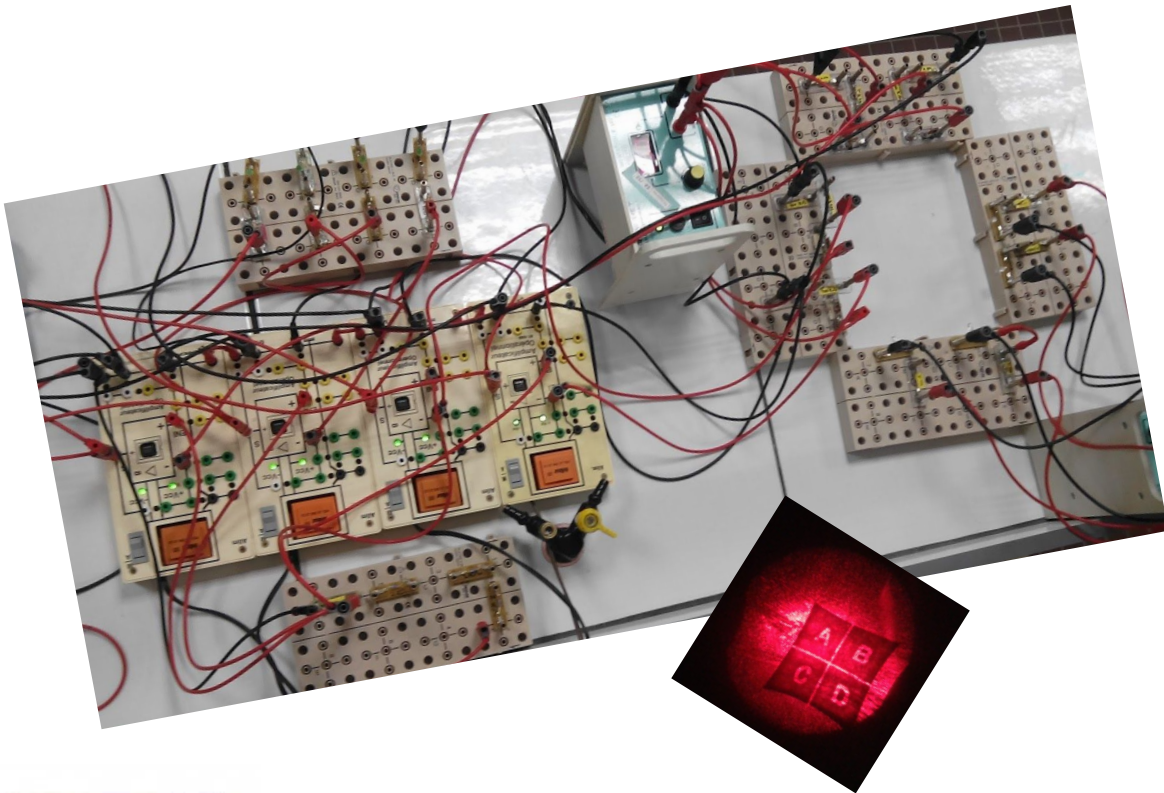


Charmeau Antoine / Quemin William / Huguet Amélie / Mabilais Sonia

# Olympiades de Physique Édition 2016

## Clavier Numérique à projection laser

### Comment repérer un point dans l'espace ?



Lycée Philibert Delorme  
68 Boulevard St Hubert  
38080 Isle d'Abeau

2016-2017

# RESUME DU MEMOIRE DES OLYMPIADES

## Clavier Numérique à projection laser

### Comment repérer un point dans l'espace ?

Dans nos mémoires, sur le projet d'un clavier numérique à projection laser, nous présenterons tout d'abord les différents types d'ondes qui ont pu nous être utiles, leurs caractéristiques, mais surtout les fonctionnalités que nous leur avons données dans notre démarche et le type d'utilisation que nous en avons fait.

Après cette première partie plus théorique, nous avons essayé de mettre en place plusieurs démarches expérimentales pour parvenir à repérer un point dans l'espace, récupérer des informations par différents procédés, et détecter la présence d'obstacles dans un lieu donné. Ces différentes manipulations ont toutes eu pour but de nous donner des pistes de recherche en vue de la fabrication d'un clavier projetable.

Enfin dans la troisième partie, nous exposons la partie optique du projet, afin d'afficher un clavier sur une surface plane, grâce aux propriétés des lasers. Nous évoquons également la miniaturisation du clavier avec l'aide par exemple de l'informatique dans le but d'obtenir un boîtier compact et terminer notre clavier.

<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>I/ Quel type d'ondes choisir ?</b>	<b>4</b>
A/ Les ondes ultrasonores	4
B/ Les ondes infrarouges	7
<b>II/ Expérience de détection d'un obstacle</b>	<b>7</b>
A/ Schéma simplifié de l'expérience	7
B/ Fonctionnement de l'Amplificateur Opérationnel (AOP)	8
C/ Comment trouver la tension "seuil" pour laquelle il y a détection d'un obstacle	9
D/ Repérage d'un point dans l'espace	10
<b>III/ Améliorations expérimentales pratiques</b>	<b>11</b>
A/ Assigner un caractère à un point dans l'espace	11
1) Comment assigner un point dans l'espace à un caractère	11
2) Fonctionnement du programme	12
C/ Affichage du clavier	12
D/ Miniaturisation	15
E/ Bluetooth	15
<b>IV/ Utilisation d'un clavier numérique à projection laser</b>	<b>16</b>
<b>V / Conclusion</b>	<b>17</b>
<b>Remerciements</b>	<b>18</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>19</b>

## Introduction

Les changements perpétuels de notre société ont amené l'homme à une soif de connaissances toujours plus vive sur les mystères du monde qui l'entourent.

