

# Sciences et Sons

Mensuel

Mars 2017



AMAR Nathan  
CHAGNAUD Iris  
DOHY Giulia

Numéro spécial – Hors série – Mars 2017 – Ne peut être vendu

## Le Luminophone

Lycée Jean-Baptiste Say 1<sup>ère</sup> 5 SI

Retrouvez nous sur #sciencesetsons et sur [www.sciencesetsons.com](http://www.sciencesetsons.com)

## SOMMAIRE

<b>EDITO</b>	3
<b>INTRODUCTION</b>	4
<b>LE SAVIEZ-VOUS ?</b>	6
La lumière	6
Le son	7
La fréquence	9
Jacques Dudon	10
<b>LE LUMINOPHONE</b>	11
Source lumineuse	13
Les disques et leur conception	14
Le programme informatique	15
Le fonctionnement du programme	16
Interfaces du programme	17
Le moteur et la carte Arduino	18
Le capteur photovoltaïque	19
Le condensateur	20
L'enceinte	22
<b>EXPERIENCES ET AMELIORATIONS</b>	24
Analyse des premiers disques	25
Les expériences	26
Améliorations du programme	27
Résultats obtenus	28
<b>CONCLUSION</b>	29
<b>ANNEXES</b>	31
Bibliographie	32
Disques	34
Programme informatique	37

# Sciences & Sons

## Edito

Il est probable que l'Homme de Néandertal pensait que la lumière fulgurante des éclairs qu'il observait dans le ciel lors des orages générait le vacarme qu'il entendait pendant ces épisodes météorologiques.

Au fil des siècles, les scientifiques ont prouvé que ce n'était pas le cas.

Est-ce dire pour autant que la lumière ne peut pas être une source de son ?

Comme les scientifiques ont également démontré que la lumière et le son correspondaient tous deux à des ondes, on imagine qu'il est envisageable de « passer » de l'un à l'autre. Mais comment ?

Ce sont les questions auxquelles nous avons cherché à répondre dans le cadre de notre Travail Personnel Encadré (TPE).

A cette fin, nous avons mobilisé et approfondi les connaissances et les méthodologies que nous avons acquises, au cours des deux dernières années, dans les domaines de la Physique d'une part et des Sciences de l'Ingénieur d'autre part.

Nous avons choisi de restituer notre démarche et ses résultats sous la forme d'un numéro spécial d'une revue scientifique imaginaire qui serait consacré à ce sujet. Une part importante de la revue est consacrée à la présentation d'un montage que nous avons effectué pour mettre en pratique nos travaux, on peut même dire pour les « mettre en musique »...

Nous sommes trois élèves de Première SI du Lycée Jean-Baptiste Say à Paris. Aussi, si ce Numéro Spécial était déposé au CDI de notre Cité Scolaire, nous serions heureux que sa lecture puisse susciter des vocations chez les jeunes collégiens de notre établissement, qui ont commencé l'étude de la Technologie en classe de sixième et, désormais, de la Physique dès la classe de cinquième.



### Problématique

### Comment transformer la lumière en son ?



EPREUVE ANTICIPEE DU  
BACCALAUREAT SERIE SI  
TRAVAUX PERSONNELS ENCADRES

Recherches, conceptions, et expérimentations réalisées par :

Nathan AMAR  
Iris CHAGNAUD  
Giulia DOHY

Directeurs des travaux scientifiques :  
M PAVOIS Professeur  
Physique-Chimie  
M. SANCHEZ  
Professeur Sciences de l'Ingénieur  
ANNEE 2016 – 2017

Adresse de la publication :  
Lycée Jean-Baptiste Say  
11 bis rue d'Auteuil  
75016 PARIS

# Introduction

La lumière est une onde et sa fréquence peut être très élevée. C'est ce que nous avons appris en classe de seconde ainsi qu'en classe de première.

Tous les trois pianistes et amateurs de musique nous sommes particulièrement sensibles aux sonorités. Le son est en fait composé d'ondes, et chaque note de musique est associée à une fréquence précise. Celles-ci sont considérablement plus petites que celle de la lumière (le ratio entre ces fréquences se chiffre en milliards).

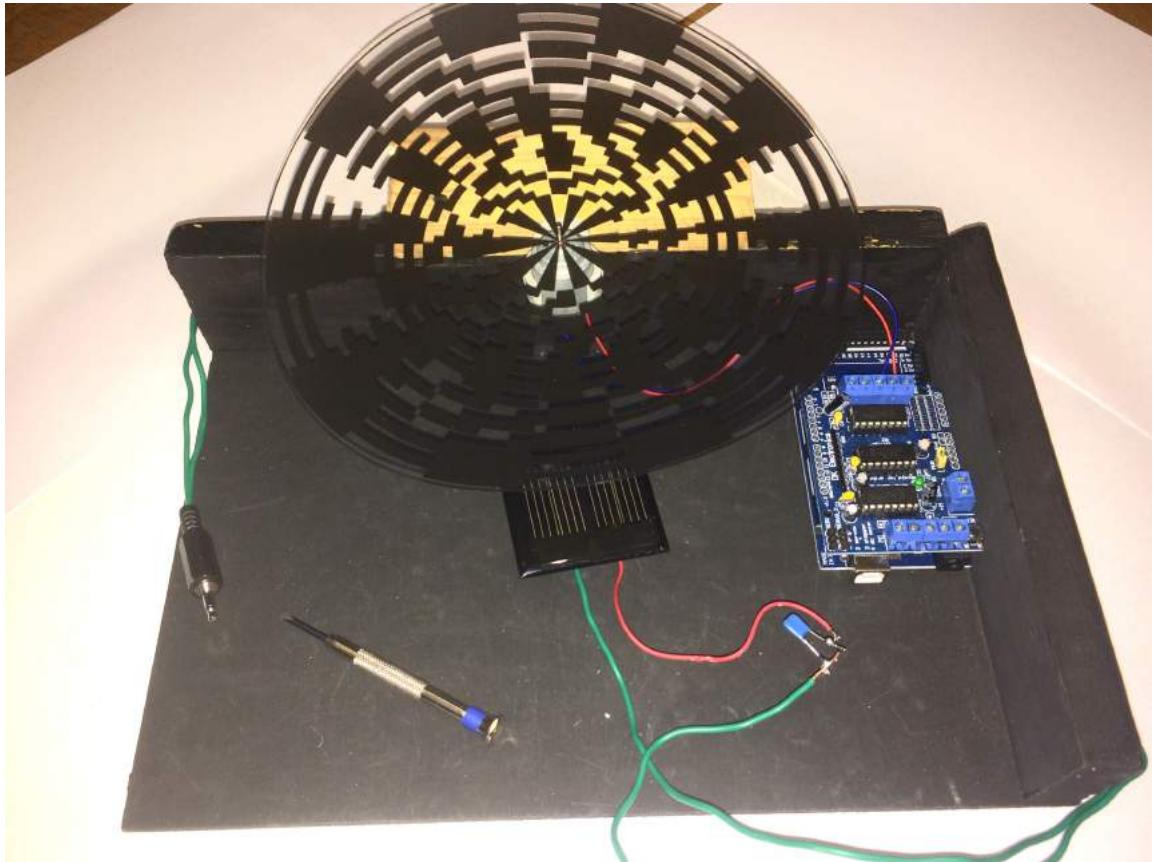
Ce rapprochement nous a amené à nous demander si l'on pouvait établir des liens entre ces ondes si différentes. Différentes dans leurs fréquences, mais aussi par les sens humains qu'elles sollicitent.

Le principe du téléphone a retenu notre attention : il repose sur une première « conversion », des ondes sonores en impulsions électriques, puis en une seconde conversion, des impulsions électriques en ondes sonores. Par analogie, nous nous sommes interrogés sur la possibilité de convertir de la lumière en sons.

Nous avons décidé que la démonstration de cette éventuelle possibilité devrait passer en particulier par une expérimentation au moyen d'un appareil que nous construirions à partir de composants standards.

En conséquence, dans la mesure où elle relève à la fois de la physique et des sciences de l'ingénieur, cette interrogation constitue une problématique adaptée pour un Travail Personnel Encadré.

C'est pourquoi notre numéro hors série de Sciences et Sons met ce mois-ci le luminophone en lumière. L'objet d'étude présenté est d'expliquer comment transformer la lumière en son ?



Le présent dossier restitue sous forme de fiche les étapes successives de la démarche que nous avons suivie tout au long de ces Travaux Personnels Encadrés.

Nous présentons d'abord la problématique à laquelle cherche à répondre notre TPE

Puis, nous exposons les travaux que nous avons conduits :

- Les investigations préalables que nous avons menées, d'une part dans le domaine théorique et d'autre part dans le domaine des applications pour évaluer si des travaux ont déjà été menés autour de la problématique retenue ;
- La conception d'un appareil dédié à l'expérimentation et la réalisation opérationnelle de son montage ;
- Le développement d'un programme informatique pour l'impression des disques musicaux ;
- Le fonctionnement de l'appareil, les résultats obtenus et leurs interprétations.

Enfin nous mettons en avant les enseignements que nous avons tirés de nos travaux et les perspectives que l'on peut en dégager pour l'avenir.



# Le saviez vous ?

## La lumière

La lumière est l'élément de base de notre TPE étant donné que nous avons cherché à convertir une onde lumineuse en onde sonore. Mais tout d'abord, qu'est-ce que la lumière ? Ce phénomène que l'on ne peut pas toucher nous affecte pourtant en permanence car la lumière est ce qui permet de rendre visible un objet à nos yeux en l'éclairant.

### 1- La lumière, une onde électromagnétique

La lumière est une onde dite électromagnétique qui, contrairement au son, peut se propager dans le **vide**. Demandons-nous donc dans un premier temps ce qu'est une **onde électromagnétique**. Dans tout l'univers s'étend un champ électromagnétique. Ainsi, lorsque ce champ est perturbé, une onde se propage dans le vide à partir de la perturbation.

### 2-La propagation de la lumière

Pour commencer il faut noter que la lumière se propage dans le vide, ainsi que dans la matière mais uniquement au travers des milieux transparents. La lumière ne peut pas se propager dans un milieu opaque. Elle se déplace en ligne droite dans le vide et dans la matière : on dit que sa propagation est rectiligne dans les milieux transparents, homogènes et isotropes. D'autre part, la lumière peut se propager dans **toutes les directions**.

