

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etude de Master Professionnel

Spécialité : ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE

Mémoire dirigé par M^r Idjeri.B

Présenté par

Agar
Nabil

Agouni kaci
Ali

Thème

RÉALISATION D'UN SYSTÈME DE MESURE DE CONCENTRATION À L'AIDE D'UNE CARTE ARDUINO UNO

Devant les membres du jury :

Président :

Mr BEN SIDHOUM Md OUTAHAR

Encadreur :

Mr IDJERI BOUSAAD

Examineur :

Mr MOUHIA YACINE

Soutenu le : 26 / 09 / 18

2017/2018

Remerciements

Nous voulons avant tout, remercier notre promoteur : Monsieur Idjeri, pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de nous encadrer durant ce projet, mais aussi pour nous avoir soutenus tout au long de ce dernier.

Nous remercions les membres du jury qui ont consenti à juger notre travail et ce de manière objective.

Nous remercions Madame Louni pour avoir accepté à nous accueillir dans le laboratoire de chimie.

Nous tenons à saluer la peine et l'effort fournis par l'ensemble de nos enseignants afin d'assurer notre formation tout au long de notre cursus universitaire et leur disons de ce fait, merci.

Nous exprimons notre infinie gratitude à nos chers parents en reconnaissance de leurs sacrifices, dévouements, soutiens et encouragements.

Nous tenant à remercier nous chers amis qui ont nous aidées de loin et de prêt telle-que : Ghilas et Ilyas, Abdenour et Ouiza, Amine et autres ...

Ces quelques mots ne traduisent guère tout ce que nous avons pu recevoir de la part de chacun d'entre eux, mais nous souhaitons néanmoins qu'ils y trouvent l'expression de notre infinie reconnaissance.

Dédicaces

On dédie ce modeste travail à :

Nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous, et qui nous ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. On espère qu'ils trouveront dans ce travail toute notre reconnaissance et tout notre amour.

Nos frères ainsi que nos sœurs qu'on adore plus que tout.

Toutes les personnes aux quelles on tient et qui comptent énormément pour nous, sans les citer, elles se reconnaîtront.

Ali, Nabil

Sommaire

Introduction générale :	1
Chapitre I : notions générales de spectrophotométrie.	
I)-Introduction	3
II)- Spectrophotomètre	3
II.1)- principe de fonctionnement	4
II.2)- La longueur d'onde	5
III)- Paramètres caractéristiques d'une couleur	6
IV)- Méthodes de quantification de la couleur	7
V)-Phénomène d'absorption de la lumière par une structure électronique moléculaire.	8
V.1)- Spectre d'absorption	9
V.2)- Processus de relaxation	9
V.3)- Relaxation Vibrationnelle	11
V.4)- Conversion Interne.....	11
VI)- Fluorescence	11
VII)- Les détecteurs photoélectriques	12
VII.1)- Les photodiodes	13
VII.2)- Les photomultiplicateurs	15
VII.3)- Les capteurs d'images CCD	16
VIII)- Conclusion	16

Chapitre II : conception de système de mesure de concentration.

I)- Introduction	17
II)- Conception du système de mesure de concentration	17
II.1)- principe de fonctionnement de notre système.....	18
III)- présentation du matériel utiliser.....	18
III.1)- La carte Arduino Uno.....	18
III.1.1)- Partie matérielle	19
III.1.2)- Partie logicielle	20
III.1.3)- Avantages de la carte	20
IV)- Convertisseur lumière-fréquence TSL235R	21
IV.1)- Circuit électrique du capteur	22
V) -Source de lumière	23
V.1)- LED RGB	23
V.2)- LED infrarouge	24
VI)- Porte échantillon	25
VII)-Afficheur	26
VIII)- Conclusion	27

Chapitre III : test et résultat.

I)- introduction	28
II)- Mesure de la concentration du saccharose et du <i>NaCl</i> dans l'eau distillée.....	28
II.1)- LED Ir.....	29
II.2)- LED bleu.....	31
II.3)- LED rouge.....	33

II.4)- LED verte	35
II.5)- conclusion de l'expérience.....	37
III)- Mesure de la quantité du sucre (saccharose) dans une eau gazeuse.....	37
III.1)- Mesures effectuées	37
IV)- calculs théoriques.....	43
V)- Mesure de concentration des métaux lourds dans l'eau	44
IV.1) La toxicité des métaux lourds.....	44
IV.2) Préparation des solutions.....	44
IV.3)- Choix de longueur d'onde.....	49
VI)- organigramme.....	53
VI.1)- Explication des étapes principales de l'organigramme	54
VII)- concentration mesurées avec l'appareil.....	55
VIII)- conclusion.....	56
Conclusion et perspectives	57

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : spectrophotomètre à double faisceau.....	3
Figure I.2 : Structure d'une onde lumineuse.....	8
Figure I.3 : Quantité de lumière absorbée en fonction de la longueur d'onde.....	9
Figure I.4 : Diagramme de transition électronique.....	10
Figure I.5 : Structure de la jonction PN.....	13
Figure I.6 : Influence des photons sur la jonction on PN.....	14

Chapitre II

Figure II.1 : architecture du système.....	18
Figure II.2 : Structure de la carte Arduino uno.....	19
Figure II.3 : Interface IDE Arduino.....	20
Figure II.4 : Convertisseur lumière-fréquence TSL235R.....	22
Figure II.5 : schéma interne de la TSL235R.....	22
Figure II.6 : schéma électrique du capteur.....	23
Figure II.7 : LED RGB.....	24
Figure II.8 : les différences spectres de lumière.....	25
Figure II.9 : cuve de mesure.....	26
Figure II.10 : branchement d'arduino a l'ordinateur.....	27

Chapitre III

Figure III.1 : courbe de fréquences de saccharose mesures en IR.....	29
Figure III.2 : courbe de fréquences de sel mesuré en IR.....	30
Figure III.3 : courbe de fréquences de sucre mesuré en LED BLEU.....	31

Figure III.4 : courbe de fréquences de sel mesuré en LED BLEU.....	32
Figure III.5 : courbe de fréquences de sucre mesuré en LED ROUGE.....	33
Figure III.6 : courbe de fréquences de sel mesuré en LED ROUGE.....	34
Figure III.7 : courbe de fréquences de sucre mesuré en LED ROUGE.....	35
Figure III.8 : courbe de fréquences de sel mesuré en LED VERTE.....	36
Figure III.9 : variation d'irradiance pas rapport a la quantité de sucre LR.....	39
Figure III.10 : variation d'irradiance pas rapport a la quantité de sucre L V.....	40
Figure III.11 : variation d'irradiance pas rapport a la quantité de sucre L IR.....	42
Figure III.12 : masse molaire du sulfate de cuivre.....	45
Figure III.13 : 0.2 mol/l de sulfate de cuivre.....	46
Figure III.14 : 0.1mol/l de sulfate de cuivre.....	47
Figure III.15 : 0.05 mol/l de sulfate de cuivre.....	47
Figure III.16 : 0.02 mol/l de sulfate de cuivre.....	48
Figure III.17 : 0.01 mol/l de sulfate de cuivre.....	48
Figure III.18 : échantillons de 5 ml de sulfate dans une cuve de mesure.....	49
Figure III.19 : Courbe d'étalonnage avec la LED verte pour sulfate de cuivre.....	50
Figure III.20 : Courbe d'étalonnage pour la LED bleu pour sulfate de cuivre.....	51
Figure III.21 : Droite d'étalonnage avec la LED rouge pour sulfate de cuivre.....	52

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : différents types de rayonnement en fonction de la longueur d'onde.....	6
Tableau I.2 : Sensibilité de différentes photodiodes.....	14
Tableau I.3 : Courant d'obscurité pour différentes photodiodes.....	14

Chapitre III

Tableau III.1 : Fréquences mesurées pour le saccharose Led Ir.....	29
Tableau III.2 : Fréquences mesurées pour le NaCl Led Ir.....	30
Tableau III.3 : Fréquences mesurées pour le saccharose Led Bleu.....	31
Tableau III.4 : Fréquences mesurées pour le NaCl Led Bleu	32
Tableau III.5 : Fréquences mesurées pour le saccharose Led Rouge.....	33
Tableau III.6 : Fréquences mesurées pour le NaCl Led Rouge.....	34
Tableau III.7 : Fréquences mesurées pour le saccharose Led Verte.....	35
Tableau III.8 : Fréquences mesurées pour le NaCl Led Verte.....	36
Tableau III.9 : Les fréquences enregistré avec la LED rouge pour la boisson gazeuse....	39
Tableau III.10 : Les fréquences enregistré avec la LED verte pour la boisson gazeuse.....	40
Tableau III.11 : Les fréquences enregistré pour la LED IR.....	42
Tableau III.12 : Les fréquences enregistré avec la LED verte pour le sulfate de cuivre.....	49
Tableau III.13 : Les fréquences enregistré avec la LED bleu pour sulfate de cuivre.....	50
Tableau III.14 : Les fréquences enregistré avec la LED rouge pour sulfate de cuivre.....	52

Introduction générale

La nature nous fournit de nombreux exemples de systèmes sensoriels de détections du monde environnant. Tous les types de vie, des bactéries aux être humains, ont développé un système donné pour percevoir le monde extérieur. Ces systèmes ont eu des millions d'années pour évoluer et certains d'entre eux démontrent une intégration continue de l'optoélectronique dans les systèmes biologiques.

Dans plusieurs activités quotidiennes et industrielles de la vie humaine, des instruments portatifs et peu couteux pour la détection en temps réel des micro-organismes sont très utiles, les domaines les plus importants incluent les analyses environnementales de l'air, de l'eau potable, l'industrie alimentaire et la gestion d'eau résiduaires. La protection humaine contre les actes bio-terroristes est devenue un sujet d'actualité. Plusieurs situations peuvent s'avérer critiques en ce qui concerne la détection en temps réel des micro-organismes dans plusieurs applications tel que les environnements clos, c'est le cas des missions spatiales par exemples. D'une façon générale, la détection de substances spécifiques est basée sur la reconnaissance du spectre d'émission de la source d'excitation, du spectre d'absorption de la substance traitée.

Notons que plusieurs techniques ont été développées pour tenter d'apporter des solutions pour une large gamme de problèmes, dont les méthodes optiques et celles basées sur la fluorescence sont prometteuses. Cependant, elles présentent les inconvénients d'être complexes, encombrantes et couteuses, ce qui les rend inadaptées pour effectuer des mesures spatiales sur une large gamme. De plus, ces techniques classiques nécessitent des modifications pour chaque nouvelle substance recherchée, ce qui a conduit à la recherche de nouveaux instruments capables de détecter une large gamme de substances même si elles sont en mixture.

Depuis l'avènement de nouveaux instruments électroniques, les recherches n'ont cessées de progresser afin de développer de nouveaux senseurs miniatures de hautes performances.

Dans ce mémoire nous présentons la conception d'un système de mesure de concentration chimique multi-substances à base d'une carte à microcontrôleur arduino, de diodes électro luminescentes et un circuit convertisseur lumière-fréquence.

Le mémoire résumant le travail réalisé est organisé autour de trois chapitres :

- Dans le premier chapitre nous allons introduire les notions de base sur la spectrophotométrie.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du matériel utilisé pour la conception du système de mesure chimique.
- Le troisième chapitre porte sur les différents tests effectués et les résultats obtenus.

La conclusion synthétise le travail réalisé et donne un aperçu de quelques perspectives qui peuvent être développées.

I)-Introduction :

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert [1]. La densité optique des échantillons est déterminée par un spectrophotomètre préalablement étalonné sur la longueur d'onde d'absorption de la substance à étudier. Dans les paragraphes qui vont suivre nous allons introduire les notions de base sur la spectrophotométrie.

II)- Spectrophotomètre :

Le spectrophotomètre est un instrument utilisé de façon ubiquitaire dans plusieurs domaines tels que la biologie clinique et environnementale, la chimieetc. son principe de fonctionnement est basé sur la mesure de la quantité de lumière qu'une substance chimique peut absorber, en faisant passer un faisceau de lumière à travers un échantillon. En mesurant l'intensité de lumière détectée, cette méthode peut être utilisée pour déterminer la concentration de soluté dans l'échantillon. La figure I.1 illustre le principe de fonctionnement d'un spectrophotomètre à double faisceau.

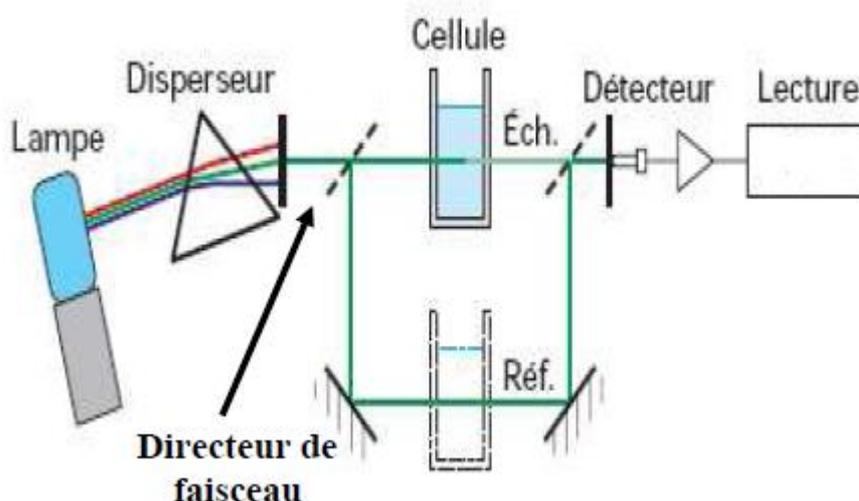


Figure I.1 : spectrophotomètre à double faisceau. [1].

Lampe : Son rôle est de générer la lumière dans la totalité du spectre visible plus à coté de l'ultraviolet pour couvrir une gamme de longueur d'onde de 200 nm à 800 nm. Cette gamme ne peut pas être obtenue avec une seule lampe, donc une combinaison est utilisée. Une lampe à deutérium pour la partie UV, en plus d'une autre lampe tungstène-halogène pour la partie visible.

Disperseur : qui peut être un prisme ou un réseau de diffraction dont le rôle est de décomposer la lumière en faisceau à plusieurs longueurs d'ondes.

Fente : elle permet de faire passer une lumière sur une bande de longueur d'onde très étroite.

Cellule : c'est la solution dont la concentration est à mesurer.

Directeur de faisceau : il permet de faire transmettre de lumière reçue à travers la fente vers l'échantillon ou la référence.

Miroir : il permet de faire réfléchir la lumière transmise à travers la fente dans une direction donnée.

Détecteur : c'est un élément sensible à la lumière, qui peut être une photodiode dont le rôle est de convertir l'énergie lumineuse en une grandeur électrique.

Lecteur : a pour fonction l'affichage des résultats.

II.1)- principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement du spectrophotomètre consiste à mesurer l'absorbance (A) d'une solution contenue dans une cuve de longueur (L) en faisant passer une radiation (lumière) monochromatique (une seule longueur d'onde). L'absorbance est une grandeur liée à la quantité de lumière absorbée par la solution, elle dépend de la couleur de la radiation, et de sa longueur d'onde.

La relation entre quantité rayonnement transmis par le milieu et la concentration des molécules dans la solution est formalisé par la loi de beer-lambert . Elle est donnée par l'équation (I.1)

$$A_{\lambda} = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \log\left(\frac{100}{T}\right) = \varepsilon_{\lambda} \cdot I \cdot C \quad (I.1)$$

Où :

A_λ → Absorbance du milieu à la longueur d'onde λ (sans unité)

ϵ_λ → coefficient spécifique d'absorbance molaire ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$)

C → concentration molaire de la solution ($mol \cdot L^{-1}$)

l → trajet optique de la cellule (cm)

T → transmittance (souvent exprimée en %)

I → Intensité de la lumière à la sortie du trajet optique.

I_0 → Intensité de la lumière incidente à la longueur d'onde λ

II.2)- La longueur d'onde :

La longueur d'onde est une grandeur physique associée à toute onde périodique. Elle représente aussi la distance entre deux points successifs. Lorsqu'une onde passe d'un milieu vers un autre elle conserve la même fréquence mais sa longueur d'onde et sa célérité changent [2]. La relation liant la longueur d'onde, la célérité et la fréquence est donnée par l'équation (I.2).

$$C = \lambda \nu \quad (I.2)$$

Cette relation permet de déduire que :

- Dans un milieu où la célérité est plus grande la longueur d'onde d'une onde augmente.
- Dans un milieu où la célérité est plus faible la longueur d'onde de l'onde diminue.

Outre de la lumière visible que peut détecter l'œil humain il existe d'autres rayonnements électromagnétiques invisibles détectables. Les rayonnements d'une longueur d'onde inférieure à celle de la lumière violette (inférieure à 400 nm) correspondent aux ultraviolets. Au delà desquels se trouvent les rayons X puis les rayons γ (gamma). Les rayonnements d'une longueur d'onde supérieure à celle de la lumière rouge (supérieure à 700 nm) correspondent à des infrarouges puis des micro-ondes et enfin des ondes radio. La tableau (I.1) représente les différents types de rayonnement en fonction de la longueur d'onde.

Couleur		longueur d'onde (1 nm = 10 ⁻⁹ m)
violet		380 à 450 nm
bleu		450 à 490 nm
vert		490 à 570 nm
jaune		570 à 585 nm
orange		585 à 620 nm
rouge		620 à 670 nm

Tableau I.1 : différents types de rayonnement en fonction de la longueur d'onde. [2].

Comme on peut le constater sur le tableau I.1 à couleur de la lumière dépend de la longueur d'onde. La perception d'une lumière, qu'elle provienne directement d'une source ou qu'elle soit diffusée ou transmise par un objet, comporte une composante chromatique (la couleur) et une composante lumineuse. Cette dernière est quantifiée par les grandeurs visuelles, qui sont des grandeurs énergétiques pondérées par la sensibilité spectrale du système visuel.

Il convient de souligner ici que l'œil humain capte le mieux le rouge, le vert et le bleu. C'est par l'intermédiaire des bâtonnets qui constituent l'œil que celui-ci est le mieux adapté :

- au rouge (longueur d'ondes longues de 580 nm) grâce aux **bâtonnets L**,
- au vert (longueur d'ondes moyennes de 545 nm) grâce aux **bâtonnets M**,
- au bleu (longueur d'ondes courtes de 440 nm) grâce aux **bâtonnets S**.