Les olympiades de physique sont pour nous un moyen de découvrir d'autres aspects de la physique : pratiquer une démarche de recherche, s'intéresser à de nombreux domaines des sciences pour un même projet, expérimenter et essayer manuellement différentes idées...

Notre produit, le clavier numérique à projection laser, a été créé dans le but de faciliter l'utilisation d'un ordinateur, pour un usage plus ludique, plus pratique et plus efficace.

Comment parvenir à créer un clavier numérique à projection laser ? A l'aide de quels procédés et quels éléments physiques?

## I/ Quel type d'ondes choisir ?

Dans l'optique de créer un clavier numérique à projection laser, nous nous sommes tout d'abord demandé comment repérer un point dans l'espace, élément essentiel au fonctionnement de notre clavier. En effet, afin de déterminer le caractère souhaité par l'utilisateur, connaître la position d'un doigt est primordial. C'est pourquoi, nous nous sommes tournés vers les ondes. Nous cherchons à savoir quelles ondes sont les plus pratiques et les plus adaptées pour notre projet.

### A/ Les ondes ultrasonores

Tout d'abord nous nous sommes intéressés aux ondes ultrasonores afin de repérer les différents points correspondant aux caractères du clavier.

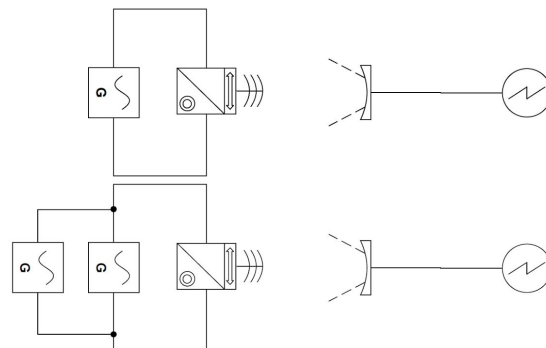
Quelques rappels des caractéristiques de ces ondes :

Ce sont des ondes mécaniques émises entre 20 kHz et  $10^6$  Hz (1 GHz) et qui consiste en une propagation de proche en proche d'une déformation qui provoque des variations de pression et des oscillations des molécules autour de leur position d'équilibre.. De plus, les ondes ultrasonores ont l'avantage d'être inaudibles pour l'oreille humaine donc il n'y a aucune gêne à son utilisation.

Nous avons donc expérimenté ces ondes afin de savoir si celles-ci étaient les plus efficaces pour repérer un point.

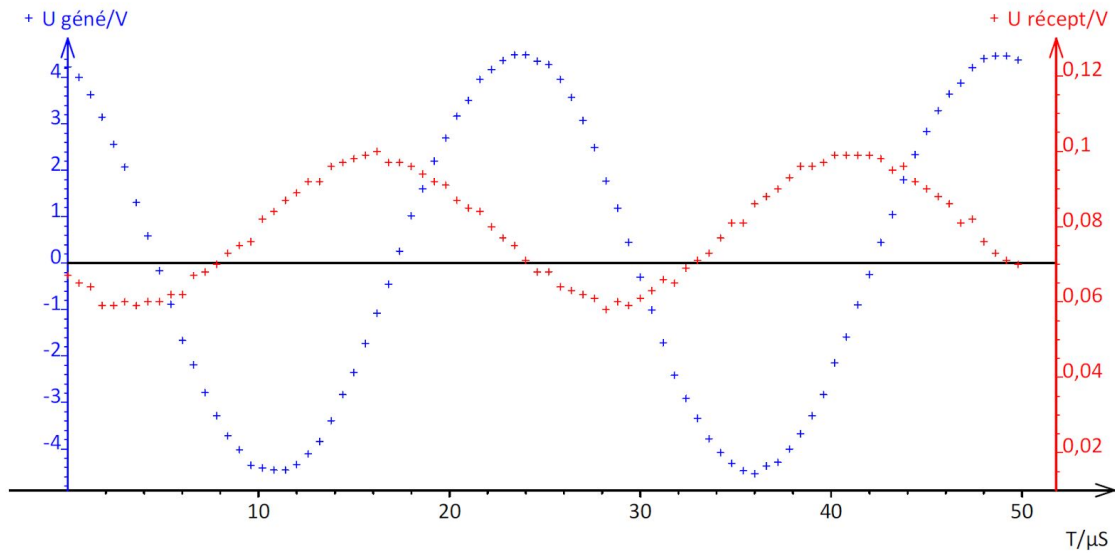
Pour cela nous avons réalisé un montage composé d'un GBF, d'un couple récepteur-émetteur, d'un générateur et d'un oscilloscope dans le but d'observer si les ondes ultrasonores permettent de repérer efficacement un doigt.