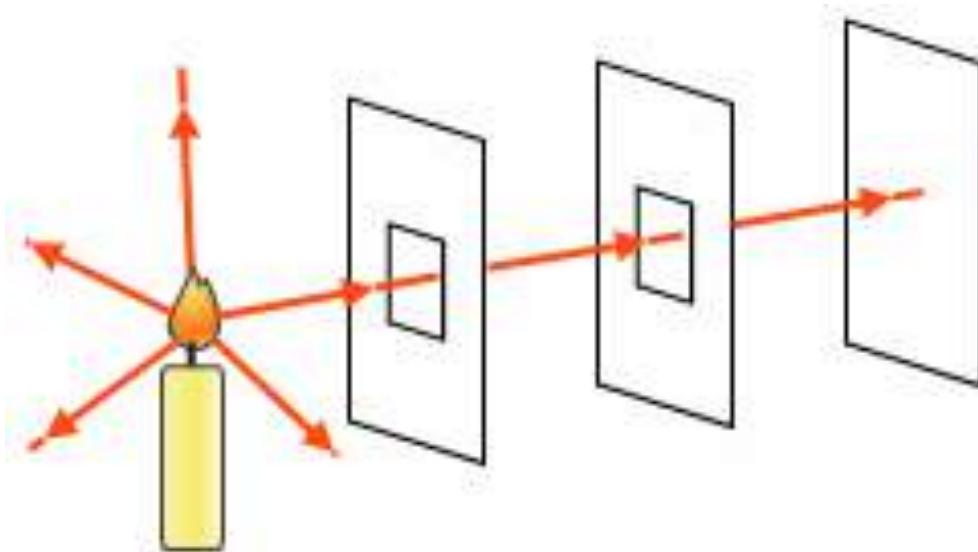
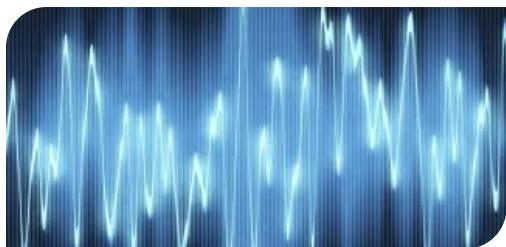


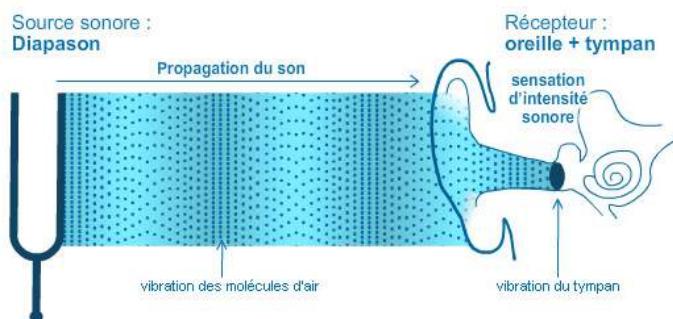
Schéma de la propagation de la lumière dans l'air



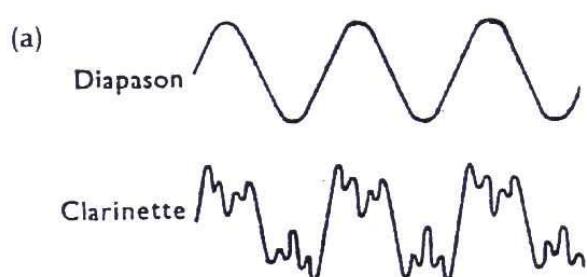
# Le saviez vous ?

## Le son

Le son est une sensation auditive créée par une vibration dans l'air. Les vibrations produites se propagent sous forme d'ondes. Les ondes sonores ne peuvent se déplacer que dans un milieu, alors que la lumière peut aussi se propager dans le vide. En effet, ces ondes se propagent par compression et dilatation de la matière. Les molécules se déplacent par tranches d'air : lorsqu'une tranche en rencontre une autre, elle va pousser cette dernière formant ainsi une zone de compression. Elle va ensuite revenir à sa place car l'air est, en quelque sorte, élastique, créant ainsi une succession de zones de compression et de dépression. Cela signifie que ce n'est pas une molécule qui transporte les vibrations jusqu'à notre oreille, mais une succession de molécules qui se poussent et reviennent à leur place. On parle d'onde longitudinale.

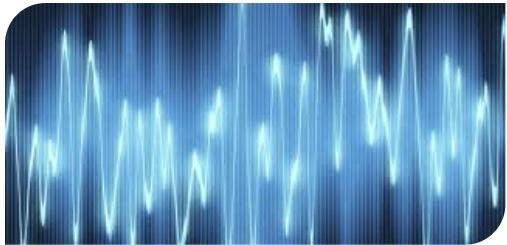


Il faut également savoir qu'il existe deux formes de son : les sons purs et les sons complexes. Le diapason est un bon exemple de son pur. Lorsque l'on joue la note « LA » avec le diapason, celui-ci va émettre un son composé d'une seule fréquence de 440 Hz. On obtient ainsi une onde sinusoïdale. En jouant la même note avec une clarinette, on obtient le son pur produit par la note jouée ainsi que d'autres fréquences qui vont se rajouter. C'est un son complexe. Un son complexe est donc une combinaison de différentes fréquences.



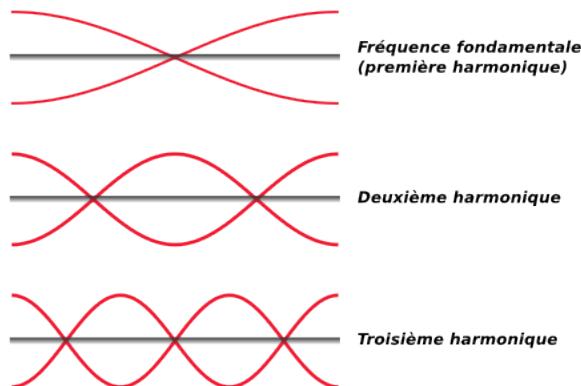
son pur

son complexe de même fréquence fondamentale que le son pur du diapason



## Le son

Pour approfondir un peu la notion de son complexe, nous allons décomposer le son « LA » en une somme de sons purs dont le premier, de fréquence 440 Hz, est nommé le fondamental F0. S'ajoutent alors à ce fondamental d'autres sons purs, les harmoniques, dont le poids est inférieur à celui du premier. Ces sons sont différenciés par leur amplitude. Par ailleurs, la fréquence qui domine dans le cas d'un son complexe est la fréquence fondamentale.

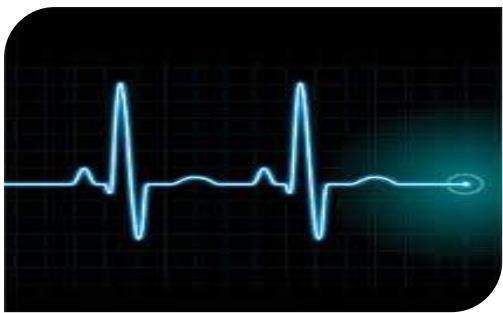


Décomposition des harmoniques allant de la fréquence fondamentale à la troisième harmonique.

La fréquence des harmoniques est un multiple de la fréquence fondamentale.

### Un peu de vocabulaire :

**Onde longitudinale** : onde pour laquelle la déformation du milieu se fait dans la même direction



# Le saviez vous ?

## La fréquence

La fréquence est une des caractéristiques principales d'une onde, comme le son ou la lumière. Plus la fréquence d'une onde est élevée, plus cette onde possède de l'énergie.

La fréquence est l'inverse de la période (d'où la relation  $f = 1 / T$  avec  $f$  la fréquence et  $T$  la période). Elle traduit le nombre de fois où un phénomène périodique se produit en un temps donné. Notée  $v$  ou  $f$ , elle s'exprime en Hertz (Hz) ou en un de ses multiples. Un Hertz équivaut à une oscillation par seconde.

La fréquence d'un son correspond à sa hauteur : une faible fréquence équivaut à un son grave, et une fréquence élevée à un son aigu. L'oreille humaine est capable de percevoir les sons ayant une fréquence située environ entre 20 Hz et 20 kHz. Les sons sont qualifiés d'infrasons en dessous de cette plage, et d'ultrasons au-delà.

En ce qui concerne la lumière, sa fréquence correspond à sa couleur: l'œil humain peut percevoir les fréquences du rouge (à partir de 405 THz) au violet (jusqu'à 790 THz). Celles inférieures à ces limites appartiennent au domaine des infrarouges et celles au-delà, aux ultraviolets.

Les fréquences des couleurs visibles étant très élevées, la notion de longueur d'onde leur est préférée. Ainsi, la longueur d'onde et la fréquence sont inversement proportionnelles et unies par la relation:

- où  $\lambda$  est la longueur d'onde de l'onde électromagnétique,
- $c$  la vitesse de la lumière ( $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )
- et  $v$  la fréquence de l'onde.

$$\lambda = \frac{c}{v}$$

Donc, plus la longueur d'onde, d'une onde lumineuse est petite, plus sa fréquence est élevée, et vice-versa.

### Un peu de vocabulaire :

#### **Phénomène périodique:**

phénomène qui se reproduit identique à lui-même, à intervalles de temps égaux.

**Milieu homogène** : milieu dont les propriétés physiques sont les mêmes en chacun de ses points.

**Milieu isotrope** : milieu qui présente les mêmes caractéristiques physiques dans toutes les directions.

**Milieu opaque** : milieu qui ne laisse pas passer les rayons lumineux. Il peut les absorber ou les diffuser.

**Milieu transparent** : milieu qui laisse passer les rayons lumineux et les transmet sans changement de direction et sans être, ou très peu, réfléchis.



Sciences & Sons - Hors série - Mars 2017 - Page 9

## Jacques Dudon



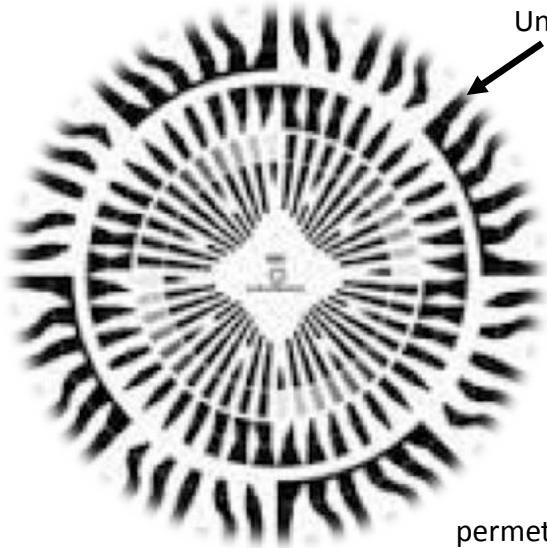
Jacques Dudon est un compositeur et luthier expérimental français. Il est connu pour ses recherches sur la synthèse sonore micro-tonale utilisant des disques photosoniques: instrument de synthèse graphique permettant la génération optique des sons, développé à partir de 1972. La synthèse sonore "photosonique" n'utilise aucun synthétiseur électronique mais la simple lumière, naturelle ou artificielle, traversant les formes dessinées sur des disques transparents en rotation pour venir éclairer une cellule photovoltaïque directement branchée à l'entrée d'un amplificateur.

