REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE HYDRAULIQUE

FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : OUVRAGE HYDRAULIQUE

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : Bahloul Saadia

Intitulé

Étude et réalisation d'un système de détection de changement de couleur de l'eau

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. FERHATI Ahmed	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. MAHDI Djallel	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. BERGHOUT Ali	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examinateur

Année universitaire : 2025 /2026

Dédicace

Tout d'abord, nous remercions et glorifions Dieu qui m'a guidé pour accomplir ce modeste projet. Par ce biais, nous espérons atteindre un aboutissement scientifique qui sera bénéfique. Avec joie, fierté et respect, je dédie cette œuvre à :

À mon très cher papa, en signe de reconnaissance pour tant d'années de sacrifices, d'encouragement et de prières. Ce travail que vous tenez entre vos mains est le résultat de vos efforts et de votre dévouement, ainsi qu'une belle preuve de mon amour profond. Qu'Allah vous protège et vous bénisse d'une excellente santé.

Je t'adore. À ma très chère maman, aucun mot ou dédicace ne peut réellement rendre compte de l'immensité de l'amour et de l'admiration que j'ai pour vous. Cette œuvre est la moindre façon dont je peux vous exprimer ma gratitude. Mon diplôme vous appartient. Qu'Allah vous protège et vous accorde une longue vie, si c'est Sa volonté. Je t'adore. À mon cher frère, « *LAMJED* », ainsi qu'à mes précieuses sœurs « HIBA » et « NADA». À tous mes oncles et tantes, ainsi qu'à leurs filles et fils, qui ont été à mes côtés dans les moments émouvants lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont soutenu et encouragé avec enthousiasme pendant toute ma trajectoire. Qu'Allah les garde en sécurité et leur accorde la prospérité et la joie. Je vous adore.

À ma très aimée grand-mère, qui est fière de moi. Je suis extrêmement reconnaissant pour votre amour indéfectible, j'espère que ce diplôme constituera le plus beau présent que je puisse vous donner. Qu'Allah vous accorde une vie longue et empreinte de joie. Je t'adore.

À mon précieux trio « *WISSAL* » et « *RANIA* », pour leur encouragement, leur tolérance et leur compréhension durant tout ce projet. Je vous aime.

Remerciement

Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre gratitude à DIEU le tout-puissant qui nous a insufflé le courage, la patience et la force nécessaires pour achever ce modeste travail.

Je souhaite avant tout exprimer ma profonde gratitude à mon directeur **Dr. MAHDI DJALLEL **, qui a accepté de me guider et m'a accordé la liberté nécessaire pour réaliser ce travail, tout en maintenant une supervision critique et éclairée. Je vous remercie pour votre rigueur scientifique, vos conseils et votre sympathie. Je le remercie aussi de m'avoir confié des responsabilités tout au long de mon travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les membres du jury : Dr. BERGHOUT Ali et Dr. FERHATI Ahmed, qui ont consenti à évaluer ce travail avec bienveillance. C'est un grand honneur pour moi que vous soyez présent en tant qu'examinateur.
Je tiens aussi à remercier tous les professeurs du **Département de Hydraulique**.

Pour finir, Je souhaite exprimer ma gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce projet.

Sommaire

Résumé .....
Liste des figures .....
Liste des tableaux .....
Introduction générale 1
I Chapitre I : Etat de l'art, mesure de la couleur et causes de changement de couleur d'eau
I.1 Introduction 2
I.2 Définition de la qualité de l'eau 2
I.3 Impact de la détection de couleur dans la qualité de l'eau 2
I.4 Lumière et perception de couleur 3
I.4.1 Nature de la lumière 3
I.4.2 Lumière et objet 5
I.4.3 Perception de la lumière par l'œil 8
I.4.4 Sensibilité relative de l'œil 10
I.5 Notion de la couleur 11
I.5.1 Couleur d'un objet 11
I.5.2 Température de couleur 11
I.6 Mesure de la couleur 13
I.6.1 Radiométrie et photométrie 13
I.6.2 Colorimètre et reconstitution des couleurs 14
I.6.3 Capteur de la lumière 16
I.7 Causes de dégradation de la transparence de l'eau 19
I.8 Conclusion 19
II Chapitre II :Description du matériel inclus dans le système de détection de couleur
II.1 Introduction 20
II.2 Description du matériels utiliseés au système de détection de couleur 20
II.2.1 Alimentation du système 20
II.2.2 Carte Arduino 22
II.2.3 Capteur de couleur TCS34725 31
II.2.4 Module Bluetooth HM-10 BLE 4.0 36
II.2.5 Afficheur LCD 37
II.3 Conclusion 38
III Chapitre III : Réalisation, implémentation et mise en service du système intelligent
III.1 Introduction 39
III.2 Conception du système de détection de la couleur de l'eau 39