Schéma du montage : (fig.1) Légende document 1 annexes

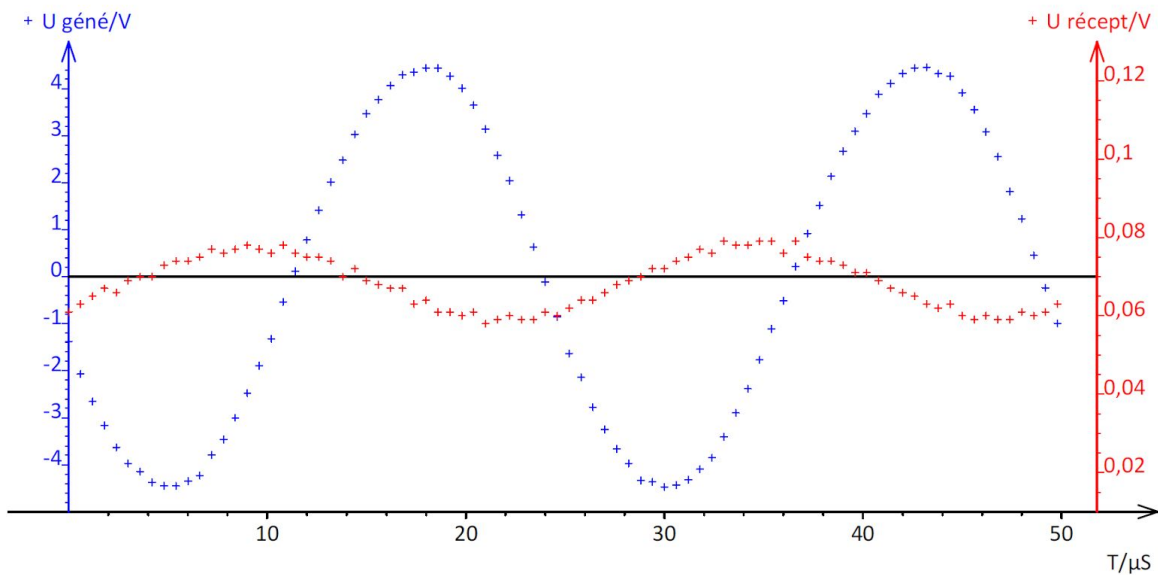


Une fois le montage réalisé, nous avons évalué les variations de l'amplitude des tensions des ondes lorsqu'un objet, un doigt dans notre cas, se situe entre l'émetteur et le récepteur. Nous nous sommes rendus compte qu'un doigt ne réalisait que peu de variations (fig.2 et fig.3) et donc qu'il n'était pas assez sensible aux ondes ultrasonores.

**Courbe représentative de la tension entre le couple émetteur-récepteur en l'absence de doigt sur 50  $\mu\text{s}$  (fig.2)**



**Courbe représentative de la tension entre le couple émetteur-récepteur en présence d'un doigt sur 50  $\mu\text{s}$  (fig.3)**

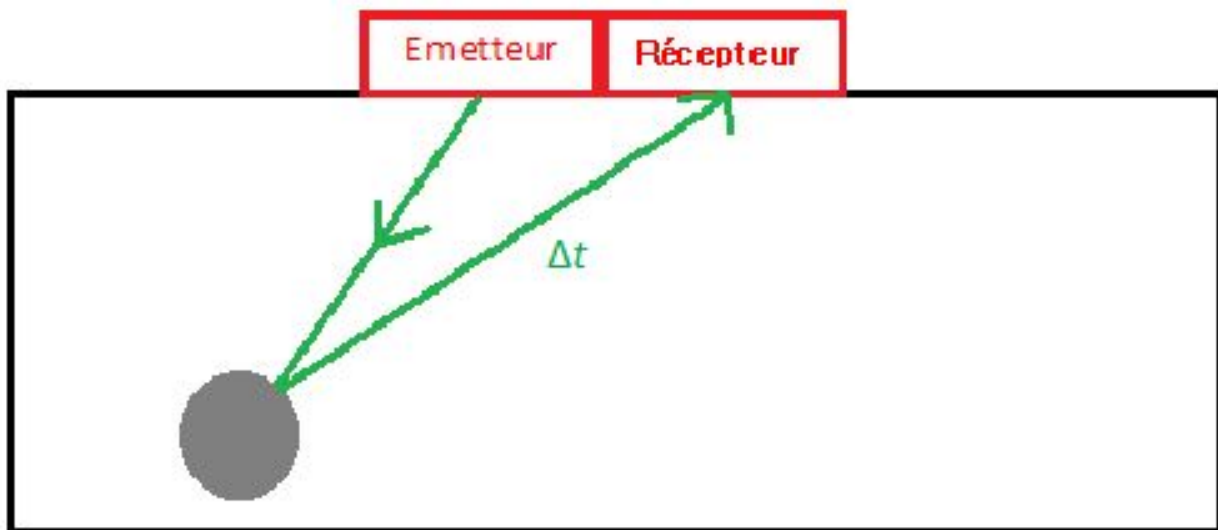


De plus, afin de repérer un point dans l'espace nous avons voulu calculer le temps que mettraient les ondes ultrasonores à revenir lorsqu'un doigt interrompt ces ondes. Pour

cela nous voulions utiliser la formule  $v = \frac{d}{\Delta t}$  (avec  $v$ =la vitesse en  $m.s^{-1}$ ,  $d$  = la distance en  $m$  et  $\Delta t$  = le temps en  $s$ ). En connaissant la vitesse des ondes ultrasonores dans une pièce à environ  $20^{\circ}C$  et le temps que celles-ci mettraient à revenir au point d'émission, nous voulions en déduire la distance à laquelle se situait le doigt de l'émetteur ultrasonore (fig.4). Or pour réaliser ce calcul, il nous était nécessaire de créer des pulses d'ondes ultrasonores pour déterminer précisément le temps que celles-ci allaient mettre pour revenir au point d'émission. Ce fût l'un des principaux problèmes rencontrés lors de nos recherches, n'ayant pas obtenu un montage efficace pour produire ces pulses d'ondes. De plus, ne connaissant que la distance séparant le doigt du couple émetteur-récepteur, nous ne pouvions savoir si nous étions à droite ou à gauche de notre clavier.

