

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 ELECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etude
De MASTER ACADEMIQUE
Spécialité : ELECTRONIQUE BIOMEDICALE
Filière : **ELECTRONIQUE**

Présenté par

NADIR **GHIDES**
AMINE **DAID**

Mémoire dirigé par :

Mr.LAGHROUCHE

Thème

CONCEPTION ET REALISATION D'UN
SYSTEME DE MESURE DE
CONCENTRATION

Mémoire soutenu publiquement le 18 juillet 2016 devant le jury composé de :

Mr.KANANE

M conf/B .Président

Mr.IDJRI

M.A.A. Examineur

Mr.ALOUACHE

M.conf/B. Examineur

Mr.LAGHROUCHE

Professeur. Promoteur

Plan du mémoire

Le chapitre 1 : Fournit des définitions générales reliées aux systèmes de détection de fluorescence et sur la spectrophotométrie et sur la photodétection, et sur les détecteurs photoélectriques et tout ce qui est lié à notre thème.

Le chapitre 2 : décrit notre approche de construction du système de détection en présentant ses différents composants et en expliquant le mécanisme d'acquisition et de traitement des données.

Le chapitre 3 : décrit les tests effectués pour valider notre design, et présente et discute les résultats obtenus.

Nous terminons enfin cette étude par une conclusion qui résume les travaux effectués dans le cadre de ce projet, et qui offre des orientations pour des travaux futurs.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui nous ont permis d'évoluer dans la réflexion et l'élaboration de ce travail. Plus particulièrement, nous tenons à remercier :

- Mr LAGROUCHE, de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé dans notre travail.
- tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant nos recherches.
- le vice doyen de la faculté de biologie Mr MATAHRI de nous avoir permis de travailler dans les laboratoires agro-bio
- Mme LAMRI Leila et Mme LATEB Zahia ingénieures du labo commun physico-chimique de la faculté agro-bio
- Nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous, « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous nous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. On est redevable d'une éducation dont nous sommes très fiers».
- Les amis qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Le sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre 1 Généralités sur la spectrophotométrie et la fluorescence	
I-Notions fondamentales sur la fluorescence et sa détection	2
1. Fluorescence	2
1.1) Absorption de la lumière	3
1.2) Spectre d'absorption	4
1.3) Processus de relaxation	5
1.4) Relaxation Vibrationnelle	6
1.5) Conversion Interne	6
2) Les détecteurs photoélectriques	7
2.1) Les photodiodes	7
2.2) Les photomultiplicateurs	9
3. Colorimétrie	10
4. Paramètres caractéristiques d'une couleur	11
4.1) Méthodes de mesure	11
4.1.1) Mesure trichromatique	11
4.1.2) Mesure Spectrale	12
5. Généralité sur la spectrophotométrie	12
5.1) Principe	12

6. Domaine UV-visible de la spectrophotométrie	14
7. Spectrophotomètre	14
7.1) Limites	15
7.2) Importance du phénomène de diffusion	16
7.3) La Radiance	16
7.4) l'irradiance	16
8. La longueur d'onde	17
9. La Turbidité	18

Chapitre 2 Conception du système de mesure

II-conception du système de mesure proposé

1. Présentation de notre système	19
1.1) Principe du fonctionnement de notre système	20
2. descriptions de la source de lumière	20
2.1) LED RGB	20
2.2) LED infra-rouge	.21
3. Porte échantillon	22
4. Module de Réception	.23
5. Module de contrôle (Arduino uno)	24
5.1) Présentation du logiciel	25
5.1.1) Correspondance	26
5.1.2) Les boutons	26
5.1.3) Du côté de l'ordinateur	26
5.2) Les bonnes raisons de choisir Arduino	28
6) Afficheur	29
7) circuit électrique du capteur	30

8) circuit électrique de branchement de sources de lumière a la carte	31
--	-----------

Chapitre 3 : Description des tests effectués et présentation des résultats obtenus

III-Tests pratiques

1. Mesure de la concentration du saccharose et du NaCl dans l'eau	32
1.1) LED bleu	33
1.2) LED rouge	34
1.3) LED verte	35
1.4) LED IR	36
2. Mesure de la quantité du sucre (saccharose) dans une eau gazeuse	38
2.1) Mesures effectuées	38
3. Calculs théoriques	44
4. Mesure de la quantité de sucre avec l'appareil	45
4.1) Conclusion pour cette expérience	46
5. Mesure de la turbidité et du taux de pollution des eaux par des algues	46
5.1) mesure effectué	48
5.2) Conclusion pour cette expérience	50
6. Mesure de concentration des métaux lourds dans l'eau	50
6.1) La toxicité des métaux lourds	50
6.2) Préparation des solutions	51
7. Organigramme de calcul de la concentration	61
7.1) Explication des étapes principales de l'organigramme	62
8. Concentration mesurées avec l'appareil	63
9) Courbe de covariance	64

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Sensibilité de différentes photodiodes

Tableau 1.2 : Courant d'obscurité pour différentes photodiode

Tableau 1.3 : Longueurs d'ondes de la lumière visible

Tableau 1.4 : Les différentes classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau

Tableau 3.1 : Fréquences mesurées pour le saccharose et le NaCl

Tableau 3.2 : Fréquences mesurées pour saccharose et NaCl

Tableau 3.3 : Fréquences mesurées pour le saccharose et le NaCl avec la LED verte

Tableau 3.4 : fréquences mesurées pour saccharose et NaCl

Tableau 3.5 : Les fréquences enregistré avec la LED rouge pour la boisson gazeuse

Tableau 3.6 : Les fréquences enregistré avec la LED verte la boisson gazeuse

Tableau 3.7 : Les fréquences enregistré pour la LED IR

Tableau 3.8 : Les fréquences enregistrées avec la LED verte pour la mesuré la

turbidité

Tableau 3.9 : Les fréquences enregistrées avec la LED rouge pour la mesuré la turbidité

Tableau 3.10 : Les fréquences enregistrées avec la LED rouge pour la mesuré la turbidité

Tableau 3.11 : Les fréquences enregistré avec la LED verte pour le sulfate de cuivre

Tableau 3.12 : Les fréquences enregistré avec la LED bleu pour sulfate de cuivre

Tableau 3.13 : Les fréquences enregistré avec la LED rouge pour sulfate de cuivre

Tableau 3.14 : Concentration préparé et mesuré

Listes des figures

Figure 1.1 : phénomène de la fluorescence

Figure 1.2 : Diagramme de transition électronique

Figure 1.3 : Structure de la jonction

Figure 1.4 : Structure du photomultiplicateur à cinq dynodes

Figure 1.5 : Principe du photomultiplicateur

Figure 1.6 : excitation des particules par la lumière

Figure 1.7 : Schéma de principe du spectrophotomètre UV-visible mono faisceau

Figure 1.8 : la lumière qui traverse l'eau

Figure 2.1 : Architecture de notre système

Figure 2.2 : LED RGB

Figure 2.3 : branchement de la LED a arduino

Figure 2.4 : Les différents spectres de lumière

Figure 2.5 : cuve de mesure

Figure 2.6 : schéma interne de la TSL 235R

Figure 2.7 : carte arduino uno

Figure 2.8 : Présentation des parties principales du logiciel

Figure 2.9 : Présentation des boutons

Figure 2.10 : Commande serial monitor

Figure 2.11 : terminal série

Figure 2.12 : vitesse de communication

Figure 2.13 : branchement d'arduino a l'ordinateur

Figure 2.14 : circuit électrique du capteur

Figure 2.15 : implantation d'arduino en dessous du prototype

Figure 3.1 : Repense fréquentiel pour saccharose avec la LED bleu

Repense fréquentiel pour NaCl avec la LED bleu

Figure 3.3 : Repense fréquentiel pour le saccharose avec la LED rouge

Figure 3.4 : Repense fréquentiel pour NaCl avec la LED rouge

Figure 3.5 : *Reponse fréquentiel pour le saccharose avec la LED verte*

Figure 3.6 : *Reponse fréquentiel pour le NaCl avec la LED verte*

Figure 3.7 : *Reponse fréquentiel pour le saccharose avec la LED IR*

Figure 3.8 : *Reponse fréquentiel pour le NaCl avec la LED IR*

Figure 3.9 : *Variation d'irradiance par rapport à la quantité de sucre pour la LED rouge*

Figure 3.10 : *Variation d'irradiance par rapport à la quantité de sucre*

Figure 3.11 : *Variation de la fréquence d'irradiance par rapport à la quantité de sucre avec la LED IR*

Figure 3.12 : *quantité de sucre mesurée avec l'appareil*

Figure 3.13 : *Eau de mer avec un taux de 30 % d'algues*

Figure 3.13 : *La courbe de la droite d'étalonnage*

Figure 3.14 : *masse molaire du sulfate de cuivre*

Figure 3.15 : *0.2 mol/l de sulfate de cuivre*

Figure 3.16 : *0.1mol/l de sulfate de cuivre*

Figure 3.17 : *0.05 mol/l de sulfate de cuivre*

Figure 3.18 : *0.02 mol/l de sulfate de cuivre*

Figure 3.19 : *0.01 mol/l de sulfate de cuivre*

Figure 3.20 : *Échantillons de 4 ml de sulfate de cuivre dans une cuve de mesure*

Figure 3.21 : *Courbe d'étalonnage avec la LED verte pour sulfate de cuivre*

Figure 3.22 : *Courbe d'étalonnage pour la LED bleu pour sulfate de cuivre*

Figure 3.23 : *Droite d'étalonnage avec la LED rouge pour sulfate de cuivre*

Figure 3.24 : *Organigramme pour le calcul de la concentration*

Figure 3.25 : *Courbe de covariance*

Introduction et Problématique

La nature nous fournit de nombreux exemples de systèmes sensoriels de détection du monde environnant. Tous les types de vie, des bactéries aux êtres humains, ont développé un système donné pour percevoir le monde autour d'eux. 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 coûteux pour la détection en temps réel des micro-organismes sont très utiles. Les domaines les plus importants incluent les analyses environnementales de l'air et de l'eau potable, l'industrie alimentaire, et la gestion d'eaux résiduaires. Dernièrement, la protection des personnes contre les actes bio-terroristes est aussi devenue un domaine d'application important, et plusieurs situations peuvent s'avérer critiques en ce qui concerne la détection en temps réel des micro-organismes dans des environnements clos ; c'est le cas des missions spatiales par exemple.

De nombreuses techniques ont été proposées pour traiter ce sujet. Généralement, 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 et l'adéquation lors de l'étape de photodétection de la photoréponse du fluoromètre avec le spectre d'émission de la substance.

Cependant, cette approche classique exige que la conception du système de mesure doit être modifiée pour chaque substance ; d'où le besoin d'instruments qui sont capables de détecter une large gamme de substances avec un effort d'adaptation minime. Un point plus important encore est la capacité du système de détection à déterminer avec succès la présence et la concentration des éléments recherchés, même s'ils sont en mixture avec d'autres éléments. Pour ce faire, il est nécessaire que le système de détection ait une très bonne sélectivité et une grande sensibilité afin de différencier des spectres avec des signatures semblables ou proches. À cet effet, les senseurs multifonctionnels ayant la capacité de sonder plusieurs propriétés sont très avantageux et deviennent une nécessité.

Parmi les nombreuses technologies disponibles, les méthodes optiques en général, et celles basées sur la fluorescence en particulier, ont déjà démontré des résultats prometteurs. Cependant elles sont complexes, encombrantes et coûteuses et elles sont souvent appliquées à concevoir uniquement des instruments de laboratoire. D'où le besoin de senseurs miniatures opérant en temps-réel, fiables, et intégrés.

I-Notions fondamentales sur la fluorescence et sa détection

D'une façon générale, les techniques des systèmes de détection basées sur la fluorescence reposent 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 d'image CCD 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.

Ce chapitre introduit les notions de base reliées aux techniques de détection basées sur la spectrométrie d'absorption et la fluorescence. Tout d'abord, nous expliquons en détail le phénomène de la spectrométrie d'absorption et la fluorescence. Par la suite nous présentons différents modèles de photodétection.

1) Fluorescence

C'est une émission lumineuse provoquée par l'excitation d'une molécule (généralement par absorption d'un photon) immédiatement suivie d'une émission spontanée. Fluorescence et phosphorescence sont deux formes différentes de luminescence. La fluorescence peut servir à caractériser un matériau

Une molécule fluorescente (fluorochrome) 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, que l'on note 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 singlet.

La phosphorescence quant à elle est caractérisée par une transition d'un état $S=0$ vers un état $S=1$ (état triplet), 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. Suit alors une émission de photon pour retourner à l'état fondamental. [1]

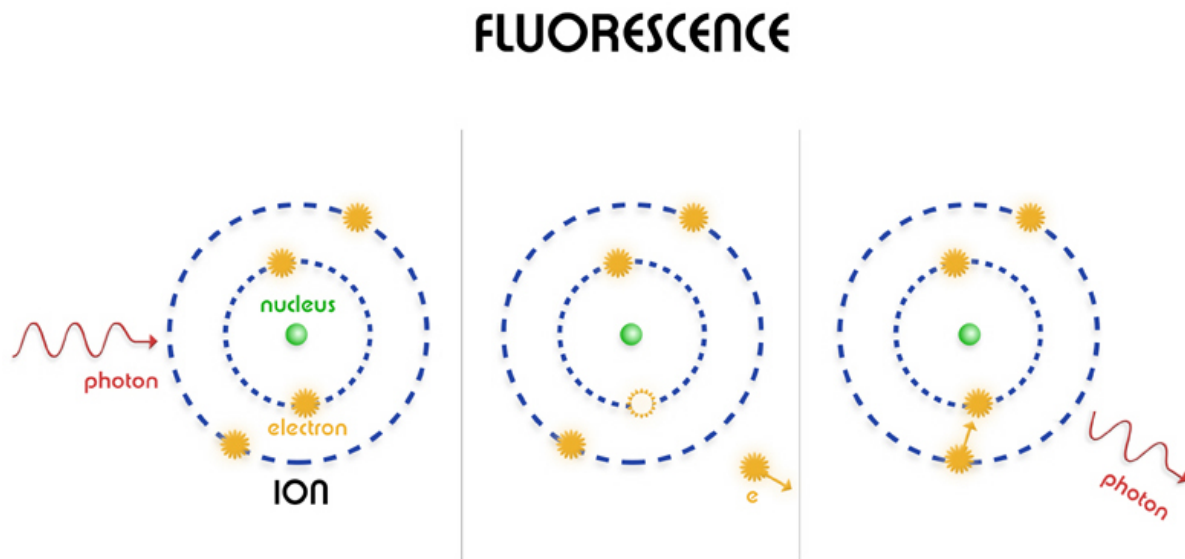


Figure 1.1 : phénomène de la fluorescence [1]

1.1) Absorption de la lumière Interaction de la lumière avec la 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 oscillant du côté droit de la direction du déplacement de l'onde, ainsi qu'un champ magnétique oscillant à la même fréquence que le champ électrique du côté droit de la direction du déplacement de l'onde et du plan d'oscillations du vecteur du champ électrique. La fréquence d'oscillation du vecteur du champ électrique et magnétique est appelée la fréquence de la lumière. La distance parcourue par l'onde durant la période d'une oscillation complète est appelée la longueur d'onde de la lumière λ . La vitesse, la fréquence, ainsi que la longueur. [1]

À cause 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.

Cependant, pour que l'électron soit capable d'absorber l'énergie de la lumière, il faut que celle-ci ait des fréquences bien particulières. La théorie quantique nous révèle que l'énergie associée à une longueur d'onde d'une lumière de fréquence.

1.2) Spectre d'absorption

Le spectre d'absorption d'une molécule est une représentation graphique de l'absorbance durant les transitions électroniques dans la molécule. Les régions du spectre où l'intensité de la lumière absorbée est élevée sont appelées les fortes bandes d'absorption. Par contre, lorsque l'intensité de la lumière absorbée est basse, elles sont appelées les faibles bandes d'absorption. La plupart des spectres d'absorption sont représentés par l'absorbance en fonction des longueurs d'ondes, et sont utiles pour l'analyse quantitative ainsi que l'analyse qualitative. Une représentation tout aussi intéressante est celle où l'absorption est représentée par l'absorbance en fonction de la fréquence de l'onde lumineuse, du fait que la fréquence est linéairement dépendante de la différence d'énergie entre les états électroniques impliqués dans la transition. Cependant la première représentation est la plus utilisée, vu que les éléments de dispersion (Monochromateurs) des instruments spectraux dispersent la lumière linéairement (plus au moins) comme une fonction de longueur d'onde. Donc, il est plus facile de calibrer les monochromateurs avec une vitesse de numérisation constante en termes de longueur d'onde.

1.3) 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, durant environ 10^{-15} s, la séquence des événements durant laquelle la molécule excitée retourne à son plus bas niveau électronique est particulièrement lente, environ 10^{-14} s à quelques secondes. Cependant, l'équilibre thermique engendré par la perte de l'énergie vibrationnelle est plus rapide, 10^{-14} à 10^{-12} secondes. La figure 1 montre les différents événements qui peuvent arriver lorsqu'une molécule excitée est entrain de revenir à son niveau électronique le plus bas.

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_1 . 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 (T1), puis un processus de phosphorescence ainsi qu'un autre Singulier-Triplet permettant à la molécule de rejoindre l'état de base (S_0). [2]

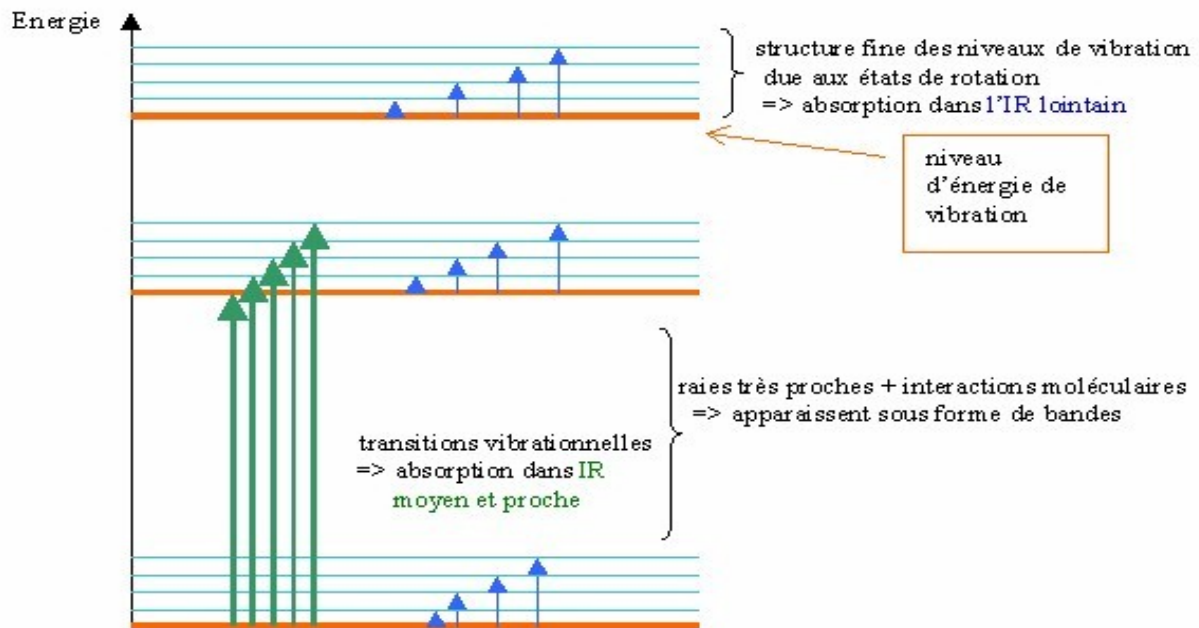


Figure 1.2 : Diagramme de transition électronique [2]

1.4) Relaxation Vibrationnelle

Une molécule peut être excitée par lumière. Une fois arrivée à l'état d'excitation, elle commencera alors à vibrer à une fréquence propre à l'état excité, libérant ainsi l'excès d'énergie sous forme de quantum infrarouge ou sous forme d'énergie cinétique transmise à d'autres molécules durant d'éventuelles collisions. Pendant quelques périodes de vibration (10^{-14} à 10^{-12} s), la molécule sera conduite au plus bas niveau vibrationnel résidant dans un état excité. Ce processus est connu sous le nom de « Relaxation Vibrationnelle ».