En colorimétrie, on compare des mélanges de lumières colorées aussi isolées que possible des autres sensations visuelles afin de s'affranchir des complexités des interactions de couleurs.

Ces mélanges sont des *stimulus* au sens de la psychophysique.

III)- Paramètres caractéristiques d'une couleur :

Trois paramètres définissent une couleur [3]. :

- **Teinte** : elle correspond aux fréquences engendrant cette couleur.
- **Valeur** : elle correspond à l'amplitude lumineuse définissant cette couleur. Pour information, plus on se rapproche du noir, plus la valeur est basse.
- **Saturation** : qui correspond à la pureté d'une couleur.

IV)- Méthodes de quantification de la couleur:

Deux méthodes sont généralement utilisées pour quantifier la couleur :

- La mesure trichromatique
- La mesure spectrale

➤ Mesure trichromatique :

En 1802, Young est le premier à supposer l'existence de trois différents types de récepteurs présent sur la rétine (appelés aujourd'hui cônes), ils sont responsables de la perception des couleurs par le cerveau. Chaque récepteur est sensible à une seule couleur: rouge, vert ou bleu. La combinaison de ces trois couleurs peut former n'importe quelle couleur visible dans le spectre. Cette théorie est plus communément connue comme la théorie trichromatique la vision des couleurs.

- Le cône dit « bleu/violet » présente une sensibilité maximale autour de 420 nm.
- Le cône dit « rouge » présente une sensibilité maximale autour de 540 nm.
- Le cône dit « vert » présente une sensibilité maximale autour de 520 nm.

Toutefois les trois types de cônes sont quasiment sensibles à toutes les fréquences du spectre visible. Ensuite c'est à partir du niveau de réponse des trois différents capteurs du système visuel que le cerveau va restituer la couleur.

➤ Mesure spectrale :

Cette méthode de mesure utilise un spectrocolorimètre plus sophistiqué dont les performances sont entre celles des colorimètres et des spectrophotomètres. La lumière réfléchie ou transmise par l'échantillon est projetée sur un dispositif optoélectronique comportant une série de diodes filtrées selon des bandes passantes étroites. Les spectrocolorimètres de haut de gamme sont dotés de réseaux de diffraction qui permettent d'obtenir un spectre projeté sur un peigne de diodes, et sur ce spectre on trouve la couleur calculée du stimulus, cela nous permet dans le cadre de notre application de déterminer la concentration de la solution.

V)- Phénomène d'absorption de la lumière par une structure électronique moléculaire :

Une onde lumineuse peut être vue comme de l'énergie électromagnétique se déplaçant suivant une ligne droite avec une vitesse constante de 3×10^8 m/s, engendrant un champ électrique et un champ magnétique perpendiculaires oscillants à la même fréquence. La distance parcourue par l'onde durant la période d'une oscillation complète est appelée la longueur d'onde. La vitesse, la fréquence, ainsi que la longueur d'onde sont reliées par l'équation (I.1) définie précédemment. La figure I.2 illustre la structure d'une onde lumineuse.

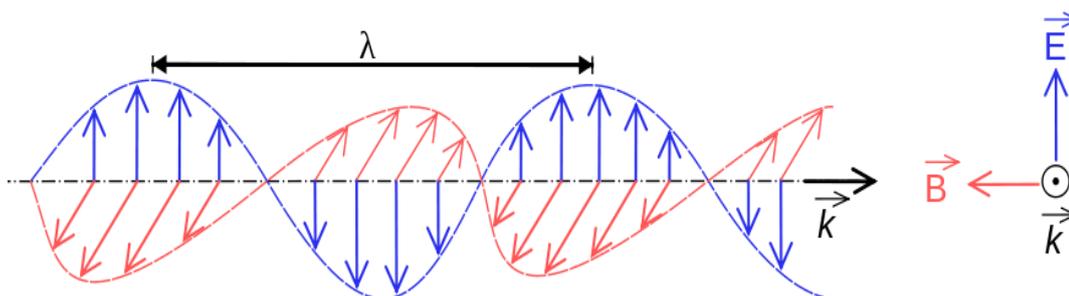


Figure I.2 : Structure d'une onde lumineuse.

En raison du champ électrique associé à la lumière, une particule chargée (électron par exemple) placée sur le chemin de l'onde lumineuse peut exercer une force et sera capable d'absorber de l'énergie du champ électrique de l'onde lumineuse. Si un électron appartenant au plus bas niveau électronique d'un atome absorbe de l'énergie du champ électrique d'une onde lumineuse, il sera promu à un niveau électronique plus élevé. Donc l'atome aura absorbé de l'énergie à partir de la lumière et passera à un état d'excitation électronique.

V.1)- Spectre d'absorption :

Le spectre d'absorption d'une molécule est une représentation graphique (quantité de lumière absorbée en fonction de la longueur d'onde) de l'absorbance durant les transitions électroniques. Les fortes bandes d'absorptions sont les régions du spectre où l'intensité de la lumière absorbée est élevée, tandis que les faibles bandes d'absorptions sont les régions du spectre où l'intensité de la lumière absorbée est basse. Les tracés sont utiles pour l'analyse

quantitative et qualitative. Une autre forme représentation est celle où l'absorption est représentée par l'absorbance en fonction de la fréquence mais c'est la première représentation qui est plus utilisée car il est plus facile de calibrer les éléments de dispersion avec une vitesse de numérisation constante en termes de longueur d'onde. La figure I.3 représente la quantité de lumière absorbée en fonction de la longueur d'onde.

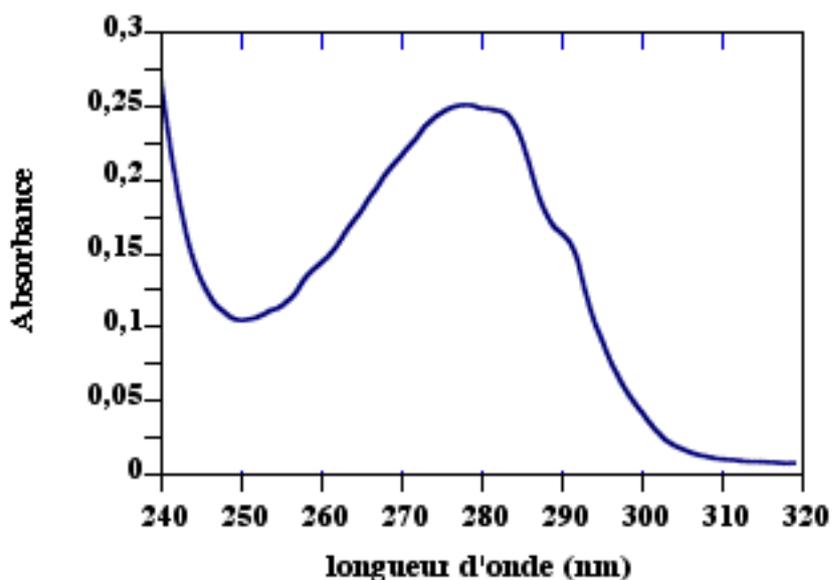


Figure I.3 : Quantité de lumière absorbée en fonction de la longueur d'onde.

V.2)- Processus de relaxation :

L'absorption de la lumière conduit la molécule à de nombreux niveaux vibrationnels possibles dans l'un de ses états d'excitation électronique. Même si le processus d'absorption est très rapide, qui est de l'ordre de 10^{-15} secondes, la séquence des événements durant laquelle la molécule excitée retourne à son plus bas niveau électronique est particulièrement plus lente, de 10^{-14} secondes à quelques secondes. Cependant, l'équilibre thermique engendré par la perte de l'énergie vibrationnelle est plus rapide de 10^{-14} à 10^{-12} secondes. La figure I.4 montre les différents événements qui peuvent survenir lorsqu'une molécule excitée est entrain de revenir à son niveau électronique le plus bas. [4].

Tout d'abord la molécule absorbe de l'énergie (A) passant de son niveau vibrationnelle plus bas ($v = 0$) résidant dans l'état le plus bas (S_0) à d'autres niveaux vibrationnels ($v = 0, 1, 2, 3$) résidant dans des états d'excitation supérieurs (S_1 et S_2). Par la suite un processus de conversion interne (CI) suivie d'un processus de relaxation vibrationnelle (RV) permet à la

molécule de chuter au plus bas niveau vibrationnel ($v=0$) résidant dans l'état S_0 . À ce stade, il existe deux scénarios pour conduire la molécule à l'état S_0' . Le premier consiste en un processus de fluorescence (F) suivie d'une relaxation vibrationnelle (RV), tandis que le deuxième utilise un processus Singulier-Triplet (ST) menant à un état transitoire (T_1), puis un processus de phosphorescence ainsi qu'un autre Singulier Triplet permettant à la molécule de rejoindre l'état de base S_0 . La figure I.4 représente de diagramme de transition électronique.

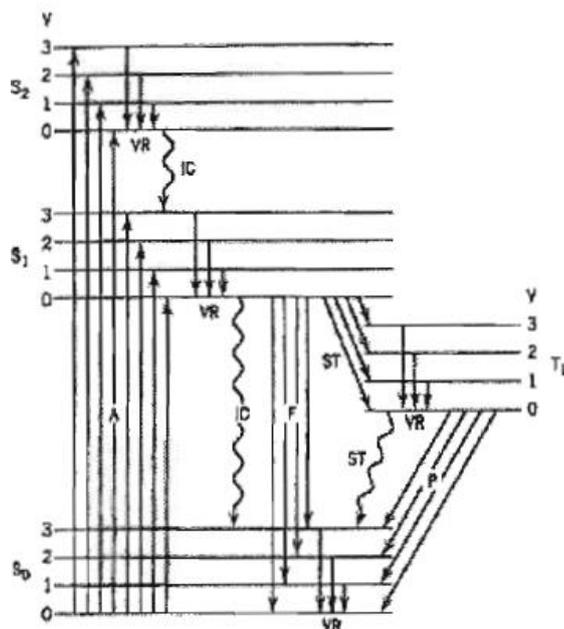


Figure I.4 : Diagramme de transition électronique. [4].

V.3)- Relaxation Vibrationnelle :

Lorsqu'un atome (ou une molécule) absorbe un photon (lumière), il accède à un état électronique excité, Avant de se désexciter, l'atome (ou la molécule) subit une relaxation vibrationnelle, c'est-à-dire qu'il perd un peu d'énergie sous forme de vibration (phonon) ou de chaleur. Il retourne ensuite à son état électronique initial en émettant un photon sous forme d'énergie correspondant à la différence énergétique entre l'état excité (relaxé) et l'état initial. Ce photon émis est d'énergie inférieure au photon absorbé car il y a eu une perte d'énergie en vibration. Sa longueur d'onde est par conséquent plus longue.

V.4)-Conversion Interne :

Après qu'une molécule excitée ait atteint son plus bas niveau vibrationnel dans un état d'excitation donné, elle ne peut libérer d'autre énergie sauf en allant à un état d'excitation plus bas. Cela peut être accompli seulement si le niveau vibrationnel de l'état d'excitation où elle est située est recouvert par le plus haut niveau vibrationnel de l'état qui est juste au dessous. Ce mécanisme de transition entre les états d'excitation est appelé « Conversion Interne ». Il se peut que ces deux niveaux vibrationnels ne se chevauchent pas, dans ce cas il existe d'autres processus pour que la molécule passe à un état d'excitation plus bas, sauf que ceux-ci dépendent de la différence d'énergie (distance) entre les deux niveaux vibrationnels en question. Parmi ces processus nous citons la fluorescence.

VI)- Fluorescence :

La fluorescence repose sur un processus de quantification, de mesure et de représentation de la fluorescence. Le terme « détecteur photoélectrique » est devenu une expression répandue dans le domaine. En effet les photodiodes, les photomultiplicateurs, et les capteurs généralement, les techniques des dispositifs à transfert de charges CCD (Charge Coupled Device) sont d'excellents détecteurs photoélectriques que l'on retrouve dans tous les systèmes de détection optoélectronique actuels, s'occupant ainsi du processus de quantification et la mesure de fluorescence.

La fluorescence est une émission lumineuse provoquée par l'excitation des électrons d'une molécule (ou atome), généralement par absorption d'un photon immédiatement suivie d'une émission spontanée. La fluorescence et la phosphorescence sont deux formes différentes de luminescence qui diffèrent notamment par la durée de l'émission après excitation. La fluorescence est de brève durée, tandis que la phosphorescence perdure plus longtemps. La fluorescence peut entre autres servir à caractériser un matériau

Une molécule fluorescente (fluorophore ou fluoro-chrome) possède la propriété d'absorber de l'énergie lumineuse (lumière d'excitation) et de la restituer rapidement sous forme de lumière fluorescente (lumière d'émission). Une fois l'énergie du photon absorbée, la molécule se trouve alors généralement dans un état électroniquement excité, souvent un état singulet, noté S_1 . (L'état fondamental qui est aussi singulet est noté S_0). Le retour à l'état fondamental peut alors se faire de différentes manières : soit par fluorescence, soit par phosphorescence.

La fluorescence est caractérisée par l'émission d'un photon de manière très rapide. Cette rapidité s'explique par le fait que l'émission respecte une des règles de sélection de l'émission de photons de la mécanique quantique qui est $\Delta S=0$, ce qui signifie que la molécule reste dans un état singulet.

La phosphorescence quant à elle est caractérisée par une transition d'un état $S=0$ vers un état $S=1$ (état triplet noté T_1), qui n'est pas permise par le modèle quantique, mais qui est rendue possible par le couplage spin-orbite. Cependant, la transition est plus lente à s'effectuer. Il s'en suit alors une émission de photon pour retourner à l'état fondamental. [5].

VII)- Les détecteurs photoélectriques :

Il existe différents types de détecteurs photoélectriques qui sont utilisés dans la spectroscopie de fluorescence. Nous pouvons les catégoriser en deux groupes : les détecteurs à canal simple et ceux à canaux multiples. Cette classification est basée sur les performances des détecteurs. Ceux à canal simple sont capables de prendre des mesures à un seul point du spectre radiant à un instant donné, tandis que les détecteurs à canaux multiples sont capables non seulement de mesurer l'intensité mais aussi la longueur d'onde. Les trois détecteurs de fluorescence suivants sont les plus utilisés :

- Les photodiodes
- Les photomultiplicateurs
- Les capteurs d'image CCD

Le choix d'un détecteur convenant à une application particulière repose sur plusieurs aspects. Un détecteur de fluorescence (après avoir choisi l'intervalle spectral opérationnel) devrait avoir essentiellement un faible bruit et une consommation d'énergie réduite. Dans ce qui suit, nous présentons le principe de fonctionnement de ces trois détecteurs photoélectriques.

VII.1)- Les photodiodes :

Les photodiodes sont basées sur l'effet photoélectrique, c'est-à-dire sur la capacité d'une substance à émettre des électrons quand elle est exposée à un rayonnement lumineux. Dans le cas d'une substance sensible à l'effet photoélectrique, si nous soumettons cette substance à un rayonnement « lumineux » de longueur d'onde variable et nous faisons diminuer cette longueur d'onde, il arrive un seuil où apparaît un courant électrique.

Continuant à faire décroître la longueur d'onde, le courant électrique passe par un maximum puis diminue linéairement. Le seuil est uniquement fonction de la nature du matériau. La variation du courant électrique en fonction de l'énergie reçue, est dépendante de la sensibilité de la photodiode employée. [6].

La réalisation d'une photodiode se fait toujours autour d'une jonction semi-conductrice de type PN comme illustré à la figure I.5.

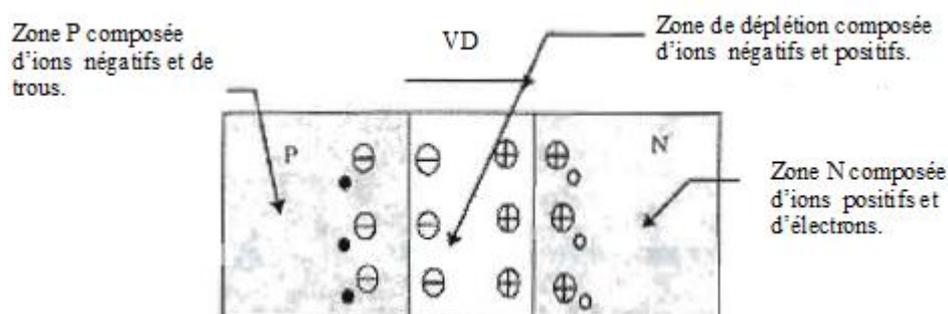


Figure I.5 : Structure de la jonction PN. [6]

Si la jonction est soumise à un flux de photons, il y aura création par absorption, de paires électrons-trous dans la zone de déplétion, ce qui engendre un courant électrique inverse circulant de la zone N vers la zone P comme montré par la figure I.6.

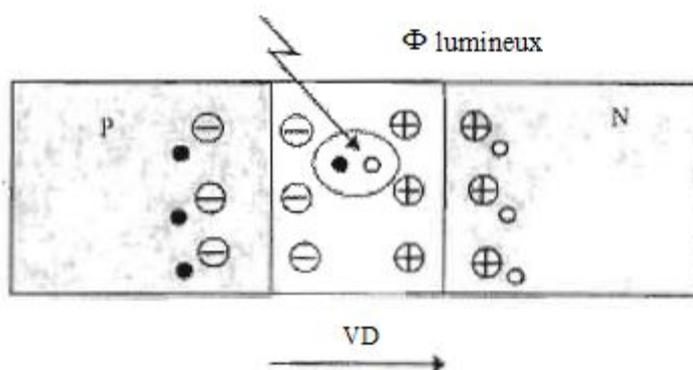


Figure I.6: Influence des photons sur la jonction on PN. [6]

Une photodiode peut être caractérisée par sa sensibilité qui représente le courant généré en fonction du flux reçu (A/W). Le tableau I.2 représente la sensibilité de différentes photodiodes pour une longueur d'onde donnée. Ce tableau démontre que le choix du matériau de la photodiode est fonction de la longueur d'onde pour laquelle il doit opérer.

Matériaux	Si	Ge	GalnAsP
Sensibilité (A/W)	0.7	0.6	0.8

Tableau I.2 : Sensibilité de différentes photodiodes [6].

Une photodiode peut être caractérisée aussi par la surface du capteur en mm^2 , par l'angle de réception, par les diagrammes de directivité, par le temps de réponse et le courant d'obscurité qui représente le courant délivré par la photodiode lorsqu'elle est placée dans l'obscurité. Ce courant varie en fonction de la température. Le tableau I.3 donne le courant d'obscurité pour différentes photodiodes à une température donnée.