Cependant, avec nos récentes avancées dans le projet, nous avons réussi à réaliser des pulses d'ondes. Pour ce faire nous avons utilisé un oscilloscope et 2 GBF (Voir document 2 en annexe).

**Schéma représentatif du procédé de repérage d'un point dans l'espace à l'aide de la formule  $v = \frac{d}{\Delta t}$  (fig.4)**



Au vu de ces résultats, nous nous sommes donc dirigés sur d'autres ondes qui nous permettraient potentiellement d'identifier une présence, telle qu'un doigt, lorsque celui-ci interrompt les signaux. En effet, la différence de tension n'étant pas assez importante, il sera difficile de déduire la présence d'un doigt.

## **B/ Les ondes infrarouges**

Quelques rappels des caractéristiques de ces ondes électromagnétiques :

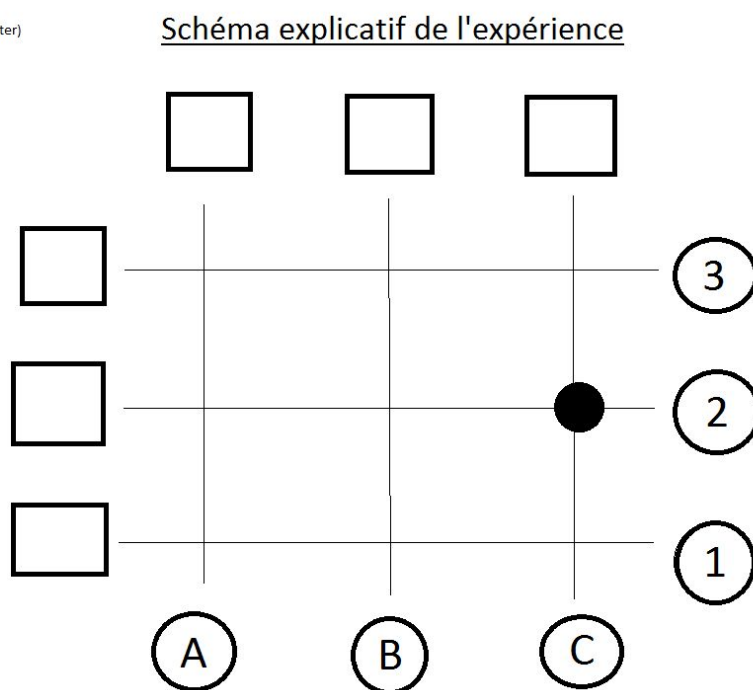
Ce type d'onde comporte à la fois un champ électrique et un champ magnétique oscillant à la même fréquence. Les ondes infrarouges sont émises dans l'intervalle [700 nm ; 100 000 nm]. Dans cette fourchette de longueurs d'ondes, on distingue 4 catégories; les infrarouges proches [700-1600 nm], moyens [1600-4000 nm], thermiques [4000-15 000 nm] et lointains [15 000-100 000 nm].

Les ondes ultrasonores ne nous permettant pas de repérer efficacement un point dans l'espace, nous nous sommes penchés sur les ondes infrarouges. Celles-ci sont sensibles à la peau et donc nous permettent de détecter notre obstacle : un doigt.

Afin de repérer l'obstacle nous utilisons un quadrillage. Ce moyen nous permet de repérer efficacement la position de l'obstacle grâce à des émetteurs et des récepteurs infrarouges. Ainsi, lorsqu'un doigt coupera un faisceau, le récepteur ne recevra plus de signal de l'émetteur. Selon l'émetteur concerné, la lettre en sera déduite. Notre but est de pouvoir récupérer ce signal via des AOP (dont nous expliquerons le fonctionnement ultérieurement) pour le transmettre à un ordinateur pour écrire le caractère numériquement.

## II/ Expérience de détection d'un obstacle

### A/ Schéma simplifié de l'expérience



(fig.5)



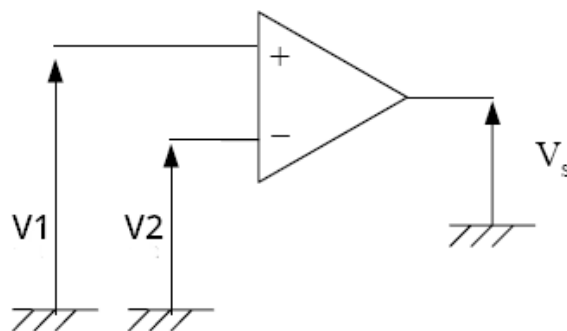
Comme le montre le schéma ci-dessus, le but de l'expérience est dans un premier temps de quadriller une petite zone avec des rayons infrarouges projetés en face de récepteurs, des photodiodes. Ainsi lorsqu'un obstacle tel qu'un doigt se situe dans la zone quadrillée, les photodiodes vont donc recevoir moins de rayons infrarouges. Cette différence de tension va permettre de savoir qu'il y a présence d'un obstacle. Dans ce cas, avec l'aide des photodiodes concernées par la différence de réception d'infrarouges, nous allons pouvoir identifier l'emplacement de l'obstacle. Par exemple, dans le schéma, l'objet se trouve à l'intersection (C;2).

