

**La chanson lumineuse
ou Peut-on faire chanter
la lumière ?**

Tout d'abord, pourquoi avoir choisi ce projet de la « chanson lumineuse »? Dans le cadre du baccalauréat nous sommes amenés à réaliser un TPE (Travaux Pratique Encadré). Tous les trois, passionnés de physique, nous avons recherché un sujet dans ce domaine. Avec l'aide de notre professeur de physique, nous nous sommes penchés sur différents sujets et un seul a retenu particulièrement notre attention : Transmettre une information sonore à l'aide d'une source lumineuse

L'idée de rejoindre le club scientifique, proposé par notre professeur de physique, nous a vivement intéressé.

Cela nous donne en plus la possibilité de participer aux Olympiades de Physique. C'est dans ce cadre que nous vous présentons :

"Peut-on faire chanter la lumière?"

Sommaire :

| | |
|--|----|
| I. <u>Présentation de notre projet</u> | 4 |
| II. <u>Le son</u> | 4 |
| III. <u>La lumière</u> | 9 |
| IV. <u>Le dispositif</u> | 11 |
| V. <u>La réalisation</u> | 12 |
| VI. <u>Les résultats</u> | 15 |
| VII. <u>Le lifi, une technologie lumineuse</u> | 18 |

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.

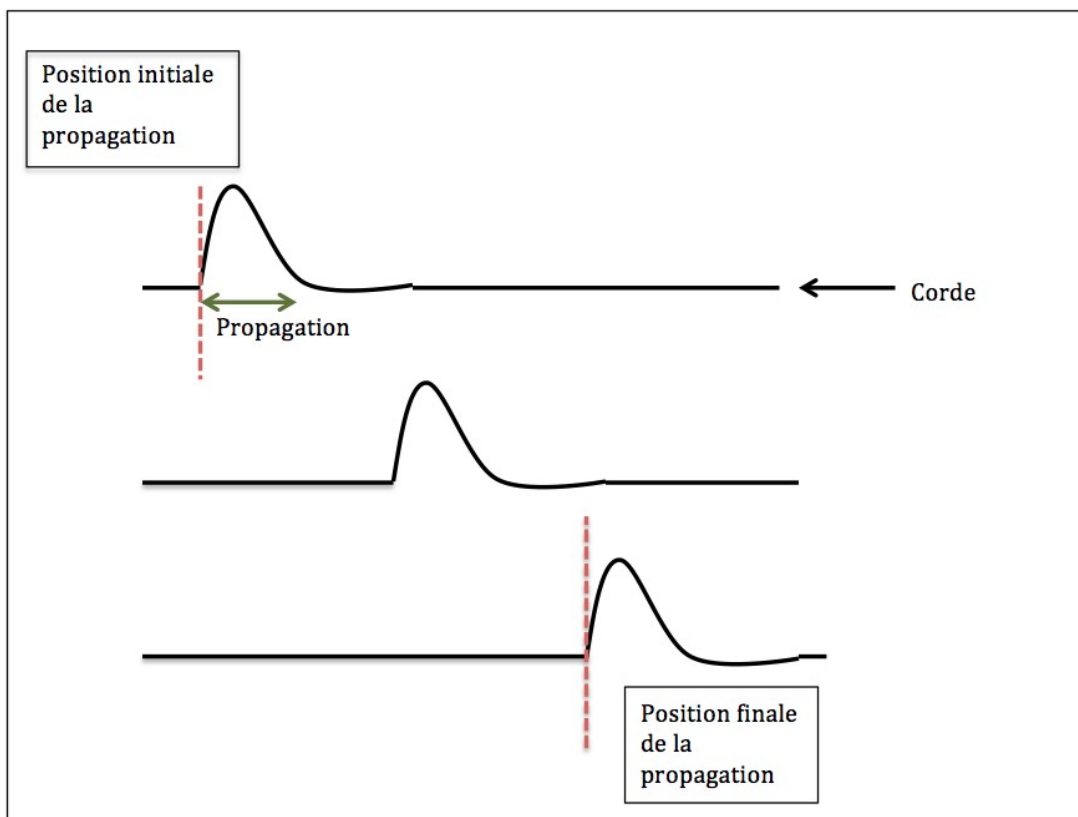
Mais alors existe-t-il des similitudes entre ces deux phénomènes qui nous permettraient de transmettre un son à l'aide de la lumière? C'est à partir de cette problématique que nous avons construit un dispositif qui permet de faire « chanter la lumière ».

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 :

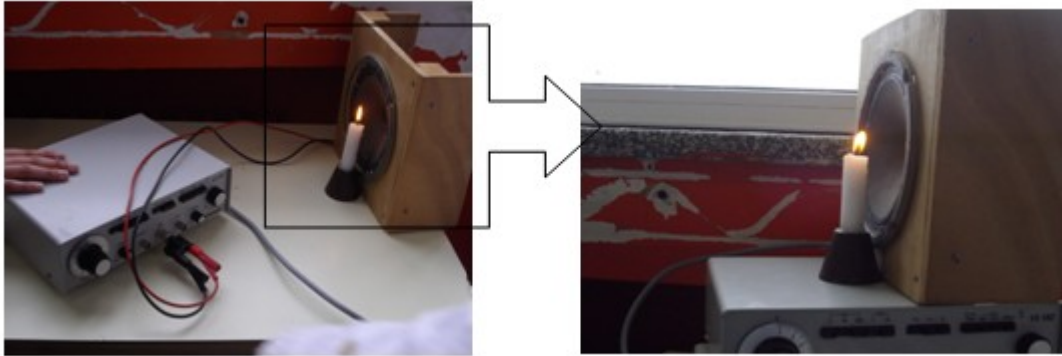


Observation : La propagation se déplace le long de la corde, le signal se propage horizontalement. On peut observer également que la corde revient toujours à sa place.