Matériaux	Si	Ge	GalnAsp
Courant d'obscurité (nA)	3	500	38

Tableau I.3 : Courant d'obscurité pour différentes photodiodes. [6]

VII.2)- Les photomultiplicateurs :

Le photomultiplicateur est composé d'une enveloppe de verre dans laquelle on a créé du vide. L'entrée du capteur est une photocathode qui a la particularité d'être sensible à l'effet photoélectrique. **Lorsqu'**un flux lumineux vient frapper la cathode, des électrons sont émis. **De** l'autre extrémité du tube, une anode est polarisée positivement par rapport à la cathode. Les électrons attirés par ce potentiel positif sont captés par l'anode. Il y a donc création d'un faible courant électrique correspondant à l'image du flux reçu.

Outre la photocathode et l'anode, il y a dans le photomultiplicateur des électrodes intermédiaires de type anodique nommées dynodes, dont le rôle est de multiplier le flux d'électrons. Par l'intermédiaire des résistances R_N chacune de ces dynodes est polarisée plus positivement que la précédente par rapport à la cathode (figure I.7).

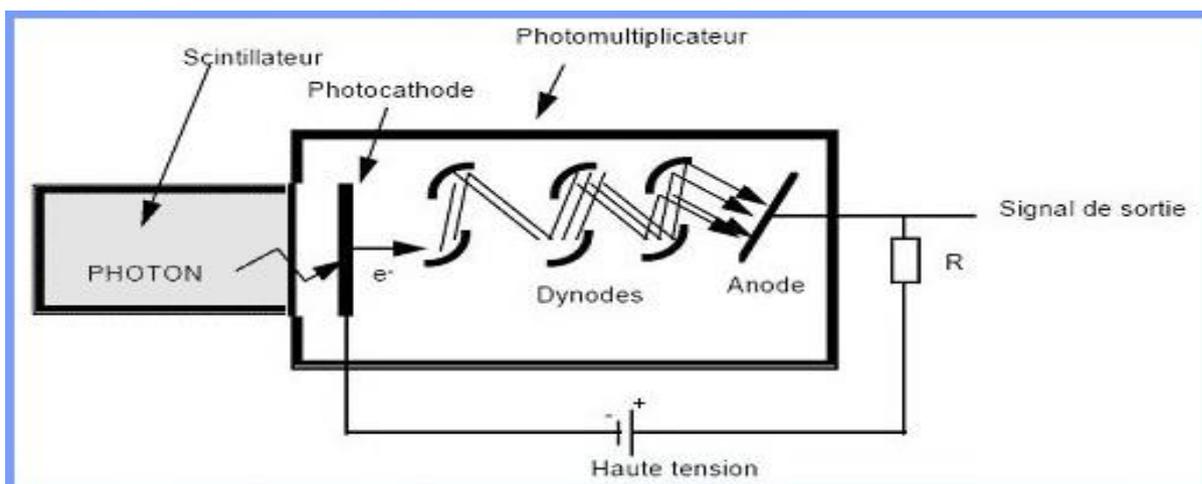


Figure I.7: Structure du photomultiplicateur à cinq dynodes. [6].

Les dynodes ont pour fonction de réaliser des émissions secondaires d'électrons. Cela correspond à une multiplication des électrons émis par rapport aux électrons reçus. Cet effet est exprimé par le coefficient \hat{O} . La valeur de \hat{O} est comprise entre 5 et 10. Elle est fonction, d'une part, de la nature du matériau constituant les dynodes, d'autre part, de la tension d'alimentation de ces dynodes.

VII.3)- Les capteurs d'images CCD :

CCD (Charge Coupled Devices) ou circuit à charge couplée est en fait un dispositif permettant le transfert de charges, il est similaire aux registres à décalage. Les informations analogiques sont, dans un premier temps emmagasinées, puis transférées sous la forme de paquets de charges électrostatiques. L'élément de base des CCD est un condensateur particulier composé d'une structure en trois étages qui s'apparente à celle d'un transistor MOS, d'où l'appellation condensateur MOS utilisée pour l'identifier. Précisément, il s'agit d'un substrat semi-conducteur P ou N recouvert d'un isolant et d'une couche métallique appelée grille. La figure I.8 montre la structure d'un capteur CCD.

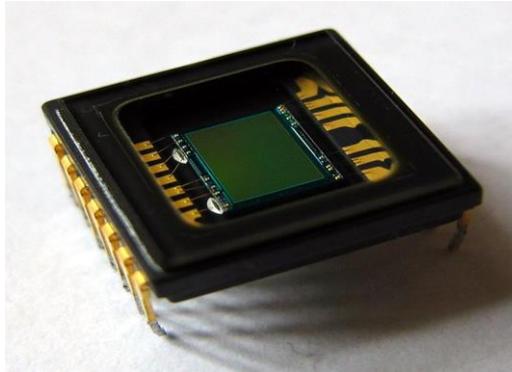


Figure I.8 : Structure d'un capteur CCD. [6].

VIII)- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exploré les notions de base de la spectrophotométrie nécessaires à la compréhension des différents phénomènes chimique, ainsi que quelques instruments utilisés pour détecter la quantité de la lumière dans le but de développer un système de mesure de concentration chimique. Cette partie sera développée dans les prochains chapitres.

I)- Introduction :

L'électronique est une science technique, ou science de l'ingénieur, constituant l'une des branches les plus importantes de la physique appliquée, qui étudie et conçoit les structures effectuant des traitements de signaux électriques, porteurs d'informations désignant toute grandeur physique qui peut évoluer en temps réel selon une loi inconnue. Les applications électroniques peuvent être divisées selon deux groupes distincts : le traitement de l'information et la commande. La première englobe les domaines tel que l'informatique, les télécommunications, les mesures, tandis que la seconde concerne la gestion de l'information par le biais d'instructions, générés par des systèmes électroniques tels que le microprocesseurs et les microcontrôleurs. Ce chapitre est scindé en deux parties : La première concerne l'exploitation du matériel pour la réalisation du système de mesure de la concentration chimique. Tandis que la deuxième partie est consacrée à la présentation du matériel utilisé tels les différentes LEDs, la photodiode et la carte à microcontrôleur arduino servant à la réception et au traitement des signaux.

II)- Conception du système de mesure de concentration :

Dans notre système on a utilisé un capteur optique très sensible qui est une photodiode TSL235R et une source de lumière excitatrice qui est une LED RGB dont plusieurs longueurs d'ondes. On a commandé cette LED à l'aide d'un programme et trois interrupteurs qui nous permettent de choisir la longueur d'onde qu'on veut utiliser. On a utilisé aussi une LED infrarouge comme source, et on a utilisé une carte ARDUINO UNO pour pouvoir programmer et contrôler notre système, cette dernière va nous permettre d'envoyer les fréquences et les signaux enregistrés a un ordinateur et afficher les résultats

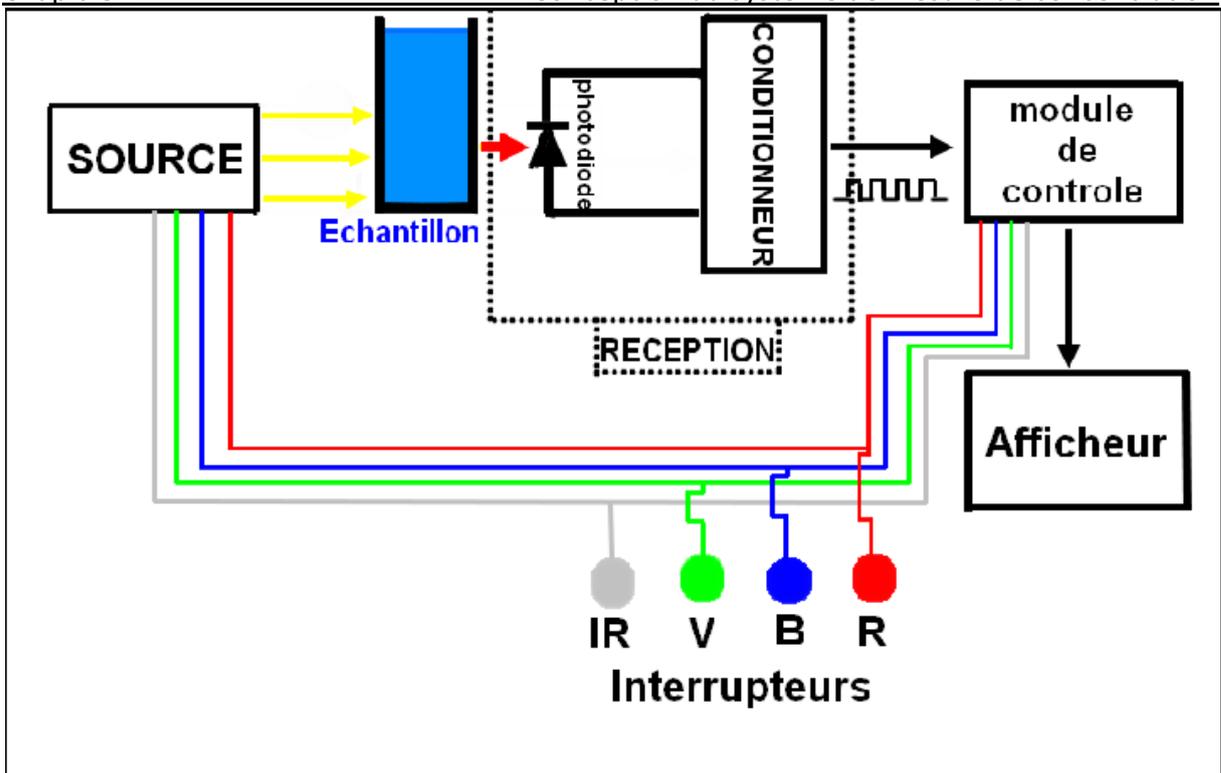


Figure II.1 : architecture du système.

II.1)- Principe du fonctionnement de notre système :

Notre système étudie l'absorption d'éclairement énergétique par les différentes substances chimiques, et la mesure de leurs concentrations. La LED RGB (lumière) traverse une cuve pour qui sera reçu par un récepteur de lumière, qui enregistre le spectre de transmission puis on déduit la radiance ou bien la luminance énergétique. Plus la substance est concentrée, plus elle absorbe de la lumière et plus la luminance énergétique diminue.

III)- Présentation du matériel utilisé :

III.1)- La carte Arduino Uno:

La carte à microcontrôleur Arduino (ou son tout récent synonyme Genuino) est une carte électronique qui intègre un microcontrôleur d'architecture Atmel AVR (comme ATmega328 ou ATmega2560 pour les versions récentes ATmega168 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. C'est une plate-forme basée sur une interface entrée/sortie simple qui est destinée à la programmation interactive. La carte contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur. Pour l'utiliser il suffit de la connecter à l'ordinateur via un câble USB ou à une batterie [7].

III.1.1)- Partie matérielle:

La carte Arduino UNO contient un microcontrôleur ATmega328 programmable permettant de faire fonctionner des composants (moteur, LED...). Elle possède des «ports» d'entrées/sorties pour communiquer avec son environnement extérieur. La figure II.1 représente la structure de la carte.

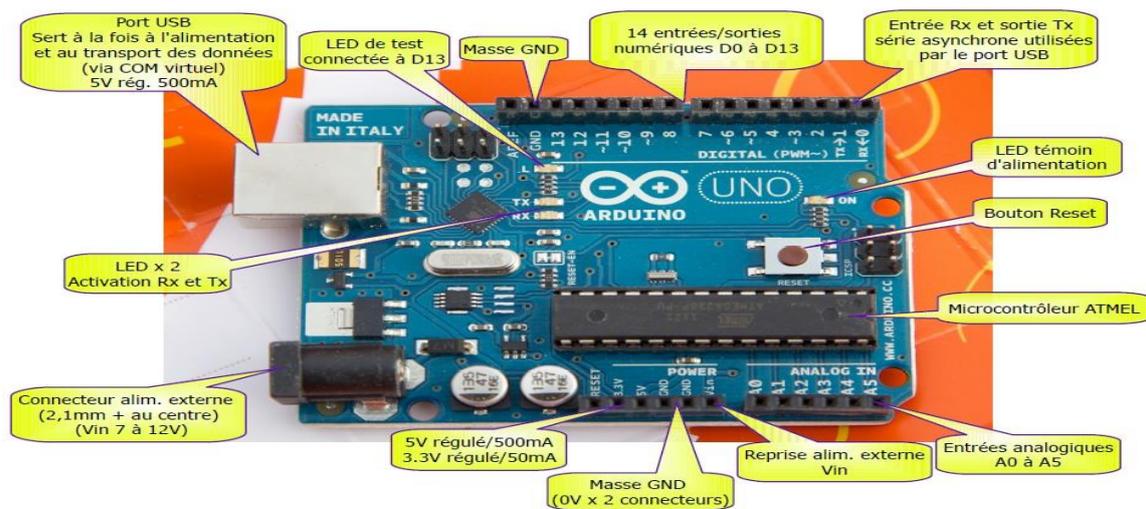


Figure II.2 : Structure de la carte Arduino uno [7].

Elle est dotée de:

- un quartz de 16 MHz, (vitesse de l'horloge).
- un port USB, pour la communication avec le PC et l'alimentation de la carte.
- une prise jack d'alimentation, (alimentation externe).
- un en-tête ICSP.

-une fonction reset, (remettre le système a zéro).

- 14 entrées/sorties numériques (dont 6 fournissent la sortie PWM) et de 6 entrées analogiques.

III.1.2)- Partie logicielle:

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme saisi, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information. Ce programme appelé IDE (interactive Développement Environnement)

Arduino. Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C. La figure II.2 représente l'interface IDE arduino.

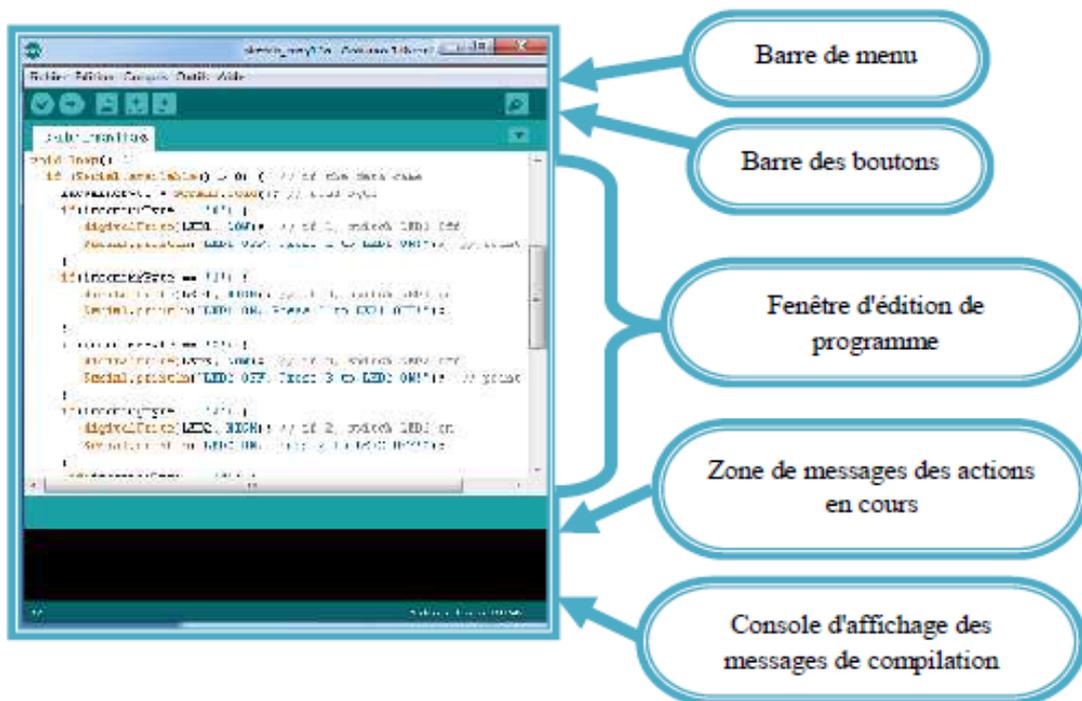


Figure II.3: Interface IDE Arduino [7].

III.1.3)- Avantages de la carte :

Arduino : est « Open Source ». Ce qui veut dire que vous pouvez récupérer le schéma d'origine, le modifier et l'utiliser pour produire la carte et la vendre sans payer des droits d'auteur. L'« Open Source » a permis de diffuser rapidement les cartes Arduino à travers le monde pour former une énorme communauté qui améliore et conçoit de nouvelles cartes toujours plus performantes.

Prix : en vue des performances qu'elles offrent, les cartes arduino sont relativement peu coûteuses, ce qui est un critère majeur pour le débutant.

La communauté : Une communauté est très importante dans ce genre de projet. Cela facilite les échanges entre les utilisateurs sur les différentes cartes. Il existe de nombreux forums et de nombreuses documentations en ligne pour pouvoir utiliser la carte et surmonter les problèmes que vous pourriez rencontrer.

La simplicité : Arduino rime avec la simplicité. Le projet a été conçu pour que des débutants en électronique et en programmation puissent concevoir des prototypes très rapidement de ce qu'ils ont en tête. En quelques heures d'apprentissage, vous serez capable de concevoir votre premier prototype.

Le multiplateforme : Pour programmer une carte Arduino et lui faire faire ce que vous avez en tête, il faut pour cela la connecter à un ordinateur et utiliser l'IDE Arduino, le logiciel permettant de programmer toutes les cartes Arduino. L'IDE est multiplateforme en étant disponible sous Windows, Mac OSX et Linux.

Les « shields » : Ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent directement et facilement sur une carte Arduino pour augmenter ses possibilités en rajoutant par exemple un GPS, une interface Ethernet ou Wifi, un écran LCD, un capteur, etc.... Bien entendu, il est possible de rajouter ses fonctionnalités en passant par des composants ce qui a l'avantage d'être moins coûteux mais beaucoup plus fastidieux à utiliser.

Aucune limite : Utiliser une Arduino c'est l'adopter. Vous n'aurez aucune limite dans vos projets de conception sur Arduino. Enfin si une seule : votre imagination. A titre d'exemple, de nombreuses imprimantes 3D fonctionnent à base d'Arduino.