Cependant il nous fallait utiliser un appareil électrique permettant de repérer la variation de tension aux bornes des photodiodes pour repérer notre doigt. Nous nous sommes donc tournés vers les AOP.

## B/ Fonctionnement de l'Amplificateur Opérationnel (AOP)

L'AOP est un composant électronique qui amplifie la différence de potentiel électrique présente à ses entrées positive et négative. En régime saturé, il fonctionne comme un comparateur. En effet, si la différence de potentiel est positive la tension de sortie sera égale à la tension positive d'alimentation, et inversement. Ainsi on obtient une valeur de la tension de sortie égale à  $11 \pm 0,3 \text{ V}$  pour une différence de potentiel positive et une valeur de  $-10 \pm 0,3 \text{ V}$  dans le cas d'une différence de potentiel négative.

Schéma de fonctionnement d'un AOP en comparateur :



Si  $V_1 - V_2 > 0$  alors  $V_s = + V_{\text{sat}}$  ( soit environ  $(11 \pm 0,3)\text{V}$  )

Si  $V_1 - V_2 < 0$  alors  $V_s = - V_{\text{sat}}$  ( soit environ  $(-10 \pm 0,3)\text{V}$  )

Nous possédons une tension variable : la tension aux bornes de nos photodiodes qui varie lorsqu'elle est éclairée ou non. Pour utiliser notre AOP, il nous faut trouver une tension constante afin d'obtenir des différences de potentiel négatives ou positives et

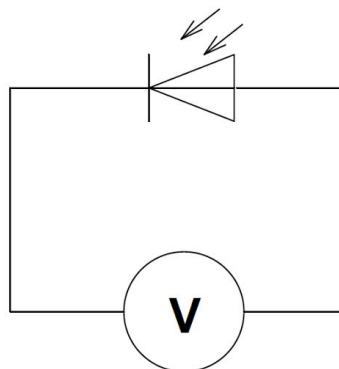
en déduire la présence ou l'absence d'un doigt dans notre quadrillage. C'est pour cela que nous allons chercher une tension dite "seuil", une tension commune franchie par toutes les photodiodes lorsqu'un doigt fait obstacle au faisceau.

### C/ Comment trouver la tension "seuil" pour laquelle il y a détection d'un obstacle

Afin que l'AOP repère la présence d'un obstacle et envoie cette information, nous avons réalisé une expérience visant à déduire pour quelle tension l'AOP détecte un obstacle. Pour cela nous avons mesuré la tension aux bornes d'une photodiode (fig.6) lorsque celle-ci était éclairée et lorsque qu'un doigt coupait le faisceau infrarouge. Les variations d'intensité de flux lumineux sur la photodiode (dû à l'environnement, avec un éclairage trop fort par exemple) peuvent provoquer un enregistrement de valeurs erronées, voire ne pas faire fonctionner les photodiodes si trop peu de lumière ou si un léger décentrage du faisceau incident se produit. Ainsi l'utilisation du clavier ne serait pas optimal. Il fallait donc augmenter l'écart séparant les extremums (maximum et minimum) des tensions aux bornes des photodiodes. Pour cela nous avons exploité la loi d'Ohm  $U=R \times I$  (avec U la tension en Volt, R la résistance en Ohm et I l'intensité du courant en Ampère), en envoyant le courant dans le sens inverse du sens habituel de la photodiode, puis en ajoutant des résistances jusqu'à un écart suffisamment important (environ 1V). Nous avons obtenu les valeurs suivantes :

- 300 mV (valeur non stable) lorsque la photodiode n'est pas éclairée
- 1,1 V (valeur non stable) lorsque la photodiode est éclairée

Schéma de l'expérience : (fig.6). Légende document 1 annexes



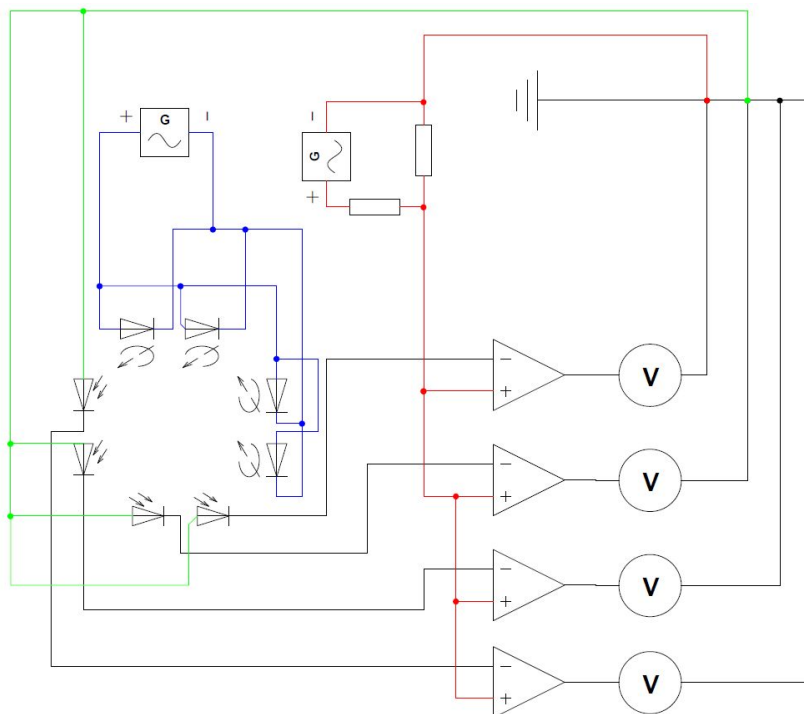
Notre but étant de savoir à quel moment notre doigt coupe le faisceau, nous avons déterminé une valeur de tension "seuil" égale à 700 mV. De base, lorsque le faisceau n'est pas coupé, la tension est égale à 1,1 V ; lorsque le faisceau est coupé, la tension diminue jusqu'à 300 mV et franchit la tension "seuil". Lorsque cette variation de

tension est réalisée, l'AOP la détecte et la traduit par un changement de signe de la tension mesurée ce qui permet de connaître la position de notre doigt.