Conclusion : La propagation est transversale et n'entraîne aucun déplacement de matière

Mise en évidence : Expérience Haut parleur et bougie

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

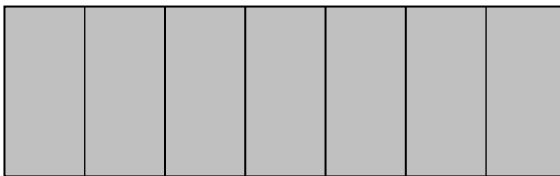


Observation : La flamme vacille lorsque le haut-parleur fonctionne.

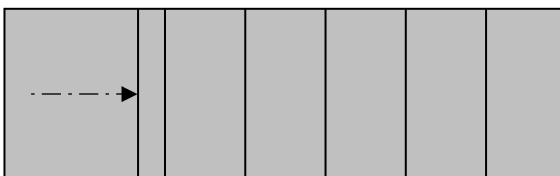
Conclusion : Le son se propage donc en déplaçant des tranches d'air.

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

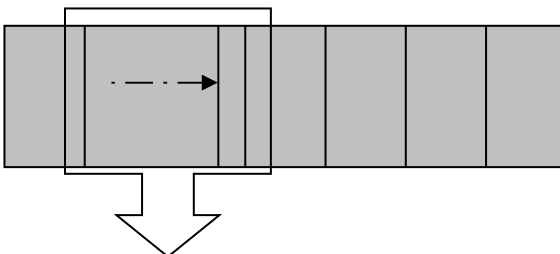
.Schéma de la propagation d'un son dans l'air suivant une direction :



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 2nd



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

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

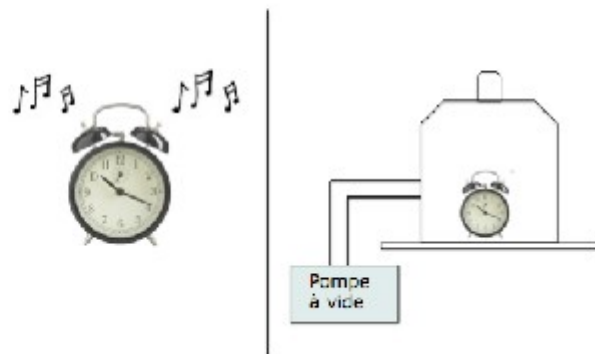
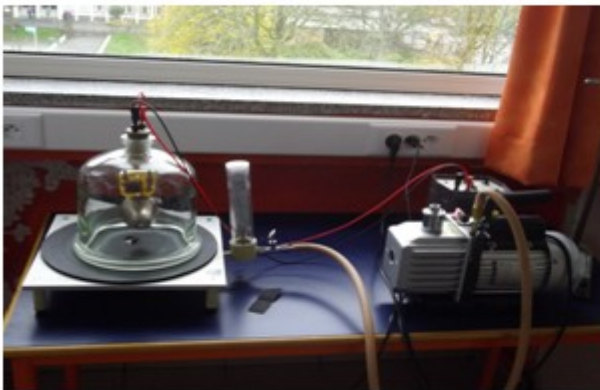
On parle de son quand l'onde est périodique, c'est à dire quand la source de l'onde produit la perturbation périodiquement. Elles sont caractérisées par une double périodicité : Une période temporelle (T : intervalle de temps entre deux répétitions de la perturbation par la source) et une période spatiale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

b) 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.

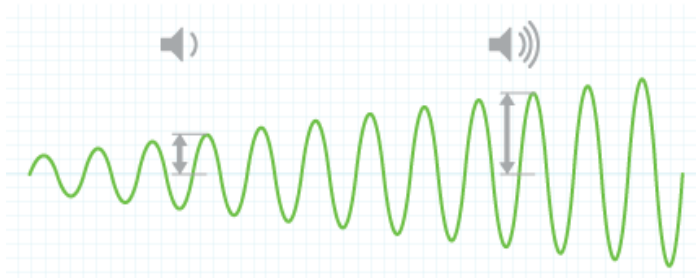
c) Caractérisations des sons

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.

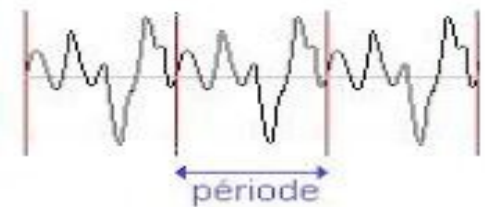
Le son est caractérisé par 3 caractéristiques :

- **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.



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

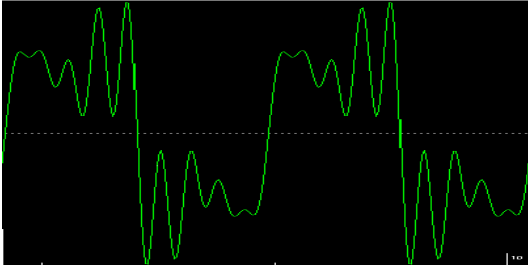
- **La période ou la fréquence** : Elle correspond à l'intervalle de temps au bout duquel le phénomène se reproduit identique à lui-même. Elle se note T et s'exprime en seconde (s). Elle permet de déterminer la hauteur du son. Plus la période est longue, plus le son est grave. Quand elle est courte, 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



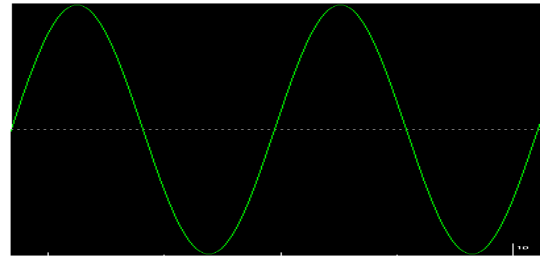
<http://2.bp.blogspot.com/>

-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):
(son pur) :