1.5) 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

2) 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.

2.1) 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. [3]

La réalisation d'une photodiode se fait toujours autour d'une jonction semi-conductrice de type PN comme illustré à la figure I-3. Si la jonction est soumise à un flux de photons, il y a création, par absorption, de paires électrons-trous dans la zone de déplétion, ce qui crée un courant électrique inverse circulant de la zone N vers la zone P.

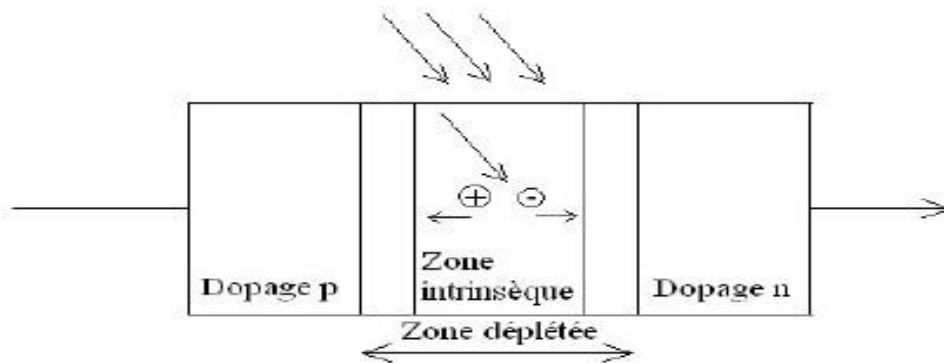


Figure 1.3. Structure de la jonction [3]

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

Tableau 1.1 : Sensibilité de différentes photodiodes [3]

Une photodiode peut être caractérisée par sa sensibilité qui représente le courant généré en fonction du flux reçu (A/W). Le tableau 1 qui représente la sensibilité de différentes photodiodes pour une longueur d'onde donnée, démontre que le choix du matériau de la photodiode est fonction de la longueur d'onde pour laquelle il doit opérer.

Une photodiode peut être caractérisée aussi par la surface du capteur en mm², par l'angle de réception, par les diagrammes de directivité, et 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 1.2) donne le courant d'obscurité pour différentes photodiodes à une température donnée.

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

Tableau 1.2 : Courant d'obscurité pour différentes photodiode

2.2) 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.

A 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 RN'.

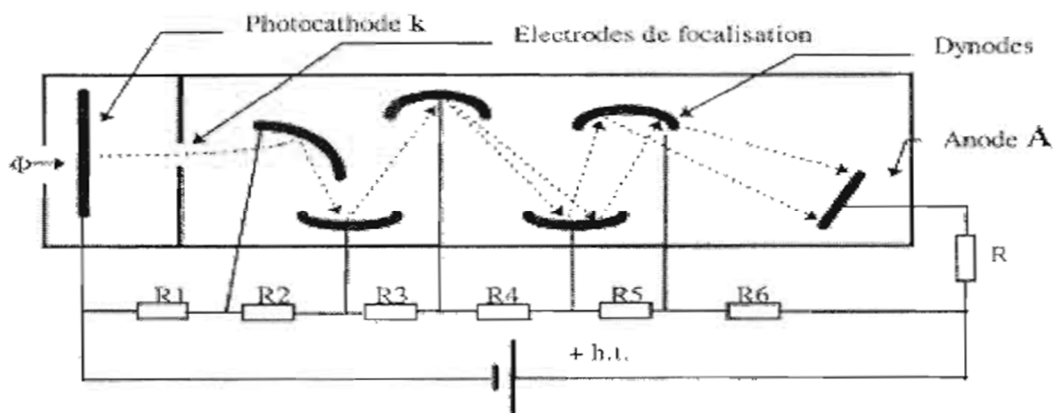


Figure 1.4 : Structure du photomultiplicateur à cinq dynodes [3]

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 δ . La valeur de δ est comprise entre 5 et 10. Elle est fonction, d'une part, de la nature du matériau constituant les dynodes et, d'autre part, de la tension d'alimentation de ces dynodes. Le principe du photomultiplicateur peut être représenté par le schéma de la figure suivante :

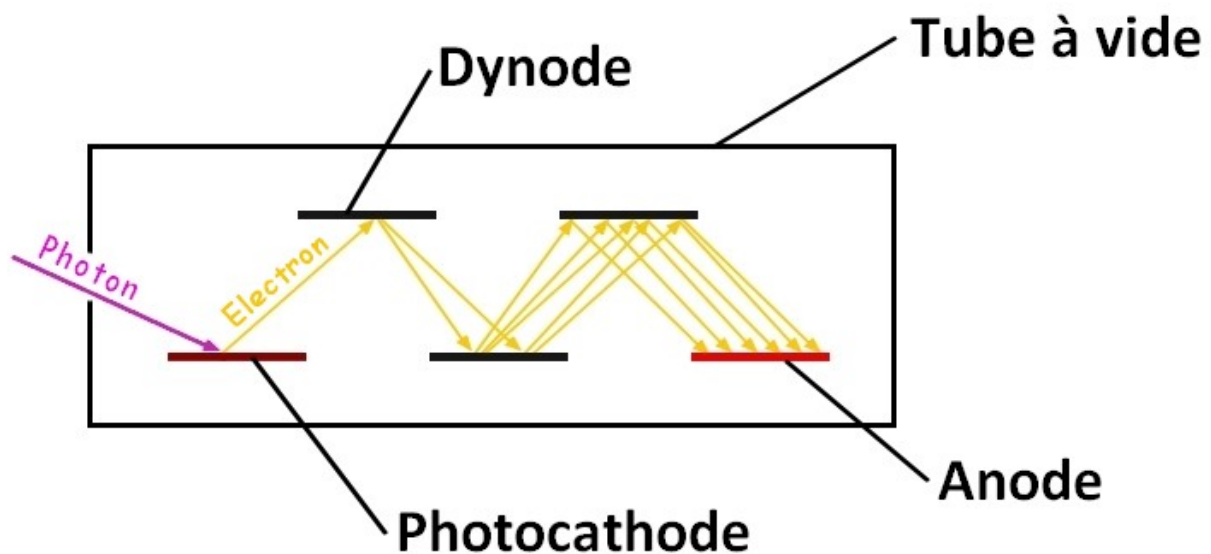


Figure 1.5 : Principe du photomultiplicateur [3]

3) Colorimétrie :

La détection optique de l'interaction biologique peut également se faire par l'intermédiaire d'un signal colorimétrique (coloration dans le domaine du visible : 400 – 800 nm). La colorimétrie a pour objectif de caractériser la nature physique des couleurs et de permettre une identification précise de chacune d'entre elles. Avant de rentrer dans les détails de cette science, il est important de bien comprendre la notion de la couleur qui peut être décomposée en trois étapes :

- L'œil reçoit une quantité de lumière dépendante de la couleur de l'objet. La stimulation lumineuse captée par l'œil est appelée stimulus physique.
- L'œil transforme par la suite ce stimulus en informations interprétables par le cerveau. L'œil est ici le capteur ou le récepteur.

- Le cerveau à son tour interprète cette information en fonction de données identiques associées à un ou plusieurs termes descriptifs : vert, rouge, clair, sombre, etc.

Tous ces paramètres font que l'interprétation d'une couleur est subjective et très sensible d'où l'intérêt de concevoir des instruments permettant de mieux détecter la variation colorimétrique.[4]

4) Paramètres caractéristiques d'une couleur :

Trois paramètres définissent une couleur, la teinte, la pureté et l'intensité. La coloration d'une solution obtenue dépend de la concentration du liquide. Le but sera donc de déterminer cette concentration en passant par une mesure de la couleur.

4.1) Méthodes de mesure :

On utilise deux techniques de mesure de la couleur :

- La mesure trichromatique
- La mesure spectrale

Peuvent être utilisées pour la détermination de la concentration.

4.1.1) Mesure trichromatique :

L'origine de la vision trichromatique réside dans la présence dans notre rétine de trois familles de cellules photo réceptrices dites cônes. La sensibilité spectrale de ces cônes diffère et couvrent une large étendue du spectre visible. Pour les courtes longueurs d'onde (437nm), elles sont culminées par les cônes (Bleue). Les cônes (verts) couvrent les moyennes longueurs (533nm) d'onde et celle des cônes (rouge) dominant les grandes longueurs d'onde (564nm).[4]

4.1.2) Mesure Spectrale :

La méthode de mesure spectrale utilise un spectro-colorimètre qui est un appareil constitué d'un système optique pour disperser la lumière et d'une barrette de photo-détecteur pour mesurer la puissance lumineuse à plusieurs longueurs d'ondes. La couleur du stimulus est calculée à partir du spectre donné par l'appareil. Cela nous permet dans le cadre de notre application de déterminer la concentration de la solution. [4]

5) Généralité sur la spectrophotométrie

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**.

La densité optique des échantillons est déterminée par un spectrophotomètre préalablement étalonné sur la longueur d'onde d'absorption de la substance à étudier.[5]

5.1) Principe

Lorsqu'une lumière d'intensité I_0 passe à travers une solution, une partie de celle-ci est

Absorbée par le(s) soluté(s). L'intensité I de la lumière transmise est donc inférieure à I_0 . On définit l'absorbance de la solution comme :

$$A = \log (I_0/I) \quad [5]$$

On parle aussi de transmittance définie par la relation :

$$T = I/I_0 \text{ c'est-à-dire que } A = -\log T \quad [5]$$

L'absorbance est une valeur positive, sans unité. Elle est d'autant plus grande que l'intensité transmise est faible.

Chapitre1 : Généralités sur la spectrophotométrie et la fluorescence

La relation de Beer-Lambert décrit que, à une longueur d'onde λ donnée, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration, et à la longueur du trajet optique (distance sur laquelle la lumière traverse la solution).

Alors, pour une solution limpide contenant une seule substance absorbante :

$$A_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} \cdot l \cdot c \quad [5]$$

- A_{λ} est l'absorbance ou la densité optique (sans unité) de la solution pour une longueur d'onde λ ;
- c (en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$) est la concentration de la substance absorbante ;
- l (en cm) est la longueur du trajet optique ;
- ϵ_{λ} (en $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) est le coefficient d'extinction molaire de la substance absorbante en solution. Il rend compte de la capacité de cette substance à absorber la lumière, à la longueur d'onde λ .

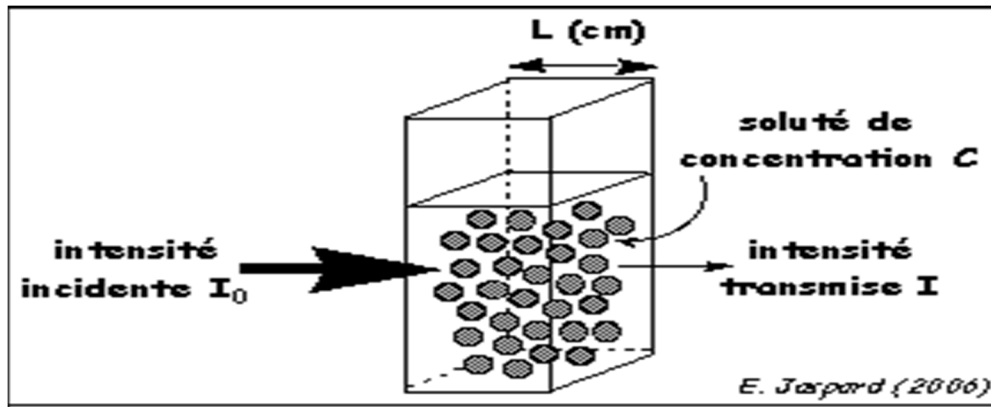


Figure 1.6 : excitation des particules par la lumière [5]

Selon la loi de Beer-Lambert, l'absorbance est additive (mais non la transmittance). Ainsi, pour une solution contenant plusieurs substances absorbantes, l'absorbance de la solution est la somme de leurs absorbances. Pour n substances absorbantes.

6) Domaine UV-visible de la spectrophotométrie

Un soluté coloré ou chromophore absorbe la lumière visible (longueurs d'onde comprises entre 400 et 800 nm). On parle de spectrophotocolorimétrie ou plus simplement de colorimétrie. Certaines solutions absorbent dans l'ultraviolet (longueurs d'onde inférieures à 380 nm), on parle alors de spectrophotométrie UV. Les infrarouges ne sont pas utilisés en spectrophotométrie car ils dépendent surtout de la température de la solution et non de sa concentration, ils sont plutôt couverts par la spectroscopie en infrarouge. La spectrophotométrie est plus spécifique que la spectroscopie qui couvre d'autres longueurs d'ondes du spectre électromagnétique.

7) Spectrophotomètre

Un spectrophotomètre mesure l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde donnée. Un dispositif monochromateur permet de générer, à partir d'une source de lumière visible ou ultraviolette, une lumière monochromatique, dont la longueur d'onde est choisie par l'utilisateur. La lumière monochromatique incidente d'intensité I_0 traverse alors une cuve contenant la solution étudiée, et l'appareil mesure l'intensité I de la lumière transmise. La valeur affichée par le spectrophotomètre est l'absorbance à la longueur d'onde étudiée. Le spectrophotomètre peut être utilisé pour mesurer de manière instantanée une absorbance à une longueur d'onde donnée, ou pour produire un spectre d'absorbance (spectrophotomètre à balayage). Dans ce dernier cas, le dispositif monochromateur décrit en un temps court l'ensemble des longueurs d'onde comprises entre deux valeurs choisies par l'opérateur.[6]

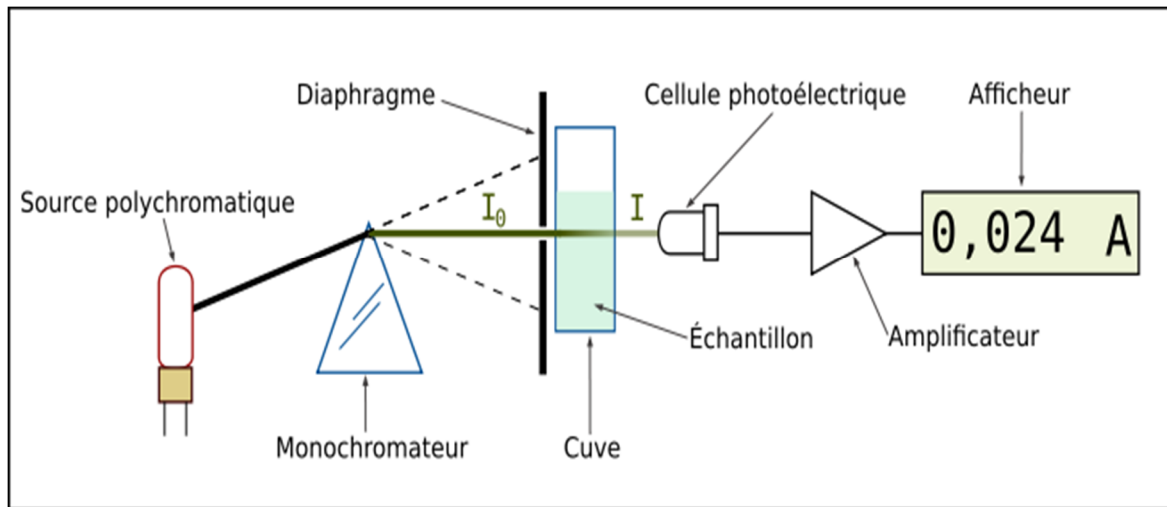


Figure 1.7 : Schéma de principe du spectrophotomètre UV-visible mono faisceau [6]

7.1) Limites :

Plusieurs facteurs peuvent dégrader la loi de **Beer-Lambert** et limiter la validité de la spectrophotométrie : [6]

- le domaine de mesure idéal est pour les valeurs de T situées entre 20 et 60 % ;
- plusieurs aberrations optiques liés à la diffusion, la réflexion et la diffraction de la lumière peuvent fausser la mesure ;
- les phénomènes de fluorescence ainsi que d'autres particularités chimiques liées aux substances absorbantes peuvent interférer ;
- plus la densité du soluté est importante, plus le faisceau de lumière incident sera réfracté avec une valeur donnée. Cette tendance est normalement infime mais devient plus prononcée avec les hautes concentrations. Ainsi, la réfraction réduit l'intensité de la lumière transmise et l'instrument indique faussement une absorbance plus élevée. Généralement, ce phénomène peut être évité en travaillant avec des concentrations inférieures à $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$.

7.2) Importance du phénomène de diffusion

Comme la loi de **Beer-Lambert** le stipule, le pouvoir d'un milieu à bloquer le passage de la lumière est quantifié par un coefficient d'extinction donné par l'équation :

$$I/I_0 = e^{-\gamma x}$$

Cette impédance est générée par deux phénomènes distincts : l'absorbance et la diffusion.

La diffusion intervient lorsque la lumière est défléchie par les particules du milieu de manière à ne pas atteindre l'autre côté de l'échantillon.

L'absorbance est le processus par lequel l'énergie lumineuse est absorbée par les molécules de l'échantillon avant d'être libérée sous forme de chaleur ou emmagasinée sous forme de liaisons chimiques.

Donc le coefficient γ de l'équation précédente est composé par le *coefficient de diffusion* (τ) ainsi que celui de l'*absorption* (α), c'est-à-dire :

$$\gamma = \tau + \alpha$$

7.3) La Radiance

La luminance énergétique, parfois nommée radiance est la puissance du rayonnement passant ou étant émise en un point d'une surface et dans une direction donnée, par unité de surface et par unité d'angle solide. La luminance énergétique a pour unité le watt par mètre carré par stéradian ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$) en unités SI. La luminance énergétique est une grandeur radiométrique⁵ dont l'équivalent en photométrie est la luminance.

7.4) l'irradiance

L'éclairement énergétique ou irradiance est un terme radiométrique qui quantifie la puissance d'un rayonnement électromagnétique frappant par unité de surface. Dans le système international d'unités, elle s'exprime en watts par mètre carré (W/m^2 ou $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

8) La longueur d'onde

La **longueur d'onde** est une grandeur physique homogène à une longueur, caractéristique d'une onde monochromatique dans un milieu homogène, définie comme la distance séparant deux maxima consécutifs de l'amplitude.

La longueur d'onde dépend de la célérité ou vitesse de propagation de l'onde dans le milieu qu'elle traverse. Lorsque l'onde passe d'un milieu à un autre, dans lequel sa célérité est différente, sa fréquence reste inchangée, mais sa longueur d'onde varie.

Lorsque l'onde n'est pas monochromatique, l'analyse harmonique permet de la décomposer en une somme d'ondes monochromatiques. Les phénomènes physiques ne sont jamais strictement périodiques ; l'analyse spectrale aboutit à une somme infinie d'ondes monochromatiques. On considère alors la *longueur d'onde dominante*, c'est-à-dire celle qui correspond à la fréquence qui transporte le plus d'énergie, ou à la fréquence centrale de la plage qui transporte le plus d'énergie.