III.2.1 Description et normalisation du code couleur RVB 42
III.2.2 Mise en œuvre du code système 44
III.2.2.1 Demarrage avec Arduino IDE 45
III.2.2.2 Description du code Arduino 46
III.2.3 Mise en service du système et calibrage 49
III.2.2.2 Calibrage du système 49
III.3 Test du prototype et analyse des resultats 53
III.4 Conclusion 55
Conclusion générale 56
Bibliographie 57
IV Annexe 58

ملخص

يهدف هذا النظام المطوَّر إلى إجراء قياسات دقيقة في السوائل، ضمن نطاق الطيف الكهرومغناطيسي المرئي، للكشف عن أدق تغيرات اللون مع ضمان أعلى معايير الجودة. يراقب نظامنا لكشف الألوان، تغيرات لون الماء بصفة دائمة. يُسهم هذا المشروع في الكشف المبكر عن أي خلل، وتحسين التحكم في عمليات معالجة المياه، وضمان جودة المياه، وتعزيز السلامة الصحية.

الكلمات المفتاحية: جودة المياه، مستشعر الألوان، المراقبة.

Abstract

This developed system aims to perform precise measurements in liquids, within the visible range of the electromagnetic spectrum, to detect even the slightest color changes while ensuring the highest quality standards. Our prototype color detection system monitors water hue changes in real time. This project contributes to the early detection of anomalies, improved control of purification treatment processes, and the guarantee of better water quality and enhanced health safety.

Keywords: Water quality, Colors sensor, Supervisor.

Résumé

Ce système développé vise à effectuer des mesures précises dans les liquides, dans la gamme visible des couleurs du spectre électromagnétique, afin de détecter les plus faibles changements de couleur tout en garantissant les plus hauts standards de qualité. Notre système prototype, de détection de couleur, surveille en temps réel les changements de teinte de l'eau. Ce projet contribue à la détection précoce des anomalies, à l'amélioration du contrôle des procédés de traitements de purification et à la garantie d'une meilleure qualité de l'eau ainsi que de la sécurité sanitaire étendue.

Mots-clés : Qualité de l'eau, Capteur de Couleur, Supervision.

Liste des figures

Figure I-1:Spectre des couleurs correspond aux longueurs d'onde de la lumière.....4
Figure I-2:Aperçu d'un objet par l'œil.....5
Figure I-3;Objet opaque et transparent.....6
Figure I-4:Luminance 8
Figure I-5:: perception de la lumière par l'œil 9
Figure I-6:Composition de la rétine de l'œil et la gamme du spectre visuelle.....9
Figure I-7:: Perception de la couleur d'un objet rouge 11
Figure I-8:Température de couleur d'un corps noir 12
Figure I-9:Espace colorimétrique RVB.....15
Figure I-10:Spectre des couleurs et cercle chromatique 15
Figure I-11:Représentation matricielle des Photosites.....17
Figure I-12;Capture d'image par photosites 17
Figure I-13:Présentation du capteur de couleur composé de N petites cellules photosensible.....18
Figure II-1:Image d'Adaptateur AC-DC (12V—3A) 20
Figure II-2:: Image d'un power bank 21
Figure II-3:Image de la carte Arduino Mega2560 23
Figure II-4:Dimensions de la carte Arduino Mega2560 et vue dessus 24
Figure II-5:Schéma de câblage.....24
Figure II-6:Interface IDE Arduino 29
Figure II-7:Paramétrage de la carte Arduino Mega (sélection type de la carte) 30
Figure II-8:Choix du port de communication 30
Figure II-9:Capteur de couleur TCS34725.....32
*Figure II-10:Schéma des broches de TCS34725.....33
Figure II-11:Réponse spectrale de la photodiode RVBC.....34
Figure II-12:Réponse normalisée en fonction de déplacement angulaire 35
Figure II-13:Schéma du fonctionnement RVBC (RGBC) et leur adressage mémoire 36
Figure II-14:Image du module HM-10BLE 4.0.....37
Figure II-15:Image d'un afficheur LCD 16X2 [18].....37
Figure III-1.: Câblage du système de détection de changement de la couleur de l'eau 40
Figure III-2:Photo du montage prototype réalisé 41
Figure III-3:Representation du code Couleur RVB dans un register a 8bit 42
Figure III-4:Exemple espace colorimétrique RVB du jaune 43