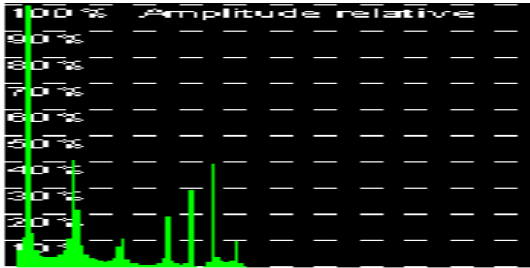
Signal d'un son La3 du diapason



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 mode fondamental. Les 6 autres pics ont des fréquences multiples du mode fondamental : les harmoniques.

Le spectre du son La3 du diapason n'est constitué que d'un pic de fréquence à 440Hz. C'est le mode 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 transmettre des sons sur une grande distance. Ces sons sont issus d'un morceau de musique, ils seront donc constitués d'une multitude de sons sinusoïdaux.

d) Transmission d'un son sur une grande distance

Expérience :

Nous avons émis une musique grâce à un haut-parleur et nous nous sommes éloignés de la source.

Observation : À 1m de ce haut-parleur, la musique perçue est claire et forte. Mais plus on

s'éloigne, plus le son perçu perd en intensité. Il y a un amortissement rapide du son de la musique.

Conclusion : Les ondes sonores se propagent avec un amortissement. Il est lié à une perte énergétique au niveau des frottements entre les tranches d'air. Il est donc impossible de transmettre un son sur de très grande distance même si l'amplitude est très grande au départ.

Essentiel :

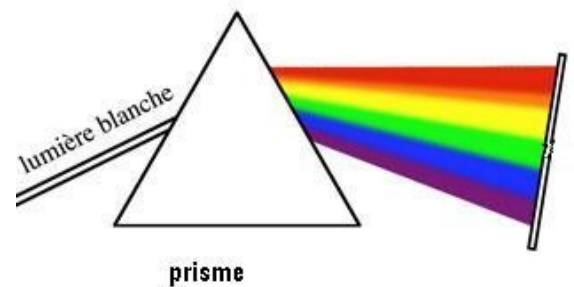
- Les ondes sonores nécessitent un milieu de propagation. (pas dans le vide)
- Elles se propagent avec un amortissement
- Elles sont caractérisées par une célérité de 340m/s dans l'air à température ambiante

III. La lumière :

a) Définitions

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

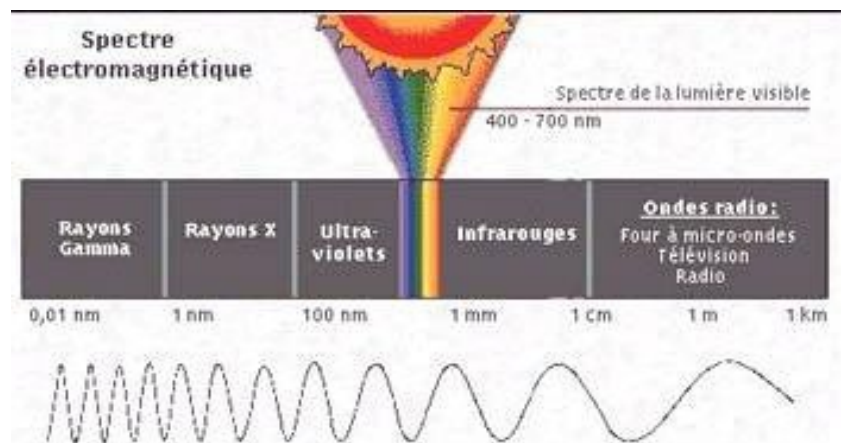
La lumière la plus simple à utiliser est la lumière blanche. Cette dernière est qualifiée de polychromatique c'est à dire qu'elle est constituée de toutes les radiations du visible. Pour le montrer, nous avons réalisé l'expérience de Newton représentée ci-contre



<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

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 λ (en mètre) dans le vide ou par sa fréquence ν (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 000km/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 éloignés, ce qui montre que ce type d'onde ne subit pratiquement pas d'amortissement.

c) Choix de la lumière utilisée pour transmettre nos sons sur une grande distance

Pour notre dispositif, nous avons décidé d'utiliser un laser comme source de lumière pour transmettre notre musique. Ce choix a été motivé par le fait que nous souhaitons transmettre la lumière dans une direction donnée ce qui est plus facile avec la lumière produite par un laser qui est monochromatique et produite dans une direction quasi unique.