Les longueurs d'onde sont d'un usage courant en acoustique, en radio, en optique.

Couleur	Violet	Indigo	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Autour de	400 nm	445 nm	475 nm	510 nm	570 nm	590 nm	650 nm

Tableau 1.3 : Longueurs d'ondes de la lumière visible

Remarque

Tout au long du spectre de la lumière visible, du rouge au violet, la longueur d'onde diminue progressivement

9) La Turbidité :

Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. La turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers est relative : certaines populations habituées à consommer une eau très colorée n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant, une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension : la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte. Elle se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre. Unités : 1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) = 1 JTU (Jackson TU) = 1 FTU (Formazin TU). Les classes de turbidités usuelles sont montrées dans le tableau 1.4 [7]

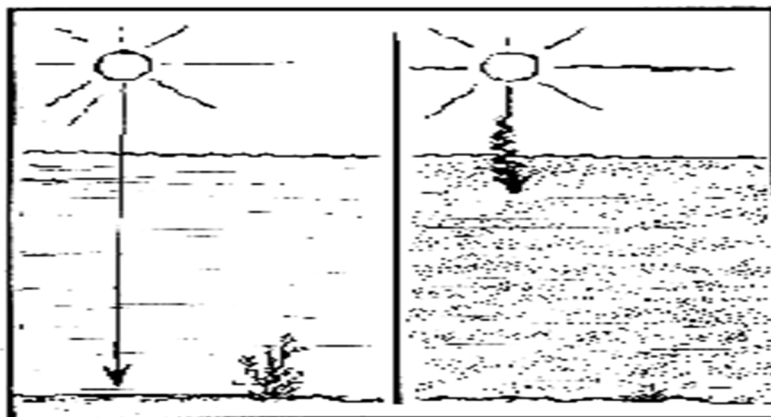


Figure 1.8 : la lumière qui traverse l'eau

Turbidité NTU	Qualité de l'eau
NTU < 5	eau incolore
5 < NTU < 30	eau légèrement trouble
NTU > 50	eau trouble

Tableau 1.4 : Les différentes classes de turbidité en fonction de la qualité visuelle de l'eau [7]

//-Conception du système de mesure proposé

L'objectif de ce chapitre est de décrire les étapes de conception et ainsi les composants utilisés pour concevoir notre appareil.

1) Présentation de notre système :

Pour remédier au problème de coût et avoir un système de mesure peu encombrant on a réalisé un prototype qui utilise le même principe que celui d'un spectrophotomètre, on utilisant un capteur optique très sensible qui est une photodiode TSL235R et une source de lumière excitatrice qui est une LED RGB avec plusieurs longueurs d'ondes. Cette LED est commandé avec un programme et trois interrupteurs qui nous permettent de choisir la longueur d'onde qu'on veut utiliser. Notre système est aussi équipé d'une LED infra rouge comme source de lumière excitatrice, pour pouvoir programmer et contrôler notre système on a utilisé une carte ARDUINO UNO qui va nous permettre par la suite d'envoyer les fréquences et les signaux enregistrés a un ordinateur et afficher les résultats obtenues.

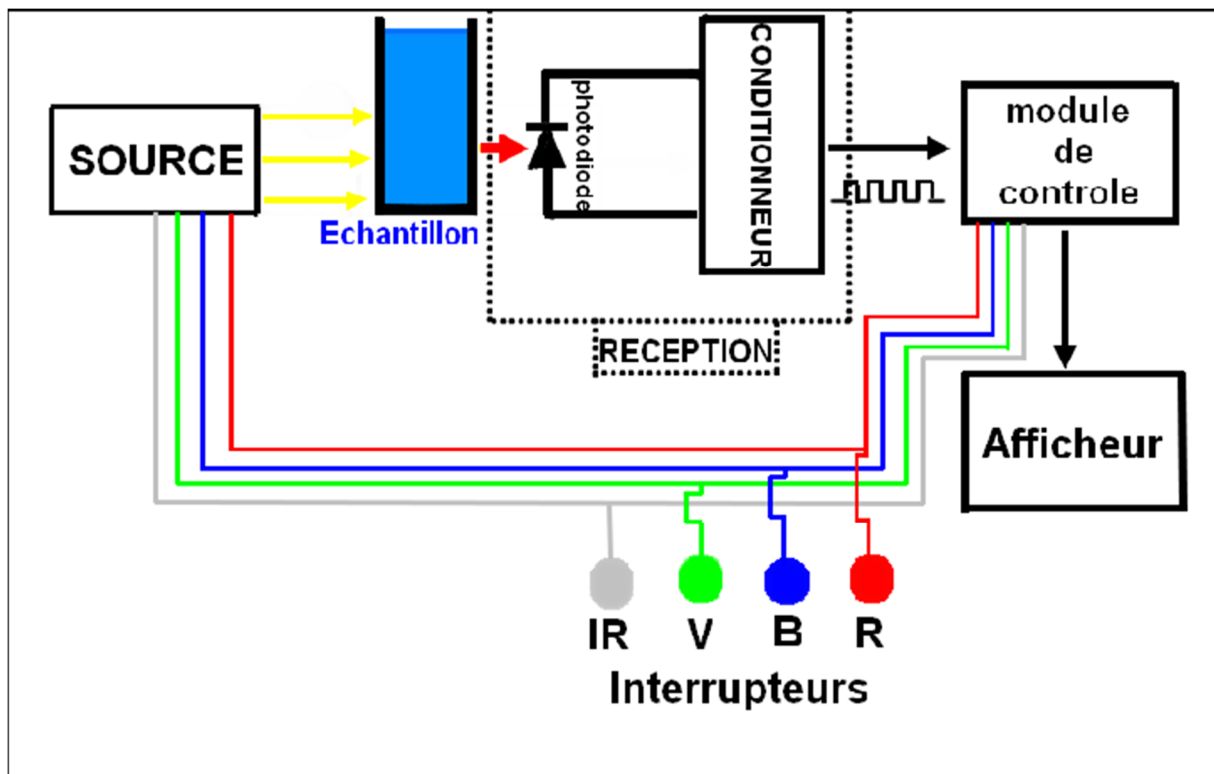


Figure 2.1 : Architecture de notre système

1.1) Principe du fonctionnement de notre système :

Notre appareil permet d'étudier l'absorption d'éclairement énergétique par les différentes substances chimiques, ainsi la mesure de leurs concentrations. La source de lumière (LED RGB) traverse une cuve pour qu'elle sera reçue par un récepteur de lumière (TSL235R), qui enregistre le spectre de transmission puis on en 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.

2) descriptions de la source de lumière :

Notre appareil utilise deux sources de lumière

- LED RGB
- LED IR

2.1) LED RGB :

Le principe de fonctionnement est simple, les changements de couleurs sont obtenus par le mélange de 3 couleurs primaires. Le rouge, le vert et le bleu. D'où l'abréviation RGB pour R (red – rouge), G (green – vert) et B (blue – bleu). Les leds multicolore RGB contiennent ces 3 couleurs primaires, dans notre cas les 3 couleurs primaires sont commandées par un programme via la carte arduino. [8]

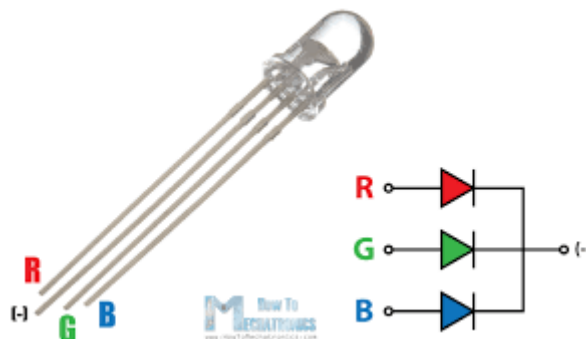


Figure 2.2 : LED RGB [8]

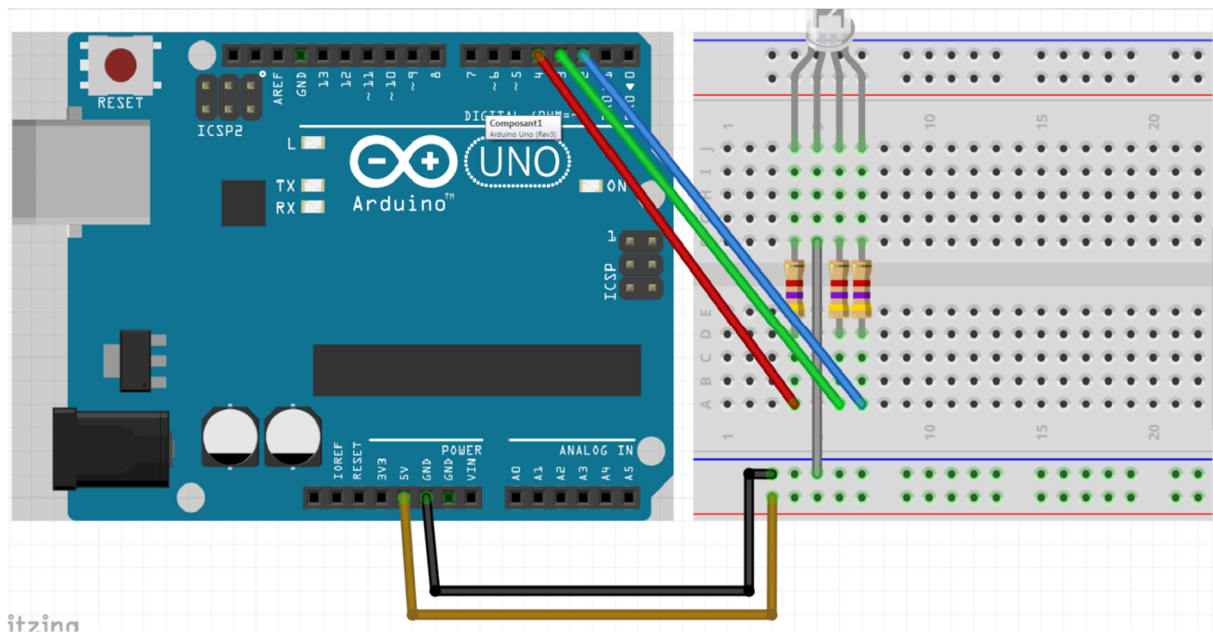


Figure 2.3 : branchement de la LED a arduino [8]

2.2) LED infra-rouge :

En 1800, W. Herschel observe que, suivant la couleur du filtre optique qu'il utilise dans ses télescopes, sa sensation de chaleur à l'œil varie avec la sensation de lumière. En décomposant la lumière à l'aide d'un prisme, il s'est aperçu qu'un thermomètre placé au-delà du rouge mesurait une température plus grande que celle de l'air ambiant. Une ampoule émet de la lumière parce que le filament est chauffé par le passage du courant ; le filament chauffé rayonne de la lumière visible et des IR. D'une façon générale, tous les corps chauffés émettent de l'énergie sous forme d'infrarouges même s'ils ne sont pas lumineux.

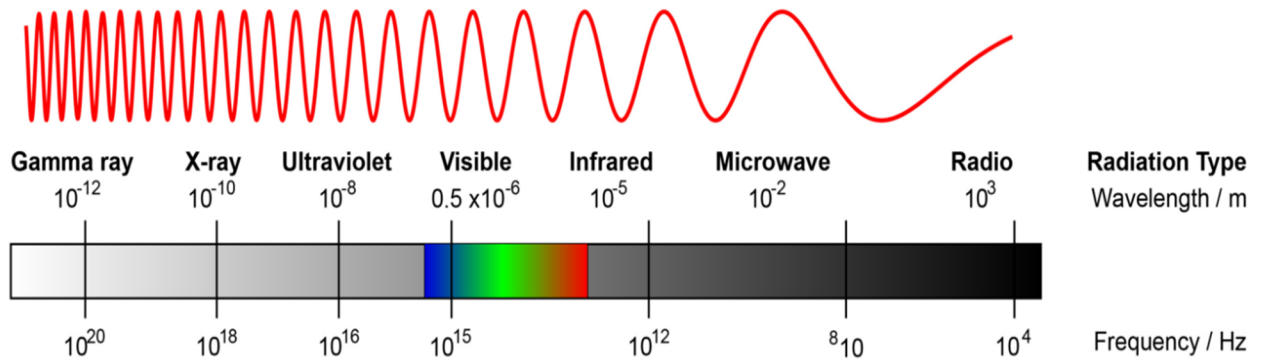


Figure 2.4 : Les différents spectres de lumière [8]

3) Porte échantillon :

Est une cuve utilisé dans 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 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. [9]

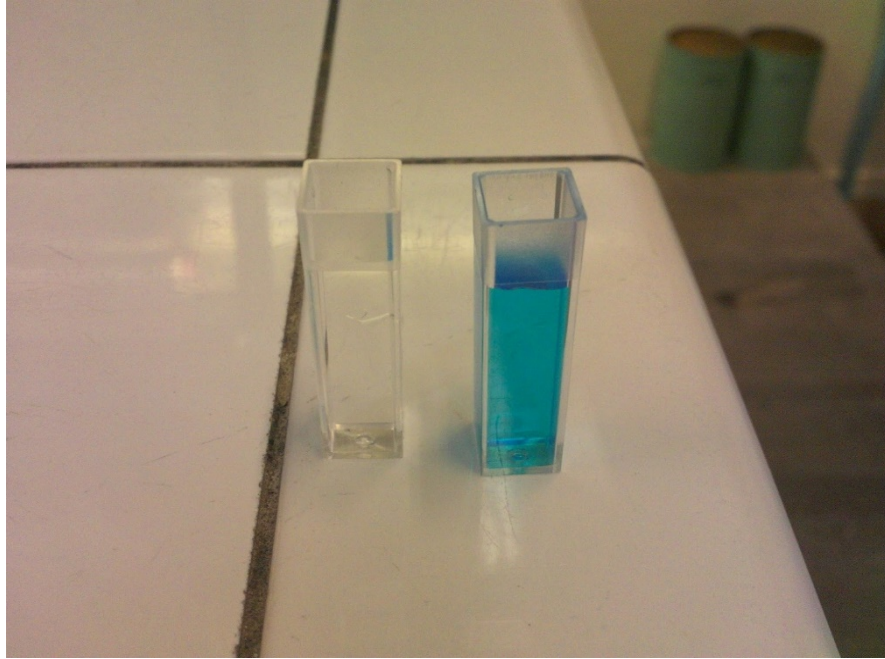


Figure 2.5 : cuve de mesure [9]

4) Module de Réception

Notre module de reception est une photodiode et celle-ci se compose d'un semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique. Quand elle est exposée à un flux lumineux, les photons sont absorbés à condition que l'énergie du photon soit supérieure à la largeur de la bande interdite (E_g). Ceci correspond à l'énergie nécessaire que doit absorber l'électron afin qu'il puisse quitter la bande de valence vers la bande de conduction. Cette transition le rend mobile et capable de contribuer au courant électrique traversant la diode. La Photodiode PN est utilisée dans plusieurs domaines mais principalement dans la détection rapide de signaux de faible amplitude, la photométrie, l'instrumentation, les lecteurs de code barre, la spectrophotométrie.....

Dans notre système on a utilisé convertisseur TSL235R lumière-fréquence combine une photodiode au silicium et un convertisseur courant-fréquence sur un seul circuit intégré CMOS monolithiques (figure 6). La sortie est une onde carrée (cycle de service de 50%) avec une fréquence directement proportionnelle à l'intensité de lumière (irradiance) sur la photodiode. Le dispositif a été compensé en température pour la gamme de 320 nm à 700 nm ultraviolet à la lumière visible et répond sur la gamme de lumière de 320 nm à 1050 nm. [10]

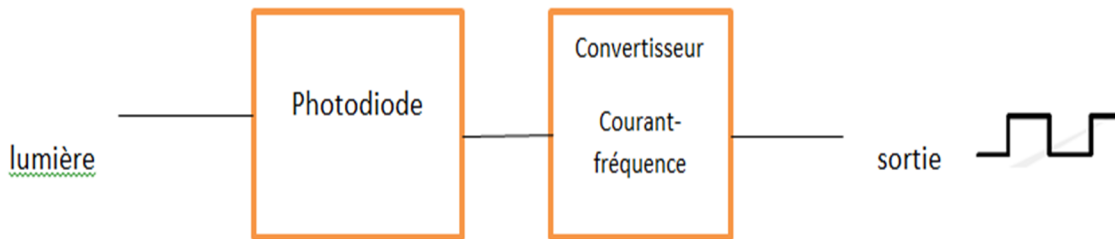


Figure 2.6 : *schéma interne de la TSL 235R [10]*

5) Module de contrôle (Arduino uno) :

Grâce à son fonctionnement, on peut programmer l'Arduino pour que lorsqu'on fait une tâche il la reçoit et la traduit en une action. Il fournit un environnement de développement avec un éditeur de programme, et de nombreuses entrées et sorties. La communication entre le PC et la carte se fait via le port USB, moyennant installation d'un driver adapté qu'on a obtenu lorsqu'on a acheté l'Arduino. Ce circuit imprimé en matériel libre à son propre langage pour le programmer, donc on doit créer un algorithme pour qu'il suive les instructions données. L'Arduino Uno dispose de 14 broches numériques d'entrées et de sorties et de 6 entrées analogiques qu'on va utiliser dans notre projet.

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines. Pour vous donner quelques exemples, vous pouvez : [11]

- contrôler les appareils domestiques
- faire un jeu de lumières
- communiquer avec l'ordinateur
- télécommander un appareil mobile (modélisme)

Chapitre 2 : Conception du système de mesure

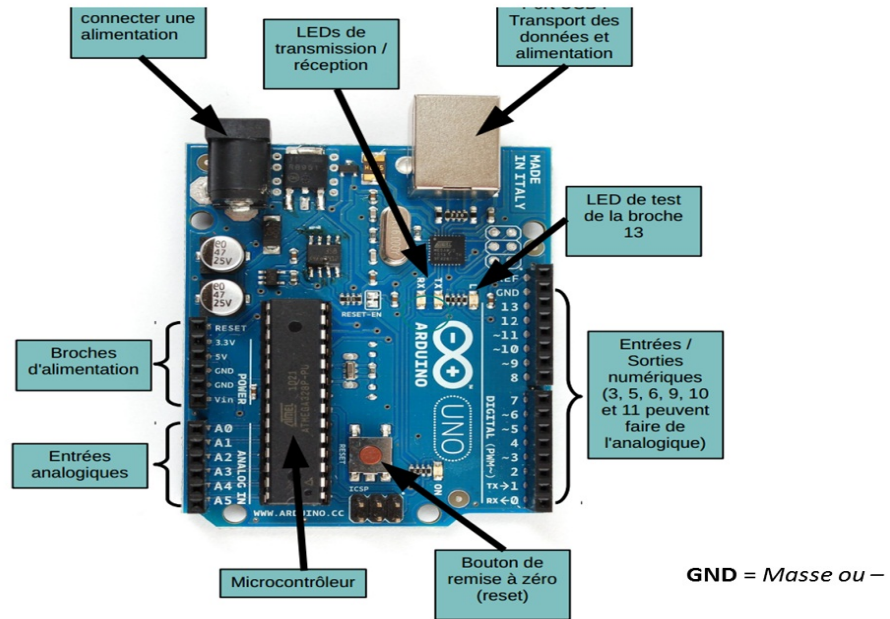


Figure 2.7 : carte arduino uno [11]

5.1) Présentation du logiciel :

Sur cette fenêtre on écrit le programme qui nous permettra d'interpréter les résultats obtenue par les tests effectués sur notre système.