## D/ Repérage d'un point dans l'espace

A l'aide du système de quadrillage, des AOP et de notre tension seuil (700 mV), nous avons pu réaliser un montage permettant de repérer un point dans un espace quadrillé à l'aide de 4 DEL infrarouge et de 4 photodiodes, chacune reliée à un AOP (cela s'apparente à un clavier de 4 touches : voir fig.7 en annexes et fig.7 bis). Chaque photodiode est éclairée par une diode infrarouge, dans cette situation sans obstacle, l'AOP renvoie une tension négative. Lorsqu'un faisceau lumineux rencontre une interférence, alors la photodiode concernée n'est plus éclairée. La tension à ses bornes passe alors de 1.1 V à 300 mV et atteint la tension seuil. Lorsque la tension seuil est franchie, la différence de potentiel à l'entrée de l'AOP devient positive. La tension de sortie prend donc une valeur positive. Chaque photodiode ayant son AOP et son voltmètre respectif, nous pouvons savoir quelle photodiode n'est pas éclairée et en déduire la place du doigt sur notre clavier. Avec ces résultats nous pouvons détecter un doigt sur un clavier entier en reproduisant le montage en fonction du nombre de touches souhaitées.

### **Schéma du montage réalisé : (fig.7 bis). Légende document 1 annexes**



Afin de savoir à quel moment notre doigt est détecté, nous décidons de créer un signal visuel. Pour cela, on remplace aux bornes de l'AOP nos voltmètres qui jouent le rôle d'indicateurs par des DEL lumineuses. Lorsque notre doigt est détecté, la DEL lumineuse correspondant à la photodiode concernée s'allume, ce qui nous permet de savoir efficacement quelle touche est utilisée.

Dans un circuit électrique, le courant ne peut passer dans une DEL que dans un seul et unique sens, elle est polarisée.

En sortie de nos AOP, comme ils fonctionnent en mode comparateur, la tension qui en résulte est soit négative soit positive. Ainsi avec cette indication sur le sens du courant, on peut facilement comprendre que la DEL s'allume pour une tension positive et n'éclaire pas pour une tension négative. En effet, lorsque nous avons une variation du signe de la tension, nous avons inversion du sens du courant donc réaction de la DEL.

### III/ Améliorations expérimentales pratiques

#### A/ Assigner un caractère à un point dans l'espace

##### 1) Comment assigner un point dans l'espace à un caractère

Lors de nos recherches, nous nous sommes principalement intéressés au repérage d'un point dans l'espace. Or une fois le point repéré, il nous est nécessaire de l'associer à un caractère du clavier pour que nous puissions écrire avec le clavier projeté. Pour cela, nous avons décidé d'utiliser l'AOP en mode sommateur au lieu de comparateur, pour que les différentes tensions en provenance des photodiodes s'ajoutent au lieu de se soustraire. Ainsi on utiliserait moins d'AOP, mais on pourrait additionner plus de tensions, donc réaliser un plus grand clavier avec moins de place. Afin d'associer un caractère à un point dans l'espace, il nous faut passer par la programmation. A l'aide du langage de programmation Java, nous pouvons réaliser un algorithme qui a pour objectif d'associer un point dans l'espace à un caractère du clavier.

Pour différencier chaque touche du clavier, nous créons une tension différente pour chaque caractère à l'aide de résistances. De ce fait chaque touche possède une tension individuelle qui la rend reconnaissable. Afin de pouvoir réaliser certaines combinaisons demandant deux ou plusieurs touches à la fois nous faisons appel au mode sommateur des AOP (voir annexes p.20). Chaque touche possède une tension qui lui est propre, donc chaque combinaison possède elle aussi une tension correspondante.

## 2) Fonctionnement du programme

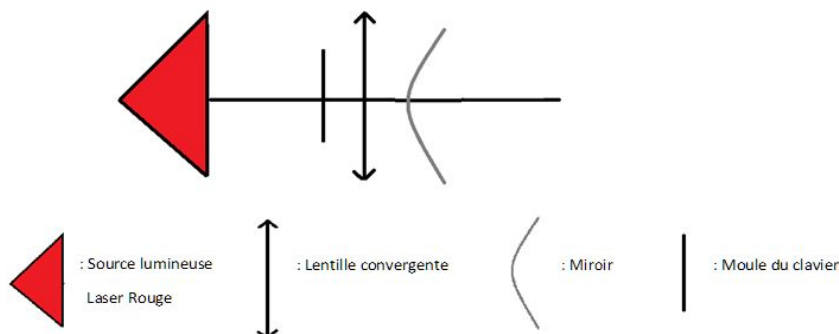
Le programme réalisé en Java est très simple, il fonctionne avec 3 fonctions différentes. La première fonction appelée “getColumn” (Voir annexe programmation page 7) a pour objectif de récupérer le numéro de la colonne de la lettre dans le clavier en fonction de la tension “uColumn” aux bornes de l’AOP en mode sommateur des tensions des photodiodes de la colonne. La deuxième fonction, “getLine” (Voir annexe page 7), réalise la même tâche mais pour la ligne du clavier, en fonction cette fois-ci de “uLine”, la tension aux bornes de l’AOP sommateur de la ligne du clavier. Enfin, la troisième fonction “getKey” (Voir annexe page 8) prend en paramètres le numéro de la colonne ainsi que le numéro de la ligne du caractère recherché, puis, grâce à ces deux valeurs, la fonction récupère dans un tableau à double entrées contenant tous les caractères d’un clavier, la lettre associée à la colonne et à la ligne données.