Il est donc l'inventeur du « grand frère » de notre Luminophone© mais bien plus approfondi. Sa technique est encore aujourd'hui unique au monde. Elle produit même des sons constitués d'harmoniques. Le Photosonique est un véritable instrument de musique.

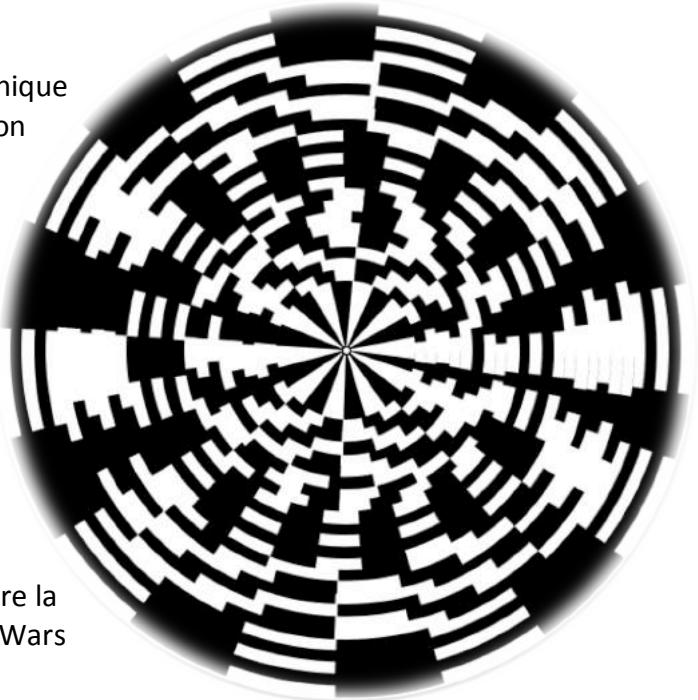
Nous nous sommes inspirés du travail de Jacques Dudon et de son disque photosonique. En effet, notre système semble très proche du sien.

**Et pour aller plus loin...**

[http://www.dailymotion.com/video/xdr7na\\_jacques-dudon-disque-photosonique\\_creation](http://www.dailymotion.com/video/xdr7na_jacques-dudon-disque-photosonique_creation)



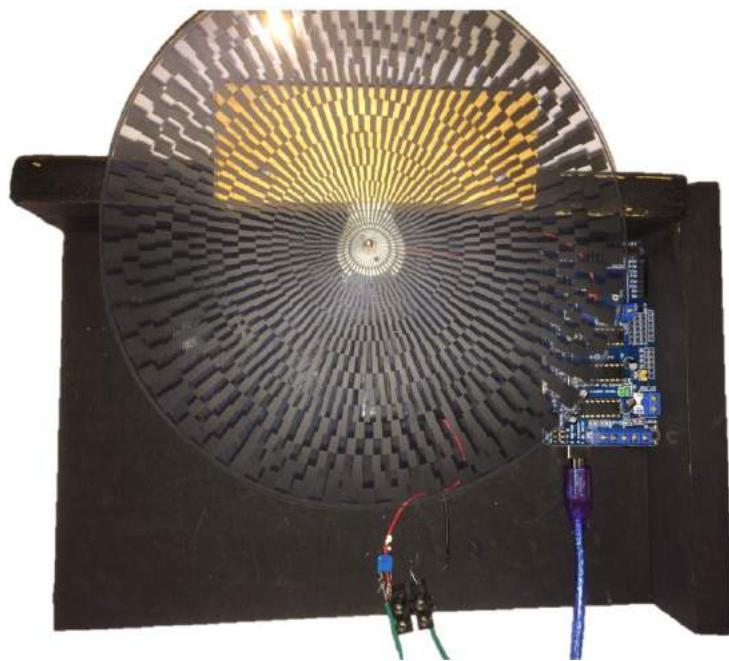
Un disque photosonique  
de Jacques Dudon



Notre disque  
permettant de reproduire la  
célèbre mélodie de Star Wars

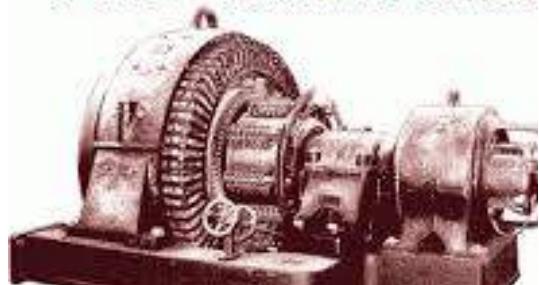
*Transformer la lumière en son,  
un rêve devenu réalité ?*

*Le Luminophone®...*

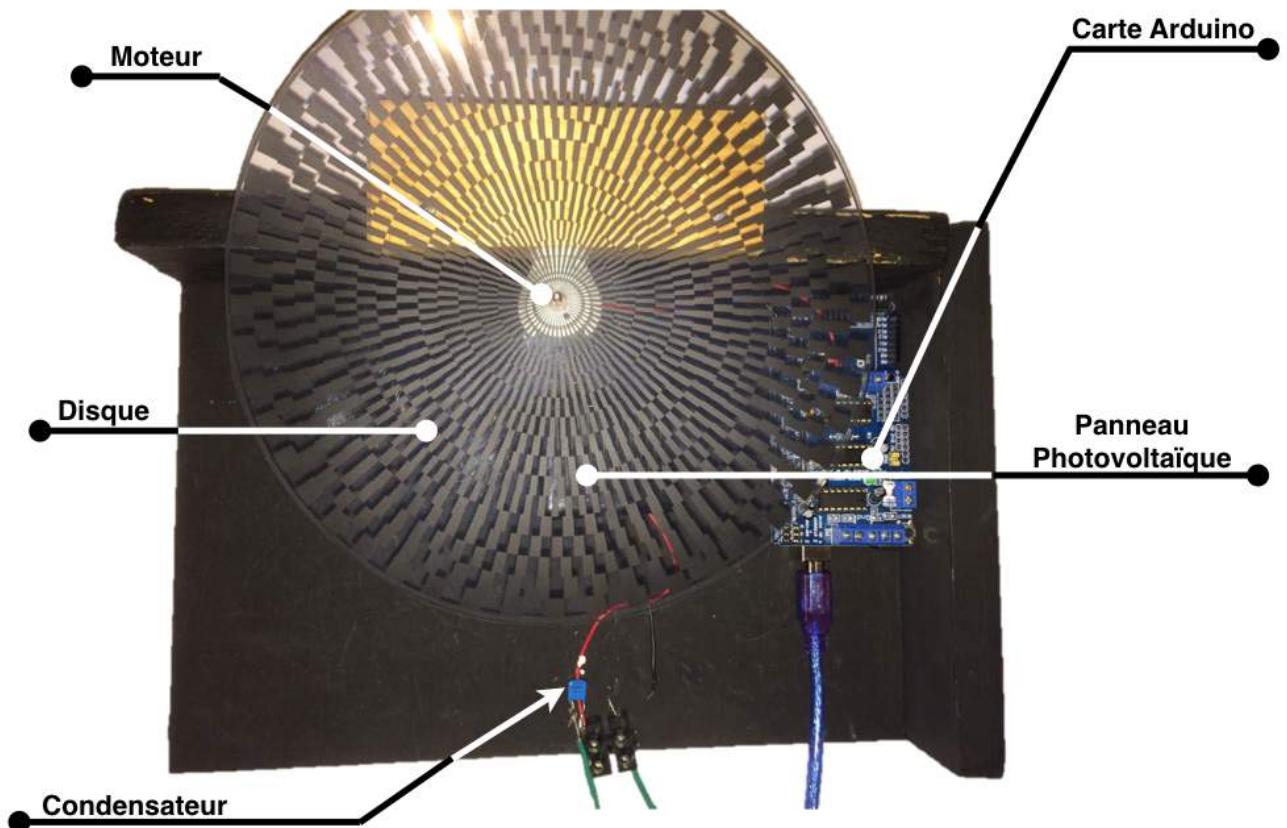
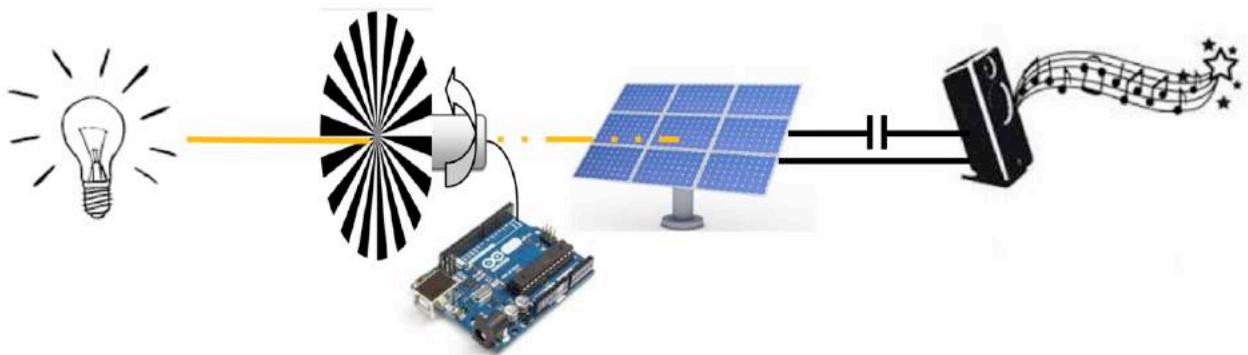


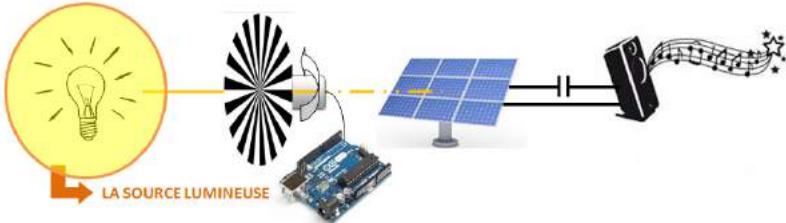
**MUSIQUES  
INNOVATRICES**

19<sup>e</sup> ÉDITION DU 30 MAI AU 1<sup>er</sup> JUIN 2008



# Le Luminophone





Afin de transformer la lumière en son, il faut bien évidemment un rayon lumineux.

