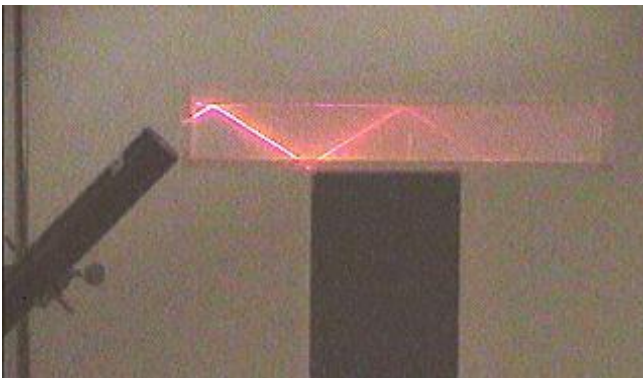




# OLYMPIADES DE PHYSIQUE



## LA LEÇON DE PIANO VIRTUEL

Lycée Masséna, 2 avenue Félix Faure, 0600 NICE

Pettini Chiara, Gautier Jeanne, Elzoghlimi-gatchitch Lou, Shaham-Sinnonio Léo, Cotel Erwan

Professeurs référents : M. et Mme. Brunel, Mme. Dombrowski

## Résumé du mémoire

# « Comment adapter au monde moderne l'instrument classique par excellence ? »

Nous avons cherché à créer un piano virtuel, accompagné de sa boîte à rythmes. Pour ce faire, nous avons dû associer des domaines physiques variés : l'optique, l'électronique, la physique des ondes... L'informatique a aussi occupé une place majeure dans notre projet. À l'aide du principe de réflexion totale dans une barre de plexiglas, nous avons pu recréer un clavier de piano. Nous l'avons associé à un système capable de détecter les doigts du pianiste. Enfin, l'information est traitée grâce à un code informatique contenu dans un Arduino. Par la suite, nous avons utilisé la physique des ondes pour créer une boîte à rythmes. Nous avons imaginé un système permettant de détecter les doigts de l'utilisateur utilisant des ondes infrarouges, et nous avons écrit un deuxième code informatique, qui traitera les données.

## **Sommaire :**

### **Introduction**

#### **I / Le clavier**

A/ Application du principe de réflexion totale

B/Détection et transmission de l'information

C/Utilisation d'un Arduino

#### **II/ La boîte à rythmes**

A/ L'utilisation d'infrarouges

B/ Ecriture et rôle d'un second code informatique

### **Conclusion**

### **Sitographie**

# Introduction

La musique a toujours été un divertissement pour nous, un moyen de s'épanouir. Afin de mélanger nos deux passions, nous avons réfléchi à un moyen de l'associer à la science par le biais des olympiades de physique. C'est dans cet optique que nous avons cherché à créer un piano virtuel, accompagné de sa boîte à rythmes.

Pour ce faire, nous avons dû associer des domaines physiques variés : l'optique, l'électronique, la physique des ondes...

L'informatique, comprenant l'écriture de codes dans différents langages, a aussi occupé une place majeure dans notre projet.

Ainsi, nous avons mis au point un instrument à l'allure épurée et futuriste. À l'aide du principe de réflexion totale dans une barre de plexiglas, nous avons pu recréer un clavier de piano. Nous l'avons associé à un système capable de détecter les doigts du pianiste. Enfin, l'information est traitée grâce à un code informatique contenu dans un Arduino.

Par la suite, nous avons utilisée la physique des ondes pour créer une boîte à rythmes. Nous avons imaginé un système permettant de détecter les doigts de l'utilisateur utilisant des ondes infrarouges, et nous avons écrit un deuxième code informatique, qui traitera les données.

# I / Le clavier

## A/ Application du principe de réflexion totale

Nous avons imaginé un clavier transparent, à la fois moderne et esthétique. La base de ce clavier sera une barre de plexiglas. Elle sera traversée par un laser.