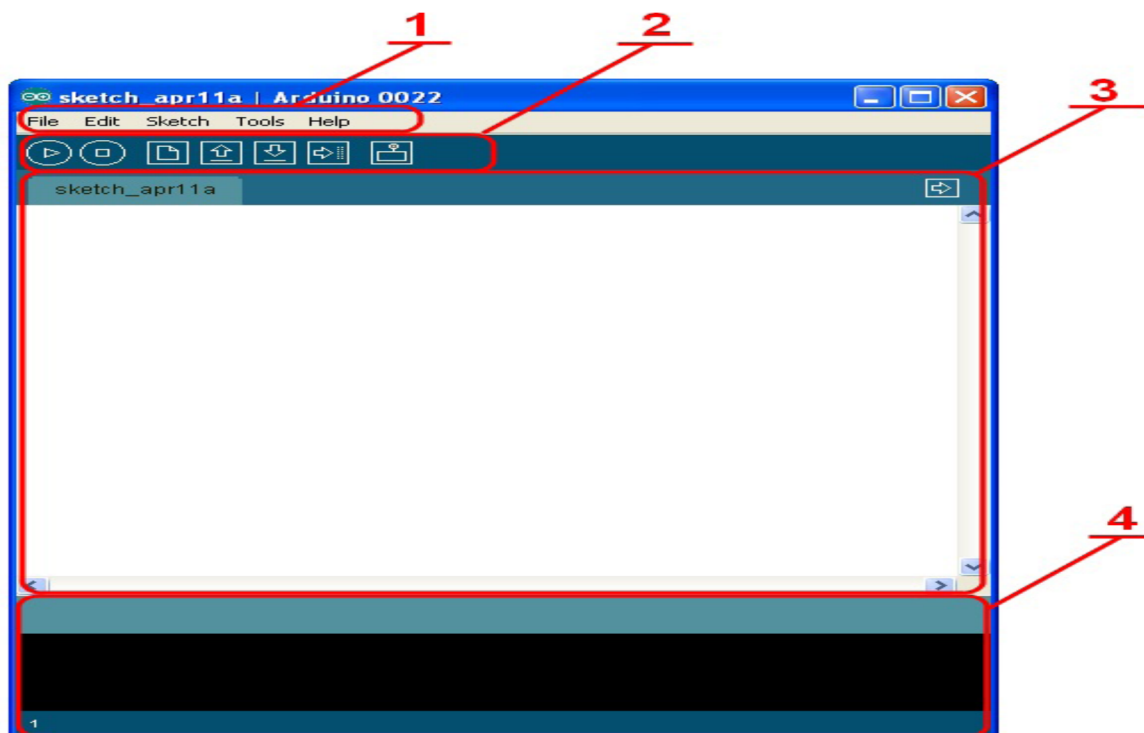


Figure 2.8 : Présentation des parties principales du logiciel [11]

5.1.1) Correspondance :

Le cadre numéro 1 : ce sont les options de configuration du logiciel

Le cadre numéro 2 : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes

Le cadre numéro 3 : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer

Le cadre numéro 4 : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme. C'est le débogueur.

5.1.2) Les boutons :

C'est bouton son indispensable pour la gestion du programme saisie

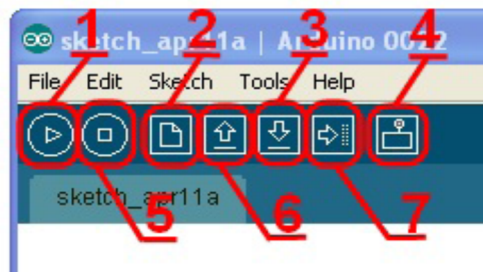


Figure 2.9 : Présentation des boutons [11]

Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme

Bouton 2 : Créer un nouveau fichier

Bouton 3 : Sauvegarder le programme en cours

Bouton 4 : On n'y touche pas pour l'instant

Bouton 5 : Stoppe la vérification

Bouton 6 : Charger un programme existant

Bouton 7 : Compiler et envoyer le programme vers la carte

5.1.3) Du côté de l'ordinateur

Serial monitor utilisé pour la communication entre la carte Arduino et un ordinateur ou d'autres appareils. Toutes les cartes Arduino ont au moins un port série.



Figure 2.10 : *Commande serial monitor [11]*

Quand on clique sur le bouton serial monitor une nouvelle fenêtre s'ouvre : c'est le terminal série :

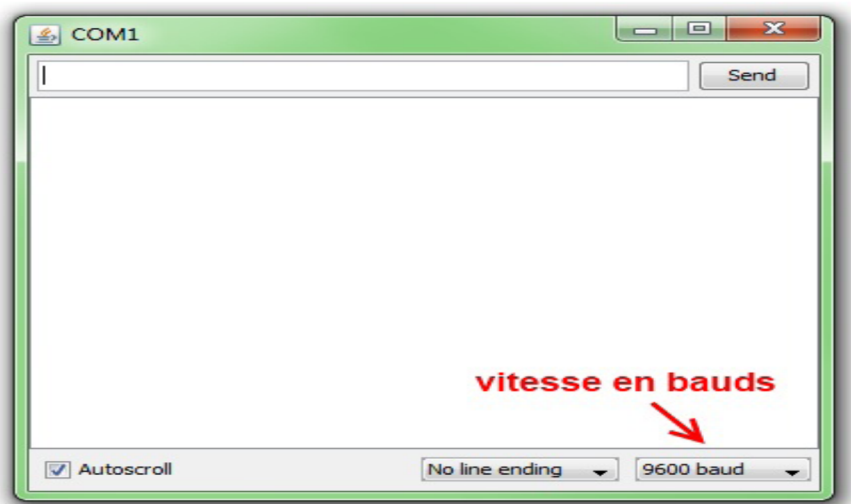


Figure 2.11 : *terminal série [11]*

Dans cette fenêtre, vous allez pouvoir envoyer des messages sur la liaison série de votre ordinateur (qui est émulée par l'Arduino) ; recevoir les messages que votre Arduino vous envoie ; et régler deux trois paramètres tels que la vitesse de Communication avec l'Arduino et l'autoscroll qui fait défiler le texte automatiquement.[11]

On peut modifier la vitesse de transmission. Cliquez sur le menu déroulant vitesse de transmission pour sélectionner le débit en bauds correct.

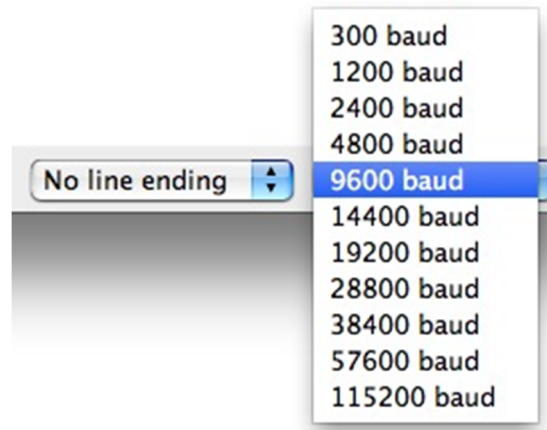


Figure 2.12 : vitesse de communication [11]

5.2) Les bonnes raisons de choisir Arduino

Il existe pourtant dans le commerce, une multitude de plateformes qui permettent de faire la même chose. Notamment les microcontrôleurs « PIC » du fabricant Microchip. Nous allons voir pourquoi choisir l'Arduino.[11]

➤ Le 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 liberté

C'est un bien grand mot, mais elle définit de façon assez concise l'esprit de l'Arduino. Elle constitue en elle-même deux choses :

- **Le logiciel:**

Gratuit et open source, développé en Java, dont la simplicité d'utilisation relève du savoir cliquer sur la souris.

- **Le matériel:**

Cartes électroniques dont les schémas sont en libre circulation sur internet.

Cette liberté a une condition : le nom « Arduino » ne doit être employé que pour les cartes « officielles ». En somme, vous ne pouvez pas fabriquer votre propre carte sur le modèle Arduino et lui assigner le nom « Arduino ».

Les cartes non officielles, on peut les trouver et les acheter sur Internet et sont pour la quasi-totalité compatibles avec les cartes officielles Arduino.

➤ **La compatibilité**

Le logiciel, tout comme la carte, est compatible sous les plateformes les plus courantes (Windows, Linux et Mac), contrairement aux autres outils de programmation du commerce qui ne sont, en général, compatibles qu'avec Windows

➤ **La communauté**

La communauté Arduino est impressionnante et le nombre de ressources à son sujet est en constante évolution sur internet. De plus, on trouve les références du langage Arduino ainsi qu'une page complète de tutoriels sur le site arduino

6) Afficheur :

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

Pour afficher les résultats mesurés 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.

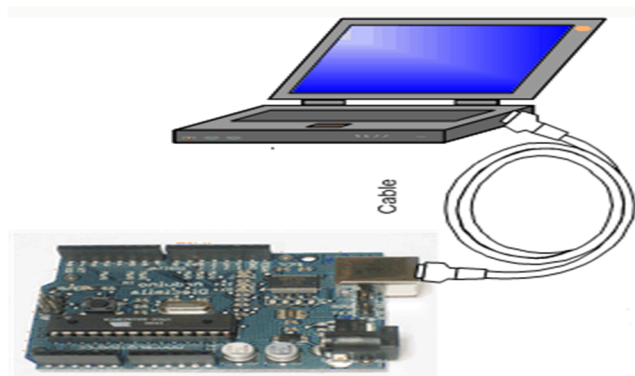


Figure 2.13 : branchement d'arduino a l'ordinateur

7) 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 2.14)

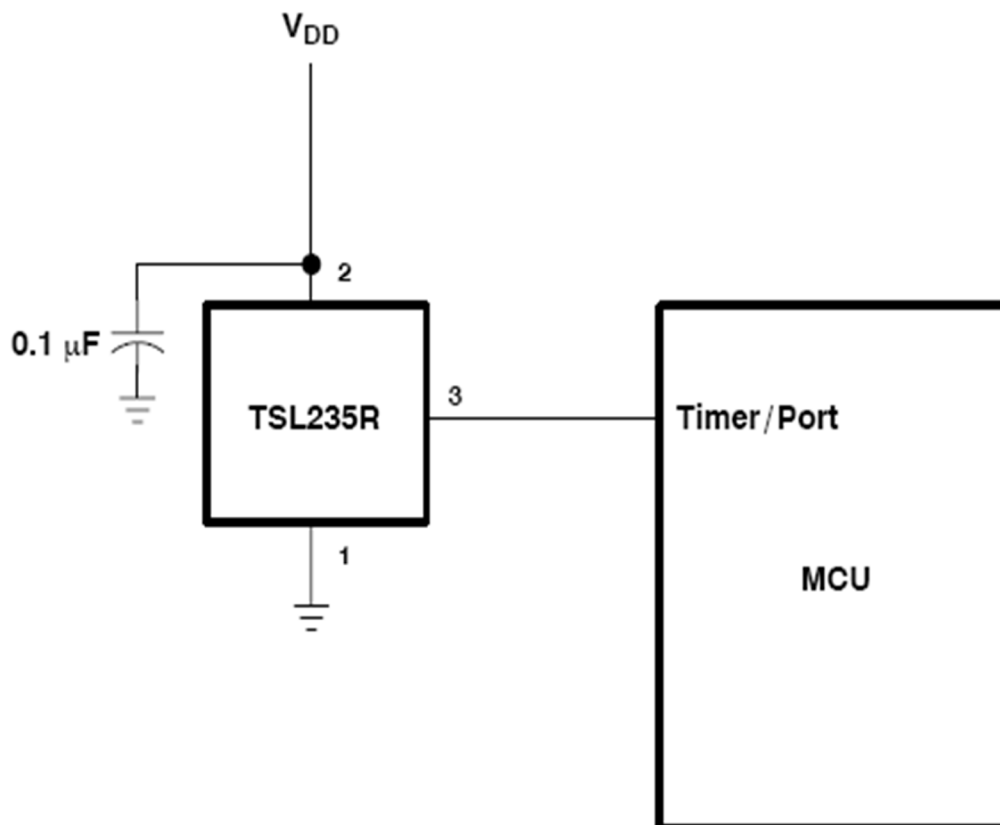


Figure 2.14 : *circuit électrique du capteur*

8) circuit électrique de branchement de sources de lumière a la carte :

Comme on a vu dans la (figure 2.2) la RGB elle a 4 branches et ces dernières-là on les relie a la carte arduino.

- Les branches 1, 3,4 : on les relie à des résistances de 220Ω puis vers les sorties 3, 5,6.
- La pête 2 : vers l'alimentation Vcc (5v).

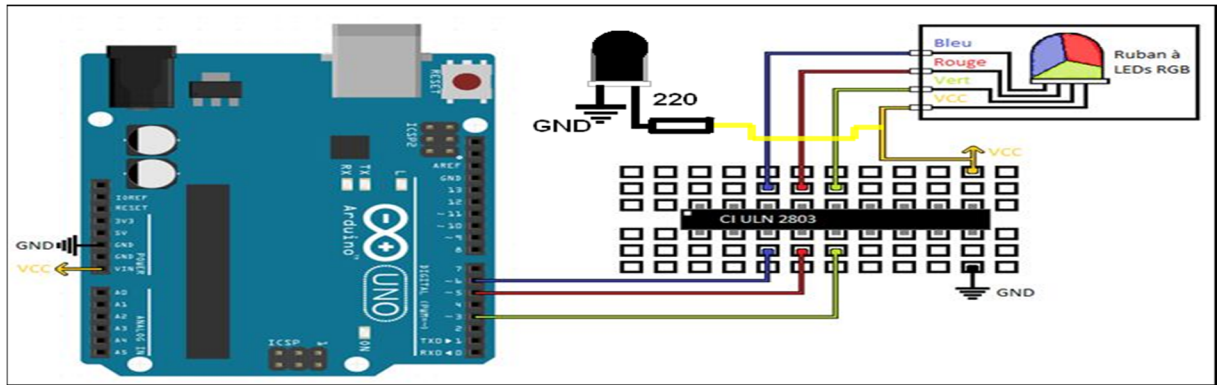


Figure 2.15 : implantation d'arduino en dessous du prototype

III-Tests pratiques :

L'objectif de nos expériences est :

- ❖ La mesure de la quantité de sucre dans les boissons gazeuses.
- ❖ La mesure de la turbidité et du taux de pollution des eaux par des algues.
- ❖ La mesure de concentration des métaux lourds dans l'eau.

Avant de réaliser ces expériences il faut étalonner l'appareil avec différentes solutions pour voir si notre capteur fonctionne convenablement et s'il y a une différence entre les fréquences enregistrées pour les différentes concentrations du sucre (saccharose) et du sel (NaCl) dans l'eau avec plusieurs longueurs d'ondes différentes.

1) Mesure de la concentration du saccharose et du NaCl dans l'eau :

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

Ainsi dans cette application, ceci permettra de détecter une faible coloration de la solution à tester, proportionnelle à une faible concentration. Cette coloration est le résultat de la différence de concentration de saccharose et de NaCl dans l'eau.

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

Série 1 :

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 6g de saccharose rajouté progressivement.

Au total on aura donc quatre échantillons.

Série 2 :

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, Infra-rouge), les résultats seront montrés dans ce qui suit :

1.1) LED bleu :

On va mesurer la fréquence d'irradiance des quatre échantillons de NaCl et de saccharose avec différentes longueurs d'ondes et on va commencer par la LED bleu.

Quantité de sucre dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sucre	Fréquence d'irradiance du sel
0	110000	110000
6	97000	101000
12	93000	95200
18	90500	89600

Tableau 3.1 : *Fréquences mesurées pour le saccharose et le NaCl*

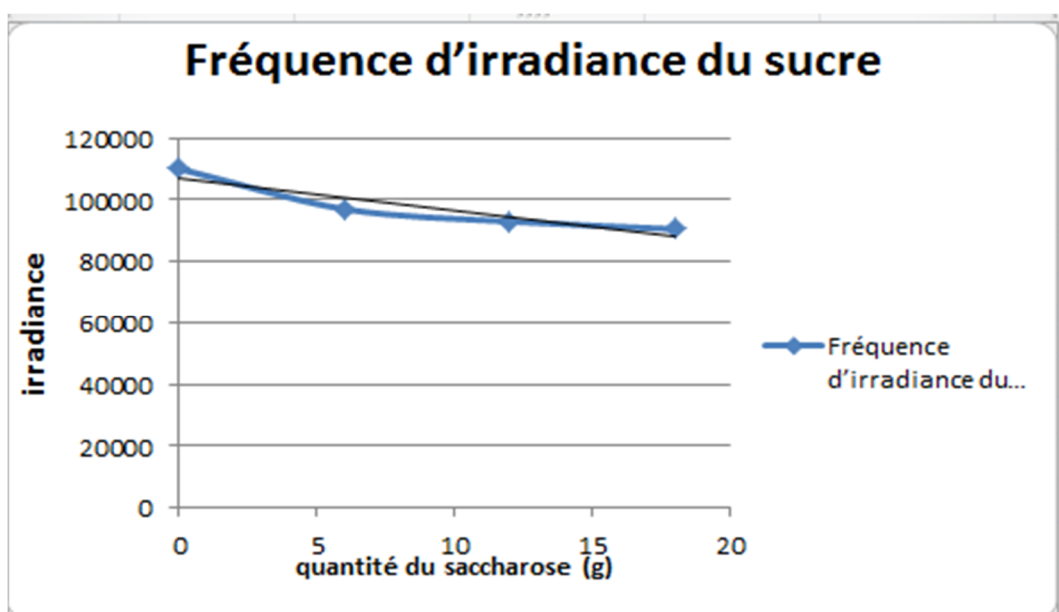


Figure 3.1 : *Reponse fréquentiel pour saccharose avec la LED bleu*

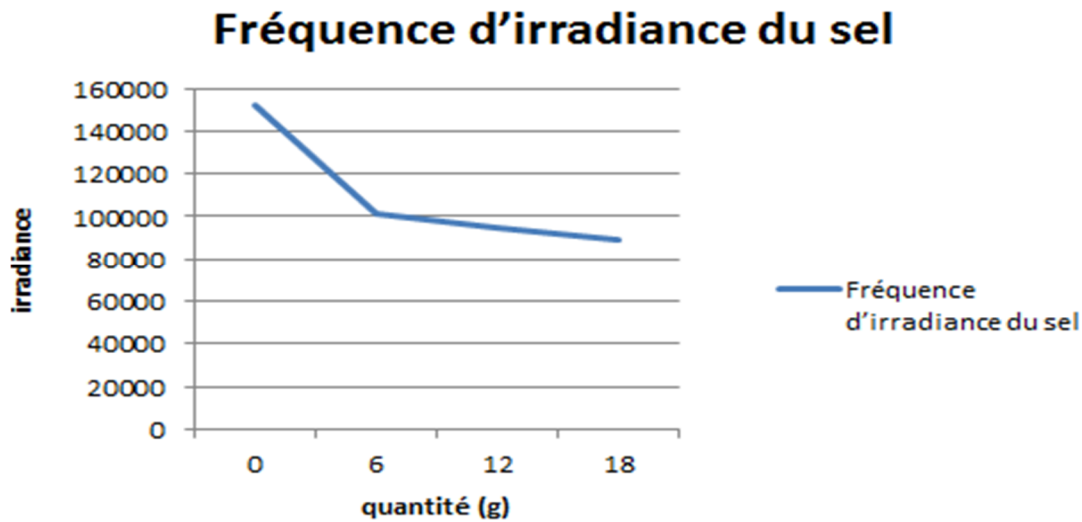


Figure 3.2 : Repense fréquentiel pour NaCl avec la LED bleu

1.2) LED rouge

Quantité de sucre dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sucre	Fréquence d'irradiance du sel
0	69200	69200
6	65100	72600
12	60100	65800
18	56200	61500