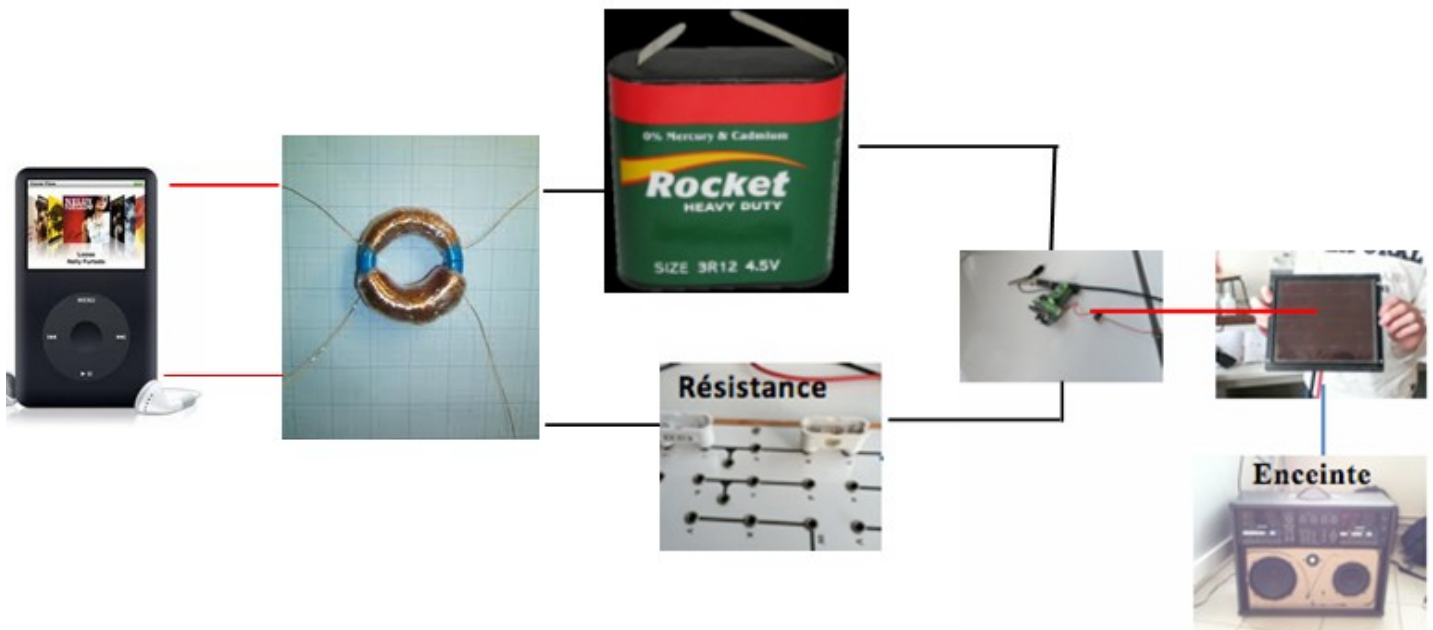
Pour nos essais nous avons utilisé une diode laser provenant d'un dispositif de mesure de niveau par laser que nous avons démonté. La lumière produite est de faible puissance et de couleur rouge.

Pour la transmission sur des distances plus grandes nous avons opté pour un laser vert utilisé pour réaliser des visées à longue distance. Ce dernier étant plus puissant nous avons dû nous équiper de lunettes de protection.

Essentiel :

- Les ondes lumineuses possèdent une célérité de 300 000km/s dans le vide. Elles ont une célérité dans l'air proche de celle du vide
- Elles peuvent se propager dans le vide et dans tous les milieux transparents.
- Elles ne subissent qu'un faible amortissement

IV. Le dispositif :



Ipod : Source d'entrée de la musique branchée à un casque

La pile de 4,5V : Source d'énergie. Alimentation du laser

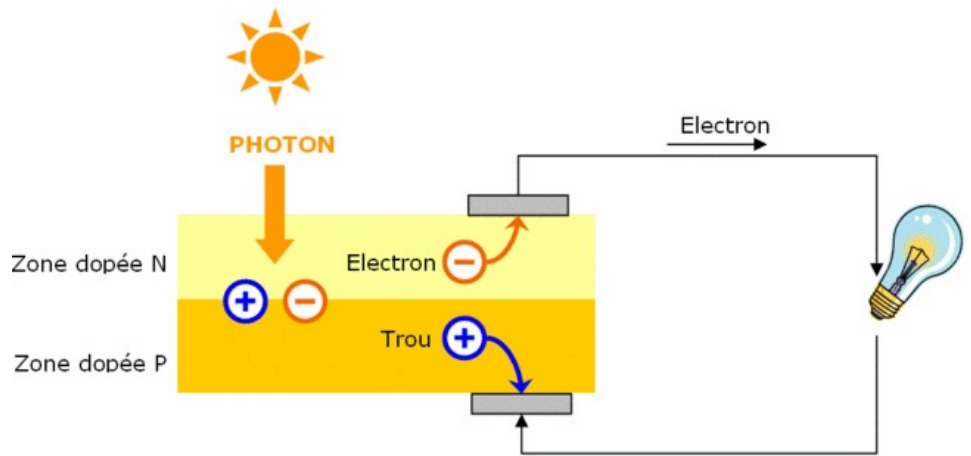
La résistance de 47ohm : Cette résistance nous permet de limiter le courant venant de la pile

Le laser : Source de lumière monochromatique. Ce qui veut dire que son spectre de lumière ne comporte qu'une raie d'émission. La lumière produite est unidirectionnelle ce qui permet d'avoir une grande précision pour la visée. Toutefois, ce sont des sources lumineuses dangereuses. Il faut donc veiller à éviter de regarder le faisceau dans l'axe. Cet appareil consiste à exciter des électrons par absorption d'un photon. Il passe ainsi d'un niveau E_0 d'énergie à un niveau supérieur E_2 . Ils retournent ensuite à leur état fondamental en émettant des photons de même énergie que le premier. Grâce à deux miroirs placés face à face, ils sont réfléchis stimulant ainsi d'autres émissions. Une petite portion non réfléchissante ménagée sur l'un des miroirs permet la sortie d'un rayon lumineux dont tous les photons ont précisément la même énergie, la même longueur d'onde et se propagent strictement dans la même direction.

L'enceinte : Production du son transmis de la musique équipée d'un amplificateur.

