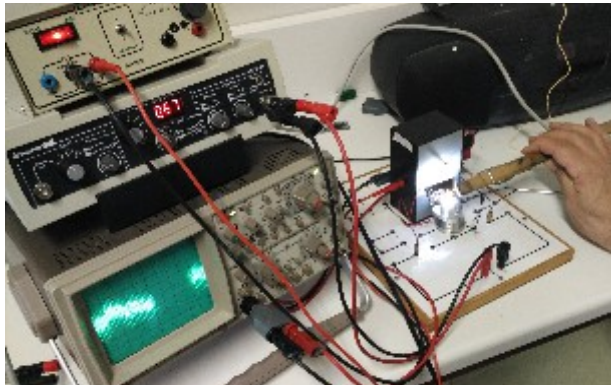
La fouille méticuleuse des tiroirs d'optique du lycée nous permis de découvrir différentes lampes et notamment des Diodes électroluminescentes blanches. Ces dernières avaient été utilisées par un autre groupe de l'atelier pour illustrer le principe du LIFI.

Nous avons donc décidé de tenter notre chance avec cette lampe. Cette fois plus de condenseur, de hacheur et surprise un son de faible intensité se fait entendre. Ce dernier disparaît quand on écarte l'entonnoir ou lorsque nous intercalons une feuille de papier. Ce son serait donc celui produit par effet photoacoustique. Pour le vérifier nous avons seulement modifié la fréquence du GBF et la fréquence du son perçu était bien modifiée.

Nous avons ensuite compris que notre entonnoir ne nous servait plus car nous ne travaillons plus dans des gammes de fréquences proches de sa fréquence de résonance. Nous avons donc choisi de continuer nos manipulations sur des lames planes beaucoup plus pratiques à manipuler. On a ainsi remarqué que plus la surface était faible plus le son produit semblait intense. Certainement parce que la puissance rayonnée arrivant sur une surface plus petite provoque un échauffement plus important



Nous avons voulu vérifier que la fréquence du son produit sur la lame avait la même fréquence que la modulation de la lumière. Pour cela, nous avons enregistré le son à l'aide d'un micro et réalisé la mesure de la fréquence.



La fréquence mesurée est la même que celle du signal modulant.

Nous avons ensuite essayé de produire un son sur différentes surfaces. En commençant par des surfaces vitrées recouvertes de noir de carbone d'aires différentes. Mais la perception du son ne nous a pas semblé différentes.

Quand nous avons décidé de remplacer le verre par des lames métalliques, le son disparaissait. Les métaux sont des conducteurs de chaleur. Quand le carbone reçoit l'énergie lumineuse il chauffe et les métaux ont tendance à diffuser cette chaleur ce qui laisse moins d'énergie disponible pour produire nos sons. Il faut donc choisir correctement le support de l'expérience. L'élément absorbant doit être posé sur un élément mauvais conducteur de chaleur.

Nos recherches dans les travaux des groupes précédents nous ont permis de comprendre comment on pourrait transmettre une musique par cet effet. En effet le groupe du lycée qui avait travaillé sur la transmission des sons par la lumière avait réussi à moduler l'intensité d'un faisceau laser avec une musique, ce qui doit être possible avec une DEL.

## 2- Produire une musique par le biais de l'effet photoacoustique

### 2-1- Modification du montage

L'idée est de moduler l'intensité lumineuse de la DEL avec le signal issu d'un morceau de musique sortant d'un téléphone.

En essayant d'alimenter la DEL à l'aide de cette tension, celle-ci ne parvient pas à s'allumer. Il faut donc une tension continue minimale pour que celle-ci puisse produire de la lumière



1<sup>ère</sup> solution : Augmenter l'amplitude de la musique à l'aide d'un montage amplificateur



2<sup>nd</sup> solution : Modifier la tension délivrée par le générateur continu de manière à accentuer les variations d'intensité de la DEL



3<sup>ième</sup> solution : Se placer dans les conditions où toute la lumière de la DEL parvient sur la surface

## 2-2- La lumière produite par la DEL est-elle réellement modulée par la musique ?

Nous décidons d'éclairer la photopile directement branchée sur un ampli de musique.