Tableau 3.2 : Fréquences mesurées pour saccharose et NaCl

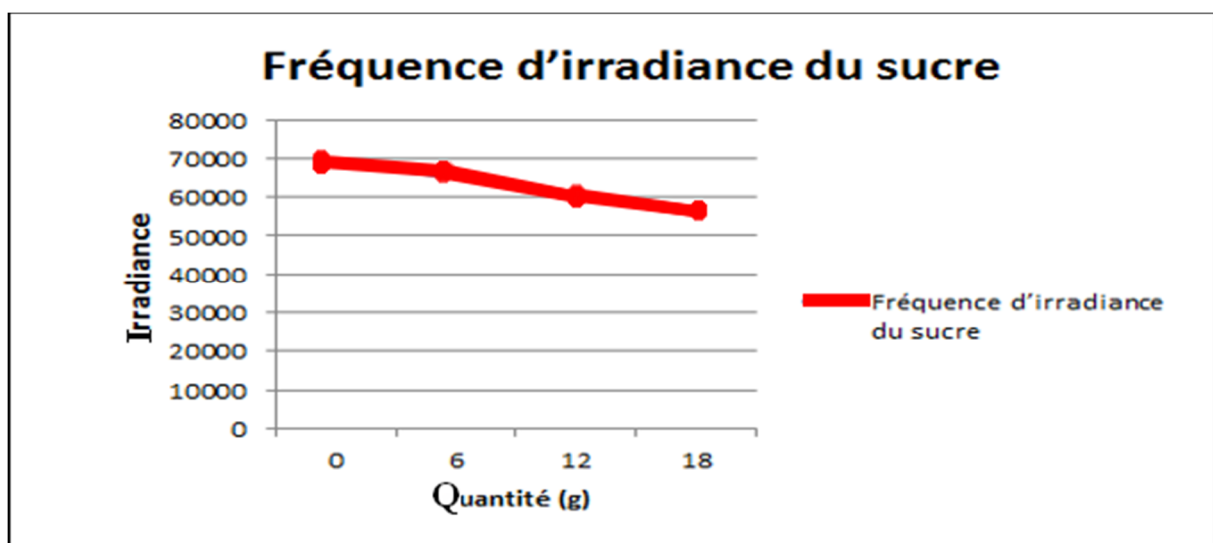


Figure 3.3 : Repense fréquentiel pour le saccharose avec la LED rouge

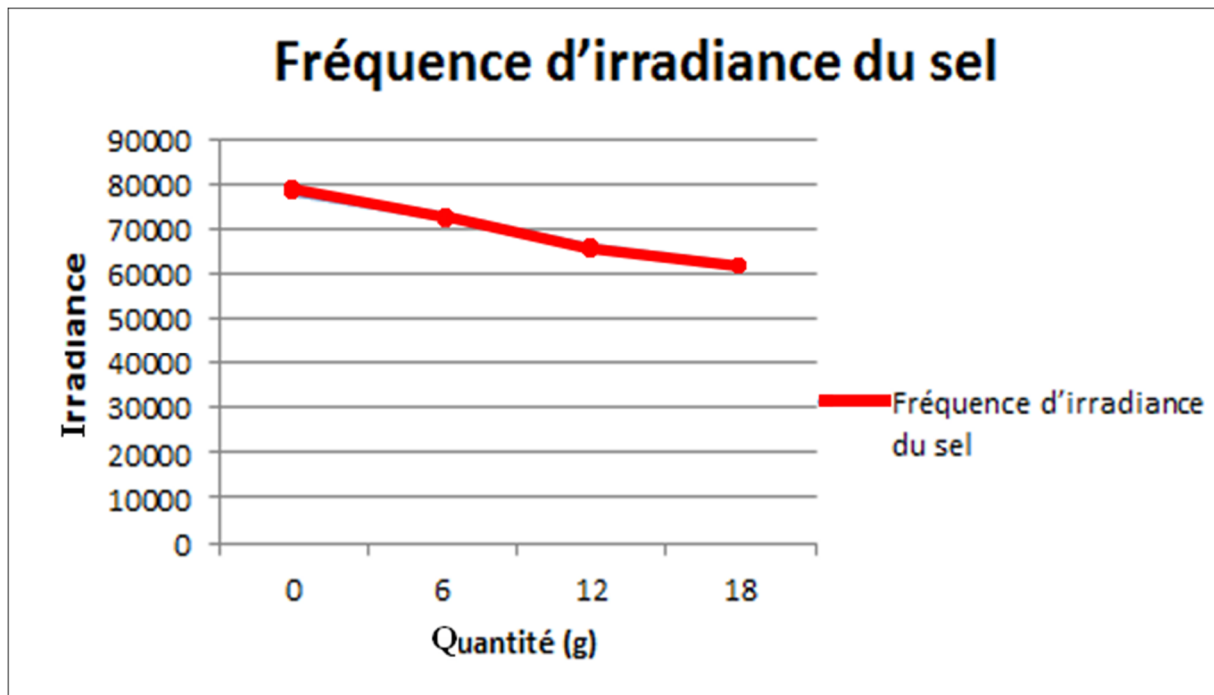


Figure 3.4 : Repense fréquentiel pour NaCl avec la LED rouge

1.3) LED verte

Quantité de sucre dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sucre	Fréquence d'irradiance du sel
0	31000	31000
6	23500	24600
12	23000	23000
18	21500	21000

Tableau 3.3 : Fréquences mesurées pour le saccharose et le NaCl avec la LED verte

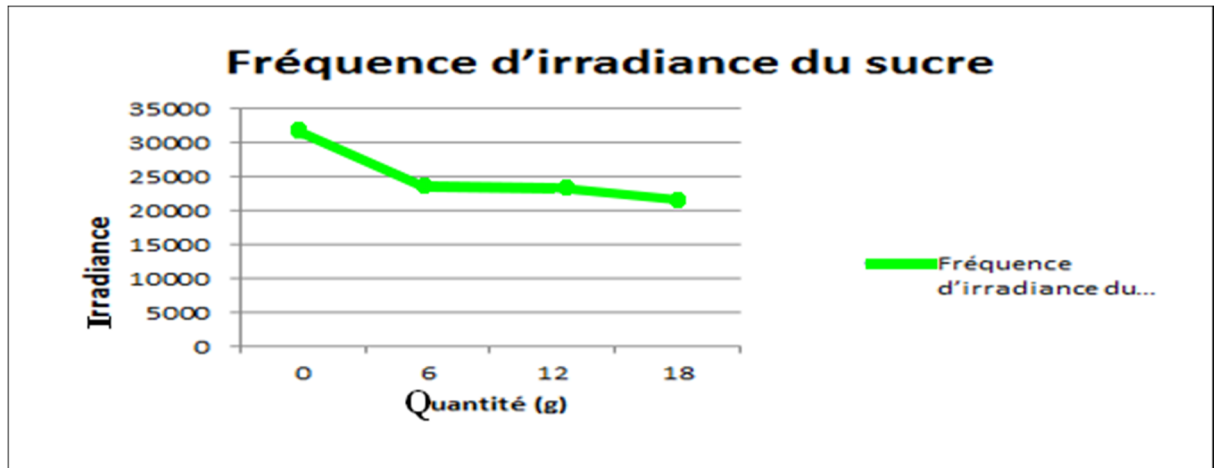


Figure 3.5 : Repense fréquentiel pour le saccharose avec la LED verte

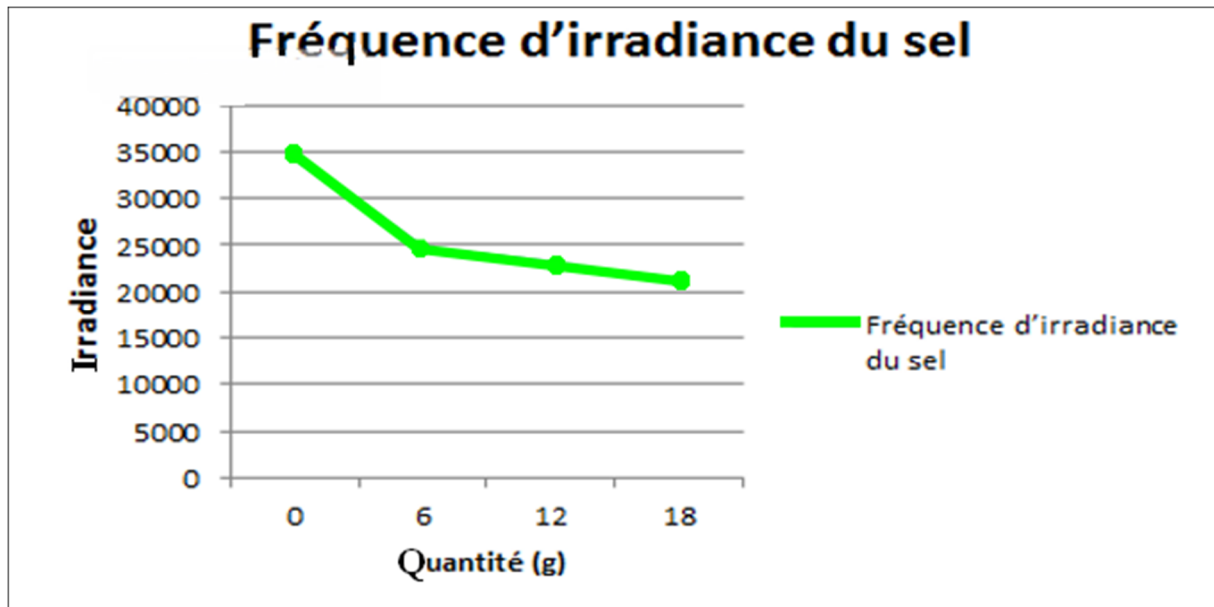


Figure 3.6 : Repense fréquentiel pour le NaCl avec la LED verte

1.4) LED IR

Quantité de sucre dans l'eau (g)	Fréquence d'irradiance du sucre	Fréquence d'irradiance du sel
0	7900	7900
6	7100	5800
12	6400	5700
18	5800	5500

Tableau 4 : Fréquences mesurées pour le saccharose et le NaCl

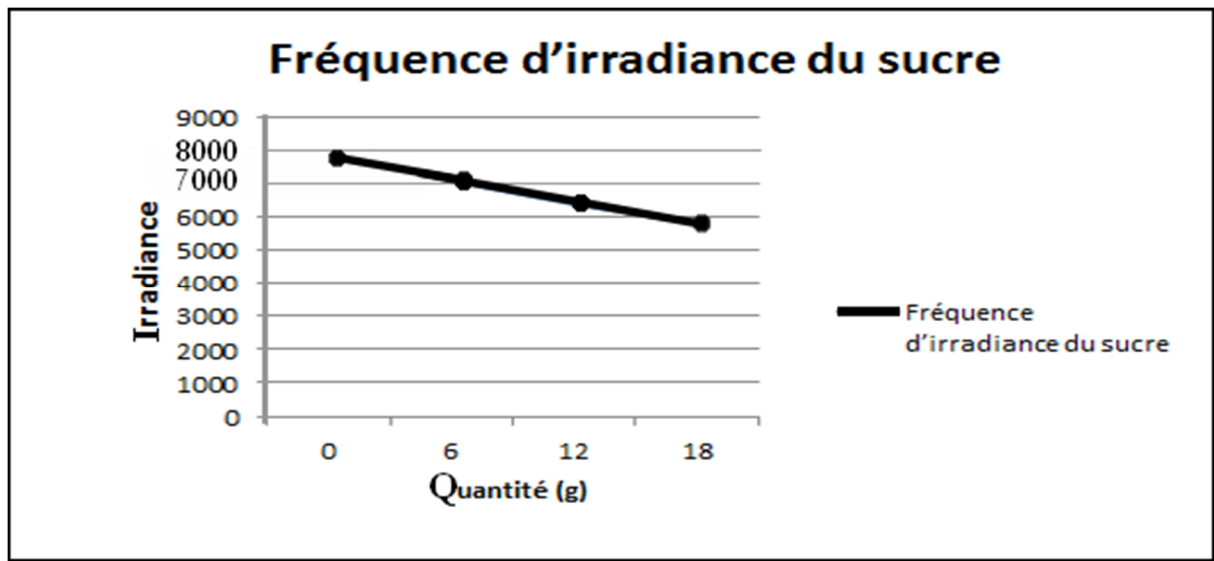


Figure 3.7 : Repense fréquentiel pour le saccharose avec la LED IR

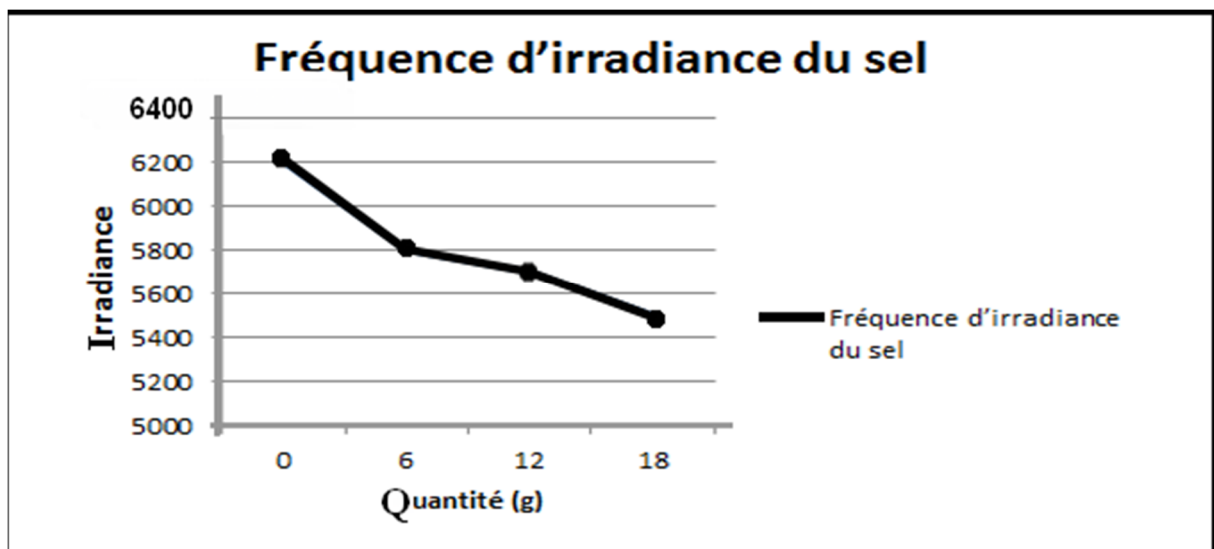


Figure 3.8 : Repense fréquentiel pour le NaCl avec la LED IR

Dans cette expérience, nous avons présenté les caractérisations de notre appareil afin de valider son fonctionnement. Dans un premier temps, nous avons validé le fonctionnement de la partie électronique et on vérifie que les sources de lumière fonctionnent et que la partie réception arrive à capter 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.

Le 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. Les résultats de mesure sont bien comparables aux résultats théoriques. Ainsi de faibles concentrations ont pu être identifiées. Nous avons préparé des solutions avec plusieurs concentrations. La fréquence d'irradiance, qui est proportionnelle à la concentration de ces solutions a été tout d'abord par mesurée notre capteur optique. D'après les résultats de mesure, nous avons réussi à démontrer que notre capteur optique peut mesurer de très faibles concentrations difficilement.

2) 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 > 720 nm

2.1) Mesures effectuées :

Dans un premier lieu une LED rouge de longueur d'onde 625-720 nm :

On a pris 100 ml de boisson gazeuse non colorée et sans sucre pour pouvoir faire le blanc ce qui nous permet d'enregistrer l'éclairement énergétique ou 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 enregistré 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 nos mesures le long de ces expériences.

La fréquence mesurée : 109600 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 4ml dans la cuve qu'on va mettre dans notre appareil afin de mesurer sa fréquence d'irradiance.

- La fréquence mesurée : 106700 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 : 103000 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 : 101900 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 : 99600 Hz

➤ Droite d'étalonnage :

Quantité g/4ml	Fréquence d'irradiance(Hz)
le blanc 0	109600
6	106700
12	103000
18	101900
22	99600

Tableau 3.5 : Les fréquences enregistré avec la LED rouge pour la boisson gazeuse

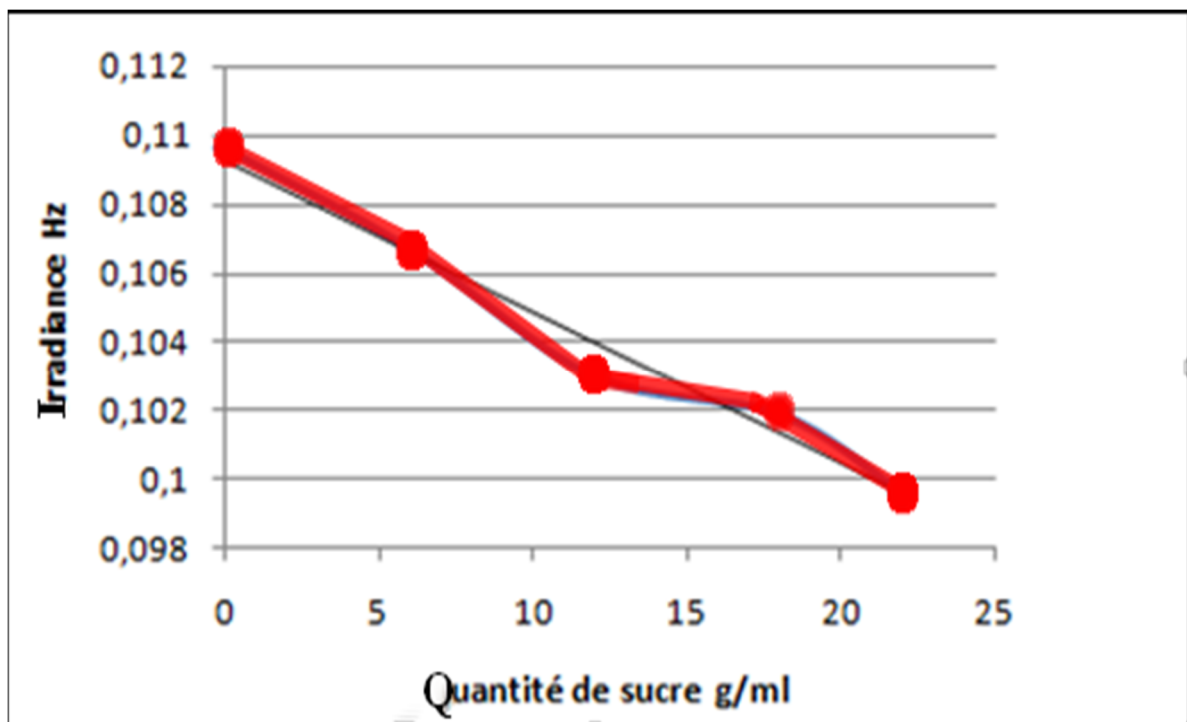


Figure 3.9 : Variation d'irradiance par rapport à la quantité de sucre pour la LED rouge

On remarque qu'elle ne passe pas par tous les points donc notre étalonnage n'est pas bien fait à cause de cette longueur d'onde choisie donc on conclue que la LED rouge n'est pas adéquate pour notre expérience.