Une situation de réflexion totale sera nécessaire pour créer les « touches » virtuelle de notre piano. En effet, en se réfléchissant totalement sur le plexiglas, le rayon du laser formera une suite de points qui indiqueront au pianiste où appuyer pour émettre un son.

Nous avons compris que l'existence d'une situation de réflexion totale dépendait de l'angle d'entrée du rayon lumineux dans le plexiglas. En suivant la loi de Descartes, qui énonce que  $n_1 \cdot \sin(i) = n_2 \cdot \sin(r)$  (où  $n_1$  et  $n_2$  respectivement l'indice du plexiglas  $n_1 = 1,5$  et l'indice de l'air  $n_2 = 1$ ,  $i$  l'angle d'incidence représenté sur le schéma ci-dessous, et  $r$  l'angle réfracté), on peut déterminer l'angle minimum pour qu'il y ait une réflexion totale :

comme  $\sin(r)$  appartient à  $[-1;1]$ ,

Si  $n_1 \sin(i) > 1$ , alors  $r$  n'existe pas.

On peut alors poser:

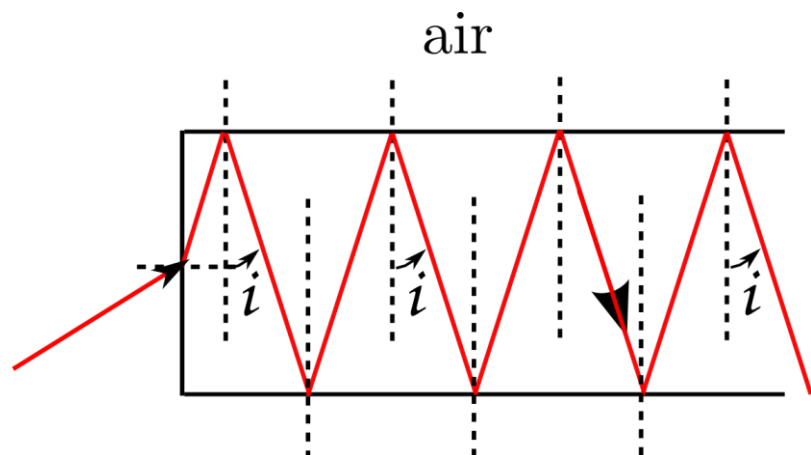
$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(90) \text{ car } \sin(90) = 1$$

$$n_1 \sin(i) = n_2 \text{ soit } 1$$

$$i = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

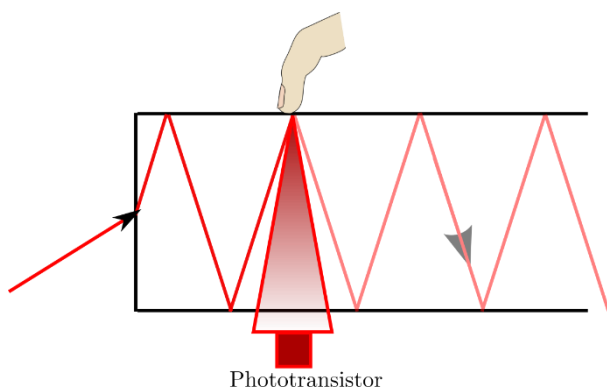
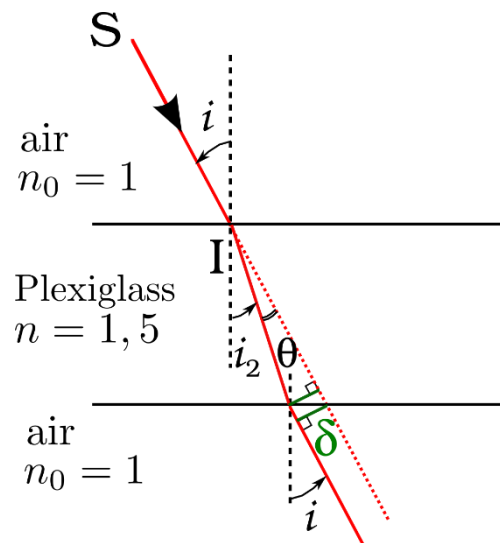
$$i = \arcsin\left(\frac{1}{1,5}\right)$$

$$i = 41,8^\circ$$



Nous avons trouvé judicieux de placer le laser comme sur le schéma 1. Les « points-touches » sont représentés à l'endroit où la réflexion totale a lieu. Seul ceux du dessus seront les touches utilisables par le pianiste.