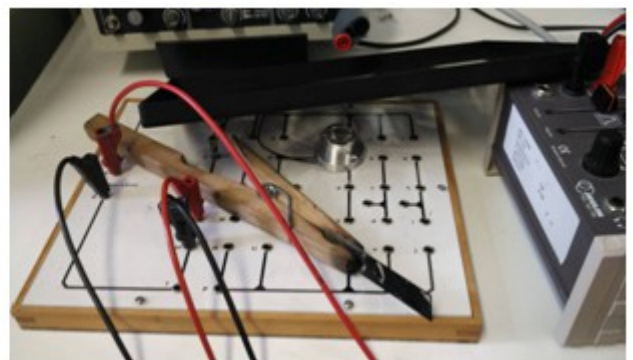
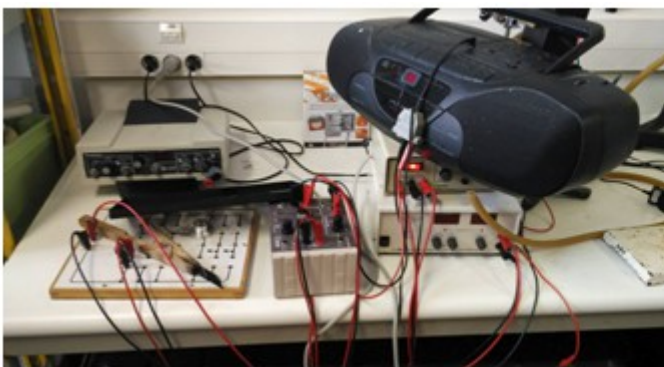
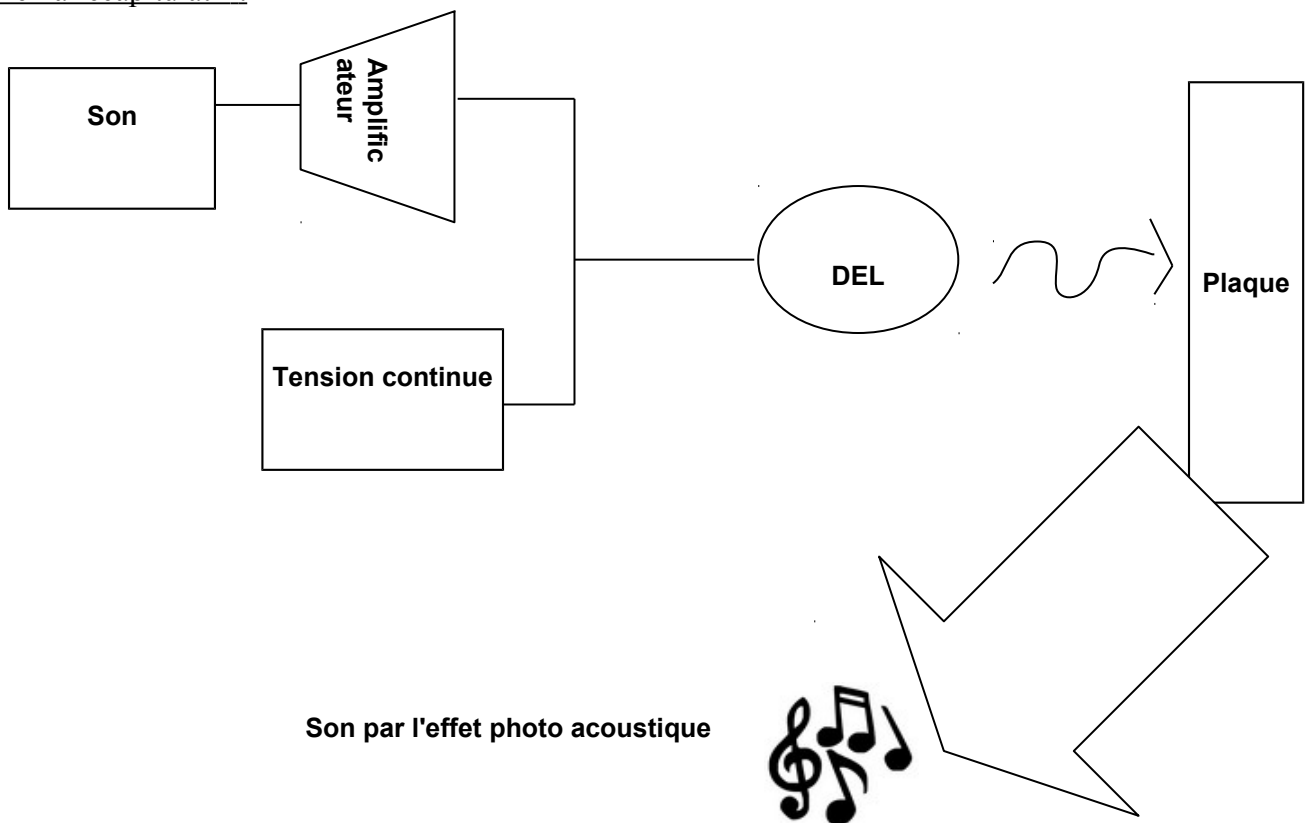
Nous entendons alors notre musique. Le problème ne réside pas dans la modulation de la lumière