- **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	19800
6	19500
12	19200
18	18000
22	17700

Tableau 3.6 : Les fréquences enregistré avec la LED verte la boisson gazeuse

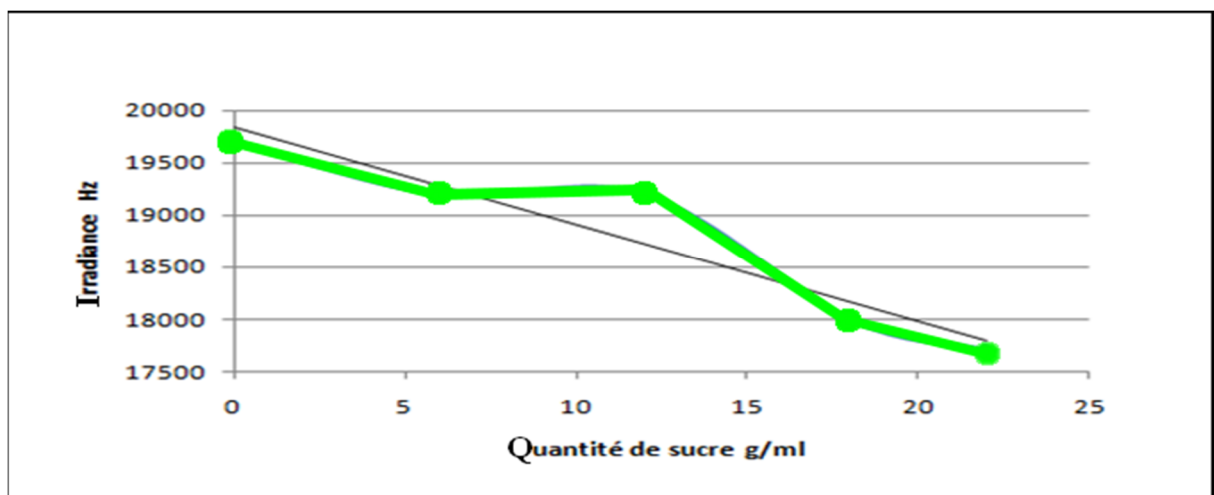


Figure 3.10 : Variation d'irradiance par rapport à la quantité de sucre

Avec cette longueur d'onde on a vu que l'absorbance est beaucoup plus importante qu'avec la longueur d'onde de la LED rouge mais elle n'est pas très sensible à la quantité de sucre présente dans la boisson gazeuse et on a enregistré deux fois la même fréquence pour 6g de sucre et pour 12g. Donc on n'est pas arrivé à mesurer les différentes concentrations de sucre présentes dans la boisson gazeuse, alors on conclut que la longueur d'onde de la LED verte n'est pas adéquate pour cette expérience.

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

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 **8500 Hz**.

On rajoute 6g à chaque fois pour la solution étalon jusqu'à 22g.

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

- La fréquence mesurée : **8200 Hz**

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

- La fréquence mesurée : **7900 Hz**

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

- La fréquence mesurée : **7300 Hz**

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

- La fréquence mesurée : **6600 Hz**

➤ Droite d'étalonnage :

Quantité (g/4ml)	Fréquence d'irradiance(Hz)
0	8500
6	8200
12	7900
18	7300
22	6600

Tableau 3.7 : Les fréquences enregistré pour la LED IR

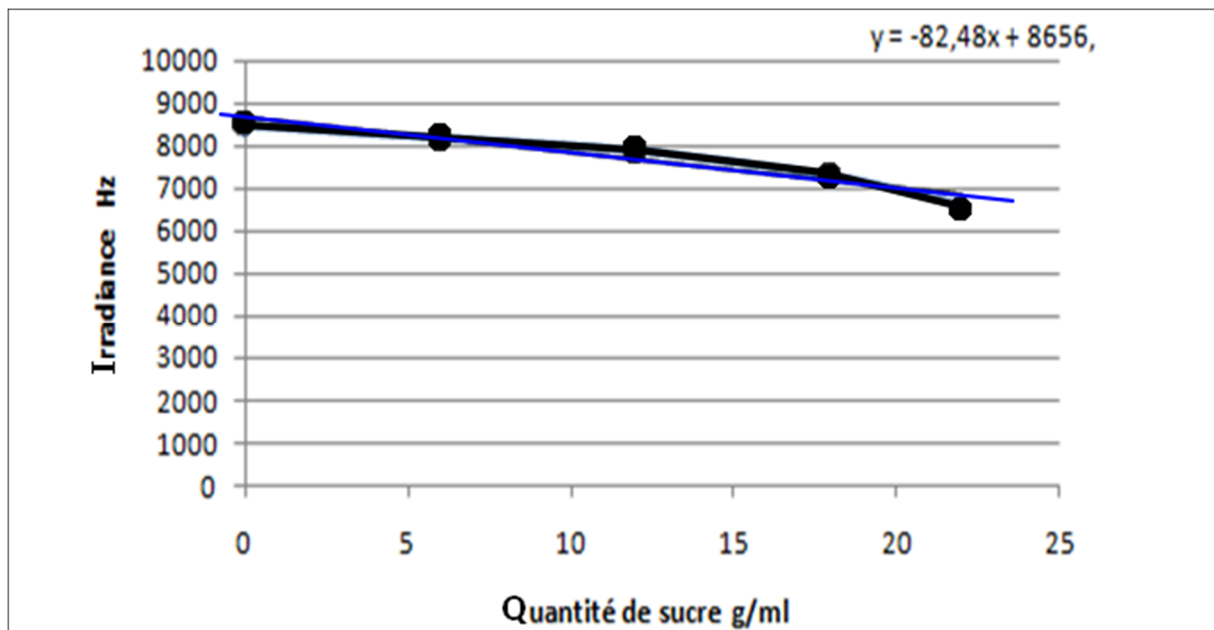


Figure 3.11 : Variation de la fréquence d'irradiance par rapport à la quantité de sucre avec la LED IR

Avec cette longueur d'onde on peut voir que la fréquence enregistrée à chaque mesure n'est pas trop variable et 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 on a choisi cette longueur d'onde pour faire notre calcul pour déterminer la quantité de sucre présente dans une boisson gazeuse.

3) 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) :

$$a = -82.48$$

$$b = 8656$$

$$Hz = y$$

$$X = q$$

$$Hz = a*q + b$$

$$q = \frac{Hz - b}{a}$$

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**

$$q_1 = \frac{8200 - 8656}{-82.48}$$

$$q_1 = 5.52 \text{ g}$$

❖ **pour 12g de sucre**

$$q_2 = \frac{7900 - 8656}{82.48}$$

$$q_2 = 10.16 \text{ g}$$

❖ **pour 18g de sucre**

$$q_3 = \frac{7300 - 8656}{82.48}$$

$$q_3 = 16.44 \text{ g}$$

❖ **pour 22g de sucre**

$$q_4 = \frac{6600 - 8656}{82.48}$$

$$q_4 = 24.62 \text{ g}$$

On peut voir après les calculs théoriques que les valeurs trouvées se rapprochent des valeurs des quantités de sucre mesurées mais elles ne sont pas très précises, avec une marge d'erreur qui n'est pas très importante à cause de l'erreur de mesure et aussi de la distance de la cuve par rapport à la photodiode qui capte la lumière et qui nous permet de mesurer la fréquence d'irradiance des différentes concentrations.

4) Mesure de la quantité de sucre avec l'appareil :

On va prendre un échantillon de 4ml de boisson gazeuse avec une quantité de sucre connue qui est de 6g et on va essayer de déterminer la quantité de sucre présente à l'intérieur avec notre appareil.

L'appareil a affiché une quantité de sucre qui varie entre 5.2 g et 5.76 g donc on peut dire qu'elle se rapproche beaucoup des valeurs théoriques et que la mesure est juste avec une petite marge d'erreur.

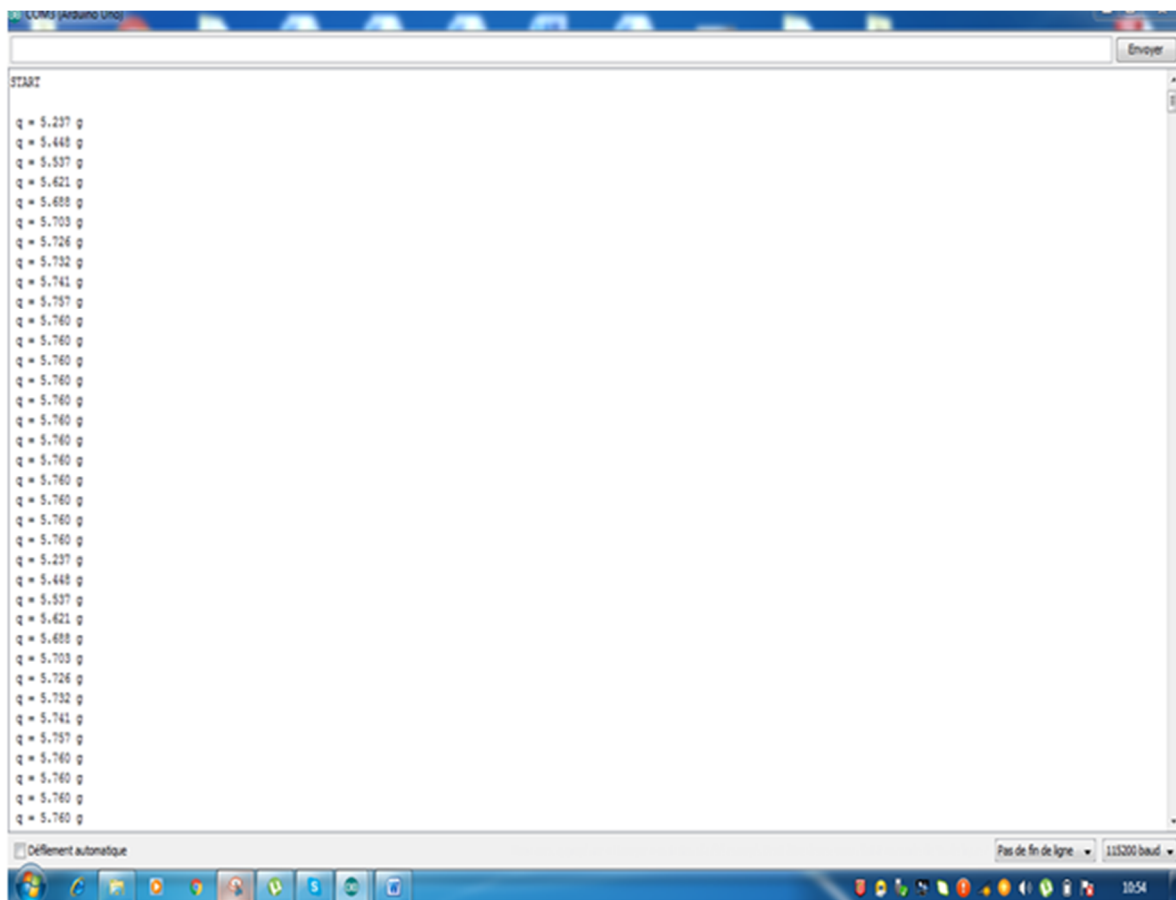


Figure 3.12 : quantité de sucre mesurée avec l'appareil

4.1) Conclusion pour cette expérience :

L'expérience réalisée nous a permis de voir que notre système est capable de calculer la concentration de sucre présente dans une boisson gazeuse

Mais notre système reste spécifique et 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.

Le type d'absorption IR est dû à l'étirement et à la flexion des liaisons internes. Ceci est appelé rayonnement "corps noir", toutes les matières présentes les mêmes caractéristiques en absorbant et en émettant un rayonnement de corps noir, sauf que les proportions quantitatives varient, principalement en raison de la réflexion, et l'IR absorbé ou émis (appelé irradiance ou absorptivité) est d'environ 90% d'un corps noir parfait.

Le dioxyde de carbone absorbe le rayonnement infrarouge (IR) en trois bandes étroites de longueurs d'onde, qui sont 2.7, 4.3 et 15 micromètres (um). La raison pour laquelle le CO₂ absorbe le rayonnement est que toutes les molécules du dioxyde de carbone absorbent beaucoup de rayonnement et émettent très peu.

5) Mesure de la turbidité et du taux de pollution des eaux par des algues

Une étude récente estime qu'au niveau mondial, les toxines d'algues sont responsables de 100 000 intoxications humaines par an avec un taux de mortalité de 1.5 %. Les multiplications des nitrophiles potentiellement toxiques, l'augmentation du nombre des espèces productrices et du nombre de toxines ont généré un sentiment d'insécurité sanitaire.

Les effets de cette algue sur les humains :

- Fortes fièvres
- Vomissements
- Trouble respiratoire

Dans cette expérience on a mesuré le taux de pollution de l'eau de mer avec notre appareil pour pouvoir prévenir les marées vertes que produisent les algues, donc on va utiliser une algue polluante qui s'appelle **nitrophile** et on va mesurer la fréquence avec des taux de concentrations différentes.



Figure 3.13 : *Eau de mer avec un taux de 30 % d'algues*

En ce qui concerne les échantillons d'algues ou bien la mesure de la turbidité, la première opération c'est de mesurer le taux de turbidité des algues à un seuil maximal qui vaut 30%.

Ensuite on rajoute de l'eau de mer à chaque fois et on a choisi de mesurer avec 3 pourcentages d'algues différents.

- 30 %
- 20 %
- 10 %

Pour faire cette mesure on a choisi de travailler avec la LED rouge d'une longueur d'onde de 620-800 nm et on l'a choisi après avoir fait tous les tests avec trois longueurs d'ondes différentes, mais la LED rouge nous a donné des résultats précis c'est pour cela qu'on a choisi de travailler avec cette longueur d'onde.

Dans les tableaux suivants on justifie notre choix qui s'est porté sur la LED rouge.

Pour commencer on va prendre une eau de mer avec un taux d'algues de 30% ensuite on rajoute l'eau de mer pour avoir un taux de 20 % puis 10 %.

5.1) Mesures effectuées

- **Mesure de la fréquence de l'eau de mer à 30 % d'algues avec la LED verte**

On place l'échantillon entre la source de lumière et le capteur ensuite on lance le programme.

- La fréquence mesurée est de 17350 Hz

- **Mesure de la fréquence de l'eau de mer à 20 % d'algues avec la LED verte**

Comme on a expliqué avant, pour avoir le taux de 20 % on rajoute de l'eau pour diluer et diminuer la turbidité.

- La fréquence mesurée est de 33700 Hz

- **Mesure de la fréquence d'irradiance de l'eau de mer avec la LED rouge**

Le taux d'algue dans l'eau de mer	Fréquence d'irradiance Hz
10 %	17350
20 %	33700
30 %	37060

Tableau 3.8 : Les fréquences enregistrées avec la LED verte pour la mesuré la turbidité

Pour les LED verte et bleu on procède par la même méthode de mesure et les tableaux suivants indiquent les fréquences mesurées.

- **LED verte :**

Taux d'algue dans l'eau de mer	Fréquence d'irradiance Hz
10 %	35200
20 %	30700
30 %	18200

Tableau 3.9 : Les fréquences enregistrées avec la LED rouge pour la mesuré la turbidité

- **LED bleu**

Taux d'algues	Fréquence d'irradiance Hz
10 %	36200
20 %	31300
30 %	18800

Tableau 3.10 : Les fréquences enregistrées avec la LED bleu pour la mesuré la turbidité

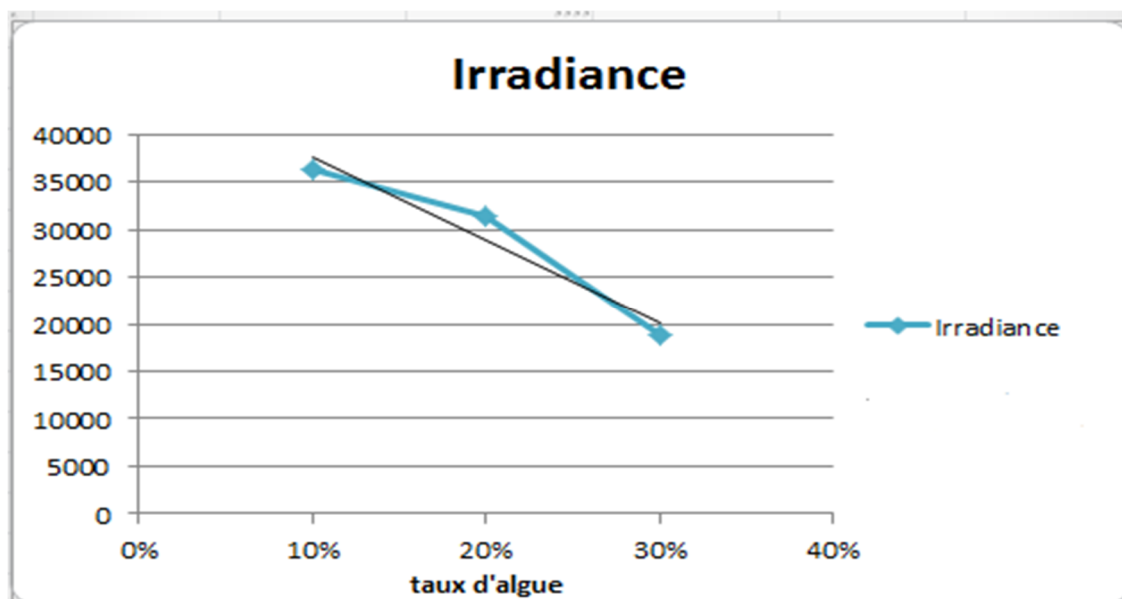


Figure 3.13 : La courbe de la droite d'étalonnage

Après avoir fait les 3 mesures des fréquences d'irradiance avec des taux d'algues différents, on a remarqué qu'à chaque fois que le taux d'algues augmente la fréquence d'irradiance diminue.

5.2) Conclusion pour cette expérience :

Les différentes algues se répartissent en profondeur en fonction de la «couleur» de la lumière appelée longueur d'onde, qu'elles absorbent grâce à leur équipement pigmentaire. L'algue capte mieux la couleur complémentaire de sa propre couleur. C'est à dire qu'une algue nous apparaît rouge car elle absorbe les rayonnements dans le vert. Une algue est verte à nos yeux car elle absorbe les rayonnements dans le rouge, 'et cette expérience montre que l'algue qu'on a choisi qui est de couleur verte absorbe beaucoup plus la longueur d'onde de la LED rouge que celle de la LED verte et bleu, et ainsi elle apparait de couleur verte à nos yeux.

Cette expérience nous a montré aussi que notre système peut être utilisé pour prévenir la marée verte des algues, car notre système peut caractériser chaque taux de pollution avec sa propre fréquence d'irradiance et ainsi avec des mesures régulières de l'eau de mer qui seront envoyé vers un centre de traitement de données, on peut suivre la prolifération de cette algue.

6) Mesure de concentration des métaux lourds dans l'eau :

6.1) La toxicité des métaux lourds :

Les métaux sont généralement séparés en deux catégories selon leur caractère essentiel ou non pour les êtres vivants. En effet, ils peuvent s'avérer indispensables au déroulement des processus biologiques (oligo-éléments), c'est le cas du Fer (Fe), du Cuivre (Cu), du Zinc (Zn), du Nickel (Ni), du Cobalt (Co), du Vanadium (V), du Sélénium (Se), du Molybdène (Mo), du Manganèse (Mn), du Chrome (Cr), de l'Arsenic (As) et du Titane (Ti). Dans ce cas, leurs concentrations dans les organismes doivent répondre aux besoins métaboliques de ces derniers. Dans le cas contraire, un excès de ces éléments essentiels peut induire des effets délétères. D'autres ne sont pas nécessaires à la vie, et peuvent être même préjudiciables.