Figure III-5:fenêtre d'accueil Arduino IDE 45
Figure III-6:Etape d'ouverture de nouveau projet 46

Figure III-7:Choix du type de carte (Arduino Mega).....46
Figure III-8:Connexion du montage au PC via USB 49
Figure III-9:Image de prise de mesures dans le labo Hydraulique pour l'étalonnage de notre système prototype.....50
Figure III-10: Echantillons de différentes couleurs ……..50
Figure III-11:Affichage de detection de type de couleur sur le moniteur serie (port COM7) 52
Figure III-12:Supervision sur smartphone de type de couleur des échantillons d'eau 53
Figure III-13: Test du système sur des échantillons.....54

Liste des tableaux

Tableau I-1:Température d'un corps noir en Kalvin et sa couleur.....13
Tableau I-2: Synthèse de causes de dégradation de la transparence de l'eau: 19
Tableau III-1:Liste des matériels: 40
Tableau III-2:Désignations du branchement des modules et capteur avec Arduino Mega.....42
Tableau III-3:Calibration des couleurs (TCS34725).....52

Introduction générale

Introduction générale

Dans le domaine de la surveillance de la qualité de l'eau, la couleur de l'eau constitue une source d'informations précieuse et pertinente. La plupart des capteurs de couleur fonctionnent sur la base de l'absorption ou de la diffusion de la lumière. Le capteur émet de la lumière de différentes longueurs d'onde à travers l'échantillon d'eau et mesure l'intensité de la lumière réfléchie des différentes couleurs Rouge, Vert, et Bleu (RVB). Ce système intelligent à réaliser va nous aider à détecter ces changements de couleur qui seront convertis par le biais des algorithmes implantés à un système embarqué pour indiquer la présence de polluants ainsi que pour juger la qualité de l'eau et avertir le superviseur pour garantir qu'elle répond aux normes réglementaires. Ce système intelligent va assurer un contrôle efficace de la qualité de l'eau et la détection des anomalies, fournissant des informations précises pour une gestion efficace dans diverses utilisations (surveillance des rivières et des lacs).

Pour réaliser ce travail nous nous sommes basés sur la méthodologie suivante :

La première partie de ce mémoire présente l'état de l'art de mesure des couleurs ainsi que les causes de changement de couleur d'eau. La deuxième partie est consacrée à la description des matériels inclut au système de détection de couleur. Ce second volé, nécessite des connaissances des notions de bases des systèmes embarqués d'une part, et par le savoir-faire des technologies câblés et programmés. Ainsi ce chapitre entamera le choix des éléments qui aident à la conception et à la réalisation de ce système intelligeant, en décrivant et présentant l'architecture du système utilisé et le principe du langage de programmation.

En effet le dernier chapitre qui est le noyau de notre projet, évoquera la réalisation, le calibrage et l'adaptation par la mise en service du système intelligent développé.

Chapitre 01 :
Etat de l’art, mesure de la couleur et causes de changement de couleur d’eau

1. Introduction

La détection de la couleur est un élément fondamental dans de nombreux domaines tels que l'industrie, l'imagerie, la vision artificielle, ainsi que le contrôle de la qualité de l'eau. La mesure de la couleur permet d'obtenir une évaluation objective et reproductible, contrairement à l'observation visuelle qui reste subjective et dépendante de l'observateur et des conditions d'éclairage [1].

Cet état de l'art présente les principes fondamentaux de la couleur, les méthodes de mesure ainsi que les causes de variation de nuance de couleur dans l'eau.

2. Définition de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau fait référence à l'ensemble des caractéristiques physique, chimique et biologiques de l'eau, qui déterminent son aptitude à divers usages tels que la consommation humaine, l'irrigation, l'industrie et l'entretien des écosystèmes. Il s'agite d'un indicateur fondamental de la santé humaine et environnementale et il est affecté par de nombreux facteurs naturels et humains. [2]

3. Impact de la détection de couleur dans la qualité de l'eau

La Couleur de l'eau indique la présence de matière organique ou de minéraux dissous. L'importance de la détection de la couleur dans la qualité de l'eau est primordiale parmi d'autres caractéristiques. On trouve généralement trois caractéristiques de la qualité de l'eau :

- Caractéristiques physiques tels que la Couleur, l'odeur, le goût, la turbidité, et la température.
- Caractéristiques chimiques tels que : Oxygène dissous, Éléments nutritifs, Métaux lourds, Salinité, et le PH.
- Caractéristiques biologiques qui présentent les Bactéries, virus et les algues indiquant ainsi une contamination des eaux usées et présente des risques pour la santé. Les algues peuvent causer des problèmes de dégradation de couleur, de goûte et d'odeur et produire des toxines nocives. Les microorganismes que certains d'entre eux peuvent être bénéfiques, d'autres peuvent indiquer une contamination.