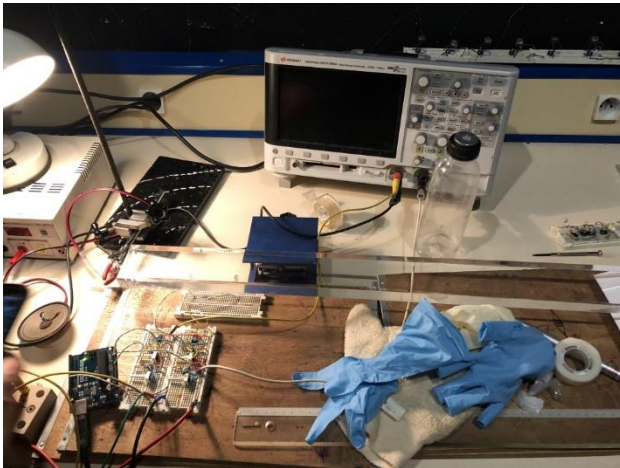
En cherchant à limiter la perte d'intensité du rayon lumineux qui se heurtait en parti au bord du plexiglas, nous avons testé une deuxième position. La source était alors placée au-dessus de la barre de plexiglas. Cependant, en observant et en nous appuyant sur les lois de Descartes nous avons pu constater qu'une situation de réflexion totale était impossible dans ces conditions. En effet, comme montré sur le schéma ci-contre, le rayon censé être réfléchi est réfracté.



Enfin nous avons étudié l'action du doigt du pianiste sur ce système. Nous avons constaté qu'en le posant sur la touche, de la lumière était diffusée comme sur le schéma ci-contre. L'intensité des

« points-touches » suivant était alors diminuée. Nous avons déduit que le plexiglas n'étant pas parfaitement lisse, malgré la situation de réflexion totale, une partie de la lumière était quand même diffusée. En posant notre doigt, cette lumière est réfléchi. Nous nous sommes alors intéressés aux conditions de cette réflexion : existerait-elle avec un pianiste aux mains gantées ? avec un objet quelconque à la place d'un doigt ? Nous avons

alors réalisé plusieurs tests. Le premier, avec une main gantée, n'était pas concluant. Pourtant, en mouillant le gant, la réflexion avait bien lieu. Nous en avons conclu que la peau en elle-même n'était pas responsable de cette réflexion. Avec un mouchoir, nous avons été là encore face à un échec. Cependant, en le mouillant, le dispositif fonctionnait de nouveau. Nous avons donc



déduit que la fine pellicule de gras au bout du doigt du pianiste était l'élément qui permettait de réfléchir cette lumière. On a pu constater qu'en appuyant plus fort, la surface d'appuie était plus importante, et donc l'intensité de la lumière diffusée aussi.

## B/Détection et transmission de l'information

Afin de connaître la position du doigt du pianiste, et donc savoir sur quelle touche virtuelle il appuie, nous avons imaginé plusieurs systèmes de détection. Tous fonctionnent grâce à la lumière réfléchi par le doigt.

En premier, nous avons pensé utiliser des photorésistances. En effet, elles possédaient une zone de sensibilité importante, et captaient bien le signal lumineux. En revanche, après avoir réalisé un montage électronique et testé notre système nous nous sommes rendus compte qu'elles avaient un temps de réponse trop lent, caractéristique connue des photorésistances.

Nous avons donc rapidement fait le choix d'opter pour des phototransistors. Nous avons conçu un montage électronique

permettant de transmettre l'information reçue par le phototransistor jusqu'à un Arduino. Notre montage peut se décomposer en parties distinctes : le phototransistor, un suiveur, un soustracteur de bruit et un amplificateur. Ensuite, il est relié à l'Arduino. Un schéma de ce système simplifié est disponible en annexe.