Nous disposons en sortie du caractère associé à la tension “ULine” et “UColumn” de notre clavier (Voir annexe : résultat exécution).

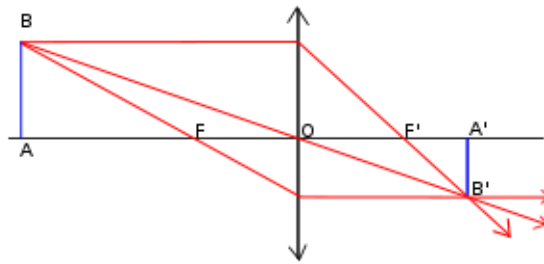
## B/ Affichage du clavier

Afin d’obtenir un clavier numérique visible, un moule de clavier azerty suivi d’une lentille convergente sont placés entre une source lumineuse, un laser rouge dans notre cas, et le support sur lequel est projeté le clavier. Le moule miniature d’un clavier azerty permet la formation des lettres. Quant à la lentille convergente, elle permet l’agrandissement de ce clavier et ainsi d’avoir un clavier à échelle humaine. Ensuite nous plaçons un miroir incliné permettant de projeter l’image sur notre support.

### Schéma explicatif du modèle d’affichage du clavier (fig.8 / voir annexes p.25-26)



Afin de réaliser un clavier capable d'être associé à notre expérience de repérage d'un point dans l'espace, il nous a fallu déterminer des valeurs qui nous permettront d'utiliser notre clavier aisément et efficacement. Ainsi sur le modèle du schéma ci-dessous, nous avons adapté notre montage à nos besoins (voir schéma ci-dessus).



### Schématisation d'un montage optique

AB: Taille de l'objet, OA: Distance objet-lentille, OF': Distance focale, OA': Distance lentille-image, A'B': Taille de l'objet projeté

De ce fait nous avons choisi de projeter notre clavier à environ 40 cm de notre lentille afin de pouvoir faire usage de notre clavier sans être gêné par notre miroir. Nous déterminons donc expérimentalement comme valeur OA', 40 cm.

Afin d'utiliser notre clavier au sein de notre quadrillage, nous avons déterminé que la taille de nos lettres devraient être d'environ 3 cm. Soit A'B' vaut 3 cm.

Dans le but de projeter notre clavier, nous avons expérimentalement décidé d'utiliser une lentille convergente de focale 50 mm. Soit OF' vaut 5cm.

Toutes les valeurs données précédemment ont été fixées afin de pouvoir calculer nos valeurs manquantes comme la taille réelle de nos lettres ainsi que la distance séparant notre lentille de notre objet (nos lettres).

Pour déterminer OA nous avons utilisé la relation de conjugaison :  $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'}$

$$1/OA = -1/OF' + 1/OA'$$

$$1/OA = -1/5 + 1/40$$

$$1/OA = -0,175$$

$$OA = -5.7 \text{ cm}$$

On en déduit que notre valeur OA, la distance entre notre lentille et notre objet, doit valoir environ 5,7 cm.

Ensuite à l'aide de nos valeurs fixées et de OA, nous avons calculé la taille réelle de nos lettres (AB) à l'aide de la relation de grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Ainsi on obtient :

$$AB = (OA \times A'B') / OA'$$

$$AB = 17.1/40$$

$$AB = 0,4 \text{ cm}$$

Donc nos lettres doivent avoir une hauteur d'environ 0.4 cm pour projeter des lettres de 3 cm de hauteur.

Nous répertorions ici toutes nos valeurs expérimentales, quelques peu différentes des valeurs théoriques (les différences sont dues aux incertitudes des mesures) :

OA Objet-lentille : - 4,4 cm

OA' Lentille-image: (41 ± 0,5) cm

A'B' Taille voulue d'un caractère de l'image : 3 cm

AB Taille réelle de l'objet (une case) : 0,4 cm

OF' Vergence lentille, valeur focale: 5 cm

A l'aide de ces valeurs, nous avons pu afficher un clavier de 4 lettres (voir annexe p.25-26) que nous pouvons associer à notre quadrillage, en projetant le clavier sur la zone quadrillée. Nous précisons que nous avons utilisé un objectif de microscope ×15 pour concentrer les rayons lumineux du laser dans le but de pouvoir utiliser notre clavier malgré la luminosité de la pièce. Il est tout de même nécessaire de faire usage du clavier en zone sombre. Il faudrait utiliser un objectif de microscope ×60 pour concentrer au maximum les rayons lumineux et utiliser le clavier à la lumière. Cependant le faisceau engendré est si petit qu'il faudrait imprimer des lettres encore plus petites pour réussir à toutes les afficher.