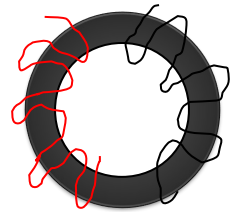
Le panneau solaire : Grâce à des matériaux dits « semi-conducteurs », les panneaux photovoltaïques produisent de l'électricité lorsqu'ils sont éclairés par le soleil. Ces panneaux sont formés d'une multitude de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement qui transforment l'énergie lumineuse en une tension électrique. Toutes les cellules ainsi rassemblées produisent un courant continu. Un onduleur transforme ce courant en courant alternatif pour le

consommer sur place. La quantité d'électricité que peut produire un panneau est mesurée par sa puissance (Kilowatts KW).



http://www.panneauxsolaires1sa.sitew.com/files/users/2/9/9/1/5/3/schema_effet_photovoltaique_650.gif

La tore de ferrite : C'est un anneau en ferrite qui est un matériau magnétique. Il permet de faire des bobines en enroulant un conducteur électrique autour. Lorsqu'un courant électrique alternatif traverse l'une des bobines, il crée un champ magnétique qui varie à la même fréquence du courant. Le noyau de ferrite permet ensuite de diriger ce champ vers l'autre bobine qui recrée alors le courant électrique. La composante continue du courant entrant est alors supprimée et la tension peut dans certains cas être amplifiée.



V. La réalisation :

a) Solutions :

Suite à la réalisation de notre dispositif, nous avons observé quelques désagréments : notre musique est audible mais à certains moments nous entendons le fond instrumental mais pas la voix. De plus, nous entendons un bruit de fond désagréable.

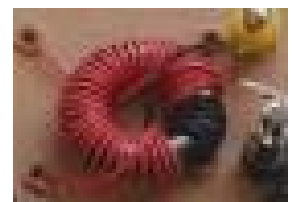
Questions : -**Comment entendre toutes les parties de la chanson?**
-**Comment supprimer le bruit désagréable?**



1^{ère} Solution :

→ Augmenter l'amplitude de la musique en faisant d'un côté de la tore une bobine de 5 tours et une de 40 tours de l'autre côté.

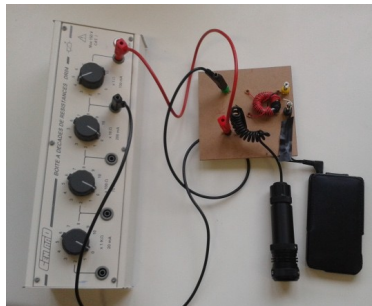
Suite à ce changement, toutes les parties de la chanson sont audibles.





2^{ème} Solution :

→ Utiliser la boîte à décade pour faire varier la valeur de la résistance et donc la tension aux bornes du laser.



Il faut donc trouver la résistance adéquate car si la valeur de la résistance est trop élevée alors l'intensité du laser sera trop faible par rapport aux variations de la musique. Au contraire si la valeur de la résistance est trop faible, l'intensité du laser sera trop élevée par rapport aux variations de la musique.

Nous avons trouvé la résistance où la musique est la plus audible. Mais le bruit de fond était encore présent.



3^{ème} Solution :

→ Utiliser une petite cellule photovoltaïque



Nous allons utiliser une petite cellule photovoltaïque pour ainsi limiter la surface d'exposition à la lumière ambiante. Ainsi elle ne capte que la lumière issue de notre laser.

Le bruit désagréable, dû aux ondes à basses fréquences de la lumière autre que celle du laser, a disparu et la musique est parfaitement claire.

REMARQUE : Nous pouvons aussi utiliser un tuyau et un morceau de carton pour empêcher la lumière ambiante d'être captée par le panneau solaire.

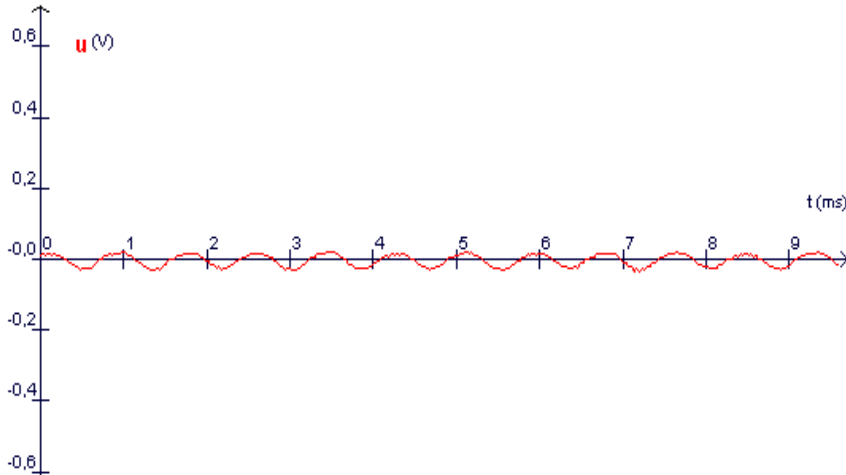


b) Vérification des solutions apportées :

Nous avons voulu vérifier les différentes modifications apportées au dispositif. Pour cela nous avons remplacé la musique par un Générateur Basse Fréquence (GBF) qui transmet un signal périodique sinusoïdal plus facile à étudier. A l'aide d'une interface d'acquisition, nous avons pu visualiser la forme du signal aux différentes étapes de notre dispositif.