Lors de notre expérience, nous avons utilisé une source lumineuse artificielle et, plus précisément, une lampe électrique. Nous avons néanmoins dû choisir entre deux sources différentes : une lampe à incandescence ou une DEL (Diode électroluminescente).

- Une **lampe à incandescence** est constituée d'un filament parcouru par un courant électrique. Le passage du courant chauffe ce filament qui émet alors de la lumière. C'est donc une lumière chaude qui se rapproche de celle du Soleil. Sa température est d'environ 2700K. La lumière incandescente émet selon un spectre continu et possède de ce fait la capacité de restituer fidèlement les couleurs des objets.

- La **diode électroluminescente** (tout comme les lasers, les lampes à vapeur de mercure ou de sodium, etc.) n'émet pas de lumière à cause de sa chaleur. Elle produit de la lumière issue de phénomènes quantiques au cœur des atomes : l'excitation puis la désexcitation des électrons. Ceux-ci émettent des photons en retournant à leur niveau d'énergie habituel. Ce sont ces photons qui composent la lumière. La température des ampoules DEL varie selon le modèle, pouvant aller de 2400K à 6500K.

Pour choisir entre ces deux sources lumineuses, nous avons testé notre dispositif en utilisant une ampoule à incandescence de 4,5V, puis de 8V et enfin le flash d'un téléphone qui est constitué d'une DEL blanche. Nous avons ainsi observé que, contrairement à nos attentes, le son obtenu avec la diode électroluminescente était le plus net.

## Source lumineuse



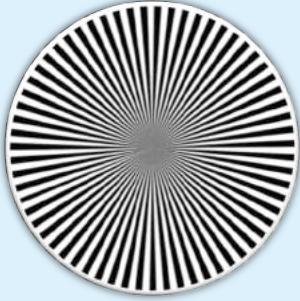
### POUR ALLER PLUS LOIN...

Il existe deux sortes de sources de lumière : les sources **naturelles** – comme le soleil ou toutes les autres étoiles, le feu provoqué par des éléments naturels comme la foudre... – et les sources **artificielles** telles le feu des bougies ou encore les lampes électriques. Néanmoins, dans les deux cas, ces sources lumineuses sont dites **primaires**, car se sont des corps qui produisent eux-mêmes la lumière qu'ils émettent. On qualifie les objets **diffusants** de sources **secondaires**.

### Un peu de vocabulaire :

**Incandescence** : émission de lumière due à la chaleur et à une augmentation de la température. En effet, tout corps chauffé suffisamment émet de la lumière, comme par exemple le Soleil, des braises, une bougie, une lampe à filament...

**Kelvin (K)** : unité de température thermodynamique



### LE SAVIEZ-VOUS ?

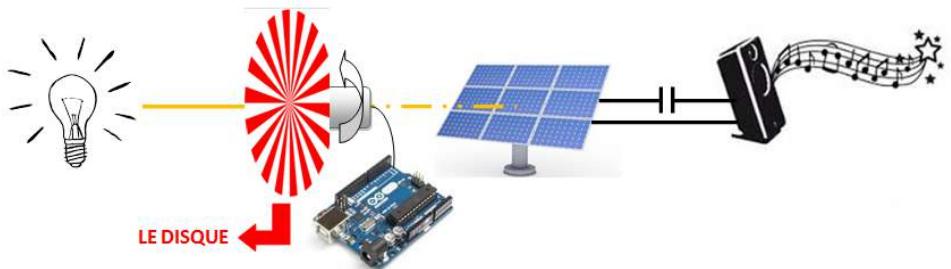
La **vitesse du son** est la distance parcourue par le son en un certain temps : par exemple, dans l'air, la vitesse du son est d'environ **340 m.s<sup>-1</sup>**. Cela signifie que si un objet produit une vibration à 340 mètres de votre oreille, il s'écoule 1 seconde entre le moment où le bruit est produit et le moment où vous l'entendez.

En 1905, Albert Einstein a démontré que la **vitesse de la lumière** dans le vide était la vitesse maximale possible. Elle est donc une vitesse limite : aucun objet ne peut aller plus vite que la lumière dans le vide, pas même le *Faucon Millenium* dans *Star Wars* qui prétend être cent cinq fois plus rapide que la lumière !

On appelle la vitesse de propagation d'une onde sa **célérité**, notée  $c$ . L'écart entre la vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air étant très faible, on parle plus simplement de la **vitesse de la lumière** que l'on arrondi généralement à  **$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$** . La lumière parcourt donc 300 000 kilomètres en une seconde, soit plus de trois cent fois la distance Paris-Marseille !

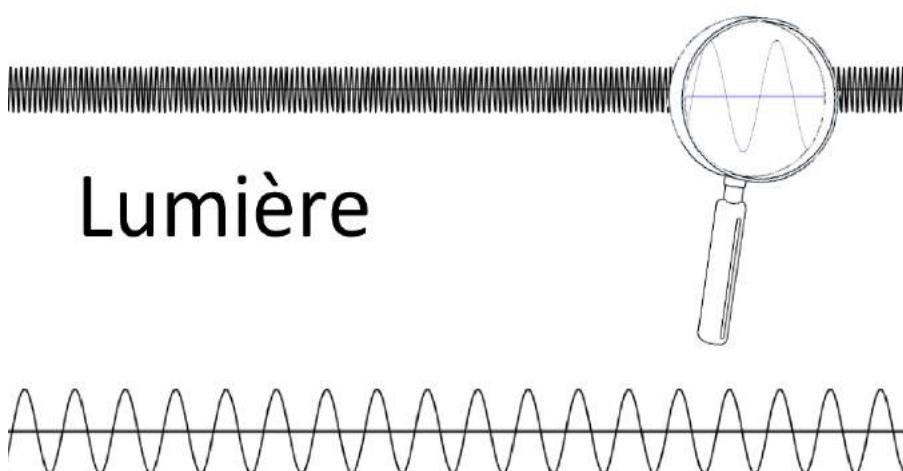
Ces vitesses ont quand même quelques points communs : elles varient toutes les deux selon les milieux, par exemple...

## Les disques et leur conception



Nous avons vu précédemment que la lumière et le son sont tous deux caractérisés par une fréquence. Cependant, la lumière se propage beaucoup plus rapidement dans l'air que le son. Ainsi, si on compare la courbe caractéristique de la fréquence de la lumière par rapport à celle du son sur un graphique de même échelle, la lumière apparaît comme une ligne droite. De ce fait, nous avons créé un disque afin de pulser la lumière à une certaine fréquence captée par le panneau solaire.

Nous avons développé notre propre programme informatique pour la création de multiples disques.



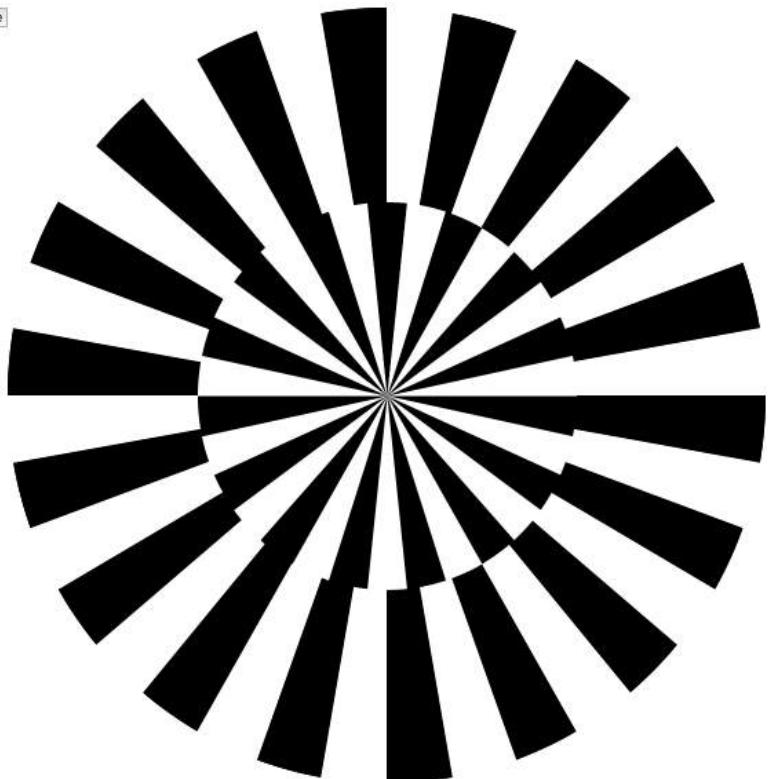
Son

# Le Programme Informatique

Dans le but de faciliter la conception de nos disques, nous avons créé un programme informatique (voir Annexes) sous la forme d'une page web afin de les générer de la manière la plus simple possible. Nous avons donc utilisé différents langages, principalement du JavaScript mais aussi d'autres comme HTML, CSS et JQUERY.

Tout d'abord, souvenez-vous de quelques informations... La fréquence – exprimée en hertz – représente le nombre d'oscillations par seconde (ondes). La fréquence correspond plus généralement au nombre de répétitions d'un phénomène périodique pendant une seconde. Par exemple, 50 Hz correspondent à 100 changements par seconde (chaque borne est positive 50 fois et négative 50 fois chaque seconde). Retenez bien toutes ces données, elles vous seront utiles pour mieux comprendre la suite.

Disque 1	Disque 2
Intervalle 1 10	Intervalle 1 12
Intervalle 2 10	Intervalle 2 12
Intervalle 3 10	Intervalle 3 12
Intervalle 4 10	Intervalle 4 12



## Le dico des geeks débutants:

Il existe aujourd'hui de nombreux langages informatiques. Ces langages de programmation nous permettent de donner des instructions à un ordinateur en décrivant l'ensemble des actions consécutives qu'il doit exécuter. En voici quelques exemples :

- **JavaScript** : langage de programmation de scripts principalement employé dans les pages web interactives.
- **HTML (HyperText Markup Language)** : format de données conçu pour représenter les pages web. C'est un langage de balisage permettant d'écrire de l'hypertexte, d'où son nom.
- **CSS (Cascading Style Sheets)**: les "feuilles de styles en cascade" en français permettent de mettre en forme des documents web. Par l'intermédiaire de propriétés d'apparence et de placement, le rendu d'une page web peut être intégralement modifié sans aucun code supplémentaire dans la page.
- **JQUERY** : bibliothèque JavaScript créée pour dynamiser les éléments HTML des pages web.