IV)- Convertisseur lumière-fréquence TSL235R :

Le module de réception qu'on a utilisé est une photodiode qui se compose d'un semi-conducteur qui détecte un rayonnement du domaine optique et le transforme en signal électrique. Le convertisseur lumière-fréquence TSL235R combine une photodiode au silicium et un convertisseur courant-fréquence sur un seul circuit intégré CMOS monolithique. La sortie est une onde carrée (cycle de service 50%) avec fréquence directement proportionnel à l'intensité de la lumière (irradiance) sur la photodiode. La sortie numérique permet une

interface directe à un microcontrôleur ou autre circuit logique. L'appareil a été compensé en température pour l'ultraviolet à visible plage de lumière de 320 nm à 700 nm et répond sur la plage de lumière [8].

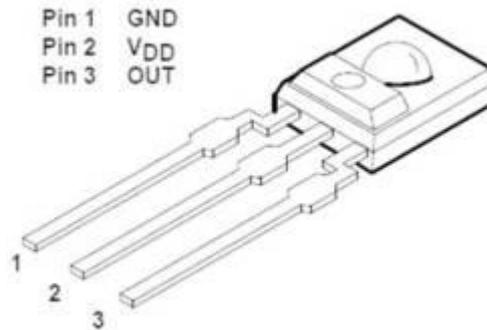


Figure II.4 : Convertisseur lumière-fréquence TSL235R [8].

Schéma fonctionnel :

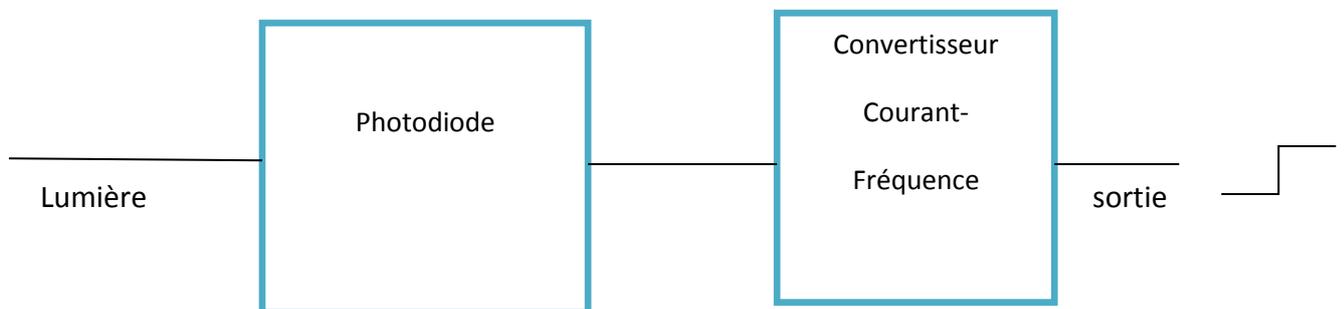


Figure II.5 : schéma interne de la TSL235R [8].

IV.1)- Circuit électrique du capteur :

Le capteur est relié directement au microcontrôleur et le timer permettra de mesurer directement la fréquence du signal à sa sortie.

Courant d'alimentation doivent être découplés par un 0.1 nano F condensateur avec des fils courts placés à proximité de la TSL235R.

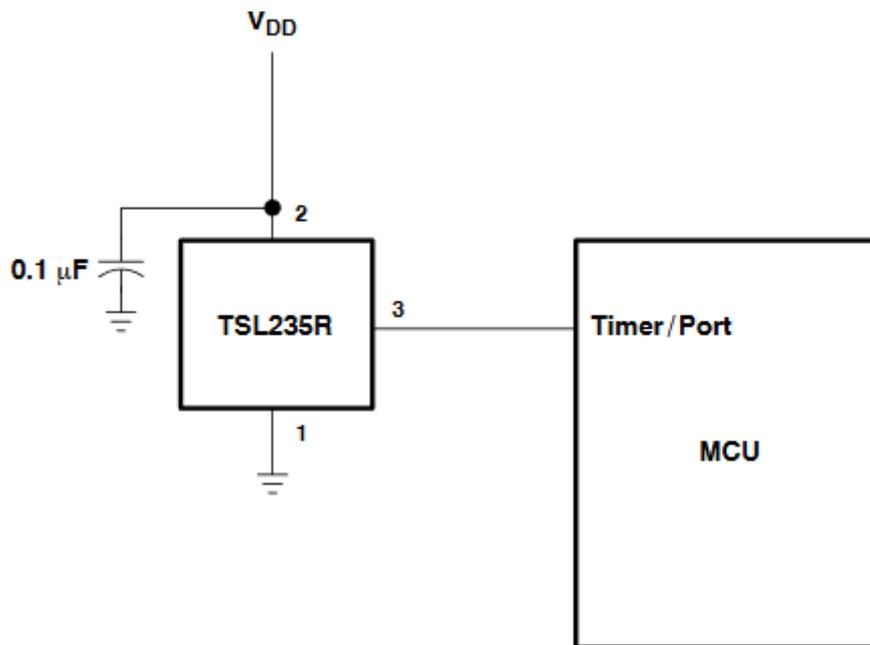


Figure II.6 : schéma électrique du capteur.

V) -Source de lumière :

Dans notre système on a utilisé deux sources de lumière

- LED RGB
- LED INFRAROUGE

V.1)- LED RGB :

Les changements de couleurs sont obtenus par le mélange de 3 couleurs primaires .Le rouge, vert, bleu. D'où R(red),G(green),B(blue), ces leds RGB contiennent ces 3 couleurs primaires , dans notre système ces couleurs sont commandées par programme via la carte arduino [9].

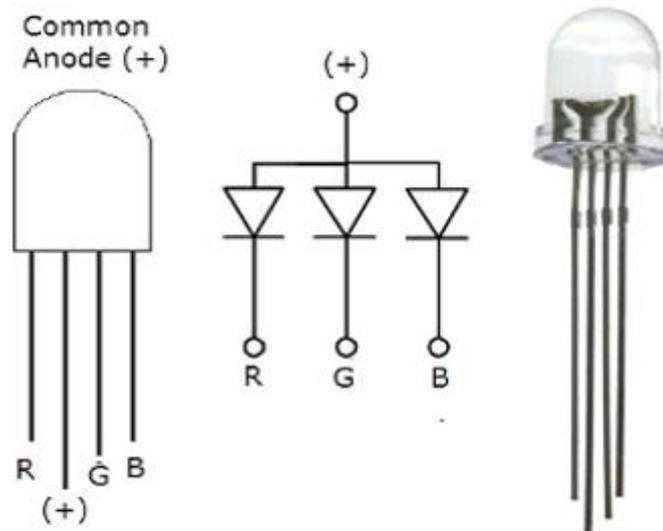


Figure II.7: LED RGB [9].

V.2) - LED infrarouge:

Le nom signifie « en dessous du rouge » (du latin *infra* : « plus bas »), car l'infrarouge est une onde électromagnétique de fréquence inférieure à celle de la lumière visible: le rouge. La longueur d'onde des infrarouges est comprise entre le domaine visible ($\approx 0,7 \mu\text{m}$) et le domaine des micro-ondes ($\approx 1 \text{ mm}$).

L'infrarouge est associé à la chaleur car, à température ambiante ordinaire, les objets émettent spontanément des radiations dans le domaine infrarouge ; la relation est modélisée par la loi du rayonnement du corps noir dite aussi loi de Planck. La longueur d'onde du maximum d'émission d'un corps noir porté à une température absolue T (en kelvin) est donnée par la relation $0,002898/T$ connue sous le nom de loi du déplacement de Wien. Cela signifie qu'à température ambiante ordinaire (T aux environs de 300 K), le maximum d'émission se situe aux alentours de $10 \mu\text{m}$, la plage concernée étant $8\text{-}13 \mu\text{m}$. Placé à la surface terrestre, un télescope observant dans cette gamme de longueur d'onde serait donc aveuglé par le fond

thermique émis par les objets environnants, c'est pourquoi on envoie les télescopes infrarouges dans l'espace.

Cette association entre l'infrarouge et la chaleur n'est cependant due qu'à la gamme de température observée à la surface de la Terre. Selon sa température, un objet émettra spontanément des radiations dans différentes bandes du spectre électromagnétique, en dessous des infrarouges ou même au-dessus, par exemple dans le visible. C'est ainsi qu'une lampe à incandescence produit de la lumière. Inversement, il est possible de générer un rayonnement infrarouge qui ne soit pas thermique, c'est-à-dire dont le spectre ne soit pas celui du corps noir ; c'est le cas, par exemple, des diodes électroluminescentes utilisées dans les télécommandes

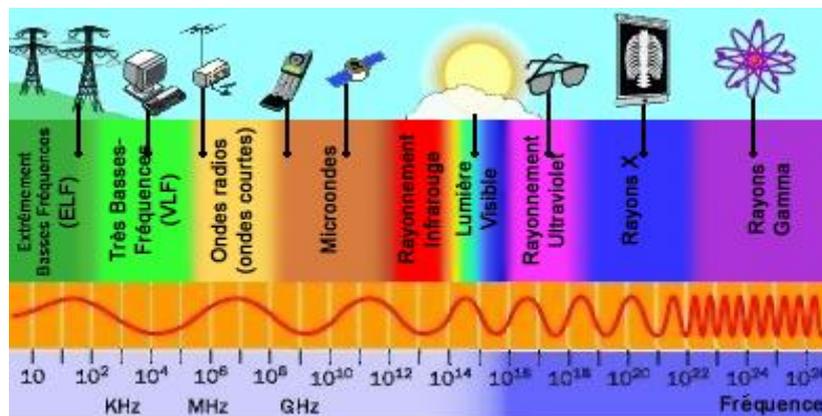


Figure II.8 : les différences spectres de lumière [9].

VI)- Porte échantillon :

Est une cuve utilisée dans un spectrophotomètre, elle est transparente, de volume de 4 ml et de largeur de 1 cm.

Les cuves s'adaptent dans la plupart des spectrophotomètres et sont disponibles en polystyrène ou en acrylique. Deux tailles de cuves :

- La macro pour les échantillons entre 2,5 à 4,5 ml.
- La semi-micro pour les échantillons de 1,5 à 3,0 ml.

Chaque carton contient des cuves provenant de la même empreinte de moulage afin d'assurer un minimum de variation des caractéristiques ; la variation d'absorption standard entre les cuves est inférieure à $\pm 0,005$ unité d'absorbance. Des cuves en polystyrène de haute qualité optique sont disponibles pour travailler dans le visible (360-750 nm) et des cuvettes en

Chapitre II Conception du système de mesure de concentration
acrylique optique (PMMA) pour travailler dans l'UV proche (300-750 nm). Toutes les cuves
Stierlin sont protégées dans des boîtes en polystyrène expansé réutilisables. Un repère (flèche
moulée) sur l'une des faces indique la direction de transmission de la lumière.

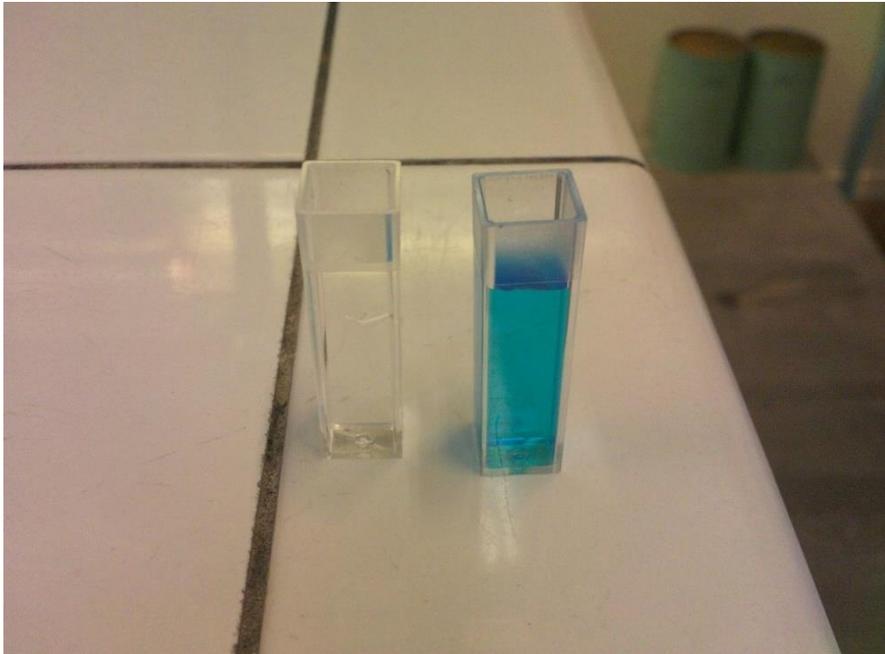


Figure II.9 : cuve de mesure.

VII)- Afficheur :

On a utilisé un ordinateur portable qui est relié directement à la carte arduino uno à l'aide d'un câble USB pour nous permettre d'afficher les résultats de nos expériences.

Pour affiché les résultats mesurées on clique sur serial monitor et ce dernier nous permet d'afficher la fenêtre terminal série et affiche les résultats obtenues après avoir fait nos tests.



Figure II.10 : branchement d'arduino a l'ordinateur.

VIII)- Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenter tous les composants et le matériels utiliser dans cette conception de ce système tels que la carte arduino on donnant toutes sa structure et sa son fonctionnement ainsi qu'une photodiode TSL235R qui joue le rôle d'un convertisseur lumière fréquence qui va nous aide a avoir des resultat qu'on va présenté dans le 3eme chapitre.

I)- Introduction :

Après avoir présenté les notions fondamentales de la spectrophotométrie et les outils nécessaires pour la conception d'un système de mesure de concentration chimiques aux chapitres précédents, la question que nous comptons aborder dans ce chapitre est la réalisation des mesures sur quelques échantillons. Pour ce cela notre choix s'est porté sur la mesure de la quantité de sucre et de sel dans l'eau distillée, la mesure de la quantité de sucre dans les boissons gazeuses et la mesure de concentration des métaux lourds dans l'eau.

Avant de réaliser les expériences il faut procéder à l'étalonnage de l'appareil avec différentes solutions pour estimer les caractéristiques de l'appareil de mesure conçu sur toute la gamme de son fonctionnement.

II)- Mesure de la concentration du saccharose et du NaCl dans l'eau distillée :

Cette méthode consiste à évaluer la sensibilité du capteur à la couleur des solutions avec des concentrations différentes, et sa capacité à détecter une très faible intensité par rapport à la couleur d'une solution. Notons que l'intensité de la couleur d'une solution est liée à la concentration du colorant.

Afin d'évaluer la sensibilité du capteur, nous avons préparé deux sortes de solutions de concentrations différentes.

- **Première solution :**

On a rajouté progressivement du saccharose dans de l'eau plate. L'échantillon étalon ou le blanc a été réalisé avec de l'eau plate et les trois autres échantillons contiennent en plus de l'eau plate 6gde saccharose rajouté progressivement au total on aura donc quatre échantillons.

- **Deuxième solution :**

On a rajouté progressivement du NaCl dans de l'eau plate. L'échantillon étalon ou le blanc a été réalisé avec de l'eau plate et les trois autres échantillons contiennent en plus de l'eau plate 6g de NaCl rajouté progressivement. Au total on aura donc quatre échantillons. Ces quatre échantillons seront étalonnés avec quatre longueurs d'ondes (Bleu, Rouge, Verte, Infrarouge), les résultats seront montrés dans ce qui suit :

II.1)- LED IR :

On va mesurer la fréquence d'irradiance des quatre échantillons du saccharose et du NaCl avec la LED infrarouge.

➤ Sucre :

Quantité de sucre dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sucre
0	8300
6	7100
12	6200
18	5300

Tableau III.1 : Fréquences mesurées pour le saccharose.

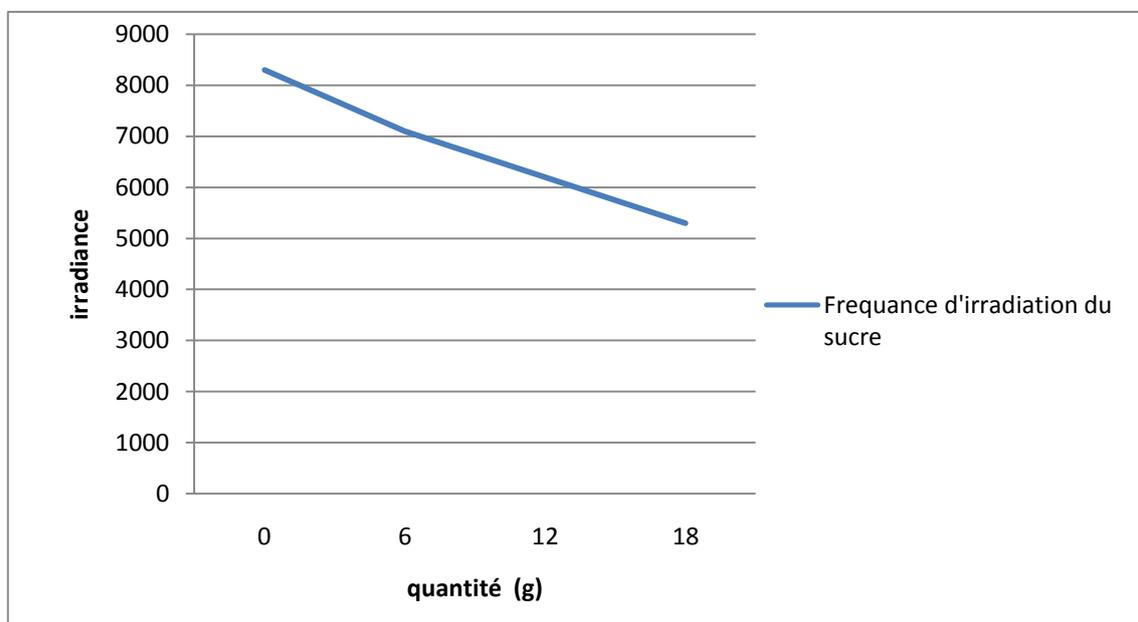
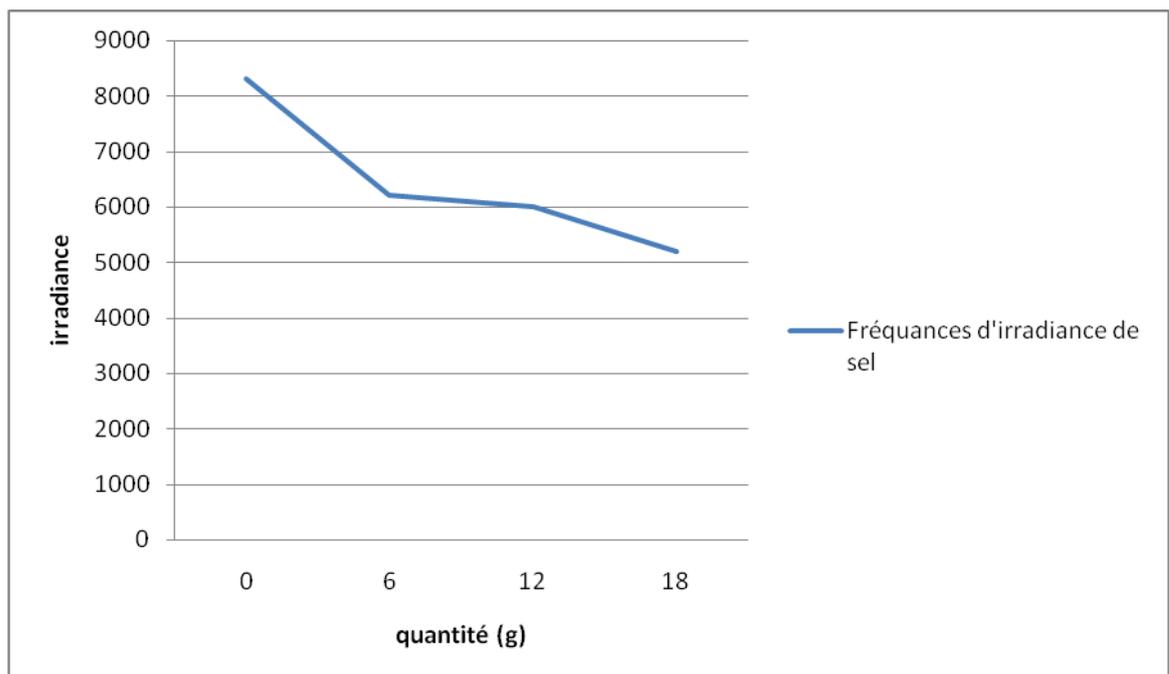


Figure III.1 : courbe de fréquences de saccharose mesures en IR.