## C/ Miniaturisation

Le but de notre projet est de réaliser un boîtier permettant d'afficher un clavier numérique à projection laser, et d'être transporté facilement. Nous allons donc tenter

par la suite de miniaturiser nos composants. Par exemple, utiliser des résistances plus petites, ou réaliser notre quadrillage de façon à ce que celui-ci ne soit pas trop encombrant. Utiliser des lasers plus petits, des photodiodes elles aussi plus petites, la fonction sommateur de l'AOP au lieu de comparateur pour réduire notre nombre d'AOP, et réaliser notre montage sur une seule plaquette permettraient de miniaturiser le montage au maximum jusqu'à obtenir un boîtier.

## D/ Bluetooth

Dans la partie concernant les ondes ultrasonores, nous nous sommes retrouvés bloqués du fait que nous ne parvenions pas à réaliser des pulses d'ondes. Cependant, nous ne voulions pas garder des zones d'ombre pour notre projet et dans nos recherches. De plus, d'après nos recherches, afin de transférer des informations par bluetooth, il est nécessaire de générer des pulses d'ondes qui permettent de faire passer l'information entre notre clavier et un ordinateur possédant une connexion bluetooth. En effet, nous avons envisagé de créer un réseau bluetooth autour de notre boîtier pour que celui-ci puisse être connecté sans-fil à un ordinateur. Or, nous avons réussi à produire ces pulses d'ondes, nous pouvons donc envoyer de l'information, c'est-à-dire un caractère via le bluetooth.



## IV/ Utilisation d'un clavier numérique à projection laser

Notre projet a déjà été commercialisé sous différentes formes, en voici quelques exemples.

Le clavier le plus pointu dans le domaine du virtuel est le Light Touch, une innovation présentée au CES de Las Vegas en 2010 par la société Light Blue Optic. Il est le premier modèle à proposer une projection en couleurs. Il ne fait pas uniquement clavier, mais aussi écran virtuel de 10 pouces, pour différents types d'applications. En somme, une tablette rétro projetable sous forme de boîtier.



Le produit CLVESBL est un boîtier dont l'unique fonction est de projeter un clavier. Il peut se projeter sur toutes les surfaces planes, et comme les autres produits de ce genre, être lié sans fil à tous types d'interfaces.



Il existe un grand nombre de ce types d'appareils, avec toujours plus de fonctionnalités, que la grande distribution commercialise peu à peu. Mais en dehors de nos utilisations quotidiennes, ce produit ouvre de nouvelles perspectives dans de nombreux domaines, notamment celui de l'hygiène (hôpitaux, industries sensibles à la pollution, restauration) puisque toutes les surfaces planes peuvent être utilisées, ou encore celui de la publicité dans certains lieux publics comme les musées pour une utilisation plus "propre" et moins complexe à mettre en place que des écrans.

## V / Conclusion

Nous nous étions demandés comment réaliser un clavier numérique à projection laser. Nous avons donc cherché à comprendre comment repérer un point dans l'espace. Lors de nos recherches nous nous sommes penchés sur plusieurs types d'ondes, dont les ondes ultrasonores et les ondes infrarouges. En les étudiant, par nos expériences, nous avons constaté que ces dernières étaient les plus pratiques d'utilisation, plus adaptées pour réaliser notre projet, les ondes ultrasonores n'étant pas assez précises. Nous ne pouvons à ce jour pas encore espérer expliquer comment réaliser entièrement un clavier numérique à projection laser, ayant concentré la plupart de nos recherches à comprendre comment repérer un point dans l'espace, un élément préalable et indispensable à la création de notre projet, ainsi qu'à réaliser la projection de notre clavier sur une surface plane.

Ces olympiades de physiques ont été une expérience enrichissante. En effet, elles nous ont fait découvrir, par un travail de groupe réfléchi et grâce à l'entraide, les méthodes de recherche et d'expérimentation qui permettent d'aboutir à la création d'un produit nouveau.

## Remerciements

Pour commencer nous voulons adresser des remerciements particuliers à M. ROUILLARD qui nous a permis de nous lancer dans cette aventure qu'est la recherche, même à notre simple niveau de physique. Tout au long du projet, il nous a guidé et nous a permis d'avancer plus vite dans la recherche en prévoyant nos besoins et nos éventuels problèmes.

Merci à Mme VUONG pour son aide précieuse, sa grande disponibilité, son enthousiasme ainsi que sa générosité nous ayant permis de travailler efficacement mais aussi de profiter pleinement de ce projet.

Merci au chef d'établissement ainsi qu'à l'ensemble du personnel du lycée Philibert Delorme de nous avoir permis de réaliser au sein de l'établissement ce projet.

Merci aux autres groupes, qui ont participé aux Olympiades de Physique au sein de notre lycée, qui se sont investis dans leurs projets et qui ont contribué, tous ensemble, à produire un bon environnement de travail.

## Bibliographie

- [http://www.editions-petiteelisabeth.fr/calculs\\_optique\\_3.php](http://www.editions-petiteelisabeth.fr/calculs_optique_3.php)
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Angle\\_d%27incidence\\_\(optique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Angle_d%27incidence_(optique))
- <http://pour-les-geeks.over-blog.com/article-comment-a-marche-09-le-clavier-virtuel-102016641.html>
- <https://abcreseau.blogspot.fr/2014/01/bluetooth.html>
- [http://www.physagreg.fr/fiche\\_technique/fiche-descartes.pdf](http://www.physagreg.fr/fiche_technique/fiche-descartes.pdf)
- <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00307197/document>
- <http://www.positron-libre.com/cours/electronique/diode/led/alimentation-led.php>