# Le Fonctionnement du programme

Pour concevoir nos disques, nous avons créé un programme sur la base de diagrammes circulaires.

Notre programme commence par créer quatre intervalles égaux ou non. Ensuite, il répète ce motif un certain nombre de fois.

Par exemple, si on choisit un premier intervalle égale à  $1^\circ$ , un deuxième à  $2^\circ$ , un troisième à  $3^\circ$ , et un quatrième à  $4^\circ$ , la somme de ces quatre intervalles est alors égale à  $10^\circ$ . Il faut donc reproduire ce motif 36 fois pour compléter un cercle qui correspond à 360 degrés ( $360/10 = 36$ ).



Zoom sur les quatre intervalles

$$1^\circ + 2^\circ + 3^\circ + 4^\circ = 10^\circ$$

Cependant ce nombre peut changer si on choisit des intervalles qui correspondent à des angles différents. Lors de nos expériences, nous avons seulement utilisé des disques à intervalles réguliers. En effet, nous avons testé un disque correspondant à l'exemple précédent, et le son obtenu était un son pur.

## Extrait du programme : quelques fonctions fondamentales (Programme intégral en annexe)

La fenêtre 1 est une capture d'écran du code nous permettant de créer un intervalle, c'est à dire un angle opaque ou transparent. Il s'agit d'une fonction qui est exécutée au sein d'une boucle « for » et ainsi répétée un certain nombre de fois.

Intéressons-nous à la ligne:

« context.fillStyle = colors[i] »

Cette ligne sert à remplir l'intervalle créé avec une couleur. Cette couleur est déjà enregistrée dans un tableau situé dans la fenêtre 2. En effet, dans la dernière boucle « for », nous ajoutons au tableau « color » les valeurs en « hex code » du noir : « #000000 » et du blanc: « #FFF ».

### Fenêtre 1

```
function drawSegment(canvas, context, i) {  
    context.save();  
    var centerX = Math.floor(canvas.width / 2);  
    var centerY = Math.floor(canvas.height / 2);  
    radius = Math.floor(canvas.width / 2);  
  
    var startingAngle = degreesToRadians(sumTo(data, i));  
    var arcSize = degreesToRadians(data[i]);  
    var endingAngle = startingAngle + arcSize;  
    context.beginPath();  
    context.moveTo(centerX, centerY);  
    context.arc(centerX, centerY, radius,  
               startingAngle, endingAngle , false);  
    context.closePath();  
  
    context.fillStyle = colors[i];  
    context.fill();  
  
    context.restore();  
}
```

### Fenêtre 2

```
for (i=0; i<(data.length /2)+2 ; i++ ) {  
  
    colors.push("#000000");  
    colors.push("#FFF");  
  
};
```

# Interfaces du programme

Nombre de disques :

disques réguliers ?

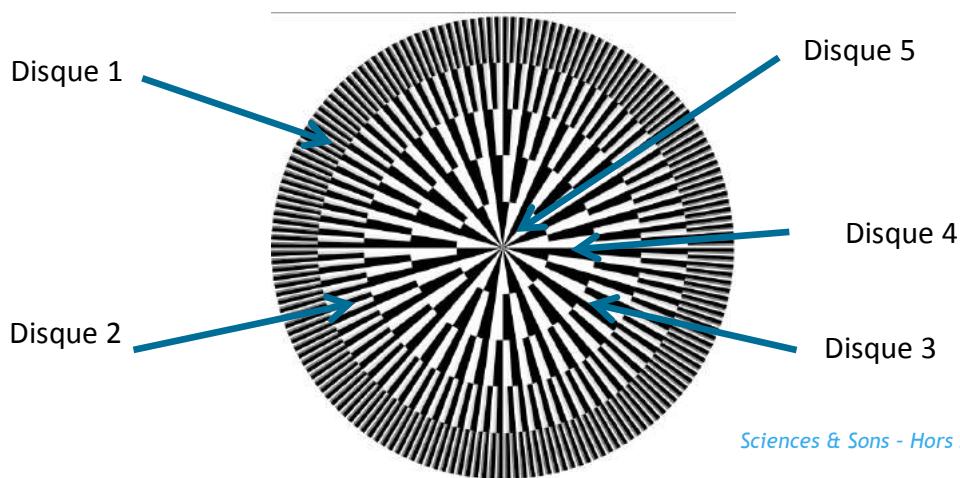
test (OK) ou fréquence (annuler)

Vitesse ? (tours/sec)

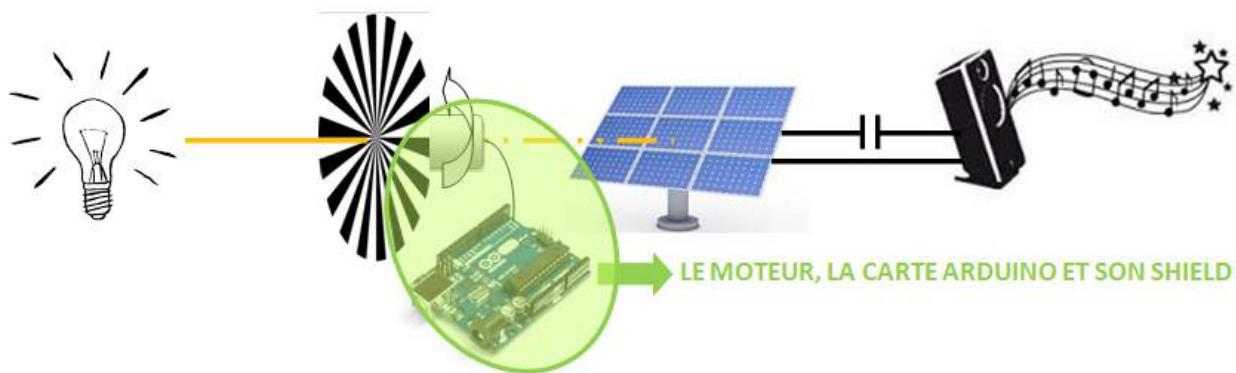
Nombre d'harmoniques



Disque 1	Disque 2	Disque 3	Disque 4	Disque 5
Fréquence (en Hz) 1760	Fréquence (en Hz) 880	Fréquence (en Hz) 440	Fréquence (en Hz) 220	Fréquence (en Hz) 110
Harmonique 1 3520	Harmonique 1 1760	Harmonique 1 880	Harmonique 1 440	Harmonique 1 220
Harmonique 2 <input type="text"/>				
Vitesse : 10 tours/sec				



# Le moteur et la carte Arduino



Après la réalisation du disque, il est nécessaire de le raccorder à un moteur et à une carte programmable pour le contrôle. Nous nous sommes donc procuré un moteur et une carte Arduino.

## Carte « Arduino » :

La carte « Arduino » est une plateforme électronique Open source basée sur un hardware et software simple d'utilisation.

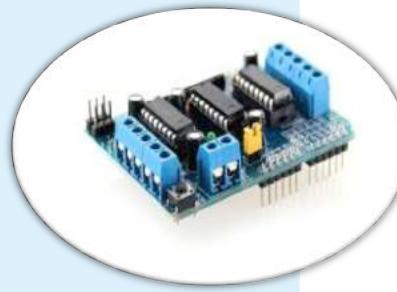
La carte détecte son environnement en recevant des informations de différents capteurs et influe sur son entourage en contrôlant lumière, moteurs et autres composants.

Il est possible de faire exécuter à « Arduino » plusieurs types d'actions grâce à son système de programmation.



## Le « Shield moteur » :

Les « Shields » sont des cartes qui peuvent être branchées sur une carte « Arduino » en étendant ses capacités. Le « shield » L293d utilisé permet de contrôler un moteur à courant continu.

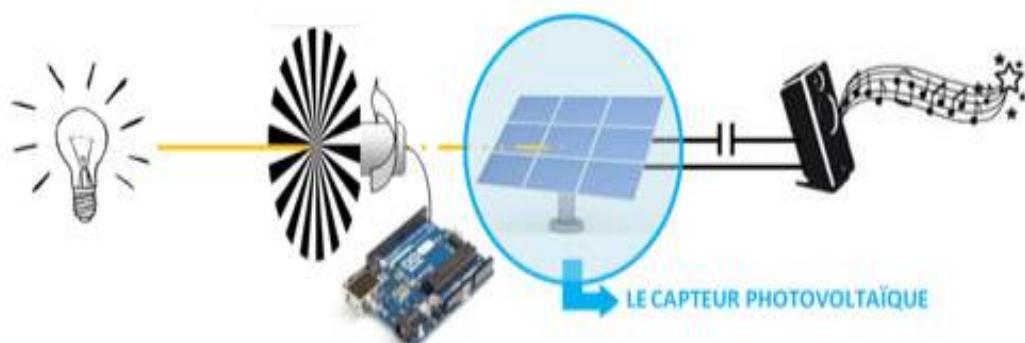


Il est possible de piloter la vitesse des moteurs en programmant la carte « Arduino ». Il faut indiquer lequel des 4 ports du « shield » est utilisé et programmer une vitesse comprise entre 0 et 255 (tension envoyée au moteur). 255 correspond au maximum et la vitesse de rotation dépend du moteur utilisé.



Dans notre montage, le moteur atteint une vitesse d'environ 18 tours. $\text{seconde}^{-1}$ .

# Le capteur photovoltaïque



Lors de notre expérience, nous considérerons que l'onde lumineuse traversant le disque transparent n'est pas déviée. Ainsi, les rayons lumineux émis par la lampe qui traversent la partie transparente ne sont pas réfractés et parviennent au panneau photovoltaïque en se propageant de manière rectiligne. Alors que les ondes électromagnétiques qui rencontrent les bandes opaques du disque sont absorbées.

Le rayon lumineux émis par notre ampoule est modulé par le disque. Mais qu'advient-il des rayons qui ont franchi les zones transparentes ?

De l'autre côté du dispositif est placé, face à la source lumineuse, un capteur photovoltaïque qui transforme les rayons reçus en électricité. Il contient des cellules de silicium qui ont la propriété de produire un courant électrique sinusoïdal lorsqu'elles sont exposées à la lumière. Notre panneau solaire nous permet donc de produire un courant sinusoïdal à partir de l'énergie lumineuse modulée par le disque.

**Réfraction :** lorsqu'une onde lumineuse passe d'un milieu transparent à un autre, elle poursuit sa route et se propage à travers ce milieu mais modifie sa direction. La réfraction s'accompagne néanmoins d'une réflexion. On observe notamment ce phénomène lorsque la lumière traverse une lentille.