➤ Sel :

Quantité de sel dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sel
0	8300
6	6200
12	6000
18	5200

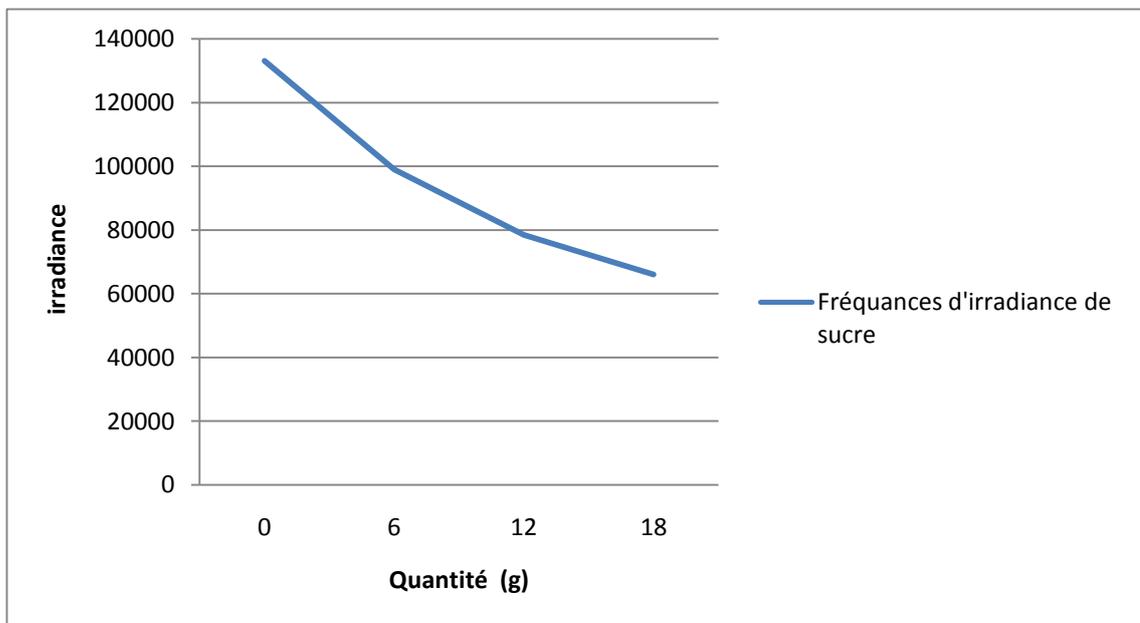
Tableau III.2 : Fréquences mesurées pour le NaCl.



Figures III.2 : courbe de fréquences de sel mesuré en IR.

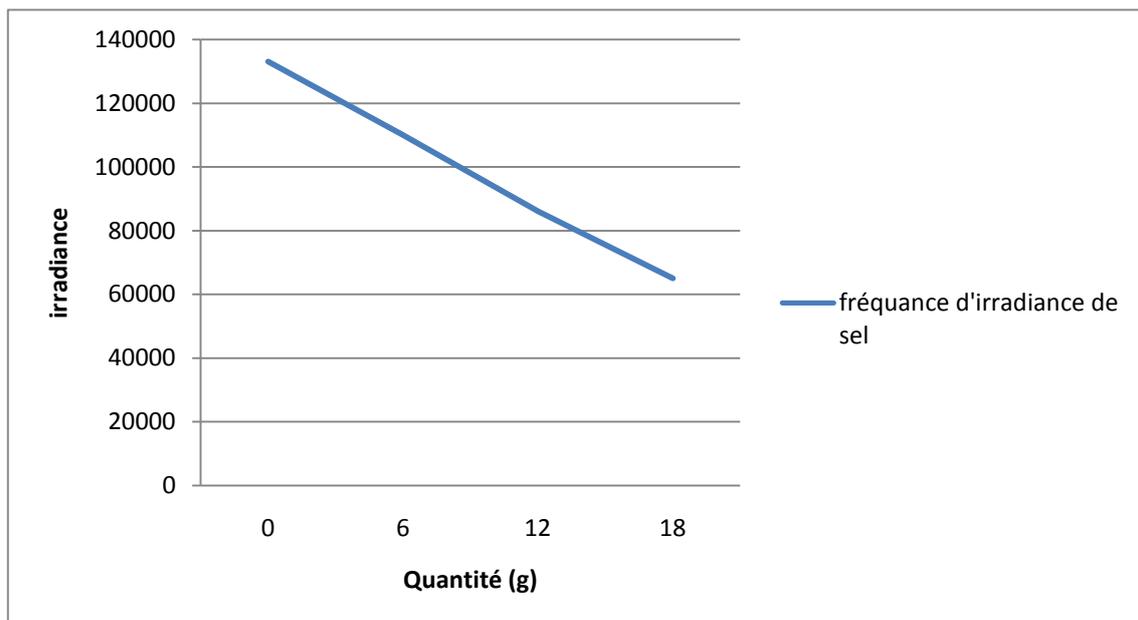
II.2)- LED bleu :**➤ Sucre:**

Quantité de sucre dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sucre
0	133000
6	98900
12	78400
18	66000

Tableau III.3: Fréquences mesurées pour le saccharose.**Figure III.3 :** courbe de fréquences de sucre mesuré en LED BLEU.

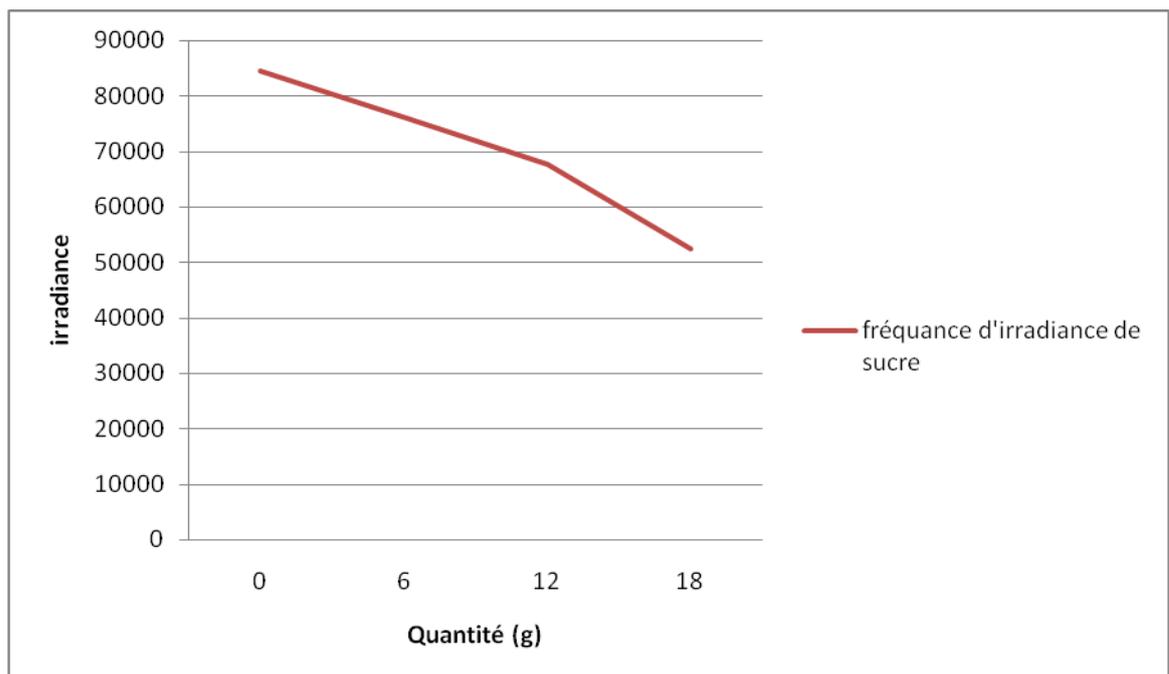
➤ Sel :

Quantité de sel dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sel
0	133000
6	110000
12	86000
18	65000

Tableau III .4: Fréquences mesurées pour le NaCl.**Figure III.4 :** courbe de fréquences de sel mesuré en LED BLEU.

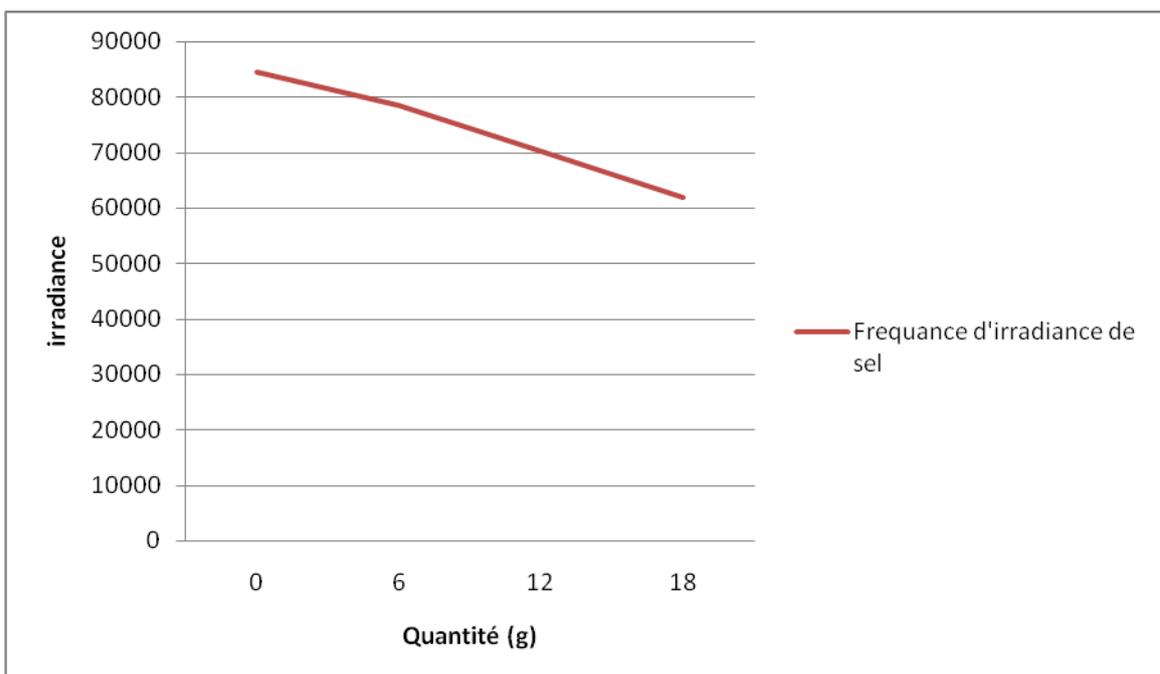
II.3)- LED rouge :**➤ Sucre :**

Quantité de sucre dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sucre
0	84500
6	76300
12	67800
18	52500

Tableau III.5 : Fréquences mesurées pour le saccharose.**Figure III.5 :** courbe de fréquences de sucre mesuré en LED ROUGE.

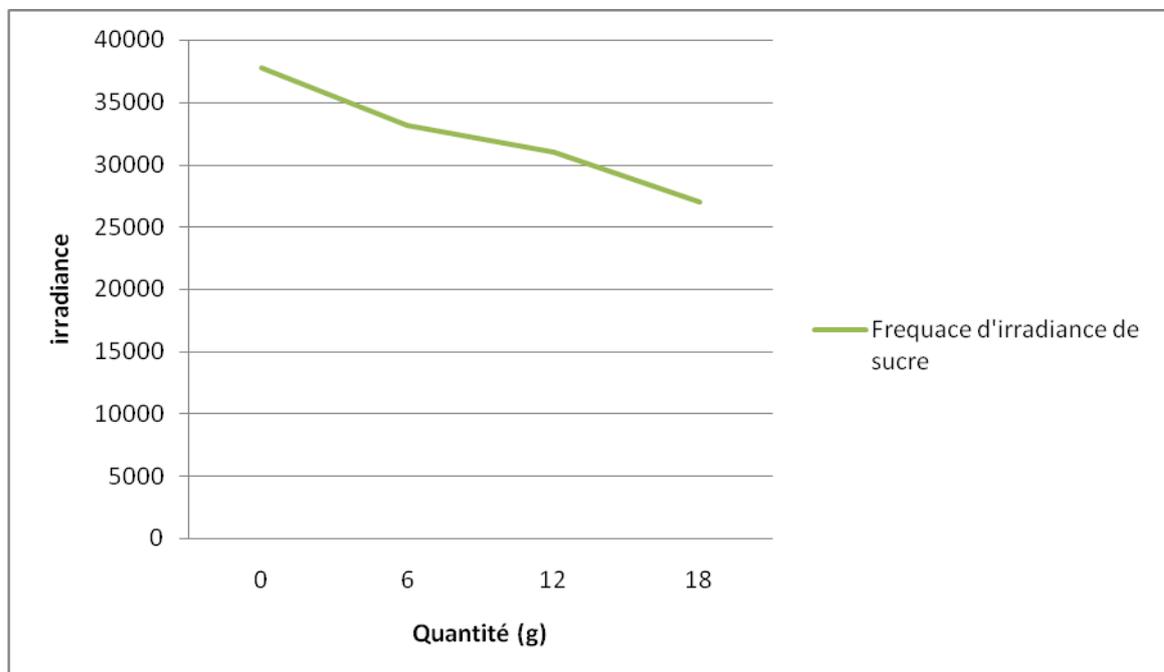
➤ **Sel :**

Quantité de sel dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sel
0	84500
6	78500
12	70200
18	61800

Tableau III.6 : Fréquences mesurées pour le NaCl.**Figure III.6 :** courbe de fréquences de sel mesuré en LED ROUGE.

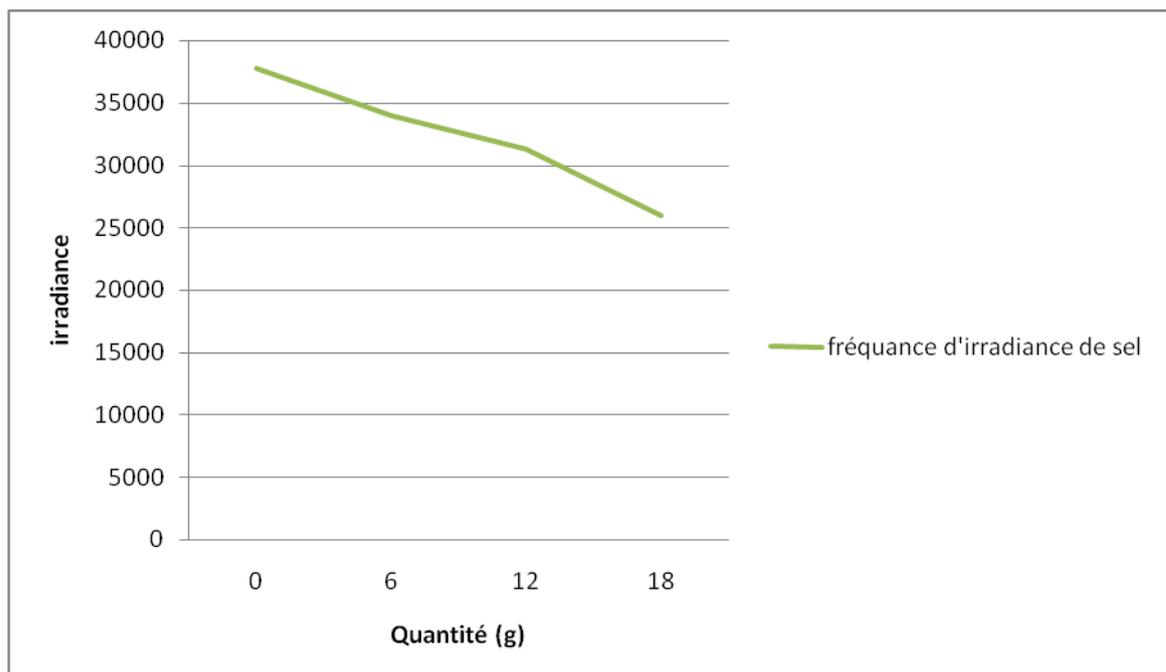
II.4)- LED verte :**➤ Sucre :**

Quantité de sucre dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sucre
0	37800
6	33200
12	31000
18	27000

Tableau III.7 : Fréquences mesurées pour le saccharose.**Figure III.7 :** courbe de fréquences de sucre mesuré en LED VERTE.