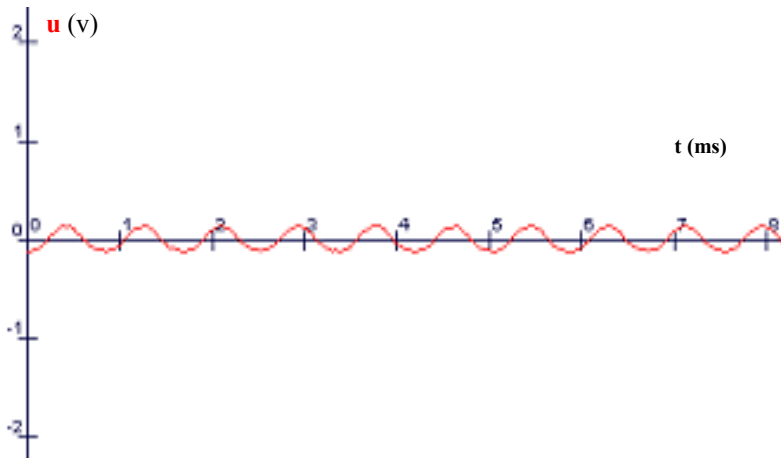
Observations :

Signal perçu à l'entrée de la tore de ferrite :



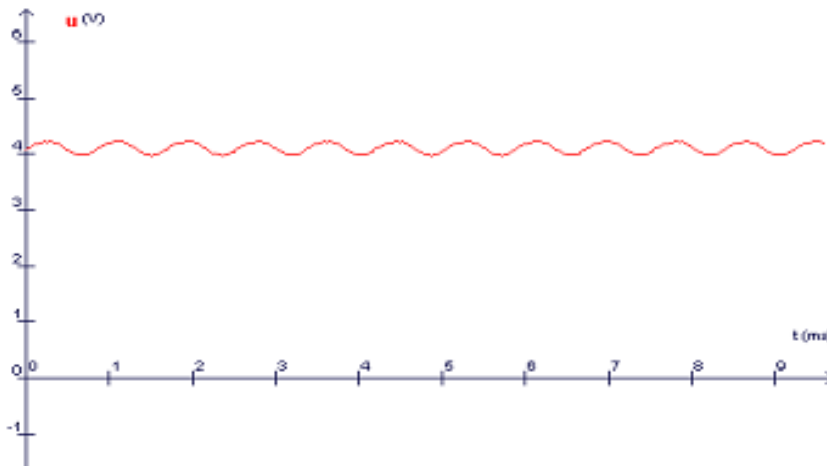
Le signal perçu est périodique et sinusoïdal correspond à celui transmis par le GBF. Il n'a subi aucune modification. La tension maximale : $U_{max} = 0.04$ V

Signal perçu à la sortie de la tore de ferrite :



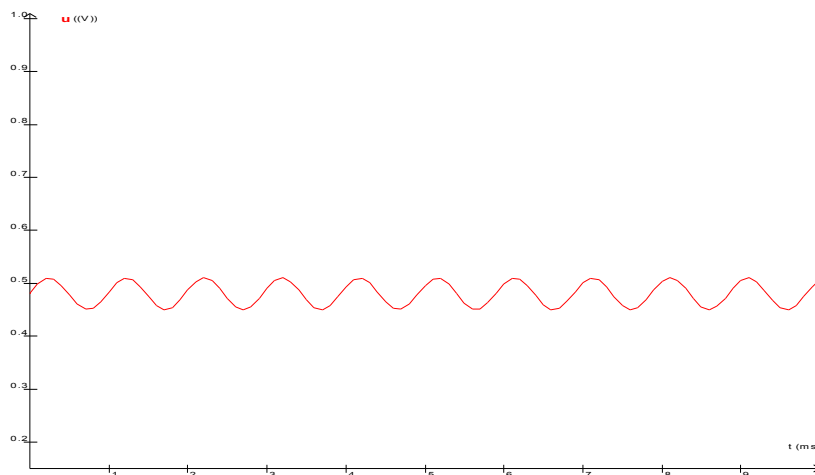
Le signal correspond toujours à celui du GBF mais il a été modifié. Sa tension maximale : $U_{max} = 0.4$ V. La tension du signal a été amplifiée par la tore de ferrite.

Signal perçu aux bornes du laser :



Le signal perçu correspond à la superposition des variations du signal du GBF et de la tension continue de la pile. On a ainsi modulé simplement l'intensité lumineuse du laser.

Signal perçu aux bornes de la cellule photovoltaïque :



Le signal perçu correspond à celui du GBF. En effet, on a bien un signal sinusoïdal. Nous avons donc transmis le signal du GBF à l'aide de notre dispositif.

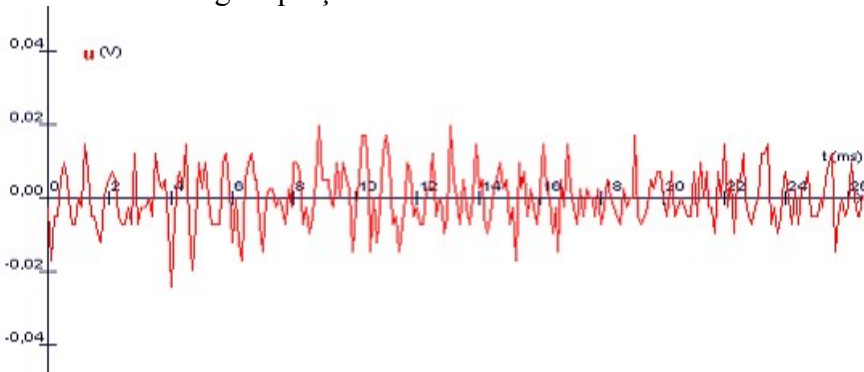
Conclusion : Les modifications apportées aux dispositifs nous ont donc permis de transmettre notre son, ici celui du GBF, à l'aide du laser. Nous avons montré que notre dispositif modulait l'intensité lumineuse du laser.

VI. Résultats :

Notre but final était de transmettre une musique comme « Fireworks » de Katy Perry à l'aide de notre dispositif. Nous avons donc réalisé l'expérience avec une musique. A l'aide d'une interface d'acquisition, nous avons pu visualiser la forme du signal aux différentes étapes de notre dispositif.