La détection de couleur constitue un outil efficace pour le suivi et la préservation de la qualité de l'eau. Ce paramètre-là sera particulièrement notre cas d'étude. Grâce aux capteurs de couleur, il est possible de surveiller en temps réel les changements de teinte de l'eau en analysant les composantes rouge, verte et bleue (RVB).

La plupart des capteurs de couleur fonctionnent en exploitant les phénomènes d'absorption et de diffusion de la lumière. Le capteur projette des lumières de différentes longueurs d'onde à travers l'échantillon d'eau, puis mesure l'intensité de la lumière réfléchie correspondant aux différentes composantes colorées (RVB), qui vont nous aider à identifier la couleur.

4. Lumière et perception de couleur

Quand une lumière éclaire un objet, celui-ci la réfléchit et la diffuse dans diverses directions. Le capteur qui reçoit une partie de cette lumière peut ainsi intercepte une image de l'objet éclairé.

4.1 Nature de la lumière [3]

La lumière présente à la fois un aspect corpusculaire (photons) et un aspect ondulatoire (onde électromagnétique) qui forment un tout complémentaire et cohérent.

Du point de vue corpusculaire, la lumière est composée de particules sans masse, appelées photons, propageant de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques visibles.

Du point de vue ondulatoire, la lumière est un rayonnement électrogénique composé d'ondes de diverses fréquences. Une lumière composée d'une seule fréquence d'onde est appelée lumière monochromatique. Si elle est composée de plusieurs fréquences d'ondes elle est appelée lumière polychromatique (du grec polus nombreux et khroma couleur).

Par exemple, un laser émet une lumière monochromatique, constituée d'une seule couleur. Le soleil ou une ampoule à incandescence émettent des lumières polychromatiques, composées d'un grand nombre de radiations monochromatiques associées à des couleur visibles.

4.1.1 Caractéristiques de la lumière

Pour une lumière monochromatique, on distingue les caractéristiques suivantes :

f : fréquence de l'onde électromagnétique associée (Hz) ;

T : période de l'onde électromagnétique associée (s) ;

V : vitesse de la lumière dans le milieu considéré (m /s) ;

λ : longueur d'onde de la lumière dans le milieu considéré (m) .

En revanche, la longueur d'onde λ et la vitesse V, de déplacement d'une lumière monochromatique dans un milieu quelconque, dépendent du milieu dans lequel cette lumière se déplace.

Ces différentes grandeurs sont liées par les formules suivantes :

$$\lambda = v.T\ (m) \quad et\ T = \frac{1}{f}(s)$$

4.1.2 Cas du vide ou de l'air

Dans le vide, la lumière se déplace à une vitesse *C* proche de 300.000 km/s.

Cette valeur est la vitesse maximale pouvant être atteinte dans l'univers par tout objet ou information en déplacement (théorie de la relativité d'einstein).

Dans l'air, la lumière se déplace à une vitesse V sensiblement égale à sa vitesse C dans le vide.

L'œil humain est sensible aux fréquences des radiations lumineuses dont les longueurs d'ondes dans le vide (et dans l'air) sont comprises entre $\lambda = 0{,}4$ microns (violet) et $\lambda = 0{,}8$ microns (rouge -violet). Ces radiations constituent le spectre des couleurs de lumière visible. Au-dessus, se trouvent les rayonnements infrarouges et, en-dessous, les rayonnements ultraviolets. Illustrer par la figure (1) suivante :

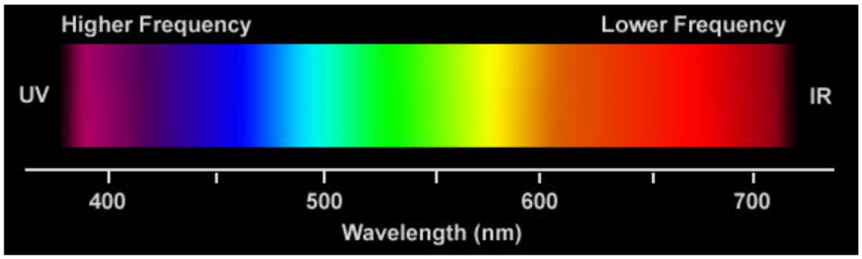

Figure I.1 : Spectre des couleurs correspond aux longueurs d'onde de la lumière

Ces grandeurs sont souvent exprimées en nanomètre (nm), avec un nanomètre égal à 10^{-9} mètres ou 10^{-3} microns. Dans l'air, le spectre des lumières visibles d'étend de 400 nanomètres à 800 nanomètres.