➤ **Sel :**

Quantité de sel dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sel
0	37800
6	34000
12	31300
18	26000

Tableau III.8 : Fréquences mesurées pour le NaCl.**Figure III.8 :** courbe de fréquences de sel mesuré en LED VERTE.

Dans cette expérience, nous avons présenté les caractérisations de l'appareil. Nous avons validé le fonctionnement de la partie électronique et on vérifie le fonctionnement des sources de lumière et que la partie réception reçoit la lumière émise par l'échantillon. Nous avons ensuite procédé à l'ensemble des caractérisations. La première consiste à déterminer

expérimentalement la réponse fréquentielle d'irradiance en fonction de la quantité de saccharose et de NaCl. La deuxième est la caractérisation de la longueur d'onde, elle consiste à déterminer la différence de la réponse fréquentielle des échantillons par rapport à la longueur d'onde utilisée.

II.5)- conclusion de l'expérience :

L'expérience réalisée nous a permis de voir que le système est capable de calculer la concentration de sucre présente dans une boisson gazeuse mais il ne peut pas calculer la quantité de sucre présente dans toutes les boissons gazeuses à cause de leurs couleurs qui diffèrent d'une boisson à une autre, donc si on prend compte tous ses nouveaux paramètres il faut refaire l'étalonnage pour chaque boisson et de choisir la longueur d'onde adéquate à sa couleur.

Et d'après les résultats des deux expériences précédentes on peut conclure aussi que la boisson gazeuse absorbe beaucoup plus les l'longueur d'ondes a cause du CO₂ dissout dans la boisson.

III)- Mesure de la quantité du sucre (saccharose) dans une eau gazeuse :

Pour mesurer la quantité du sucre (saccharose) dans les boissons gazeuses on a utilisé une boisson non colorée et sans sucre afin de réaliser l'échantillon étalon ou le blanc.

❖ Choix de la longueur d'onde :

Pour choisir la bonne longueur d'onde qui va mieux réagir à la quantité de saccharose dans la boisson gazeuse on a effectué des tests avec trois longueurs d'ondes différentes :

- LED rouge 625-720 nm
- LED verte 515-570 nm
- LED IR > 720nm

III.1) Mesures effectuées :

- **Avec LED rouge de longueur d'onde 625-720 nm :**

On va prendre 100 ml de boisson gazeuse non colorée et sans sucre pour pouvoir faire le blanc ce qui nous permet d'enregistrer l'irradiance de cette solution pour pouvoir initialiser

notre appareil et faire un bon étalonnage et par la suite on a rajouté progressivement une quantité précise de sucre pour pouvoir enregistrer l'irradiance pour chaque concentration.

➤ **L'échantillon étalon :**

Dans 100 ml de boisson gazeuse non colorée et sans sucre on prélève 4ml que l'on met dans une cuve, avec laquelle on va effectuer toutes les mesures le long de ces expériences.

La fréquence mesurée : 122200 Hz

➤ **Mesure de la fréquence d'irradiance pour 6g de sucre dans 100 ml de boisson :**

On rajoute dans la solution étalon 6g de sucre (saccharose) et on prélève 5ml dans la cuve qu'on va mettre dans notre appareil afin de mesurer sa fréquence d'irradiance.

- La fréquence mesurée : 109100 Hz

Les valeurs des fréquences mesurées seront affichées dans un tableau à la fin des mesures avec chaque LED

➤ **Mesure de la fréquence d'irradiance pour 12g de sucre dans 100 ml de boisson :**

On rajoute 6g de saccharose dans la solution précédente puis on prélève 4ml dans une cuve qu'on va mettre dans notre appareil ensuite mesurer son irradiance.

- Fréquence mesurée : 106400 Hz

➤ **Mesure de la fréquence d'irradiance pour 18g de sucre dans 100ml de boisson :**

On rajoute 6g de saccharose dans la solution précédente de 12g ensuite on prélève 4ml dans une cuve qu'on va mettre dans notre appareil puis mesurer son irradiance.

- Fréquence mesurée : 103000 Hz

➤ **Mesure de la fréquence d'irradiance pour 22g de sucre dans 100 ml de boisson :**

On rajoute 6g de saccharose dans la solution précédente de 18g puis on prélève 4ml dans une cuve qu'on va mettre dans notre appareil ensuite mesurer son irradiance.

- Fréquence mesurée : 100800 Hz

- **Droite d'étalonnage :**

Quantité g/4ml	Fréquence d'irradiance(Hz)
0	112200
6	109100
12	106400
18	103000
22	100800

Tableau III.9 : Les fréquences enregistré avec la LED rouge pour la boisson gazeuse.

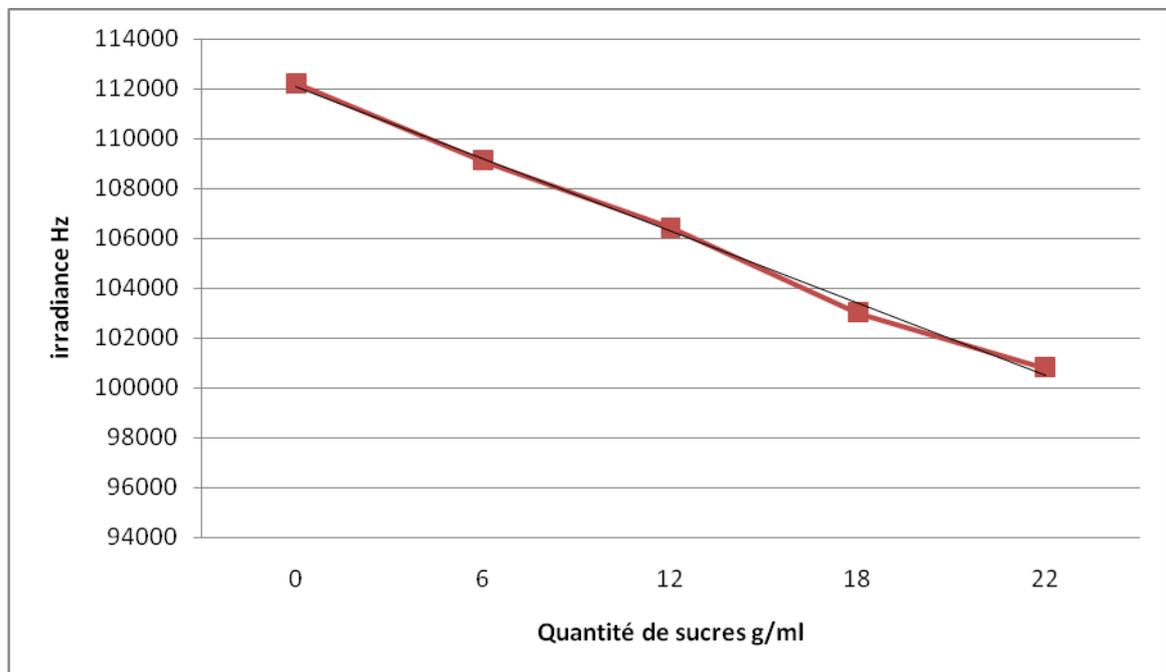


Figure III.9 : variation d'irradiance pas rapport a la quantité de sucre LR.

On va conclure que la LED rouge n'est pas adéquate pour notre expérience car l'étalonnage ne passe pas par tous les points.

- **LED verte 455-490 nm :**

Avec la LED verte, on refait les mêmes mesures qu'on a faites avec la LED rouge avec la même quantité de sucre rajoutée progressivement et on enregistre leurs fréquences d'irradiance.

- **Droite d'étalonnage :**

Quantité (g/4ml)	Fréquence d'irradiance(Hz)
0	21300
6	20900
12	20500
18	19300
22	18800

Tableau III.10 : Les fréquences enregistré avec la LED verte la boisson gazeuse.

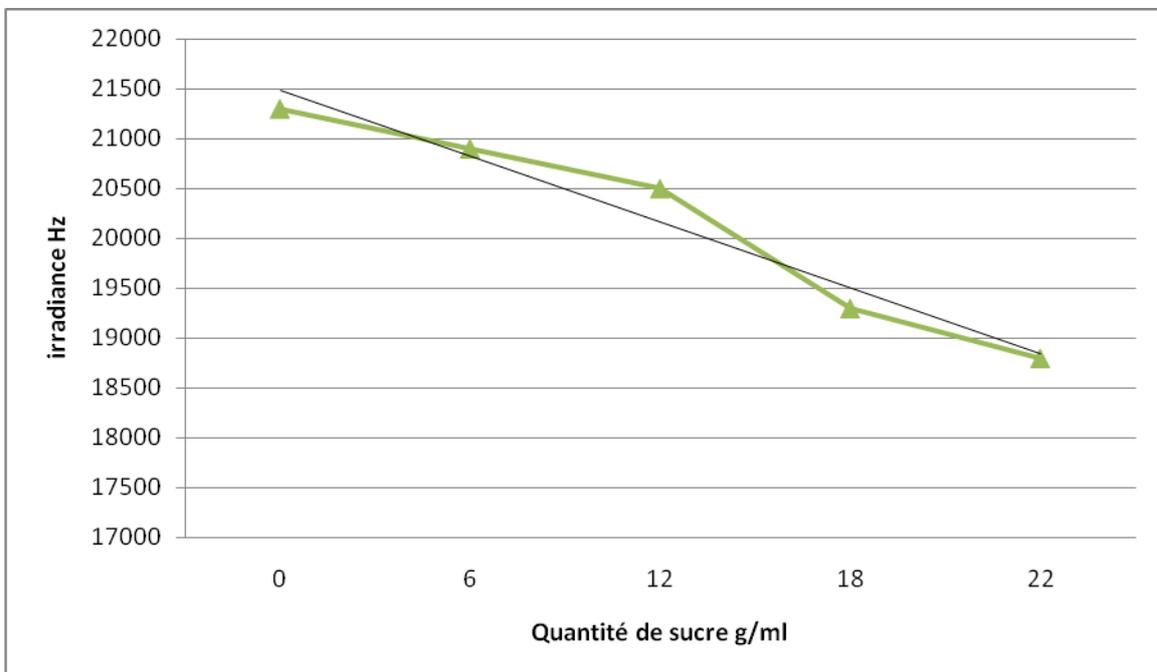


Figure III.10 : variation d'irradiance pas rapport a la quantité de sucre L V.

On va conclure que la longueur d'onde de la LED verte n'est pas adéquate pour cette expérience car elle n'est pas très sensible à la quantité de sucre présente dans la boisson

gazeuse même si l'absorbance est beaucoup plus importante qu'avec la longueur d'onde de la LED rouge.

- **LED IR (infrarouge) >720nm:**

Avec la LED IR on refait les mêmes mesures avec la même quantité de sucre rajouté à chaque fois et on enregistre leurs fréquences d'irradiance,

- **Echantillon étalon :**

Dans 100 ml de boisson gazeuse non colorée et sans sucre on prélève 4ml pour remplir une cuve, avec laquelle on va effectuer toutes nos mesures le long de ces expériences.

- La fréquence mesurée est de 8900 Hz

- **Fréquence d'irradiance pour 6g de sucre dans 100ml de boisson :**

- La fréquence mesurée : 8600 Hz

- **Fréquence d'irradiance pour 12g de sucre dans 100ml de boisson :**

- La fréquence mesurée : 8200 Hz

- **Fréquence d'irradiance pour 18g de sucre dans 100ml de boisson :**

- La fréquence mesurée : 7600 Hz

- **Fréquence d'irradiance pour 22g de sucre dans 100ml de boisson :**

- La fréquence mesurée : 6800 Hz

- **Droite d'étalonnage :**

Quantité (g/4ml)	Fréquence d'irradiance(Hz)
0	8900
6	8600
12	8200
18	7600
22	6800

Tableau III.11 : Les fréquences enregistrées pour la LED IR.

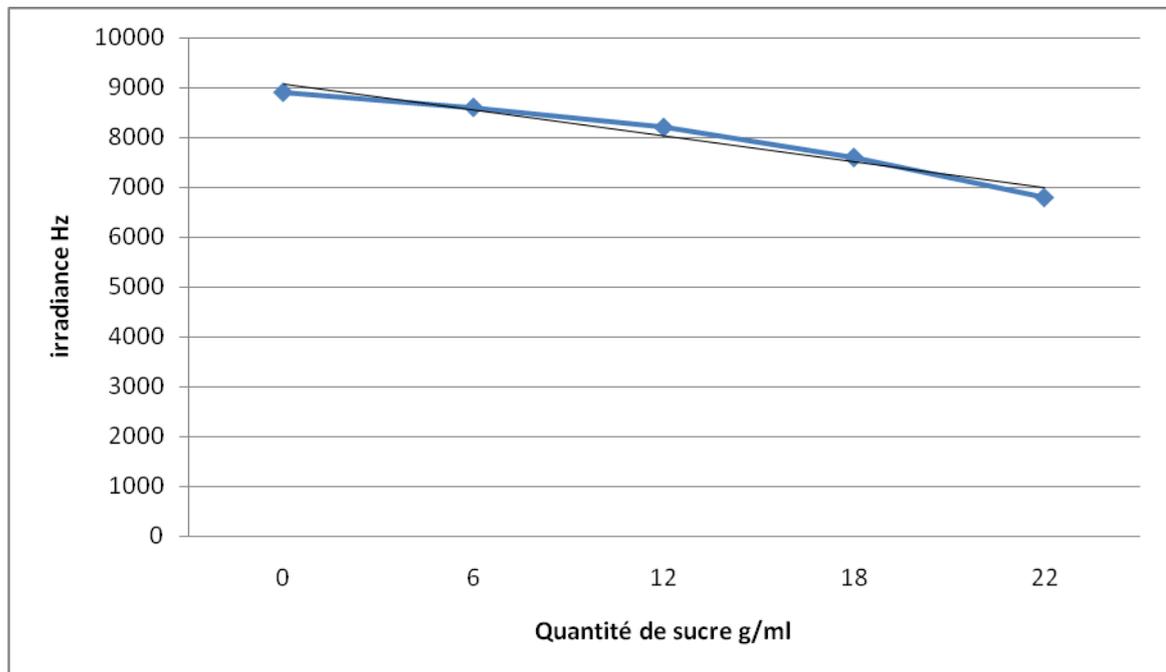


Figure III.11 : variation d'irradiance par rapport à la quantité de sucre L IR.

On va conclure que la droite d'étalonnage passe par tous les points et à chaque changement de concentration du sucre on remarque un net changement de la fréquence d'irradiance donc cette longueur d'onde est adéquate pour déterminer la quantité de sucre.

IV)-Calculs théoriques:

Pour calculer la quantité de sucre dans la boisson on va utiliser la courbe d'étalonnage et résoudre l'équation de sa droite $y=a*X +b$, pour pouvoir par la suite faire un programme qui nous permettra de calculer et d'afficher directement la quantité de sucre en g/ml.

Avec un logiciel on a calculé (a) et (b) :

$$a = -83.33$$

$$b=9050$$

$$Hz = y$$

$$X=q$$

$$Hz= a*q +b$$

$$q =Hz-b/a$$

$Hz = c'$ est la fréquence d'irradinace enregistrée pour chaque concentration de sucre

$q = c'$ est la quantité de sucre.

Pour s'assurer que notre appareil pourra mesurer la quantité de sucre dans la boisson gazeuse avec cette équation on a fait des calculs théoriques qu'on pourra comparer après avec les mesures enregistrées avec notre appareil.

❖ pour 6g de sucre

$$q1= 8600-9050/-83.33$$

$$q1= 5.40 \text{ g}$$

❖ pour 12g de sucre

$$q2=8200-9050/83.33$$

$$q2=10.20 \text{ g}$$

❖ pour 18g de sucre

$$q3=7600-9050/83.33$$

$$q3=17.40 \text{ g}$$

V)- Mesure de concentration des métaux lourds dans l'eau :**V.1) La toxicité des métaux lourds :**

Les éléments traces métalliques sont généralement définis comme des métaux lourds. On appelle métaux lourds tout élément métallique naturel dont la masse volumique dépassent 5g/cm^3 . Ils englobent l'ensemble des métaux et métalloïdes présentant un caractère toxique pour la santé et l'environnement. Les métaux lourds les plus souvent considérés comme toxique pour l'homme sont : le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium. D'autres comme le cuivre, le zinc, le chrome, pourtant nécessaires à l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxiques à doses plus importantes

La toxicité des métaux lourds n'est plus à démontrer. La toxicité du mercure est par exemple connue depuis l'Antiquité. La plupart du temps, les effets toxiques des métaux lourds concernent le système nerveux, le sang ou la moëlle osseuse. Ils sont généralement cancérigènes.

Dans la présente étude on a étudié en particulier la concentration du sulfate de Cuivre.

Pourquoi ce métal ?

Il est l'un des métaux les plus utilisés dans de nombreuses industries et il présente une certaine toxicité pour l'homme.

Dans cette expérience on va tenter de mesurer la concentration en mol/l du sulfate de cuivre présent dans l'eau.

V.2) Préparation des solutions :

Pour avoir une concentration de 0.2 mol/l de sulfate de cuivre dans 100 ml d'eau on a suivi différentes étapes :

❖ La masse molaire du sulfate de cuivre



Figure III.12: masse molaire du sulfate de cuivre.

On peut voir sur la boîte que la masse molaire du sulfate de cuivre est de 159.61 g/mol, donc il nous faut 159.61 gramme de sulfate de cuivre dans un litre d'eau pour avoir une concentration de 1 mol/l donc pour avoir 0.1 mol/l dans 100ml d'eau il suffit de diviser la masse molaire.

Pour avoir une solution de 0.2 mol/l dans 100 ml d'eau il suffit de multiplier par deux les résultats obtenus :

$$159.61/10 = 15.961 \text{ g/mol}$$

$$15.961 * 2 = 31.922 \text{ g/mol}$$

On mélange 31.922 g de sulfate de cuivre avec 100 ml d'eau pour avoir notre solution mère qui est de 0.2 mol/l.