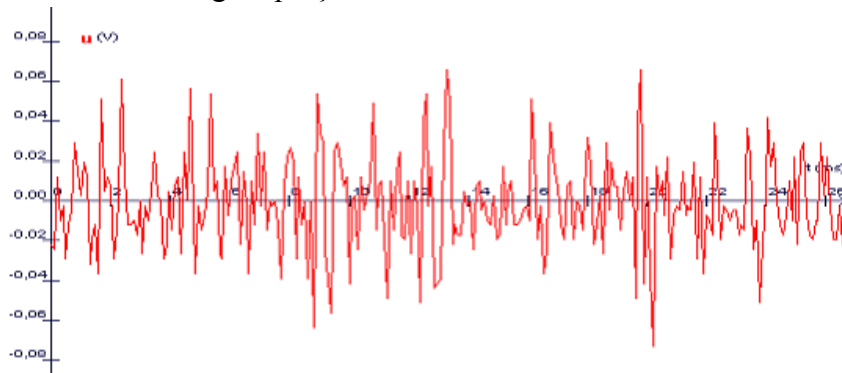
Observations:

Signal perçu à l'entrée de la tore de ferrite :



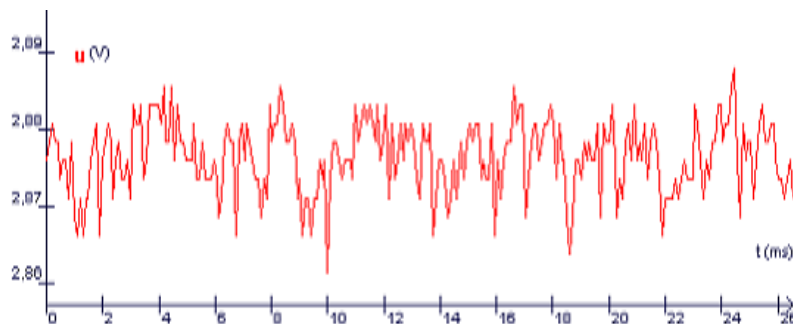
Le signal correspond aux différentes variations de la musique mesurées sur une durée de 26ms. Il n'a encore subi aucune modification.

Signal perçu à la sortie de la tore de ferrite :



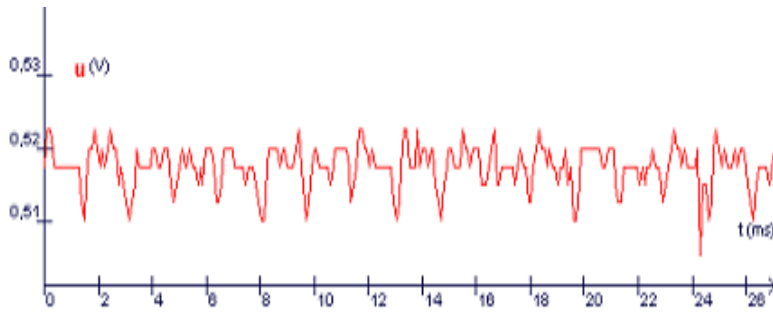
Le signal est toujours celui de la musique mais il a été modifié. La tension de la musique a été amplifiée par la tore de ferrite.

Signal perçu aux bornes du laser :



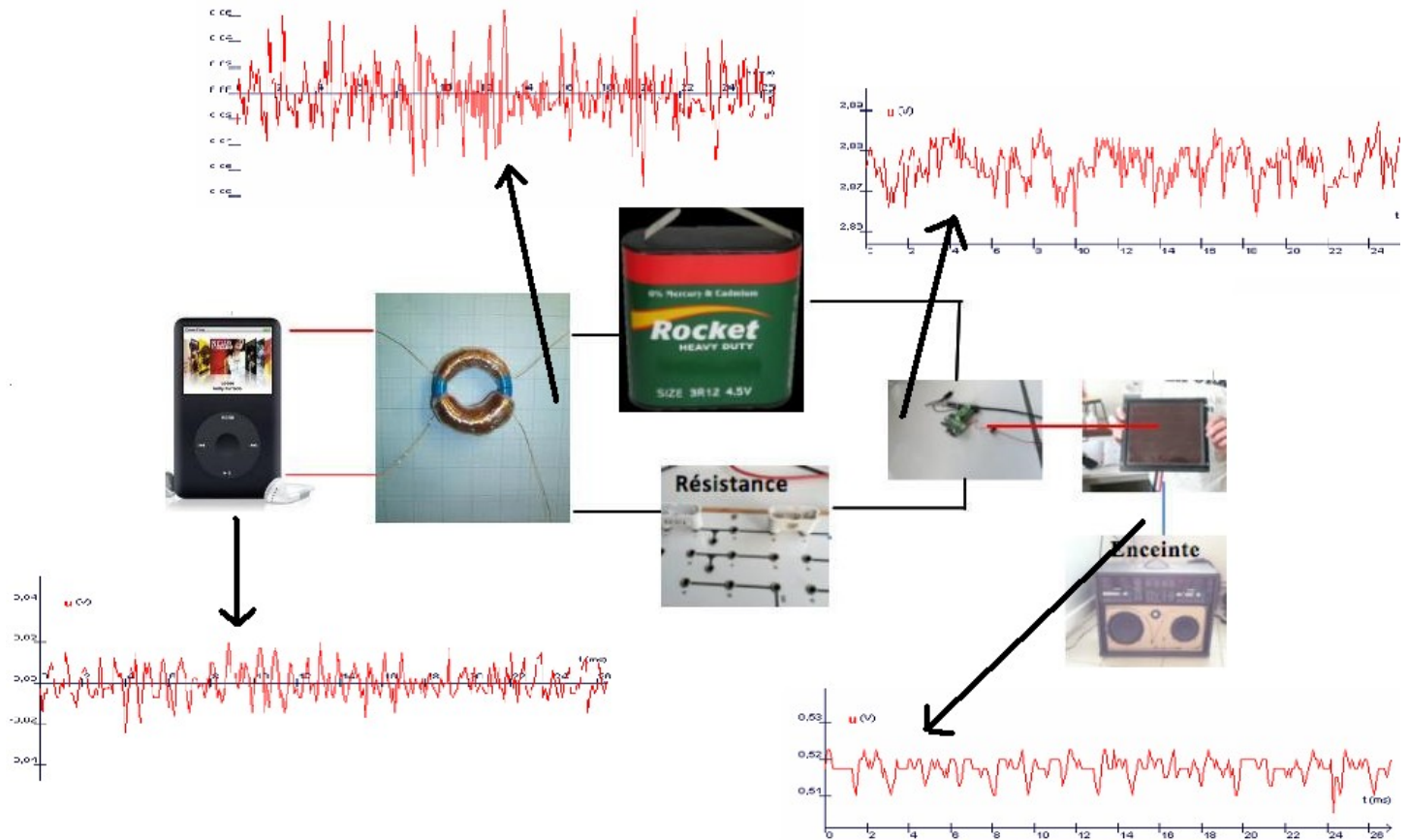
Le signal perçu correspond à la superposition des variations de la musique et de la tension de la pile. Nous avons ainsi modulé la tension d'alimentation du laser. L'intensité de la lumière qu'il produit est donc modulée par la musique.