## 2-3- Produire une musique par l'effet photoacoustique

Nous avons cherché les paramètres qui permettraient à la lumière de transporter le signal sonore tout en ayant des variations d'intensité suffisante. Il semblerait que la musique module bien l'intensité lumineuse mais ces variations sont trop faibles pour pouvoir produire une musique via l'effet photoacoustique.

Nous cherchons donc le moyen d'ajouter à la tension continue d'alimentation de la diode et le signal de la musique sans que le courant d'alimentation ne chute. Après quelques recherches et essais nous avons compris que les montages amplificateur utilisés n'étaient pas adaptés. Par chance, nous avons trouvé dans le labo de physique un montage qui nous permettait de ne pas perdre en intensité.

Schéma récapitulatif :



Dans ces conditions, il est possible d'entendre clairement le son produit



## **VII. Un textile innovant :**

Pour obtenir l'effet photoacoustique il est nécessaire d'avoir un matériau isolant sur lequel repose un matériau qui peut absorber un maximum de rayonnement. En effet, le noir de carbone admet un comportement proche de ce qu'on peut appeler un corps noir, c'est à dire qui absorbe tout le rayonnement incident et qui réémet la totalité sous forme d'un rayonnement qui ne dépend que de sa température. (Loi de Stefan). Nous avons alors décidé d'utiliser le noir de carbone pour colorer un tee-shirt.

Nous espérons pouvoir entrer en contact avec le CETI (Centre européen des textiles innovants) et l'ENSAIT (Ecole nationale supérieure des arts et industries textiles de Roubaix pour pouvoir discuter de notre projet. Nous sommes en l'attente de leur réponse.

Les applications pourraient être diverses. En effet, il est possible d'imaginer un textile qui pourrait servir de support de production individuel de sons ou pourquoi pas dans des lieux comme des discothèques où l'éclairage pourrait être modulé en fonction de la musique et les vêtements des clients réémettraient la musique.

Nous imaginons aussi des utilisations de ce principe sur un textile pour en faire une alarme de détection de lumière. Par exemple, une pastille posée sur un textile équipé d'un hacheur miniaturisé pourrait émettre un son d'alarme en présence de lumière.

### Conclusion :

Nous sommes sur le point de résoudre notre problème. Bientôt nous pourrions entendre directement les sons par le biais de nos vêtements.

Plusieurs autres applications sont possibles pour cette méthode comme la spectroscopie des corps opaques, la spectroscopie des objets et les mesures de paramètres thermiques (chaleur spécifique, diffusivité, etc.).

### Bibliographie :

BUP photoacoustique volume 98

<http://www.universalis.fr/encyclopedie/photoacoustique/>

[http://www.odpf.org/images/archives\\_docs/19eme/memoires/groupeV/memoire.pdf](http://www.odpf.org/images/archives_docs/19eme/memoires/groupeV/memoire.pdf)

<http://zeilloc.fr/blog/2011/05/le-photophone-de-bell-les-communications-optiques-un-siecle-trop-tot/>

<http://www.encyclopediecanadienne.ca/fr/article/le-photophone-de-bell/>

[http://www.odpf.org/images/archives\\_docs/20eme/memoires/groupeL/memoire.pdf](http://www.odpf.org/images/archives_docs/20eme/memoires/groupeL/memoire.pdf)

<https://www.youtube.com/watch?v=xS1xWOmoJLg>