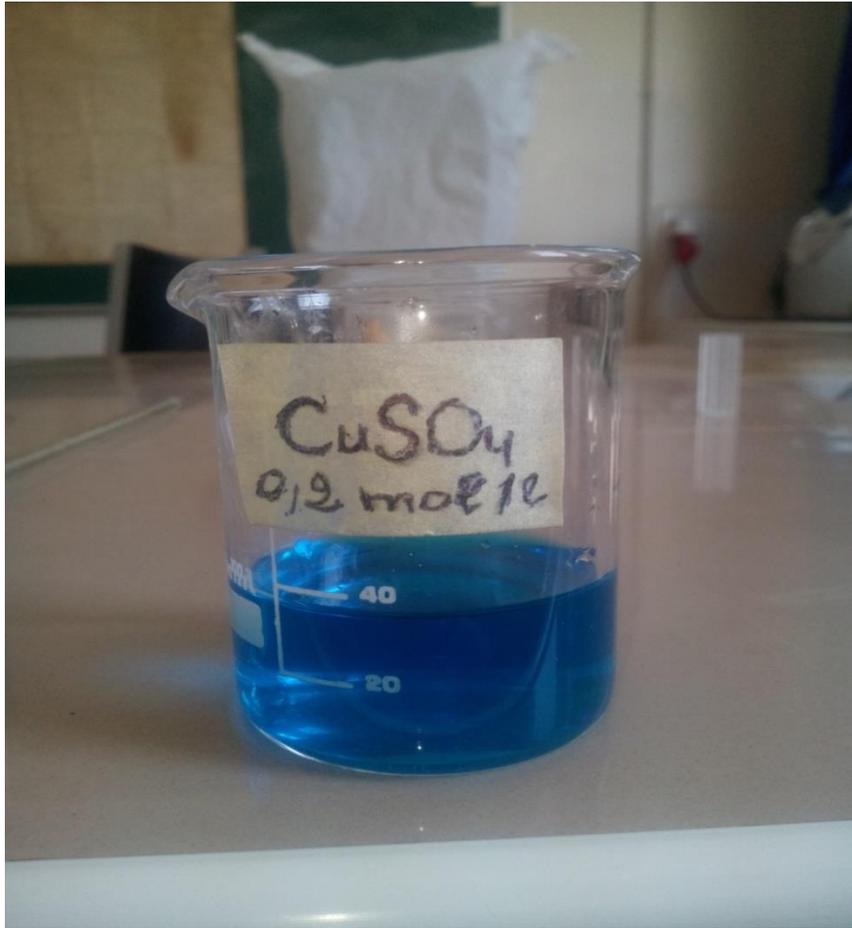


Figure III.13: 0.2 mol/l de sulfate de cuivre.

Pour déterminer les autres concentrations on va faire des dilutions à partir de la solution mère :

pour 0.1 mol/l

0.2 mol/l → 100 ml

0.1 mol/l → x

$X = 0.1 * 100 / 0.2 = 50$ ml

Donc on prend 50 ml de la solution mère et on va rajouter de l'eau jusqu'à atteindre les 100ml



Figure III.14 : 0.1mol/l de sulfate de cuivre.

Pour 0.05 mol/l

$$0.2 \text{ mol/l} \rightarrow 100 \text{ ml}$$

$$0.05 \text{ mol/l} \rightarrow x$$

$$X = 0.05 * 100 / 0.2 = 25 \text{ ml}$$

On prend 25 ml de la solution mère et on va rajouter de l'eau jusqu'à atteindre les 100ml



Figure III.15 : 0.05 mol/l de sulfate de cuivre.

Pour 0.02 mol/l

$$0.2 \text{ mol/l} \rightarrow 100 \text{ ml}$$

$$0.02 \text{ mol/l} \rightarrow x$$

$$X = 0.02 * 100 / 0.2 = 10 \text{ ml}$$

On prend 10 ml de la solution mère et on va rajouter de l'eau jusqu'à atteindre les 100ml



Figure III.16 : 0.02 mol/l de sulfate de cuivre.

Pour 0.01 mol/l

0.2 mol/l \rightarrow 100 ml

0.01 mol/l \rightarrow x

$$X = 0.01 * 100 / 0.2 = 5 \text{ ml}$$

On prend 5 ml de la solution mère et on va rajouter de l'eau jusqu'à atteindre les 100 ml



Figure III.17 : 0.01 mol/l de sulfate de cuivre.

V.3)- Choix de longueur d'onde :

Après avoir fait toutes les mesures et déterminer la concentration de tous les échantillons on va passer au choix de la réponse spectrale de la photodiode en fonction de la solution.

- **LED verte 515-570 nm :**

On va prendre un échantillon avec la cuve de 4ml dans chaque concentration qu'on va mettre dans notre système pour mesurer sa fréquence d'irradiance avec la longueur d'onde de la LED verte.



Figure III.18 : échantillons de 4 ml de sulfate dans une cuve de mesure.

Droite d'étalonnage :

Concentration mol/l	Fréquence d'irradiance Hz
L'eau distillée	115600
0.01	88000
0.02	87500
0.05	81000
0.1	74600
0.2	68000

Tableau III.12 : Les fréquences enregistré avec la LED verte pour le sulfate de cuivre.

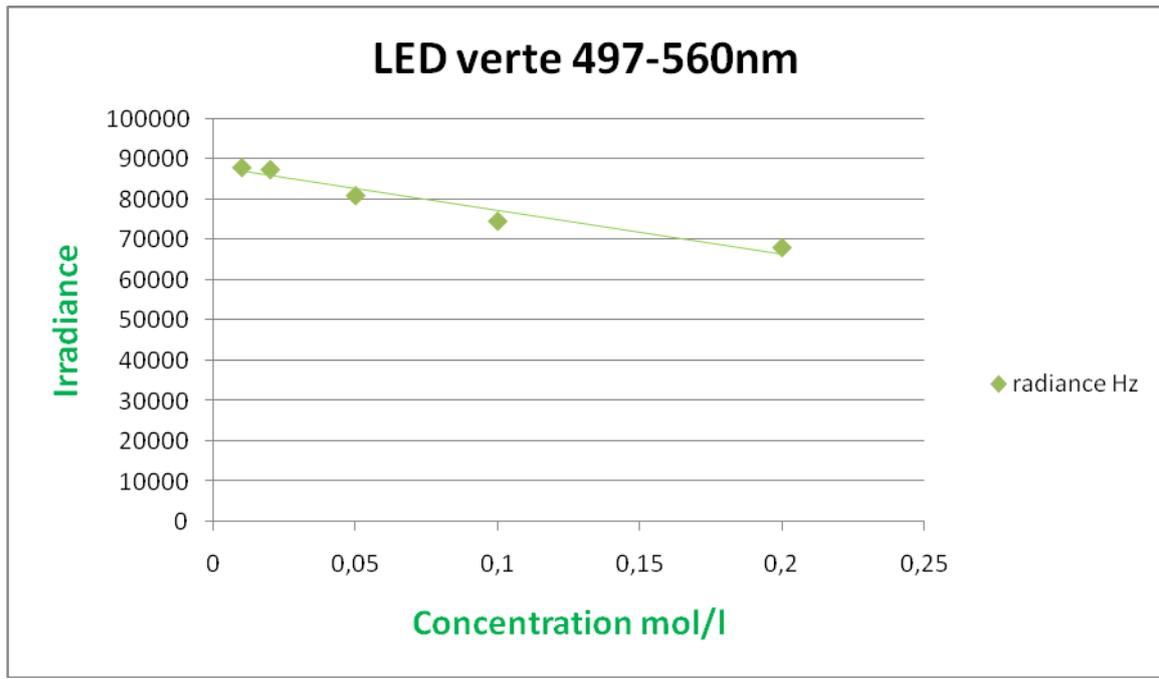


Figure III.19 : Courbe d'étalonnage avec la LED verte pour sulfate de cuivre.

- **Conclusion de l'expérience :**

La droite d'étalonnage ne passe pas par tous les points donc les valeurs ne sont pas précises alors la longueur d'onde de la LED verte n'est pas adéquate pour notre expérience

- **LED bleu 435-465 nm :**

On va refaire exactement les mêmes mesures mais avec une LED bleu donc on va directement afficher la droite d'étalonnage

- **Droite d'étalonnage :**

Concentration mol/l	Fréquence d'irradiance Hz
L'eau distillée	69100
0.01	64000
0.02	63700
0.05	63100
0.1	61700
0.2	60400

Tableau III.13 : Les fréquences enregistré avec la LED bleu pour sulfate de cuivre.

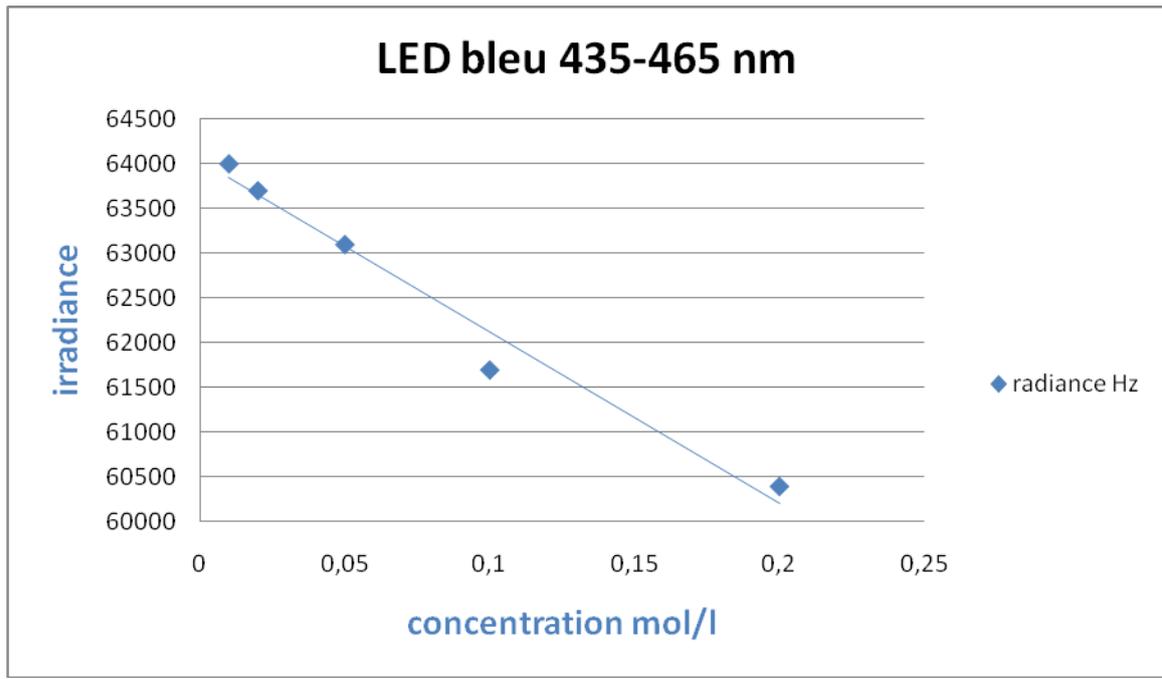


Figure III.20 : Courbe d'étalonnage pour la LED bleu pour sulfate de cuivre.

Toutes les fréquences enregistrées avec tous les échantillons sont très proches et on remarque que les valeurs forment presque une droite donc cette longueur d'onde n'est pas celle qui nous faut pour cette expérience.

- **LED rouge 620-800 nm :**

Nous avons pris 4 ml de l'eau distillée comme un échantillon témoin, après la mesure le programme à afficher une fréquence de 74000 Hz.

Ensuite on a mesuré 31.9 g du sulfate de cuivre on la mise dans 100 ml d'eau qui nous donnée une concentration de 0.2 mol/l comme on la signifié par avant.

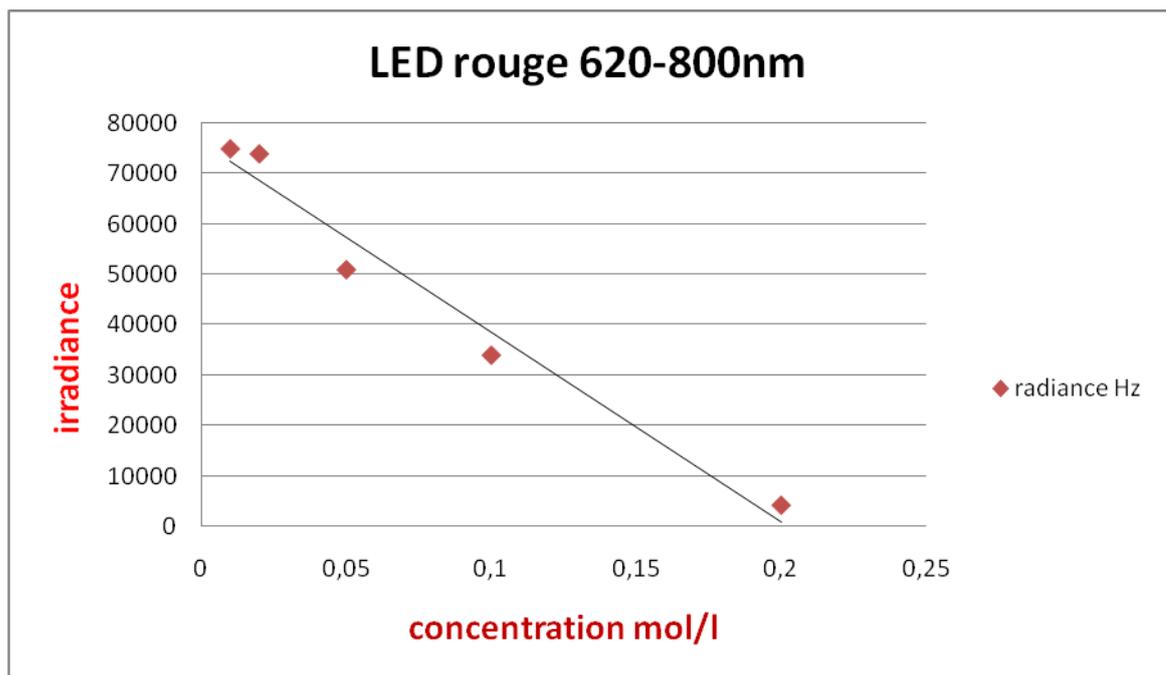
A partir de la concentration 0.2 mol/l on a pu avoir de différentes concentrations et sa avec l'ajout d'une quantité d'eau précise que les calcule en haut les démontrer.

A présent on donne les fréquences enregistré par chaque fréquence.

- Pour une concentration de 0.1 mol/l la fréquence est de 18200 Hz
- Pour la concentration de 0.05 mol/l la fréquence est de 31000 Hz
- Pour une concentration de 0.02 mol/l la fréquence est 74000 Hz
- Pour une concentration de 0.01 mol/l la fréquence est de 75000 Hz

➤ **Droite d'étalonnage :**

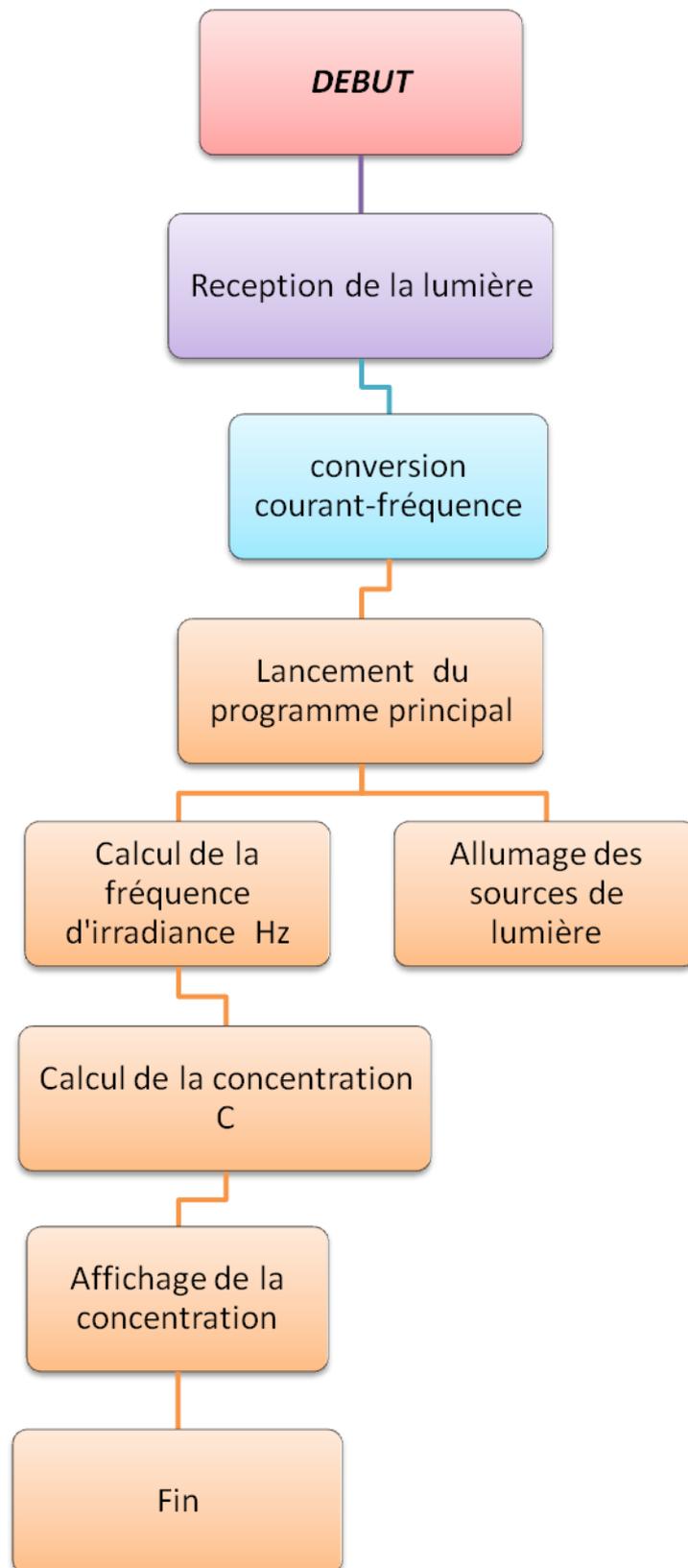
Concentration (mol/l)	Fréquence d'irradiance Hz
L'eau distillée	88000
0.01	75000
0.02	74000
0.05	51000
0.1	34000
0.2	4200

Tableau III.14 : Les fréquences enregistré avec la LED rouge pour sulfate de cuivre.**Figure III.21 :** Droite d'étalonnage avec la LED rouge pour sulfate de cuivre.

Les résultats sont concluants car la courbe d'étalonnage est linéaire. Cependant, seule la LED rouge a donné lieu à une courbe d'étalonnage concluante. Après avoir effectué toutes les mesures et tracé toutes les courbes d'étalonnage avec tous les échantillons et toutes les longueurs d'ondes, nous avons obtenu des valeurs qui se rapprochent le plus avec la droite

d'étalonnage de la LED rouge. Donc on a choisi de travailler avec cette LED pour déterminer la concentration du sulfate de cuivre dans l'eau.