-Le phototransistor : il permet de convertir la lumière reçue en tension électrique (en Volt).

-Le suiveur : il n'a pas un rôle primaire dans notre montage, il isole simplement le phototransistor et le soustracteur.

-Le soustracteur : afin de pouvoir utiliser notre piano partout, et de ne pas être gêné par la lumière ambiante (qui affolerait les phototransistors) nous avons utilisé un soustracteur réglable. Il soustraira à la tension reçue une tension variable, qui dépendra de l'intensité de la lumière ambiante. Il en découle qu'un réglage manuel doit être effectué à chaque déplacement de l'instrument.

-Enfin, nous avons un amplificateur qui amplifiera la tension. Un seuil de 3,3V est défini par une diode zener.

Ainsi, grâce à ce montage, et peu importe les conditions expérimentales, la tension arrivant à l'Arduino sera de 3,3V. Un schéma du montage électrique est disponible en annexe.

Nous avons réalisé six copies de ce montage, associées aux six notes que nous cherchons à produire (le nombre de notes étant limité par le nombre de branche d'entrée de l'Arduino).



## C/Utilisation d'un Arduino

Enfin nous avons décidé de traiter les informations du signal par un Arduino et nous avons écrit un code en langage Arduino (famille C). Nous sommes capables de déterminer sur quelle touche se trouve le doigt du pianiste grâce aux informations transmises par le montage électrique.

Si la tension transmise par l'un des six montages est supérieure à un seuil de basculement égale à 1,5V et que les autres tensions sont inférieures à ce même seuil alors, un son de la fréquence correspondante à la note de musique de la touche sera émis.

Dans le cas ci-contre, si la tension du phototransistor 1 ( $US1$ ), qui correspond à la touche \*do\*, est supérieur au seuil égal à 1,5 ( $B$ ) et que la tension du second

```
if ((US1 > B) && (US2 < B)) {  
  tone(PIN_HP, 261, 500); /*do*/  
}  
if ((US1 < B) && (US2 < B)) {  
  tone(PIN_HP, 293, 500); /*re*/  
}
```

phototransistor ( $US2$ ), liée à la deuxième touche (soit \*re\*), le programme émet un son d'une fréquence égale à 261 Hz, celle du  $DO_3$  d'un piano standard.

Nous avons décidé d'utiliser l'octave 3 soit celle au centre d'un clavier de 88 touches. La fréquence entre deux notes de piano successives augmente de  $2^{1/2}$  tons, à l'exception du passage entre *Mi* et *Fa* qui n'est que d' $1^{1/2}$  ton. La montée d'un demi ton correspond à la multiplication de la fréquence de la note précédente par la racine douzième de deux, nous avons donc :

$$f_1 = x$$

$$f_2 = x \times (\sqrt[12]{2})^2$$

Les fréquences des notes de cette octave sont :

DO	RE	MI	FA	SOL	LA	SI
262 Hz	294 Hz	330 Hz	349 Hz	392 Hz	440 Hz	494 Hz

## II/ La boîte à rythmes

### A/ L'utilisation d'infrarouges

L'infrarouge est une onde électromagnétique qui comporte à la fois un champ électrique et un champ magnétique oscillant à la même fréquence. Leur longueur d'onde est comprise entre le domaine visible ( $\approx 0,7 \mu\text{m}$ ) et le domaine des micro-ondes ( $\approx 0,1 \text{ mm}$ ). De plus ce type d'ondes est sensible à la peau, et nous permet de repérer plus précisément un obstacle comme un doigt.

Afin d'avoir un point de départ, nous avons étudié la composition et le mode de fonctionnement d'un "clavier laser" du commerce utilisant les infrarouges. En le démontant, nous avons pu distinguer quatre composants clefs : le laser qui projetait une image de clavier, l'émetteur infrarouge, le récepteur et enfin la carte mère.