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

Pourquoi le choix de ce métal ?

Il est l'un des métaux les plus utilisés dans de nombreuses industries (ENIEM) à TIZI-OUZOU, et il présente une certaine toxicité pour l'homme, l'excès de ce métal produit des radicaux libres responsables de lésions cellulaires au niveau de l'ADN et d'organites tels que les mitochondries ou les lysosomes.

Dans cette expérience on va tenter de mesurer la concentration en mol/l du sulfate de cuivre présent dans l'eau et pour le faire on doit préparer plusieurs solutions avec plusieurs concentrations connues à l'avance pour pouvoir étalonner notre appareil.

Le sulfate de cuivre est un solide ionique composé d'ions sulfate SO_4^{2-} associés à des ions cuivre (Cu^{2+})

6.2) 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 3.14 : 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 3.15 : 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

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

$$0.1 \text{ mol/l} \implies x$$

$$X = 0.1 * 100 / 0.2 = 50 \text{ ml}$$

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



Figure 3.16 : 0.1 mol/l de sulfate de cuivre

- pour 0.05 mol/l

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

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

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

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



Figure 3.17 : 0.05 mol/l de sulfate de cuivre

- pour 0.02 mol/l
 $0.2 \text{ mol/l} \implies > 100 \text{ ml}$
 $0.02 \text{ mol/l} \implies x$
 $X = 0.02 * 100 / 0.2 = 10 \text{ ml}$

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



Figure 3.18 : 0.02 mol/l de sulfate de cuivre

- pour 0.01 mol/l
 $0.2 \text{ mol/l} \implies > 100 \text{ ml}$
 $0.01 \text{ mol/l} \implies x$
 $X = 0.01 * 100 / 0.2 = 5 \text{ ml}$

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



Figure 3.19 : 0.01 mol/l de sulfate de cuivre

Choix de la 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.

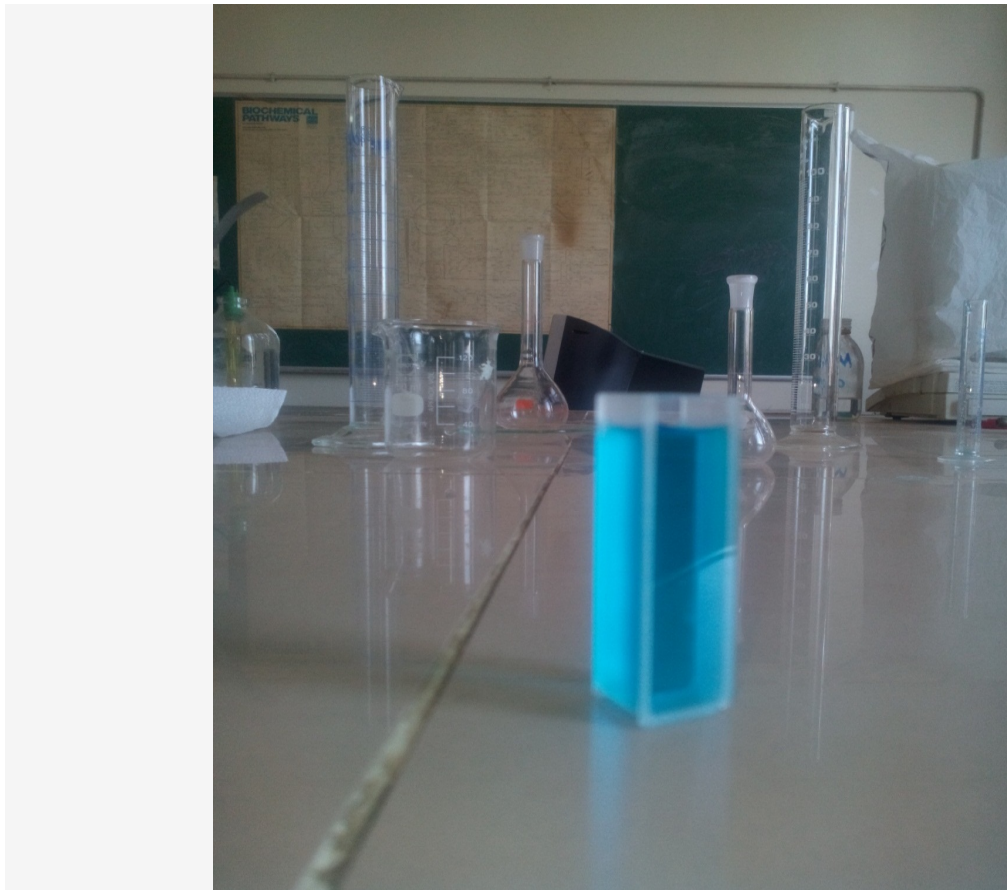


Figure 3.20 : Échantillons de 4 ml de sulfate de cuivre dans une cuve de mesure

Droite d'étalonnage :

Concentration mol/l	Fréquence d'irradiance Hz
L'eau distillée	113900
0.01	83300
0.02	83100
0.05	78300
0.1	71700
0.2	64200

Tableau 3.11 : Les fréquences enregistré avec la LED verte pour le sulfate de cuivre

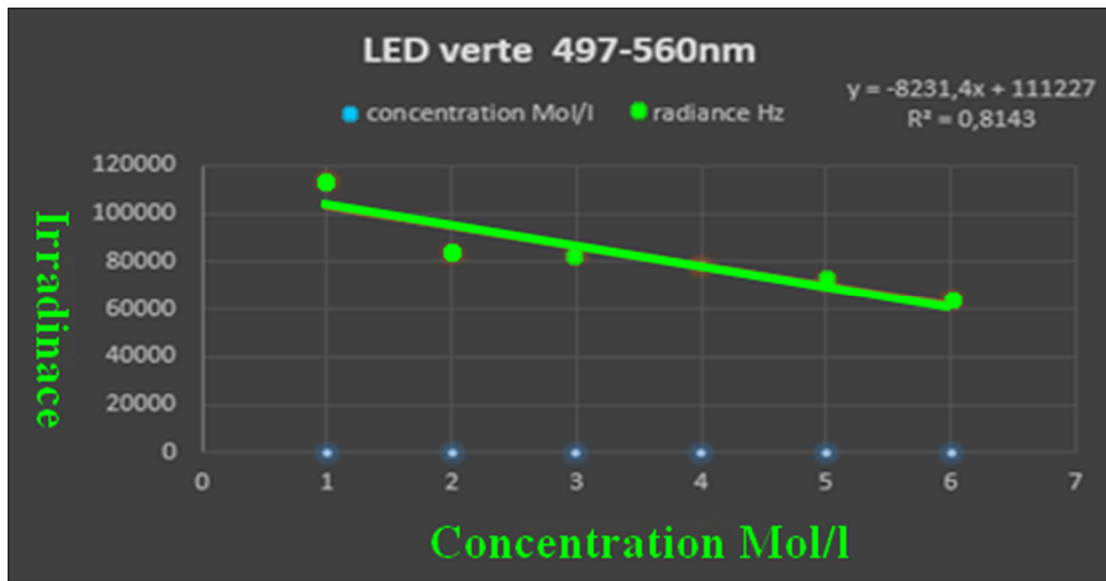


Figure 3.21 : Courbe d'étalonnage avec la LED verte pour sulfate de cuivre

- **Conclusion :**

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	65600
0.01	60600
0.02	60300
0.05	59700
0.1	58100
0.2	57600

Tableau 3.12 : Les fréquences enregistré avec la LED bleu pour sulfate de cuivre

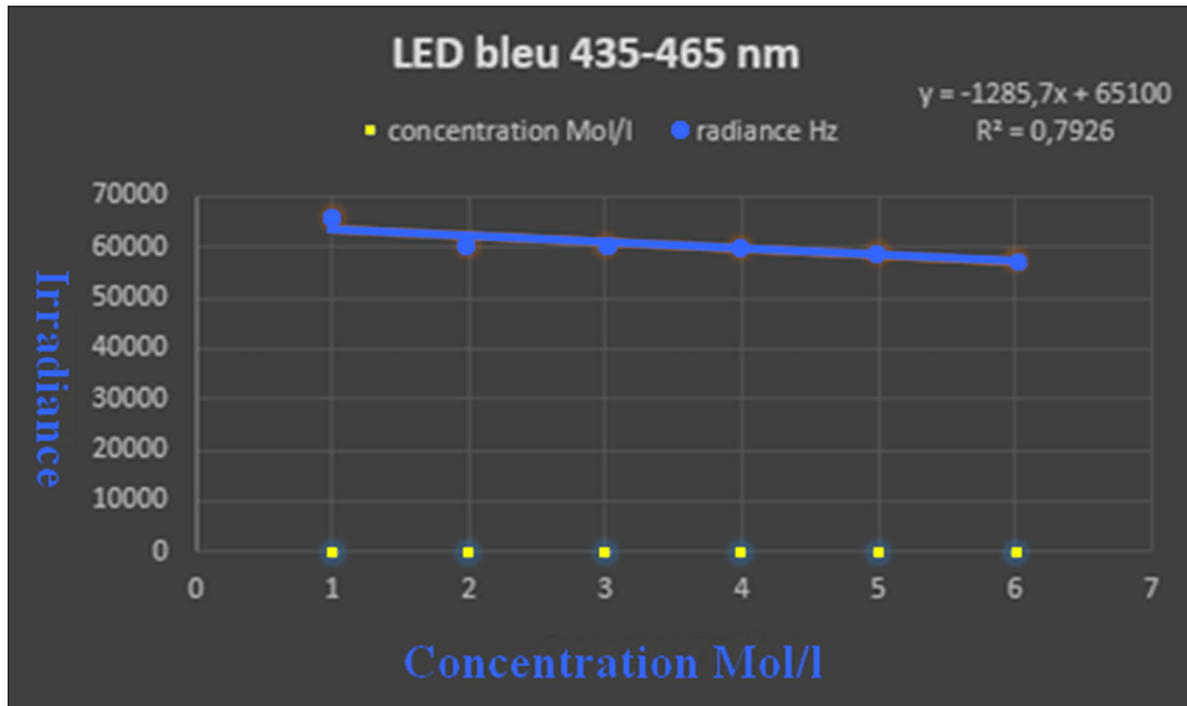


Figure 3.22 : Courbe d'étalonnage pour la LED bleu pour sulfate de cuivre

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 7100 Hz
- Pour la concentration de 0.05 mol/l la fréquence est de 20400 Hz
- Pour une concentration de 0.02 mol/l la fréquence est de 64000 Hz
- Pour une concentration de 0.01 mol/l la fréquence est de 61000 Hz

➤ **Droite d'étalonnage :**

Concentration (mol/l)	Fréquence d'irradiance Hz
L'eau distillée	74000
0.01	61000
0.02	64000
0.05	20400
0.1	7100
0.2	1700

Tableau 3.13 : Les fréquences enregistré avec la LED rouge pour sulfate de cuivre

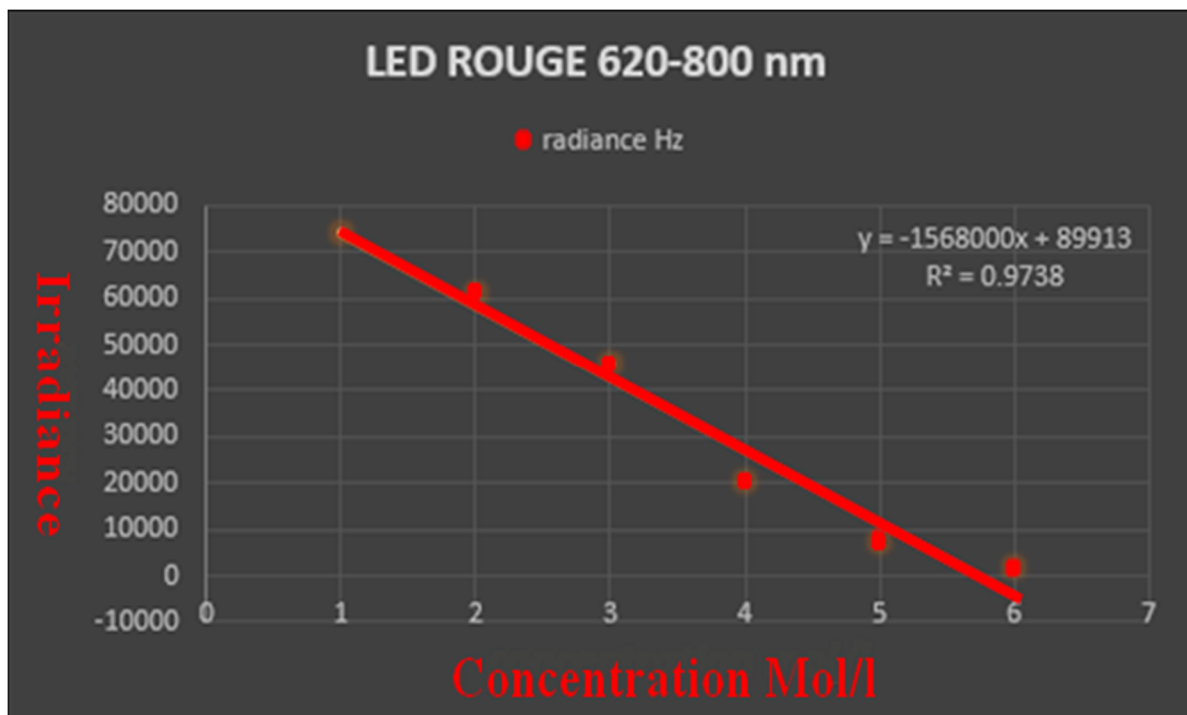


Figure 3.23 : Droite d'étalonnage avec la LED rouge pour sulfate de cuivre

Les résultats sont exploitables car la courbe d'étalonnage est linéaire. Grâce à l'équation de cette courbe, nous avons pu explorer nos résultats, ce que nous allons voir par la suite.

Cependant, seule la LED rouge a donné lieu à une belle courbe d'étalonnage, nous pensions que la mauvaise qualité était due aux solutions mères utilisées pour faire les solutions étalon. Nous les avons donc refaites. Cependant, cela n'a rien changé.

Après avoir effectué toutes les mesures avec tous les échantillons et avec toutes les longueurs d'ondes, et tracé toutes les courbes d'étalonnage. On a fait un calcul théorique avec l'équation de chaque droite d'étalonnage et les valeurs qui se rapproche le plus des concentrations mesurées c'est les valeurs trouvées avec la droite d'étalonnage de la LED rouge on a remarqué aussi que les valeurs des fréquences enregistrées sont précises et ne changent pas, et on a une variation très grande des fréquences d'irradiances entre chaque mesure de différentes concentrations. Donc on a choisi de travailler avec la LED rouge pour déterminer la concentration du sulfate de cuivre dans l'eau.

7) Organigramme de calcul de la concentration :

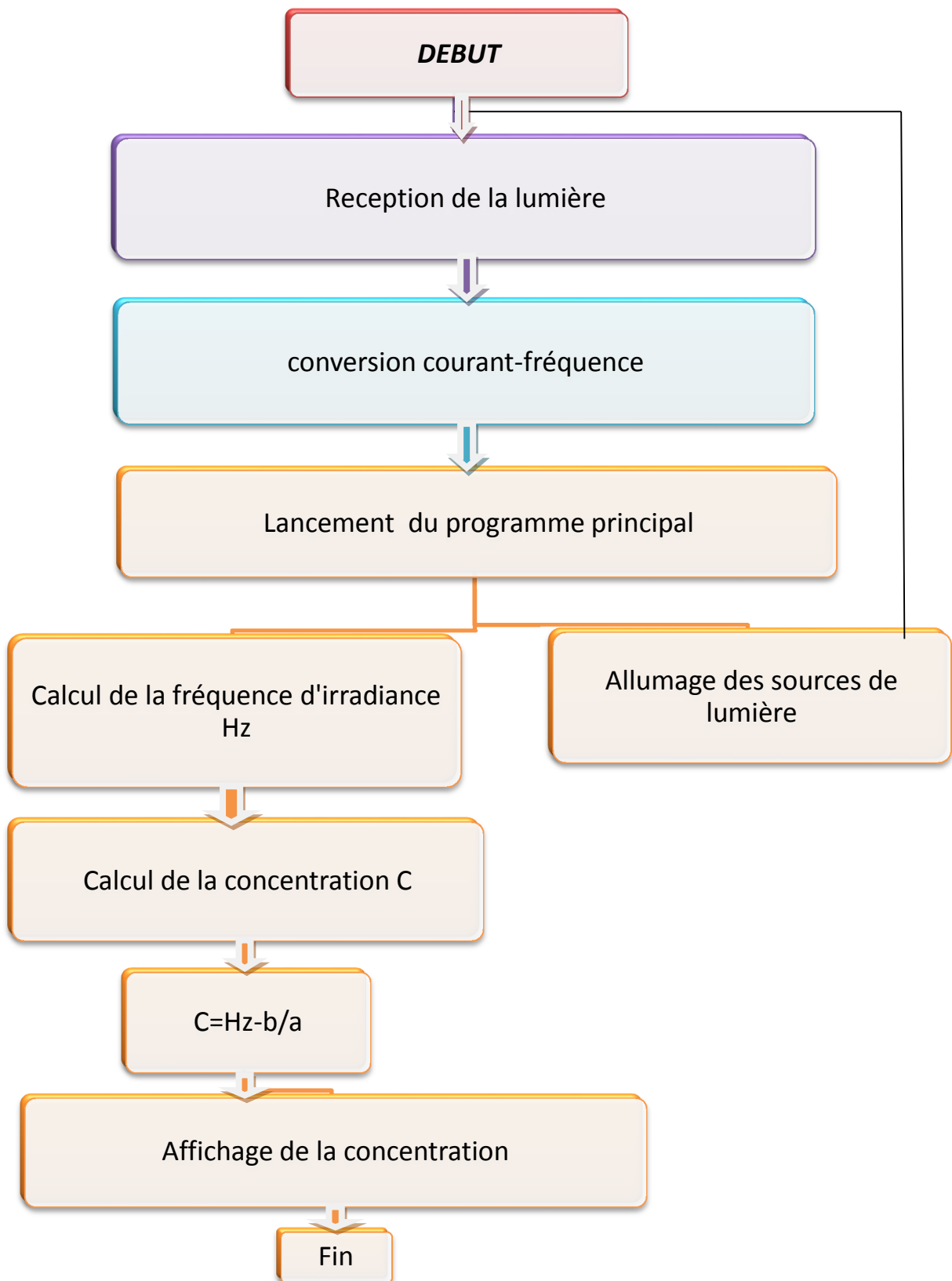


Figure 3.24 : Organigramme pour le calcul de la concentration

7.1) 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 $y = a*x + b$

$y = \mathbf{Hz}$ == la fréquence d'irradiance

$x = \mathbf{c}$ == la concertation de l'échantillon

$a = -1526000$

$b = 87627$

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

$\mathbf{Hz} = a*c + b$

$\mathbf{c} = \mathbf{Hz-b/a}$

Exemples :

- pour l'eau distillée ==> $\mathbf{Hz} = 74000 \text{ Hz}$
 $c = 74000 - 87627 / -1526000$
 $c = 0.00 \text{ mol/l}$

- pour 0.01 mol/l ==→ Hz =61000 Hz
 $c = 61000 - 87627 / -1526000$
 $c = 0.017 \text{ mol/l}$
- pour 0.02 mol/l ==→ Hz =46000 Hz
 $c = 46000 - 87627 / -1526000$
 $c = 0.027 \text{ mol/l}$
- pour 0.05 mol/l ==→ Hz =20400 Hz
 $c = 20400 - 87627 / -1526000$
 $c = 0.045 \text{ mol/l}$

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.