T E S L A

E N E R G Y

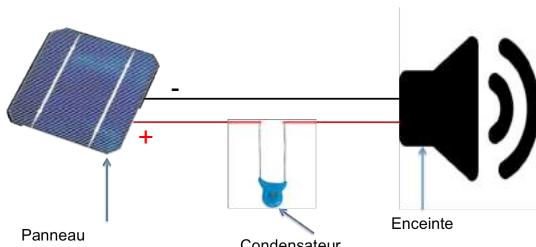
AUTHORIZED RESELLER

# Le condensateur



Un condensateur est un composant électronique dit passif. Il peut avoir différents rôles tels qu'accumulateur d'énergie, filtre antiparasite... Il peut également permettre d'éviter les discontinuités de tension et de la lisser. Il existe plusieurs formes de condensateur (plan, cylindrique, sphérique) et différentes familles: condensateur polyester, polycarbonate, polypropylène, polystyrène, céramique... chacun possédant des propriétés différentes.

Nous avons soudé dans notre montage un condensateur entre le capteur photovoltaïque et l'enceinte, sur la borne positive.



Ce condensateur est un composant électrique qui a un rôle primordial dans notre projet. Il a deux fonctions: il sert d'antiparasite et il permet également de modifier le signal électrique reçu

## Condensateur antiparasite

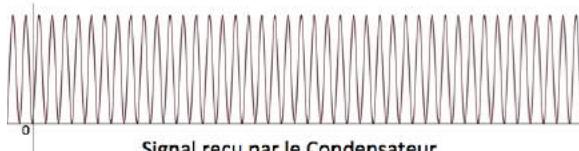
Un condensateur permet de pallier les fluctuations électriques qu'il reçoit, ainsi que de réduire les perturbations à un niveau tolérable. Il est donc nécessaire afin d'éviter tout éventuel endommagement de l'appareil. Il est donc placé en amont suite à une variation de courant.

**POUR LES  
SCIENTIFIQUES :**

**Un condensateur est composé :**

- d'électrodes (appelées cathode et anode)
- d'électrolyte (matière où sont plongées les deux électrodes)
- de diélectrique (isolant séparant les deux armatures)
- d'une coque protégeant le tout, seules les électrodes restant accessibles

Le condensateur reçoit tout d'abord le signal électrique transmis par le panneau photovoltaïque. Le signal reçu est la somme d'une tension sinusoïdale et d'une tension continue. Il est donc toujours positif.



Positif



Alternatif

Le condensateur permet de supprimer la composante continue de la tension et de transformer le signal sinusoïdal positif en un signal sinusoïdal alternatif, c'est-à-dire successivement positif et négatif.

Ainsi, en plus de sa capacité de filtrage antiparasite, le condensateur permet d'obtenir une courbe sinusoïdale alternative. Ce signal électrique est ensuite envoyé à l'enceinte.

*Deux Nouveautés en T. S. F.*

**Le Condensateur à Vernier**

Marque "Triplevè"

$C = 1/1000 + 0,1/1000 \text{ m} \mu\text{f}$

Avec Grand Bouton gradué,  
Manche isolant  
pour actionner le vernier,  
Flasques ébonite.

Minimum de Capacité résiduelle  
Maximum de Précision

Frs 85.- (Franco en France, 87.50)

---

**Le Rhéostat "Triplevè"**

Le plus perfectionné qui soit

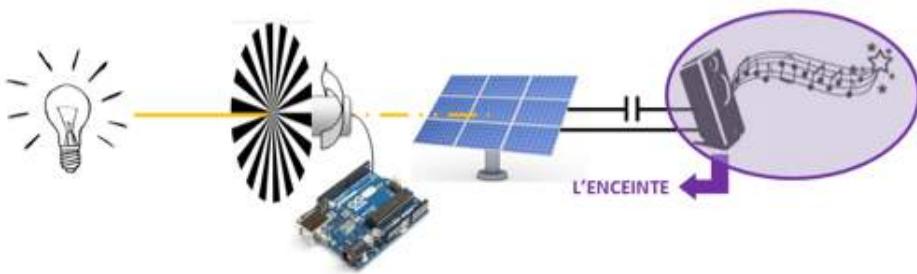
Se monte sans aucune vis,  
Livré avec beau bouton  
gravé.

Complet . . . Frs 45.-  
(Franco, 46.75)

**NOTICES FRANCO**  
Gros et Détail.

**RADIO-HALL, 23, rue du Rocher, PARIS**

# L'enceinte



Nous connaissons tous cet objet du quotidien. Mais comment fonctionne-t-il ?

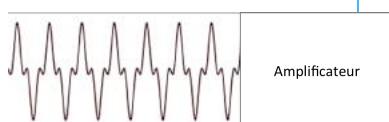
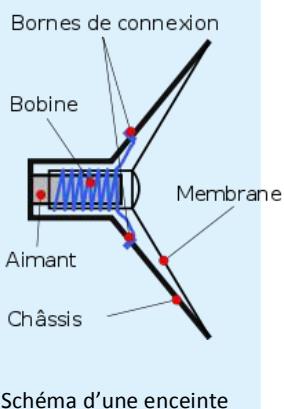
Comment le signal électrique créé à partir de la lumière est-il transformé en une musique?

Comme nous l'avons vu précédemment, grâce au capteur photovoltaïque, le signal lumineux est transformé en signal électrique alternatif (d'après le rôle du condensateur). Ainsi ce signal arrive dans l'enceinte. Celle-ci est, entre autres, composée d'un haut-parleur et d'un amplificateur.

Le haut-parleur a un rôle primordial : il va transformer le signal électrique en signal acoustique. En effet, il est constitué d'un moteur (bobine enroulée autour d'un aimant qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique). Puis cette nouvelle énergie arrive dans la membrane de l'enceinte (constituant en partie le boîtier) qui va faire vibrer l'air de chaque côté du boîtier. Lorsque la membrane avance, la pression de l'air augmente devant et diminue derrière ; et inversement. Les vibrations produites vont déplacer des masses d'air qui créent à leur tour des vibrations perceptibles par l'oreille humaine.

C'est ainsi que le signal électrique devient un signal acoustique audible. Mais qu'en est-il de l'amplificateur se trouvant dans l'enceinte ?

Un amplificateur est un système électronique qui permet d'augmenter l'intensité d'un signal électrique. Il permet de rendre un signal électrique exploitable par le reste du dispositif : ici, l'enceinte. La puissance de l'amplificateur peut se manifester de l'ordre de plusieurs milliers de watts. Il n'a pas vocation à déformer le signal d'entrée : on retrouve à la sortie ce qui est arrivé à l'entrée avec pour seule différence, une amplitude plus importante. Dans notre expérience, On obtient à la sortie de l'enceinte, notre mélodie sous forme de son pur. Ces sons dépendent de la fréquence, elle-même variable.



# SPACE CLASSICS

**FRIDAY 16 SEPTEMBER, 8:00PM  
SATURDAY 17 SEPTEMBER, 6:30PM**  
ADELAIDE SYMPHONY ORCHESTRA  
THE ENTERTAINMENT CENTRE THEATRE

ASO.COM.AU



PRINCIPAL PARTNER  
**Santos**





# Expériences et améliorations



Réalisation au laboratoire de Jean-Baptiste Say

Le disque, fixé sur le lumineuse, tourne à une

et pulse la lumière à une certaine fréquence. La lumière, en traversant le disque, n'est plus un rayon continu mais plusieurs rayons séparés par une période de temps très réduite. Le panneau solaire transforme alors la lumière en pics de tensions lorsque le disque est transparent et délivre la quantité d'électricité correspondant à la quantité de lumière passée. Il ne délivre pas d'électricité lorsque le rayon rencontre une des zones opaques du disque. Nous obtenons donc une courbe sur laquelle nous pouvons observer des vagues qui changent de sens deux fois par période en passant à chaque fois par zéro. Cependant, nous obtenons une courbe toujours positive avec notre disque et notre panneau solaire. Le condensateur est l'élément qui nous permet d'obtenir un courant alternatif.

moteur et exposé à la source vitesse constante assez élevée

## Premières expériences réalisées sur les disques à l'aide du Luminophone®.

- Détermination de la vitesse du moteur :** La première chose à faire est de déterminer la vitesse de rotation du moteur. Nous avons donc utilisé un tachymètre qui est un instrument de mesure permettant de déterminer la vitesse angulaire d'un arbre moteur. La vitesse ainsi mesurée était de 7 tours.secondes<sup>-1</sup>.
- Création et impression de 5 disques de différentes proportions :** Analyse de la courbe caractéristique du son de chacun des 5 disques – en fonction de son intensité et de sa fréquence – obtenue à l'aide du logiciel *Logic Pro X*. Nous avons également analysé les fréquences grâce à l'application mobile *Mic Analysis*. Vous trouverez, dans le tableau page suivante, les cinq disques étudiés ainsi que leurs sinusoïdales (à la même échelle) et leurs fréquences. Nous avons choisi de zoomer sur un quart des deux premiers disques afin de mieux voir les motifs, très rapprochés.

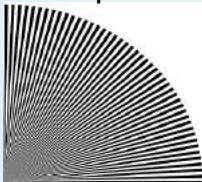
Nous avons également fait l'expérience sans disque, et le retour d'analyse montre une ligne droite confondue avec l'axe des abscisses.