Nous avons compris que ces éléments étaient nécessaires au bon fonctionnement du projet, nous nous sommes donc intéressés à l'utilité de chacun.

-l'émetteur infrarouge : il diffuse une nappe infrarouge invisible à nos yeux qui superpose l'image projetée par le laser. Cette nappe est coupée par le doigt de l'utilisateur.

Nous reviendrons à l'utilité des autres composants par la suite.

Tout d'abord, nous avons décidé de conserver l'émetteur du clavier pour réaliser un test de surface. Nous avons testé la visibilité des infrarouges par un récepteur sur de multiples surfaces. Nous avons pu constater que sur une surface non-lisse (ex : table en bois) il y avait trop de parasites dans la réception (dûs à l'irrégularité de la surface). Une surface transparente ou laquée ne permettait pas une bonne réception car elle était trop réfléchissante. Enfin, nous avons constaté que l'infrarouge était le plus visible sur une surface plane et opaque.

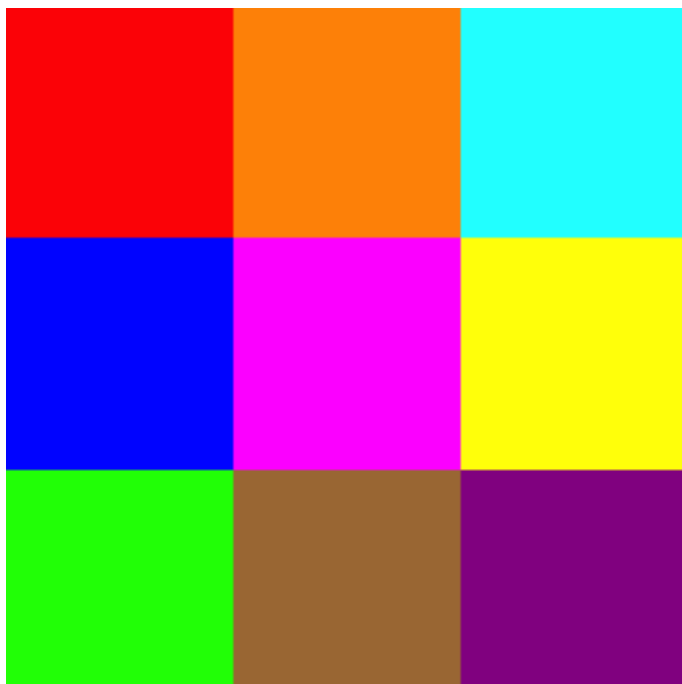
Enfin, nous nous sommes intéressés au récepteur.

Sur le prototype du commerce, c'est en réalité une caméra qui voit les grandes longueurs d'ondes (donc les infrarouges). Cette caméra parvient à percevoir le reflet des infrarouges sur l'ongle lorsqu'un doigt vient rompre la nappe.



## B/ Ecriture et rôle du code informatique

Pour traiter les données reçues par la caméra (capable de percevoir les infrarouges), nous nous sommes tournés vers le domaine de



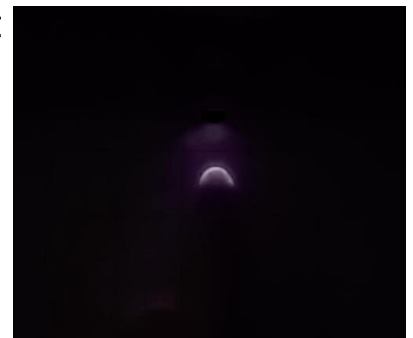
l'informatique et nous avons écrit un programme en langage python capable de repérer la position du doigt de l'utilisateur. Par une suite de fonction, il y associe un son. Nous avons commencé par créer une image de référence, avec 9 carreaux de couleurs différentes (qui représentent les 9 boutons).