VI)- Organigramme :



VI.1)- Explication des étapes principales de l'organigramme :**Réception de la lumière :**

Notre système est équipé d'un capteur de lumière qui est une photodiode (TSL235R) qui capte la lumière émise par la LED RGB et la LED IR.

Conversion courant-fréquence :

La TSL235R est équipée d'un convertisseur courant-fréquence qui convertit le courant en une fréquence en fonction de l'intensité de la lumière.

Lancement du programme principal :

La carte arduino va nous permettre de lancer notre programme principal qui contient deux sous-programmes :

Sous-programme 1 :

Il permet d'allumer les sources de lumière et de choisir la longueur d'onde de la LED RGB.

Sous-programme 2 :

Il permet de calculer et d'afficher la concentration du sulfate de cuivre dans l'eau avec l'équation de la droite de d'étalonnage $y = a*x + b$

$y = Hz$ == la fréquence d'irradiance

$x = c$ == la concentration de l'échantillon

$a = -540000$

$b = 88000$

a et b ont été calculer avec un logiciel et affiché sur la figure () de la droite d'étalonnage pour la LED rouge

$Hz = a*c + b$

$c = Hz - b/a$

Exemples :

- Pour l'eau distillée == $\rightarrow Hz = 88000 Hz$
 $c = 88000 - 88000 / -540000$
 $c = 0.00 mol/l$

- pour 0.02 mol/l ==→ Hz =74000 Hz
 $c = 74000 - 88000 / -540000$
 $c = 0.025 \text{ mol/l}$

- pour 0.1 mol/l ==→ Hz =34000 Hz
 $c = 34000 - 88000 / -540000$
 $c = 0.12 \text{ mol/l}$

- pour 0.2 mol/l ==→ Hz =4200 Hz
 $c = 4200 - 88000 / -540000$
 $c = 0.16 \text{ mol/l}$

Les valeurs théoriques sont vraiment très proches des valeurs des concentrations mesurées, après avoir fixé la position de la cuve pour toutes les mesures et après avoir choisi la bonne longueur d'onde on peut dire qu'on a fait un bon étalonnage de notre appareil, pour vérifier cela on va écrire un programme qui va nous calculer directement la concentration à l'aide de la carte arduino et de l'équation d'étalonnage et il va l'afficher directement sur l'ordinateur.

VII)- Concentrations mesurées avec l'appareil :

Pour savoir si les concentrations mesurées avec l'appareil sont justes on va prendre les solutions déjà préparées avec concentrations connues et on va comparer la valeur de la concentration connue avec la valeur de la concentration mesurée.

Mesure de la concentration pour la solution à 0.02 mol/l :

Concentration mesurée : 0.024 mol/l.

Mesure de la concentration pour la solution à 0.1 mol/l :

Concentration mesurée : 0.11 mol/l.

Mesure de la concentration pour la solution à 0.2 mol/l :

Concentration mesurée : 0.017 mol/l.

VIII)- Conclusion :

L'expérience nous a montré que notre système peut calculer la concentration du sulfate de cuivre dans l'eau, après un calcul exacte des coefficients de la droite d'étalonnage pour pouvoir concevoir un programme qui permettra à la carte arduino de calculer et d'afficher la concentration en mol/l du sulfate de cuivre. Elle nous a montré quelle longueur d'onde le sulfate de cuivre absorbe le plus, et que la longueur d'onde de la LED rouge est la plus adéquate pour le calcul de la concentration des métaux lourds dans l'eau.

D'une manière générale, les résultats coïncident et nous montrent que cette méthode est relativement précise, en dépit de nos erreurs de manipulations.

Dans ce travail nous avons cherché à concevoir un système de mesure de concentration chimique à base des techniques optiques dont le principe de fonctionnement est basée sur l'absorption pour la mise en évidence des amalgames.

Le système est composé d'un ensemble de LEDs pour générer de la lumière, d'un circuit convertisseur lumière-fréquence TSL235R, d'une carte à microcontrôleur Arduino Uno pour le traitement des données reçu et d'un moniteur série pour la visualisation des résultats. La réalisation du système est passée en deux étapes principales : l'assemblage des différentes parties et la programmation de la carte à microcontrôleur.

Des tests ont été effectués avec le système, ils consistent en la mesure de plusieurs concentrations sur différents échantillons. Après comparaison sur des échantillons de référence, le système conçu a donné des résultats de mesure satisfaisant. Il a aussi permis la détection qualitative et quantitative des éléments choisis pour l'étude et a mis en évidence des éléments se trouvant à des concentrations très faible.

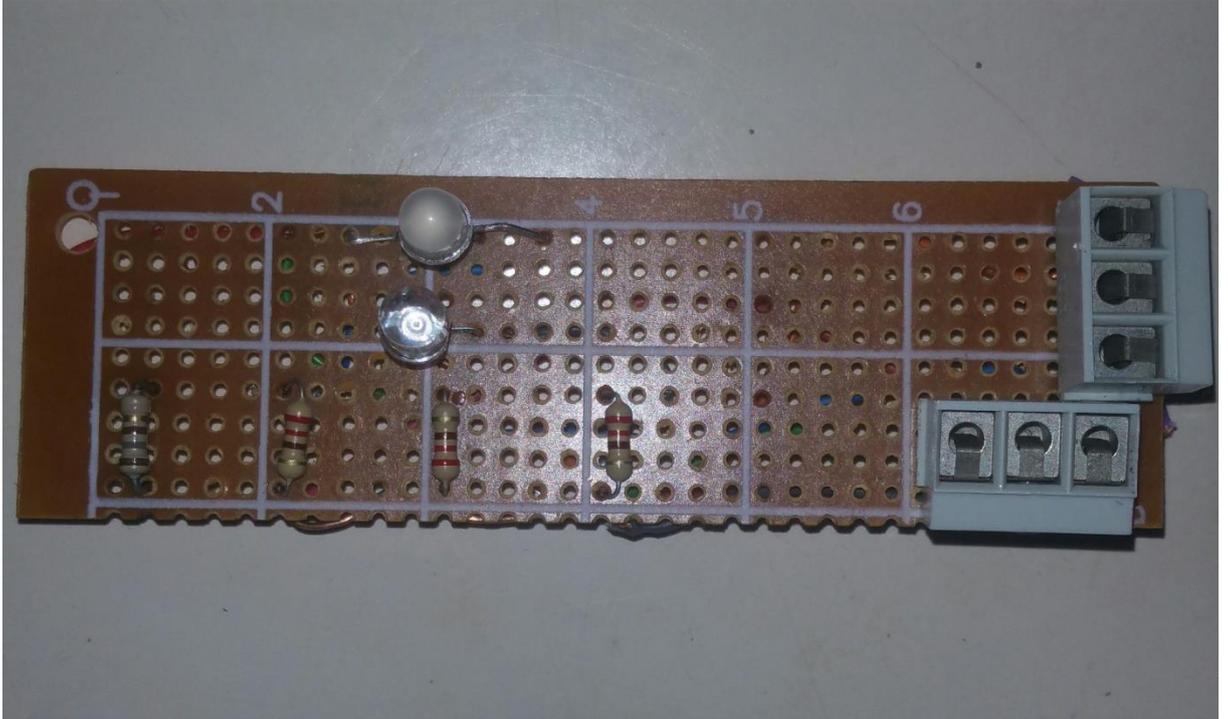
Comme perspectives de ce travail, des extensions qui tiennent compte des conditions de fonctionnement tel que la température du milieu, pour améliorer les résultats peuvent être considérées. En outre l'utilisation d'un Smartphone pour la visualisation des concentrations sur écran mobile peut aussi être envisagée.

Enfin, nous espérons que ce manuscrit sera utile et enrichi par les futures promotions.

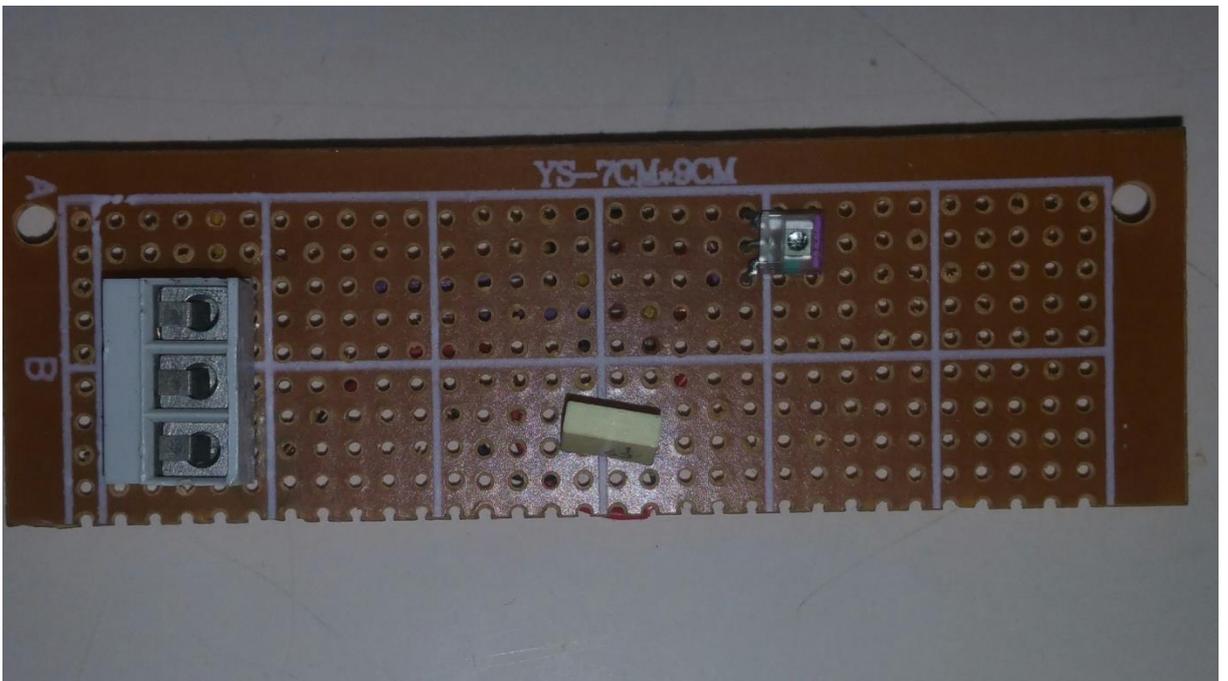
Annexe

Le système se compose de deux parties une qui est émettrice et l'autre qui est réceptrice.

1- La partie émettrice :



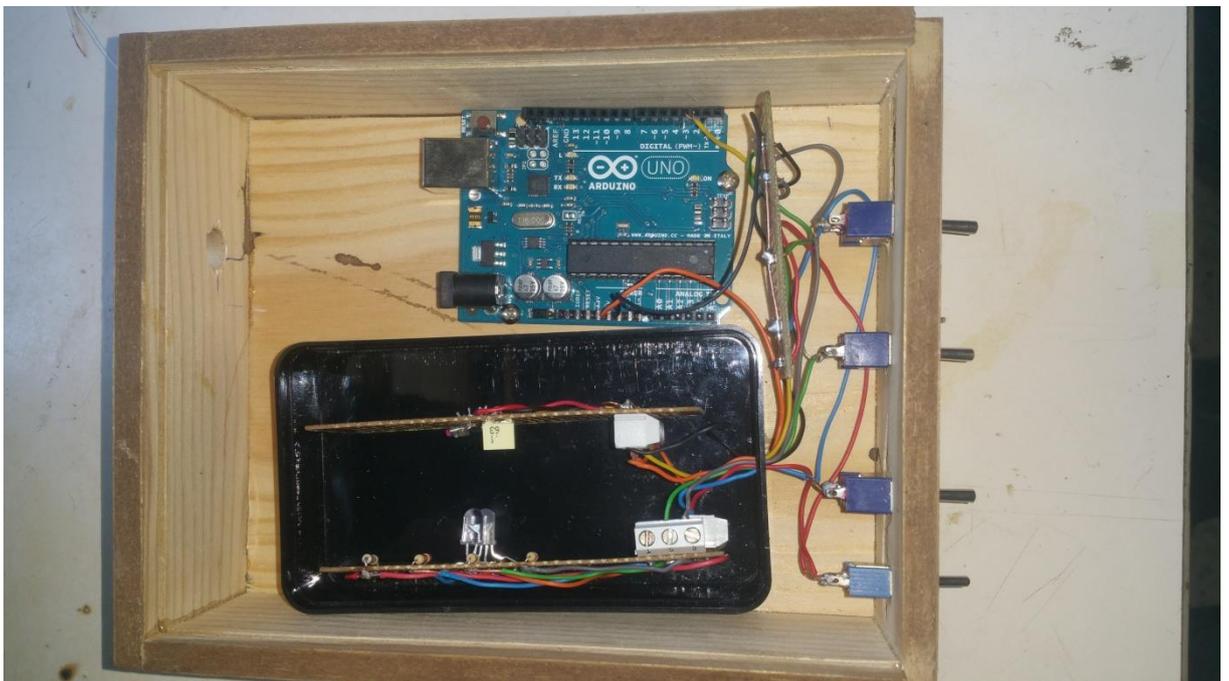
2- La partie réceptrice :



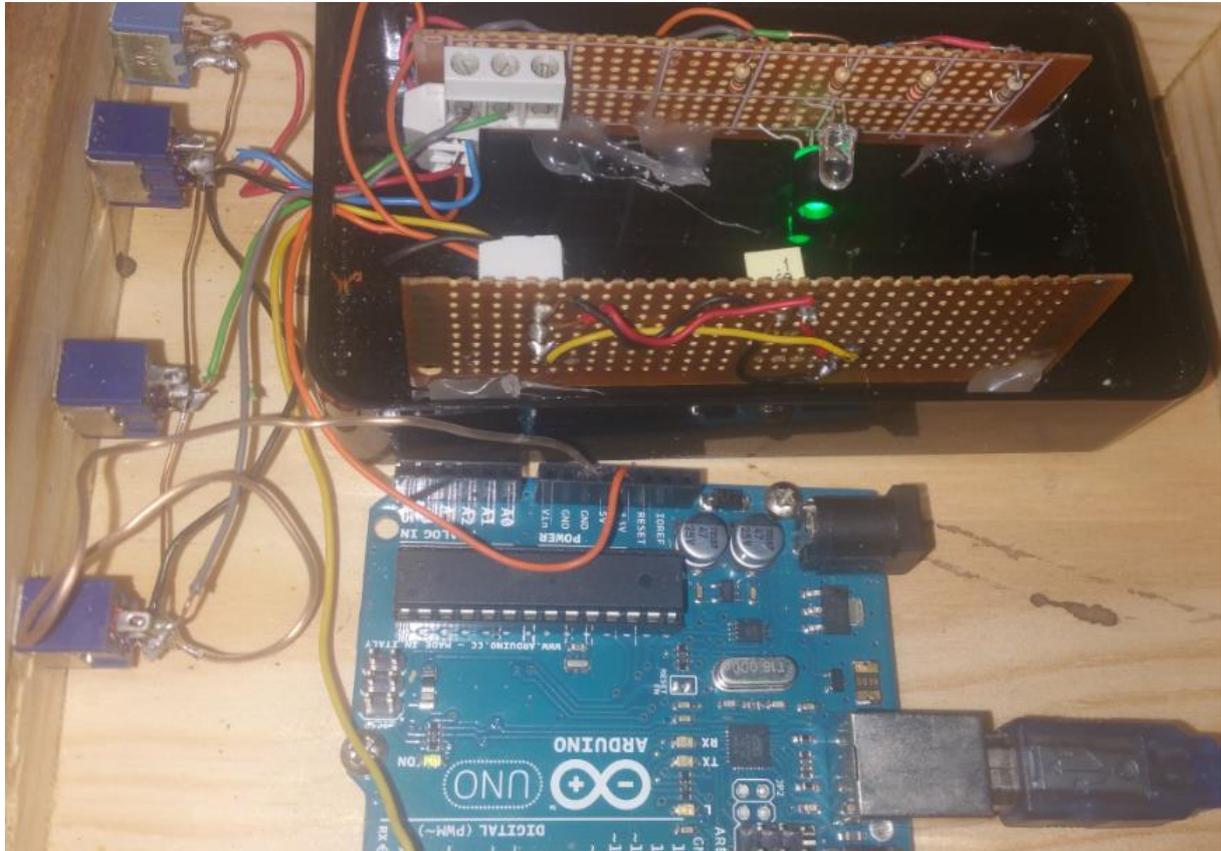
- On a utilise 4 interrupteurs :



- 3- Le système vu de haut :



- **Vue de haut avec LED allumé :**



- **Branchement de la carte arduino :**



Bibliographie

[1] James Henkel, *Essentials of drug product quality* (pp. 130,133). 1978, The Mosby Company

[2] <http://webphysique.fr/longueur-d-onde/>

[3] <https://store.pantone.com/fr/fr/caracteristiques-d-une-couleur>

[4] A.Sharma et S. G. Schulman. *Introduction to Fluorescence Spectroscopy*. Wiley Interscience 1999.

[5] J. R. Albani ; *Absorption et Fluorescence principes et applications* ;2001.

[6] F. Cerf. *Les Composantes Optoélectroniques*, Hermes Science Publication, Paris, 2000.

[7] <https://www.dummies.com/how-to/content/serial-sketches-for-the-arduino.html>

<https://lebois-challenge-robotique.e-monsite.com/pages/kit-robotique/carte-arduino-uno.html>.

[8] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TSL235R-LF.pdf>

[9] https://www.robot-maker.com/shop/blog/20_Tutoriel-piloter-leds-distance.html

Résumé

Ce projet concerne la réalisation d'un système de mesure de concentration à l'aide d'une carte électronique arduino uno qui va permettre de calculer et mesurer plusieurs concentrations d'une substance chimique en utilisant plusieurs longueurs d'onde qui proviennent d'une source lumineuse telle que les LED RGB et IR.

Ce travail consiste à faire une étude générale sur la fluorescence et la spectrophotométrie ainsi que les systèmes de détection photoélectriques d'une part et d'autre part la présentation du matériel utilisé tels que la carte arduino et le convertisseur lumière fréquence.

En fin du travail, l'appareil a été réalisé et testé.

Mots clés :

Arduino, TSL235R (convertisseur lumière- fréquence), LED RGB(rouge, verte, bleu), LED IR(infra-rouge), spectrophotométrie, fluorescence, Irradiance.