4.1.3 Cas d'un milieu quelconque

Un milieu quelconque (eau, verre, air ….) se caractérise par son indice de réfraction *n* qui est défini par le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de la lumière dans ce milieu : *n= C/V*

Si ce milieu est l'air ou le vide, son indice est égal à 1. Dans tous les cas, la vitesse *V* de la lumière dans ce milieu est égale à *C/n*.

Dans un milieu différent de l'air ou du vide, *n* est supérieur à 1 et une lumière monochromatique de fréquence *f* se déplace à une vitesse *V* inférieur à sa vitesse *C* dans le vide. Chaque photon associé à cette lumière se déplace avec cette vitesse v et possède une énergie en [joules] :

E=h.f

avec :

f : fréquence en hertz(Hz)de l'onde électromagnétique ;

h : constante de Planck égale à $6{,}62.10^{-34}$ J .s

4.2 Lumière et objet

Une source de lumière naturelle (soleil) ou artificielle (lampe, projecteur) émet un flux lumineux doté d'une certaine intensité lumineuse ; ce flux lumineux vient éclairer les objets. Les objets ainsi éclairés présentent à leur tour une certaine luminosité (luminance) et, de ce fait, réfléchissent et diffusent de la lumière qui vient éclairer le capteur de l'appareil de mesure de ce flux.

Un objet est un être ou une chose perceptible par la vue et éventuellement par le toucher. La lumière est l'élément qui permet d'éclairer un objet, de la rendre visible par l'œil. Un système optique donne de lui une image perceptible par la vue.

Les objets peuvent être lumineux par eux-mêmes, lorsqu'ils émettent leur propre lumière (soleil, lune, étoiles, ampoule électrique, …), ou lumineux de façon indirecte lorsqu'ils renvoient une partie de la lumière qu'ils reçoivent.

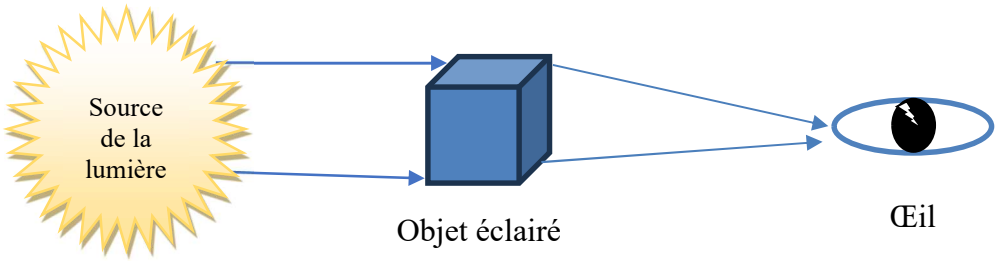

Figure I.2 : Aperçu d'un objet par l'œil

Selon ses propriétés intrinsèques (texture, composition, surface …..), un objet peut renvoyer la lumière qui l'éclaire de différentes façons et il peut en absorber une partie plus ou moins grande . C'est pourquoi différents objets éclairés de la même manière peuvent donner des rendus différents (luminosité, contraste, couleurs ….).

Un objet est dit opaque lorsque la lumière ne peut pas le traverser (un mur en béton par exemple est opaque). Il est dit transparent lorsque la lumière peut le traverser (une vitre ou une bouteille d'eau constituent des objet transparents). Dans ce cas l'objet absorbe une partie plus ou moins

grande de la lumière incidente. Les objets transparents peuvent devenir opaques, s'ils présentent une épaisseur suffisamment grande (par exemple un lac d'une profondeur de 100 mètres).