Le programme informatique traite l'image en regroupant les coordonnées de chaque pixel dans des listes en fonctions de leur couleur.

```
10
11 def associer_Touche1(t_clav): #associe tout px(x;y) de image ref. rouge touche do
12     T1=[]
13     for y in range(h): #parcourt largeur
14         for x in range(l): #parcourt longueur
15             if list(t_clav[y, x][:1]) == [251,2,7]: #rouge
16                 T1.append([y, x])
17     return T1
18
19 T1 = associer_T1(t_clav)
20
```

Sur l'image reçue par la caméra lorsque le doigt de l'utilisateur coupe la nappe infrarouge, on remarque une « demi-lune illuminée ».

L'image reçue par la caméra est transmise au programme par l'intermédiaire d'un ordinateur.



Elle est mise en échelle de gris et est ensuite parcourue en longueur et en largeur. Grâce la fonction *est\_présent*, tous les pixels au-dessus d'un seuil de couleur (gris) sont associés à la position du doigt et les coordonnées sont entrées dans une liste appelé *objet* :

```
106
107 def est_present(t_imgIR): #parcours image detecte point gris, coordonnées des px gris sont entrées
    dans une liste objet
108     h,l,r=t_imgIR.shape
109     objet = []
110     for y in range(h):
111         for x in range(l):
112             if list(t_imgIR[y,x][:1])>=[70, 70, 70]:
113                 objet.append([y, x])
114     if objet != []:
115         return True, objet
116     else :
117         return False, objet
---
```

Quand le point est trouvé, ses coordonnées sont passées à l'intérieur de toutes les listes des secteurs colorées jusqu'à trouver une concordance et émettre le son de la touche qui correspond. La fonction *analyse* effectue cette association :

```
119
120 def analyse(t_imgIR):
121     print("inside analyse")
122     a=est_present(t_imgIR)
123     if a[0]:#si a de 0 est true alors ça continue
124         e=[a[1][0],a[1][1]]
125         print (e)
126         if e in T1:
127             print("Touche1")
128             winsound.PlaySound("D:/PianoLaser/Notes/T1.wav",winsound.SND_ASYNC)
129         elif e in T2:
130             print("Touche2")
131             winsound.PlaySound("D:/PianoLaser/Notes/T2.wav",winsound.SND_ASYNC)
```

---

## Conclusion

« Comment adapter au monde moderne l'instrument classique par excellence ? »

Le piano est vu comme l'instrument classique par excellence. Grâce à notre projet, nous lui avons offert une seconde peau : plus futuriste, il est désormais accompagné d'une boîte à rythmes. Ainsi, nous l'avons adapté aux contraintes d'un monde moderne et de plus en plus virtuel. Nous avons su puiser dans notre connaissance des domaines scientifiques variés.

Nous avons appris à tirer profit des atouts de chaque membre de notre groupe. Cette expérience fut très enrichissante car nous avons réussi à concevoir un projet, et à laisser libre court à notre inventivité sans négliger les contraintes physiques et scientifiques. Nos professeurs nous ont appris à mener à bien une démarche scientifique.

Nous nous demandons alors sous quelle forme plus moderne encore le piano pourrait-il exister, pourrait-il être entièrement dématérialiser et transportable dans un monde dominé par les nouvelles technologies ?

## Sitographie :

### I / Le clavier

A/ Application du principe de réflexion totale

[http://uel.unisciel.fr/physique/optigeo/optigeo\\_ch02/co/apprendre\\_ch02\\_04.html](http://uel.unisciel.fr/physique/optigeo/optigeo_ch02/co/apprendre_ch02_04.html)

<http://phymain.unisciel.fr/le-faisceau-lumineux-captif/>

B/Détection et transmission de l'information

[http://webetab.ac-](http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e04tensi.htm)

[bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e04tensi.htm](http://webetab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e04tensi.htm)

C/Utilisation d'un Arduino

<https://www.deleze.name/marcel/physique/musique/Frequences.pdf>

<https://www.arduino.cc/>

### II/ La boîte à rythmes

A/ L'utilisation d'infrarouges

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/infrarouge/>

<https://prod.flir.fr/discover/why-use-infrared/>

B/ Ecriture et rôle d'un second code informatique

<https://www.python.org/>