8) 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 0.01 mol/l :

- ✓ Concentration mesurée : 0.019 mol/l

➤ 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 0.05 mol/l :**

✓ Concentration mesurée : 0.058 mol/l

9) Courbe de covariance :

Pour comparer les valeurs mesurées et les valeurs préparées avec une concentration connue on trace une courbe de covariance.

Concentrations mesurées avec le système (mol/l)	Concentrations préparées (mol/l)
0.019	0.01
0.026	0.02
0.058	0.05

Tableau 3.14 : Concentration préparé et mesuré

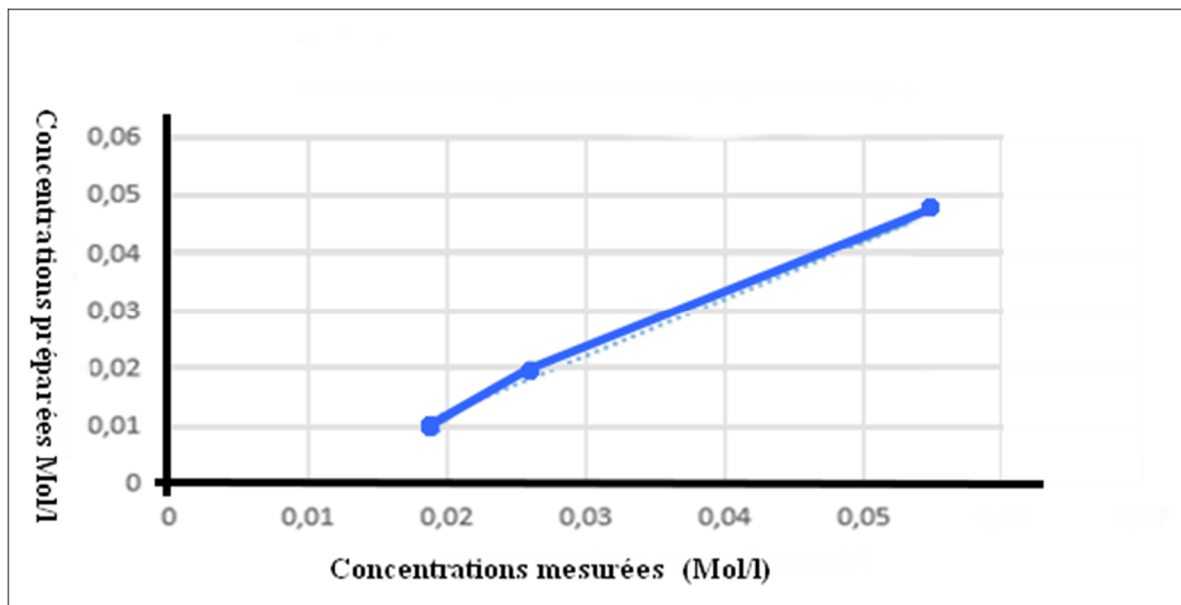


Figure 3.25 : Courbe de covariance

Après avoir tracé la courbe de covariance on remarque que les valeurs mesurées avec notre appareil sont très proches des valeurs connues.

L'expérience 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. Elle 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.

Ce travail pratique nous a montré quelques intérêts de l'absorption UV Visible, et à quoi cette méthode de mesure pouvait servir, et aussi comment l'utiliser.

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

10) Conclusion générale :

Ce travail rentre dans le cadre de l'application des techniques spectroscopiques à l'analyse des éléments traces organiques existants dans les différents milieux naturels.

La technique de l'analyse optique a été employée pour la détection qualitative puis pour la détermination quantitative des éléments choisis pour l'étude. La technique de l'excitation par la lumière qui est basée sur l'absorption, est utilisée pour la mise en évidence des éléments se trouvant à des concentrations très faible.

La partie la plus importante dans ce type de dosage est la préparation des échantillons. Pour cela, nous avons testé des techniques de valorisation validées auxquelles nous avons ajouté des modifications afin de tester plusieurs paramètres.

Des applications sur des échantillons réels provenant de la nature qui enregistre une pollution très importante due soit à des métaux lourds comme le sulfate de cuivre ou bien à l'algue verte, et aussi sur des échantillons qui enregistrent une quantité ou une concentration importante de sucre et du sel. Ces échantillonnages ont été minutieusement effectués selon les normes en vigueur.

Suite aux résultats obtenus qui ont mis en relief l'existence d'une pollution, notamment, le sulfate de cuivre et les algues vertes nuisibles et aussi à la concentration de sucre dans les boissons gazeuses, nous avons procédé par la suite à des recherches concernant ces mêmes sources de pollutions, dans leurs milieux naturels.

Le système réalisé est de faible cout, son originalité réside dans l'utilisation d'une photodiode qui permet un conditionnement intégré. Cet avantage nous permettra d'utiliser un système simple pour les résolutions d'un spectrophotomètre en l'occurrence des perspectives d'utilisation d'un smartphone pour la mesure in situ des concentrations.

Enfin, notre étude ne constitue pas une quelconque recherche de responsabilité de la pollution, elle est purement scientifique et concerne principalement la technique d'analyse par spectroscopie.

En partant de l'idée de fabriquer un appareil de mesure du taux de glucose dans le sang, nous nous sommes tournés vers la fabrication d'un spectrophotomètre artisanal. Ce montage fonctionne et l'étape suivante de notre projet sera de l'adapter pour faire des mesures sur des solutions de glucose, puis sur du sang afin de répondre à notre problématique.

Cette étude préliminaire mérite d'être approfondie et étalée à d'autres éléments directement ou indirectement exposés aux contaminations toxiques.

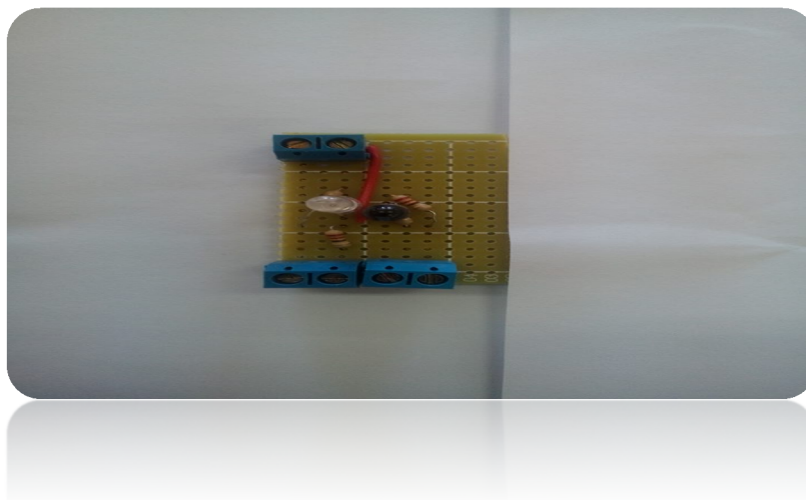
Bibliographie

- [1] J.R. Albani ; Absorption et Fluorescence principes et applications ; 2001
- [2] A. Sharma, et S. G. Schulman. " Introduction to Fluorescence Spectroscopy ". Wiley Interscience 1999.
- [3] F. cerf. "Les Composantes Optoélectroniques", Hermes Science Publication, Paris, 2000.
- [4] A. Trémeau, C. Fernandez-Maloigne, et P. Bonton. Images Couleur : de l'acquisition au traitement. Dunod, 2004. Collection Science Sup.
- [5] Berberan-Santos M.N. 1990 - Beer's Law Revisited - *J. Chem. Ed.*, 67, p. 757-759
- [6] Bianco M., Iturriaga H., Maspoch S. et Tarin P. 1989 - A Simple Method for Spectrophotometric Determination of Two-Components With Overlapped Spectra - *J. Chem. Ed.*, 66, p. 178-180.
- [7] - Projet de norme sur la mesure de l'indice de turbidité, 1991, BOULANGER P., F.V. O1.V. n° 903.
- [8] Arduino, LED IR, LED RGB, Thermistance
- [9] Cuves à usage unique pour spectrophotomètres
- [10] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Imaging/TSL235R-LF.pdf>
- [11] <http://www.dummies.com/how-to/content/serial-sketches-for-the-arduino.html>

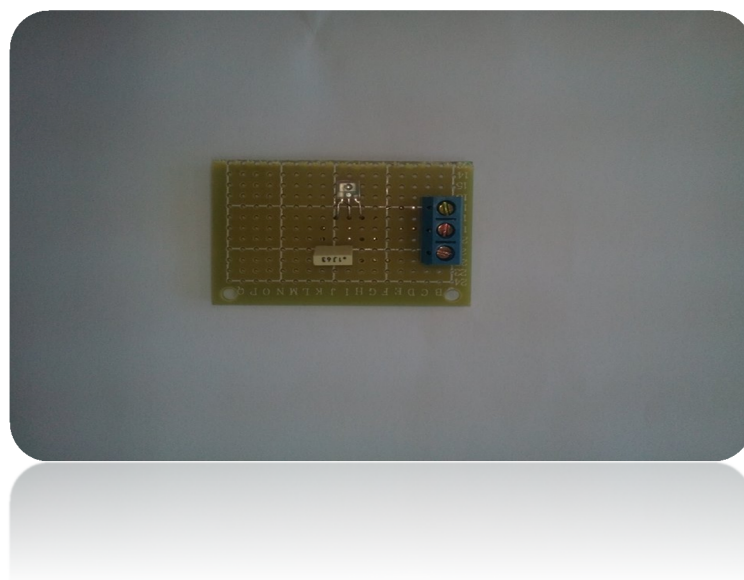
Annexe

Présentation de notre système qui se compose de deux parties émettrice et réceptrice.

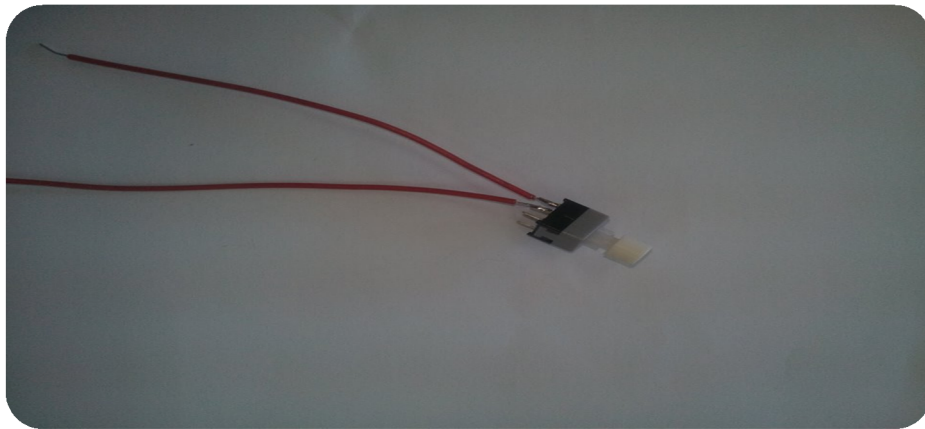
1- La partie émettrice :



2- La partie réceptrice :

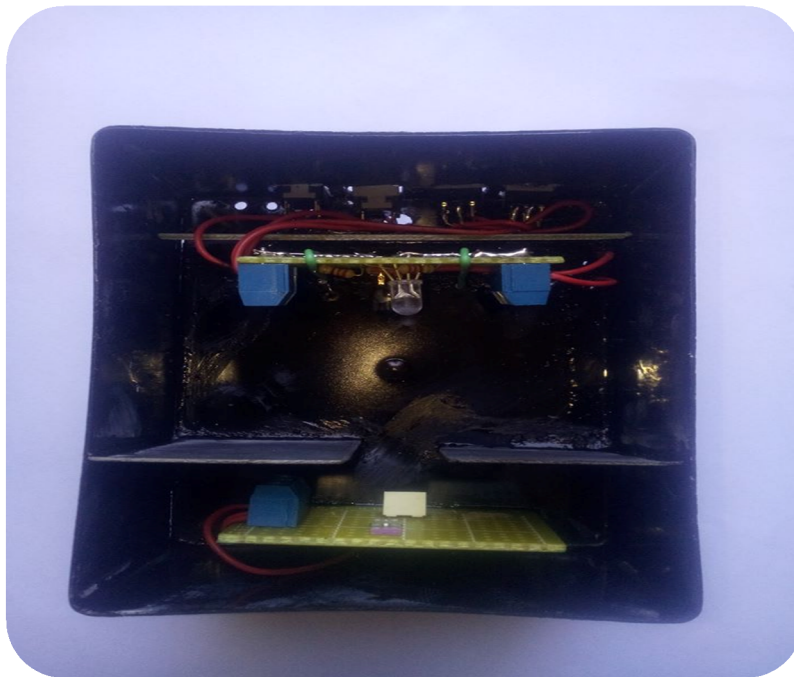


Pour contrôler les longueurs d'ondes on a utilisé 4 intercepteurs :

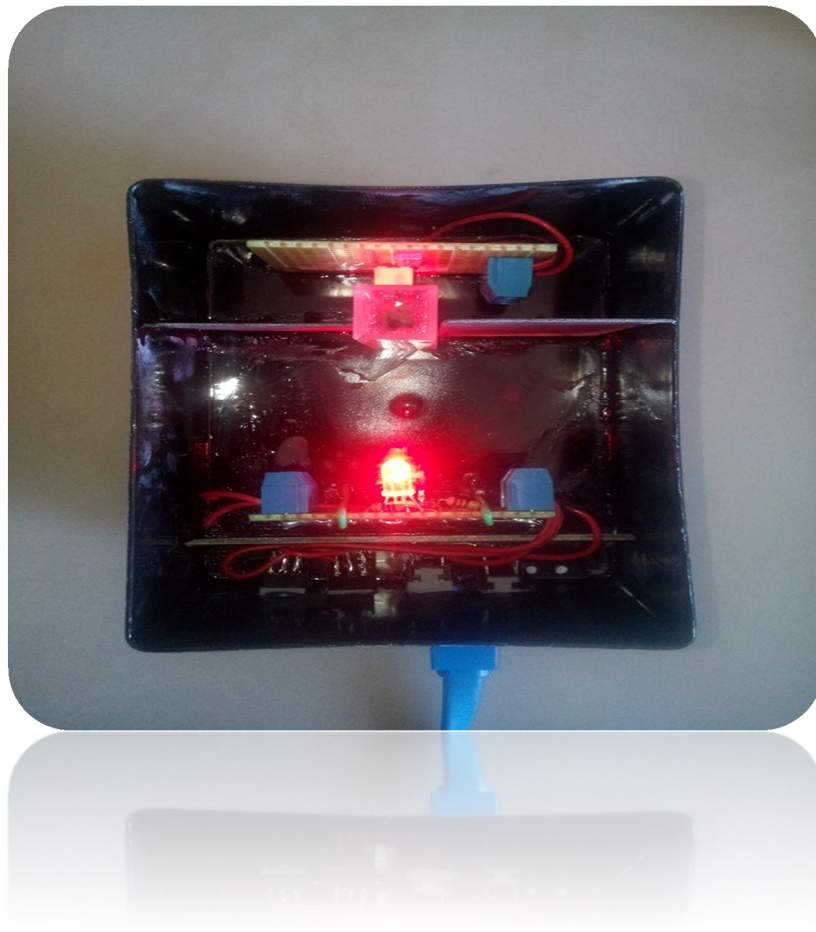


3- Présentation du système :

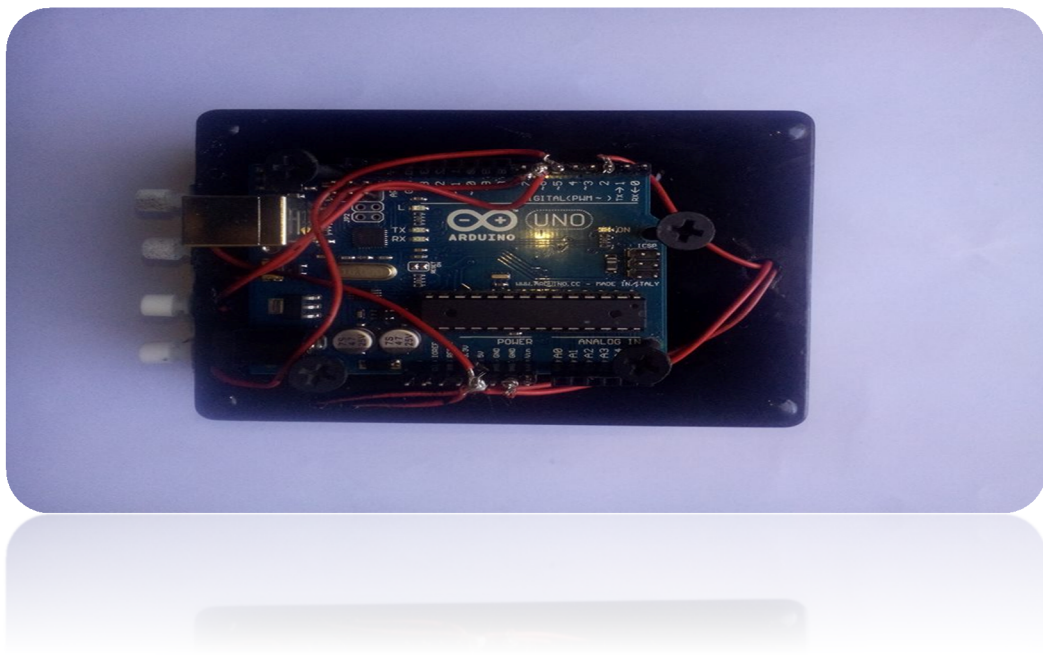
❖ Vue de haut



❖ Vue de haut avec LED allumé et le porte échantillon :



❖ Emplacement et le branchement d'arduino uno



❖ Vue d'extérieure du système :



Résumé

Dans plusieurs activités quotidiennes et industrielles de la vie humaine, des instruments portatifs et peu coûteux pour la détection en temps réel des micro-organismes sont très utiles, de nombreuses techniques ont été proposées pour traiter ce sujet. Généralement, la détection de substances spécifiques est basée sur la reconnaissance du spectre d'émission de la source d'excitation.

Ce travail rentre dans le cadre de l'application des techniques spectroscopiques à l'analyse des éléments traces organiques existants dans les différents milieux naturels.

La technique de l'analyse optique a été employée pour la détection qualitative puis pour la détermination quantitative des éléments choisis pour l'étude. La technique de l'excitation par la lumière qui est basée sur l'absorption, est utilisée pour la mise en évidence des éléments se trouvant à des concentrations très faible.

Le système réalisé est de faible cout, son originalité réside dans l'utilisation d'une photodiode qui permet un conditionnement intégré. Cet avantage nous permettra d'utiliser un système simple pour les résolutions d'un spectrophotomètre en l'occurrence des perspectives d'utilisation d'un smartphone pour la mesure in situ des concentrations.

En partant de l'idée de fabriquer un appareil de mesure du taux de glucose dans le sang, nous nous sommes tournés vers la fabrication d'un spectrophotomètre artisanal. Ce montage fonctionne et l'étape suivante de notre projet sera de l'adapter pour faire des mesures sur des solutions de glucose, puis sur du sang afin de répondre à notre problématique.

Mots clés :

Concentration, irradiance, Arduino, TSL 235R, turbidité, étalonnage.