Figure I.3 : Objet opaque et transparent

Une lumière peut être :

- Incidente (une lumière qui se dirige vers un objet ou vers une surface séparant deux milieux est appelée lumière incidente) ;
- Réfléchie (une lumière qui subit un changement de direction à la surface séparant deux milieux et qui reste dans le milieu de départ est appelée lumière réfléchie et le phénomène observé est appelé réflexion) ;
- Réfractée (une lumière qui subit un changement de direction en passant d'un milieu vers un autre est appelée lumière réfractée et le phénomène observé est appelé réfraction) ;
- Diffusée (une lumière qui se disparait dans toutes les directions depuis une surface est appelée lumière de diffusion ou diffusée par cette surface) ;
- Émergente (une lumière qui sort d'un milieu après l'avoir traversé est appelée lumière émergente) ;
- Absorbée (une lumière qui disparait à l'intérieur d'un milieu est appelée lumière absorbée et le phénomène observé est appelé absorption) .

4.2.1 Grandeur de mesure de la lumière

4.2.1.1 Intensité lumineuse

Soient I_0 l'intensité lumineuse entrante et I l'intensité lumineuse sortante d'un objet, le phénomène d'absorption est modélisé par la loi empirique de Beer–Lambert :

$$I = I_0 e^{-ax}$$

a : coefficient d'absorption de l'objet [m^{-1}]

x : épaisseur de l'objet [m].

En radiométrie, l'intensité lumineuse est la puissance lumineuse dans une direction donnée d'une lumière émise par une source de lumière. Cette grandeur s'exprime en watt /stéradian et lumen/stéradian [3].

En photométrie, l'intensité lumineuse est la puissance lumineuse dans une direction donnée, perçue par l'œil, d'une lumière émise par une source de lumière. Cette grandeur s'exprime en candela (lumen /stéradian) [3].

Le candela est défini de la façon officielle suivante : Une source qui émet un rayonnement monochromatique de longueur d'onde dans le vide de 555 nm et dont l'intensité «énergétique dans cette direction est de 1/683 watt par stéradian est perçue par l'œil comme ayant une intensité lumineuse de 1 candela. Avec cette définition officielle , il n'est pas évident de se représenter concrètement ce que représente un candela , car à puissance équivalente en watt/stéradian, chaque longueur d'onde lumineuse produit une impression lumineuse différente sur l'œil et donc une mesure différente en candela [3].

Ainsi une source qui émet un rayonnement monochromatique de longueur d'onde dans le vide de 650 nm (rouge) et dont l'intensité énergétique dans cette direction est de 1/683 [watt/stéradian] sera perçue diurne v (650) n'est pas égal à 1 mais à 0,1 .

A titre indicatif, une bougie standard est perçue par l'œil comme ayant une intensité lumineuse globale, toutes longueurs d'ondes confondues , de 1 candela. Ceci permet de se faire une idée plus concrète de ce que représente un candela [3].

Si I est l'intensité lumineuse moyenne d'une source de lumière dans une direction donnée, le flux lumineux F dans un angle solide Ω correspondant à cette source est :

$$\mathbf{F}=\boldsymbol{I}.\Omega$$

4.2.1.2 Émittance [3]

En radiométrie , l'émittance M , d'une source lumineuse de surface S qui émet un flux lumineux F , est le flux lumineux émis par chaque unité de surface de cette source étendue, L'émittance se mesure en watt par mètre carré [watt/m^2].

En photométrie , l'émittance M , d'une source lumineuse de surface S qui émet un flux lumineux F perçu par l'œil , est le flux lumineux M émis par chaque unité de surface de cette source étendue . L'émittance se mesure en lumen par mètre carré.

M= F/S

2.3.1.3 Luminance [3]

En radiométrie, la luminance L, d'une surface S qui émet une intensité lumineuse *I*, est l'intensité lumineuse par unité de surface $L = \frac{I}{S}$ émise par cette surface.

La luminance se mesure en watt/stéradian. m^2.

En photométrie, la luminance (ou brillance) L, d'une surface S qui émet une intensité lumineuse L perçue par l'œil , est L=I/S . La luminance se mesure en candela par mètre carré .

A intensité lumineuse émise égale , petite surface est plus brillante qu'une surface plus grande .