# Analyse des premiers disques

Fréquence

Courbe caractéristique du son  
Intensité / fréquence

Disque 1

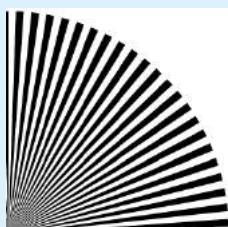


180 Bandes  
opaques et 180  
transparentes

1300 Hz

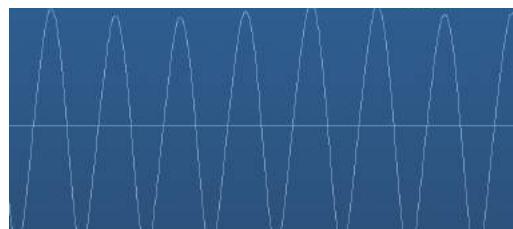


Disque 2

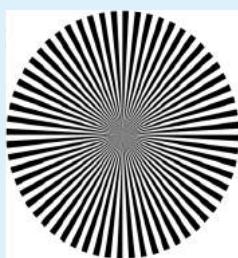


90 Bandes  
opaques et 90  
transparentes

650 Hz

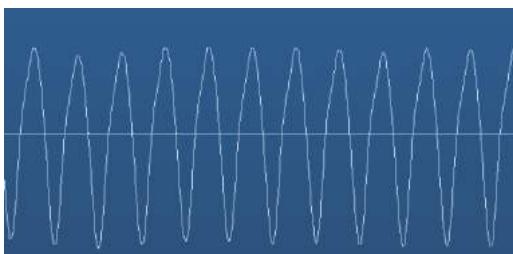


Disque 3

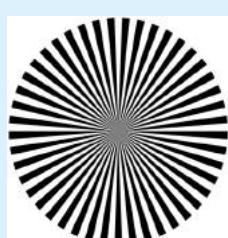


60 Bandes  
opaques et 60  
transparentes

420 Hz

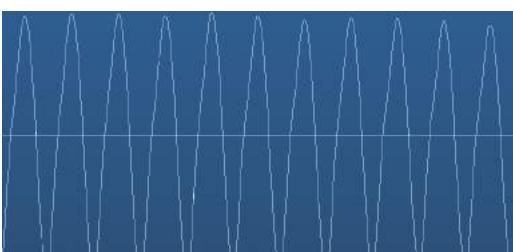


Disque 4

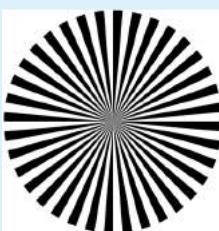


45 Bandes  
opaques et 45  
transparentes

310 Hz

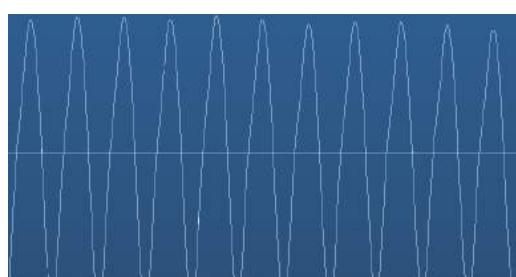


Disque 5



36 Bandes  
opaques et 36  
transparentes

248 Hz



Eclairage  
sans disque





# Les expériences

Après avoir réalisé cette expérience, l'analyse des résultats nous a conduits à formuler une hypothèse sur la relation entre la fréquence du son obtenu et le nombre de bandes que comporte chaque disque.

En observant les résultats obtenus, nous avons remarqué un rapport entre les disques 1 et 5. Alors que le premier comporte 180 bandes opaques, le cinquième en comporte 36, soit cinq fois moins.

$$\triangleright 5 \times 36 = 180$$

Nous avons ensuite comparé les fréquences du son obtenu à l'aide de ces deux disques. Le premier créait un son de fréquence 1300 Hz et le second d'environ 248 Hz. Ces mesures étant peu précises, nous avons considéré que la différence entre 1240 et 1300 Hz était assez faible pour ne pas en tenir compte.

$$\triangleright 5 \times 248 = 1240 (\approx 1300)$$

Ainsi, à la même vitesse, on observe le même rapport entre le nombre de bandes opaques et la fréquence obtenue. Le disque 1 comporte cinq fois plus de bandes opaques que le disque 5 et la fréquence obtenue est cinq fois supérieure à celle du disque 5.

Nous avons également remarqué que, plus les bandes étaient rapprochées, plus le son obtenu était aigu. Comme nous l'avons vu précédemment, plus la fréquence est élevée et plus le son est aigu. Réciproquement, plus la fréquence est basse plus le son est grave.

Nous avons donc émis une hypothèse :

**La fréquence obtenue correspondrait au nombre de fois par seconde où des bandes opaques coupent le faisceau lumineux.**

En suivant cette hypothèse, nous avons ajouté à notre programme une option pour créer des disques en fonction d'une fréquence et d'une vitesse donnée.

Prenons un exemple pour expliquer cette portion du programme : imaginons que l'on souhaite obtenir un son d'une fréquence de 100 Hz. Il faudrait donc 100 bandes opaques qui hachurent le rayon lumineux en 1 seconde. Il faut par conséquent un disque comportant 100 bandes opaques pour un moteur d'une vitesse de rotation d'un tour par seconde.

Cependant, notre moteur tourne plus rapidement que cela. Prenons comme autre exemple le premier disque. Nous voulons maintenant obtenir une fréquence de 1300 Hz avec un moteur qui tourne à 7 tours par seconde :

$$\triangleright 1300 / 7 = 185$$

Il faut donc 185 bandes opaques pour obtenir une fréquence de 1300 Hz avec un moteur qui tourne à environ 7 tours par seconde. Or le premier disque était composé de 180 bandes. Ces deux valeurs étant très proches, nous pouvons considérer que notre première hypothèse est vérifiée.



# Améliorations du programme

Nous avons poursuivi le développement de notre programme afin d'automatiser le raisonnement suivant:

La fréquence en Hertz correspond à un nombre d'oscillations par seconde. Ainsi, on divise 360 par le double de la fréquence choisie - pour obtenir une bande transparente et une bande opaque pour chaque oscillation. Cependant, en une seconde, notre disque réalise plusieurs tours. Nous avons donc développé une fonction qui associe à la vitesse et à la fréquence un angle en degrés:

Soit  $Fq$  la fréquence en Hertz,  $V$  la vitesse en tours/seconde et  $A$  l'angle d'un intervalle en degrés (opaque ou transparent):

$$A = (360/Fq \times 2) \times V$$

Ainsi, si on souhaite avoir une fréquence de 440 Hertz, à 10 tours par seconde, il nous faut donc 44 bandes opaques et 44 bandes transparentes.

Vérification:

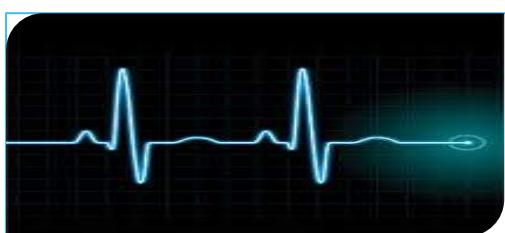
$$A = (360 / (440 \times 2)) \times 10$$

$$A = 45/11 \quad (\text{Après simplification})$$

$$A \approx 4.09$$

$$\text{Or, } 360/4.09 = 88 = 2 \times 44$$

Ainsi, nous obtenons 88 bandes. En remplissant seulement une bande sur deux, nous obtenons 44 bandes opaques et 44 bandes transparentes.



Une fréquence deux fois plus élevée donne une note plus haute d'une octave (d'un DO grave à un DO plus aigu par exemple).

## Le saviez vous ?

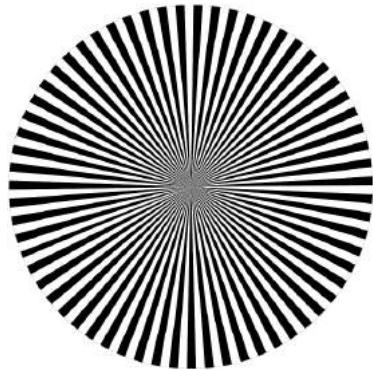
Les notes ont une fréquence exprimée en hertz

Notes	Fréquence en hertz (Hz)
DO	264,00
RE	297,00
MI	330,00
FA	352,00
SOL	396,00
LA	440,00
SI	495,00
DO	528,00



# Résultats obtenus

Disque permettant d'obtenir le « LA » de 440 Hz à 7 tours.s<sup>-1</sup> .:



Le troisième disque permettait de produire un son d'une fréquence de 420 Hz environ, assez proche de 440. L'intervalle entre chaque bande correspondait alors à un angle de 3 degrés. Lorsque l'on crée à l'aide du programme amélioré un disque pour obtenir une fréquence de 440 Hz, l'angle de ses intervalles est de 2,8 degrés, soit très proche de celui du troisième disque.

On remarque également à l'accordeur électrique que le son créé grâce au disque 3 est très proche du «LA» de référence :



Fréquence du son produit par le troisième disque (accordeur électrique) très proche de 440 Hz

Ainsi, suite à ces expériences, nous avons pu déduire une relation entre la vitesse de rotation des disques, le nombre de bandes opaques et une fréquence.

# Conclusion



Ainsi, après cinq mois de recherche, de réflexion et de travail en commun, nous sommes parvenus à transformer une onde lumineuse en une onde sonore.

Cette transformation est permise par un montage dont le principe est relativement simple, que nous avons appelé le Luminophone ©. Il fait en outre appel à des composants que nous avons pu nous procurer sans grande difficulté : ampoule électrique, disque plastifié, moteur, panneau solaire, carte de type Arduino, condensateur, enceinte. En revanche, la réalisation même du montage et surtout son calibrage se sont avérés assez complexes.

Le montage a permis finalement d'obtenir un son pur à partir d'une fréquence modulée. Nous avons ainsi généré des sons que nous avons ensuite analysés : nous en avons déduit les relations entre les motifs opaques inscrits sur les disques et les fréquences audibles produites, ce qui nous a permis de maîtriser les caractéristiques des notes produites. De la sorte, nous avons par exemple réalisé un disque permettant de reproduire toute la gamme de DO majeur. Ce qui nous a même permis de générer des mélodies assez simples à partir d'une banale lumière blanche.

Maintenant que nous sommes parvenus à faire chanter la lumière, nous-mêmes ou d'autres pourront poursuivre notre travail. En effet, le Luminophone© permet de créer des mélodies composées de sons purs. Mais on peut imaginer améliorer les disques afin de produire des notes constituées d'harmoniques. Cela permettrait alors d'obtenir une infinité de sons. Enfin, nous avons imaginé de faire varier la vitesse du moteur afin de multiplier les sons produits par un même disque. On pourrait ainsi rythmer des airs plus complexes et, qui sait, créer éventuellement un véritable instrument ? La lumière n'a pas fini de nous révéler ses secrets...

## Trucs et astuces

*Si vous souhaitez refaire le montage chez vous, voici quelques conseils...*

*Choisir un panneau solaire d'assez bonne qualité afin d'obtenir un résultat satisfaisant, mais attention ! il ne faut néanmoins pas que le capteur soit excellent car il transmettrait trop d'énergie au condensateur qui filtrerait alors tout le signal.*

*Afin d'optimiser la quantité de lumière captée par le panneau solaire, il faut également vous assurer que la lampe soit bien placée en face du capteur photovoltaïque.*



# ANNEXES

Bibliographie

Disques

- Star Wars
- Harry Potter

Programme informatique

## Remerciements

Merci à nos professeurs de Sciences de l'Ingénieur et de Physique-Chimie pour leur accompagnement, leur conseils et soutien tout au long de cette étude.

Merci au Lycée Jean-Baptiste Say de nous avoir mis à disposition le laboratoire pour nous permettre la réalisation de nos expériences.