Signal perçu aux bornes de cellule photovoltaïque :



Le signal correspond à celui de la musique mais on remarque une saturation au niveau de certaines variations de la musique qui forment des créneaux. Cela ne modifie pas la perception de la musique récupérée par l'enceinte et c'est sûrement dû à notre cellule photovoltaïque.

Récapitulatif :



Conclusion :

L'information du signal électrique issu de l'Ipod est devenue une information lumineuse à l'aide du dispositif qui a modulé l'intensité lumineuse du laser. La cellule photovoltaïque a permis de convertir l'énergie lumineuse en courant électrique qui en alimentant l'ampli, nous redonne notre musique à une certaine distance qui peut être très grande. Nous avons donc réussi à transmettre notre musique à l'aide d'un laser avec aucune modification audible de la musique à la sortie de l'enceinte.

VII. Le Lifi, une technologie lumineuse

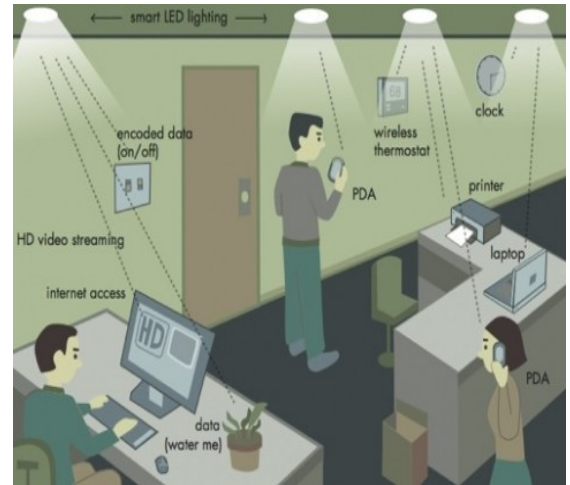
a) Fonctionnement :

Le Lifi (Light Fidelity) est un wifi du futur. Il permet de transmettre des informations à l'aide de lumière dans l'air tout comme notre dispositif.

Il fonctionne à l'aide de DEL spéciales qui clignotent haute fréquence. Il marche comme un message en morse :

- Lorsque la lumière est allumée (1)
- Lorsque la lumière est éteinte (0)

Ce flux de 1 et de 0 permet de transmettre l'information.



la
à

b) Avantages et inconvénients :

| Avantages | Inconvénients |
|---|--|
| <p>-<u>Moins t'interférence</u> : Il est utilisable dans des zones sensibles (avions, hôpitaux)</p> <p>-<u>La santé</u> : Utilisation d'ondes lumineuses contrairement au wi-fi.</p> <p>-<u>La vitesse</u> : 800 Mbit/s pour le LiFi contre 100 Mbit/s en moyenne pour le WiFi.</p> <p>-<u>Développement durable</u> : Les Leds sont très écologiques et possèdent une longue durée de vie.</p> | <p>-Nécessiter d'une bonne visibilité entre l'émetteur et le récepteur. (<i>si un objet ou une personne cache le récepteur l'information n'est plus transmise.</i>)</p> <p>-Prouver que cette technologie est viable à grande échelle car le dispositif est encore en laboratoire.</p> <p>-L'installation pourrait être coûteuse : changer toutes les lampes par des Leds spéciales et les brancher sur le réseau.</p> |

c) Idées d'utilisation :

-Dans un musée Parisiens : associer l'éclairage des tableaux à des informations envoyées au public sur des tablettes ou smart phones.

-La société Odelcomm : commercialisation d'une lampe diffusant de la musique, avant de viser en 2014, la transmission d'internet via le réseau d'éclairage

-Dans l'automobile : Un capteur devant la voiture pourrait capter la lumière des feux de la voiture devant quand elle freine.

Conclusion générale : Le son et la lumière sont de nature très différentes, mais leur caractère ondulatoire commun permet de proposer des concepts comme celui-ci en utilisant des techniques provenant du domaine de l'acoustique ou du visible. Nous avons réussi à transmettre un son en mettant à profit les propriétés de la lumière. Celle-ci peut donc chanter. Fireworks de Katy Perry est une chanson lumineuse ! (Vive le jeu de mots !)