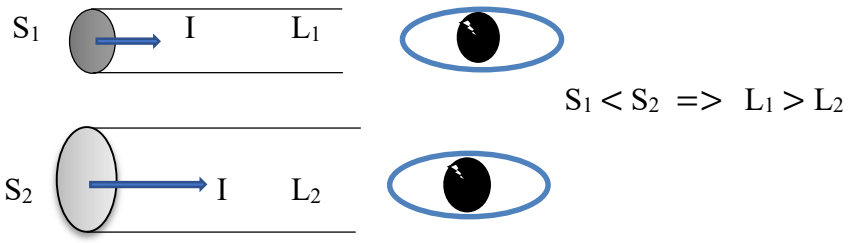

Figure I.4: Luminance [3]

4.3 Perception de la lumière par l'œil

L'œil perçoit la lumière comme un appareil photo. Les rayons lumineux, en provenance d'un objet ou d'une scène, pénètrent dans l'œil à travers la cornée, puis traversent la pupille et le cristallin. Ces éléments constituent un système optique évolué qui forme sur la rétine une image de la scène regardée.

L'iris règle automatiquement le diamètre de la pupille en fonction de l'intensité de la lumière entrante, de façon à assurer une exposition correcte de la rétine, comme le ferait le diaphragme d'un appareil photo. Le signal lumineux reçu par la rétine, est ensuite interprète ces informations pour reconstituer l'image de l'objet.

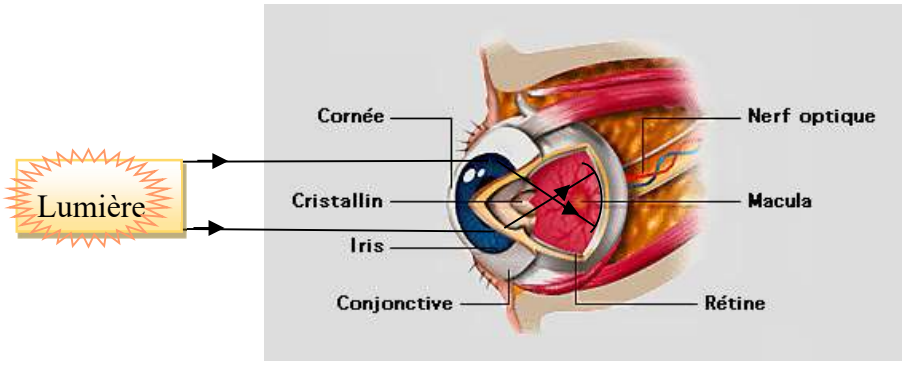

Figure I.5 : perception de la lumière par l'œil [4]

La rétine est tapissée de deux types de cellules nerveuses (les batônnets et les cônes). Dont le rôle consiste à capter la lumière et à transformer les informations lumineuses reçues en signaux nerveux.

Les batônnets (plus de 100 millions) sont plus nombreux et plus sensibles à la lumière que les cônes mais ils n'interprètent pas les couleurs. Les batônnets présentent une densité plus forte sur la périphérie de la rétine. Ils travaillent uniquement en niveaux de gris et sont particulièrement adaptés à la vision en basse lumière (vision crépusculaire). Les cônes (environ 5 millions) sont moins nombreux et moins sensibles à la lumière que les batônnets mais ils perçoivent les couleurs. Les cônes sont particulièrement adaptés à la vision diurne. Ils sont particulièrement sensibles aux mouvements et aux détails car ils sont concentrés dans la région centrale de la rétine.

Ainsi la rétine de l'œil est composée de deux types de capteurs : les bâtonnets et les cônes. Les bâtonnets sont sensibles à l'intensité lumineuse dans la bande de fréquence dite visible (environ de 400 à 700 nm, figure 2) tandis que les cônes ont une sensibilité dont l'étendue fréquentielle est plus réduite.