## BIBLIOGRAPHIE :

### Sources manuscrites :

Découverte n° spécial 10 / Avril 77 : L'onde sonore  
Lumière, le spectre visible et au-delà  
Manuel de physique-chimie 1reS, édition Belin, 2011  
Le Petit Larousse Illustré, édition Larousse, 1960

### Sites internet:

<http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html>

<https://fr.vikidia.org/wiki/Onde>

<http://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-lumiere-326/>

<https://fr.vikidia.org/wiki/Lumière>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Lumière>

<http://www.maxicours.com/se/fiche/la-lumière>

<https://fr.vikidia.org/wiki/Son>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Son>

<https://fr.vikidia.org/wiki/Fréquence>

*Onde, son et lumière*

<https://openclassrooms.com/courses/e-condensateur-en-regime-continu>

<http://www.courstechinfo.be/Hard/Capa.html>

<http://bletard-composant.com/index.php?route=product/category&path=25>

<http://forums.futura-sciences.com/electronique/condensateur-antiparasite.html>

*condensateur*

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Enceinte>

[http://www.spirit-science.fr/doc\\_musique/SonForme.html](http://www.spirit-science.fr/doc_musique/SonForme.html)

[http://jim.afim-asso.org/jim2002/articles/L12\\_Arfib.pdf](http://jim.afim-asso.org/jim2002/articles/L12_Arfib.pdf)

[http://www.dailymotion.com/video/xdr7na\\_jacques-dudon-disque-photosonique\\_creation \(vidéo\)](http://www.dailymotion.com/video/xdr7na_jacques-dudon-disque-photosonique_creation_(vidéo))

*Instrument photosonique de Jacques Dudon*

## **Animations :**

*ostralo.net* :

- Propagation d'une onde sonore plane
- Propagation d'une onde le long d'une corde
- Ondes électromagnétiques
- Harmoniques

**Vidéos (YouTube):**

Chaîne *SciencesClic* :

- La lumière, en 5 minutes
- Les ondes, en 5 minutes
- La réfraction, en 5 minutes

Chaîne *Révision Bac* :

- Définition d'une onde /
- Propagation d'une onde
- Ondes sonores
- Propriété du son (hauteur, timbre, intensité, niveau sonore, harmoniques)
- Ondes lumineuses

Chaîne *Les Bons Profs* :

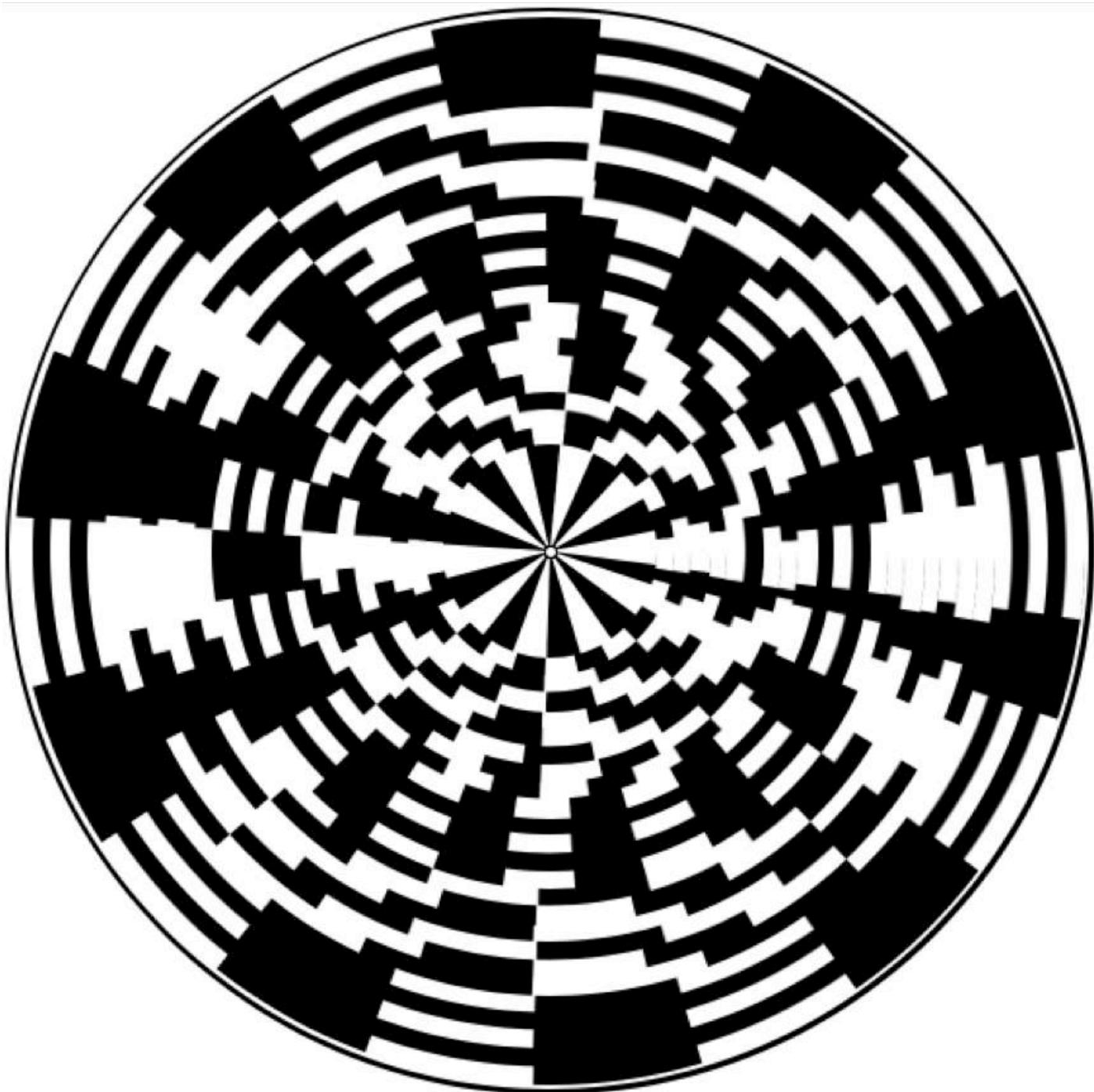
- Les ondes et leurs fréquences

# LES DISQUES

STAR WARS (Marche Impériale)  
HARRY POTTER (Hedwig's Theme)

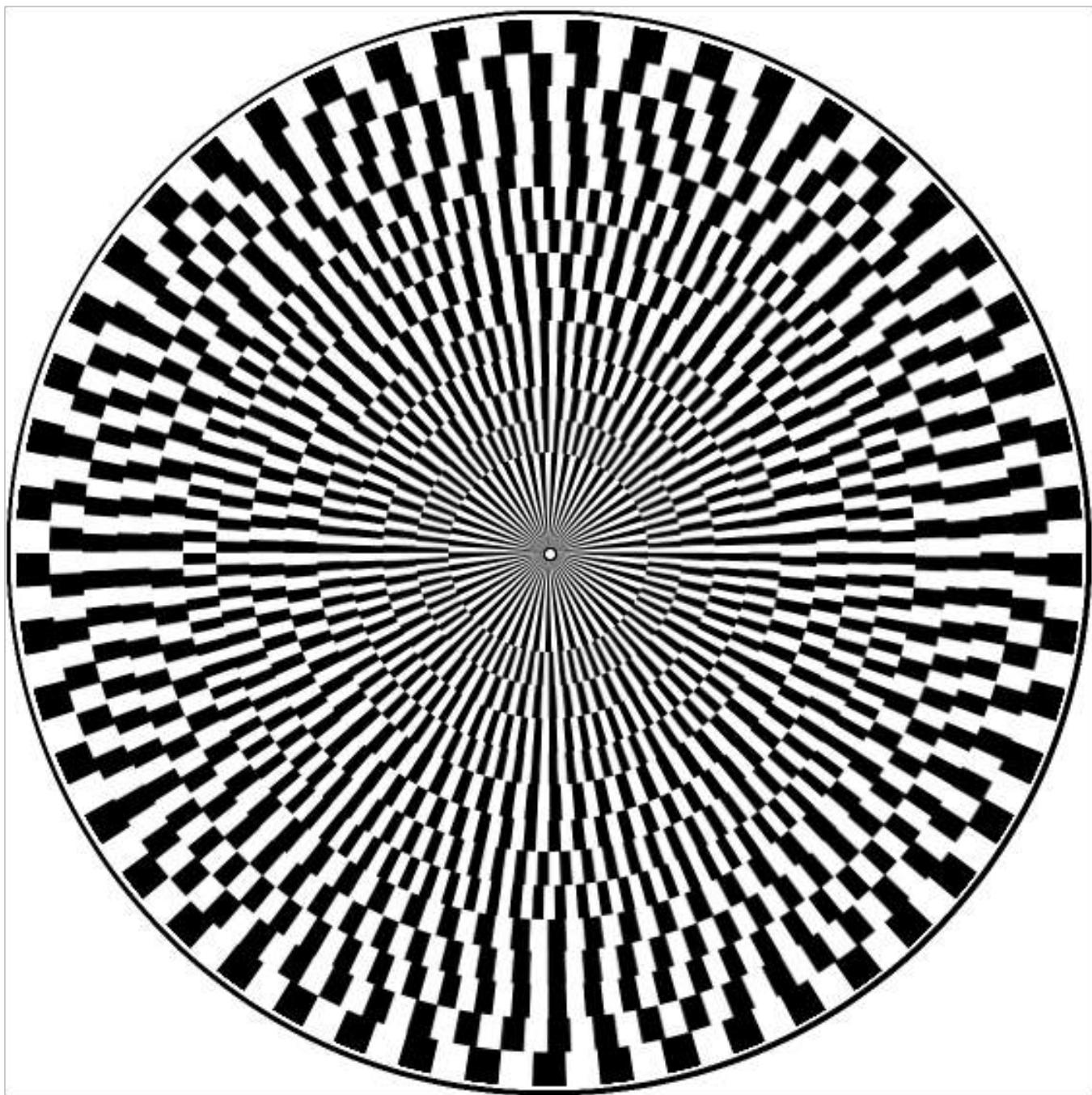
# LE PROGRAMME INFORMATIQUE

# The Imperial March ( Star Wars )



Note	Fréquence (Hz)	Note	Fréquence (Hz)
SOL	98	Ré	147
MI b	78	Ré #	156
SI	117		

# Hedwig's Theme (Harry Potter)



Notes	Fréquences (Hz)	Notes	Fréquences (Hz)
SI	494	SI	988
MI	659	LA	880
SOL	784	RE #	622
FA #	740	FA	698,5