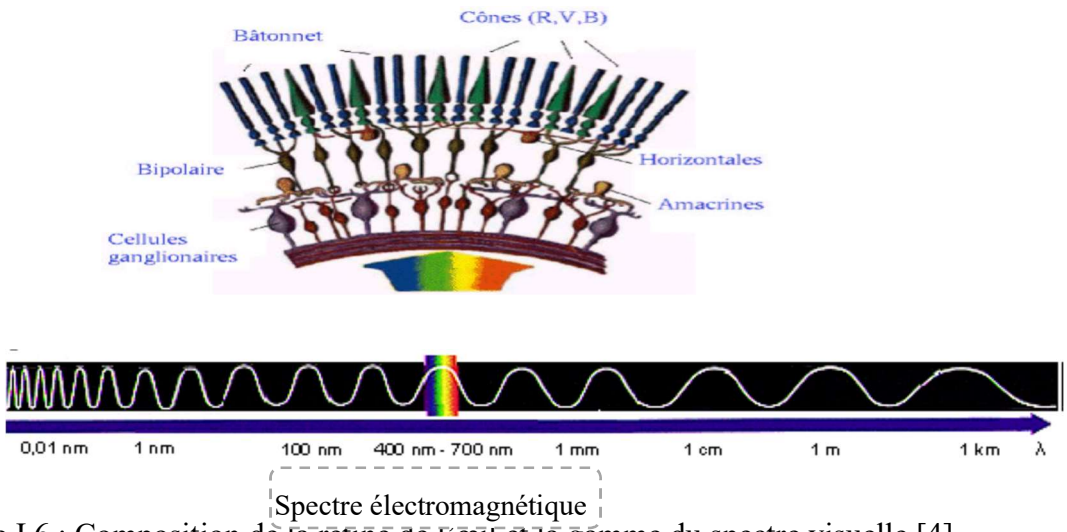

Figure I.6 : Composition de la retine de l'œil et la gamme du spectre visuelle [4]

Il existe trois types de cônes que nous appellerons les cônes R (rouge), V (vert) et B (bleu) [4]. Les cônes bleus sont sensibles à des longueurs d'ondes autour de 450 nm, les cônes verts autour de 550 nm et les cônes rouges autour de 600 (figure 3). Ceci permet la reconstitution des couleurs associées aux constante.

Lorsque l'œil perçoit une longueur d'onde de 490 nm (ce qui est le cyan), les cônes B et G sont excité tandis que les cônes R sont au repos. Ce différentiel d'excitation est interprété par le cerveau comme étant la couleur cyan. Donc pour recréer cette illusion, il suffit de disposer d'un système projetant sur l'œil des ondes lumineuses bleues (450nm) et de vertes (550 nm) dans des proportions équivalentes. C'est le principe de fonctionnement des écrans couleur.

A l'inverse, l'information nécessaire pour créer cette illusion peut être condensée en une proportion d'intensité lumineuse dans le rouge, le vert et le bleu. C'est le principe de la représentation RVB des images numériques couleurs.

4.4 Sensibilité relative de l'œil

L'œil humain n'a pas la même sensibilité à toutes les longueurs d'ondes de la lumière. Ainsi, en vision diurne, pour des puissances lumineuses émises identiques mesurées en watt, l'œil humain est plus sensible à un rayonnement de couleur verte qu'à un rayonnement de couleur rouge.

Autrement dit, l'œil ne perçoit pas la puissance lumineuse de toutes les radiations de la même manière, pour une même puissance lumineuse transportée P1= P2 (watt) de deux radiations R1 et R2 de longueur d'onde $\lambda 1$ et $\lambda 2$, l'œil peut avoir l'impression que la radiation 1 est plus (ou moins) lumineuse que la radiation 2.

On caractérise cette efficacité lumineuse relative de l'œil par un coefficient v(λ)qui dépend de la longueur d'onde λ de la radiation considérée. v(λ) est compris entre 0 et 1 et varie selon le moment de la journée (vision diurne ou vision crépusculaire).

En vision diurne, l'œil se montre particulièrement sensible aux longueurs d'ondes proches de 550 nm dans l'air qui correspondent aux couleur jaunes et vertes. Pour ces radiations , dont l'œil humain a une parfaite perception de la puissance lumineuse , v(λ) est égal à 1. Pour une radiation de longueur d'onde λ=490nm , on a v(λ)=0,21

Cela signifie que même si cette seconde radiation possède la même puissance lumineuse que la première, l'œil humain a l'impression qu'elle n'a que 21% de puissance lumineuse par rapport à la première.

La sensibilité relative de l'œil aux différentes longueurs d'ondes, en vision diurne et crépusculaire. En vision crépusculaire, l'œil est particulièrement sensible aux longueurs d'ondes proche de 510 nm dans l'air qui correspondent à la couleur bleue.

5. Notion de la couleur

La couleur est une sensation visuelle produite par l'interaction de la lumière avec l'œil humain et le cerveau. Elle dépend principalement de trois facteurs : la source lumineuse, l'objet observé et le système visuel de l'observateur [5].

5.1 Couleur d'un objet [3]

La couleur apparente d'un objet, dans des conditions d'éclairage données, découle de la façon dont les matériaux qui compose cet objet absorbent, diffusent, et réfléchissent la lumière.

Par exemple, un objet de couleur rouge éclairé par une lumière blanche, absorbe l'ensemble des ondes lumineuses différentes du rouge (orange, jaune, vert, bleu et violet). Il diffuse et réfléchit uniquement les ondes lumineuses de couleur rouge. C'est pourquoi l'œil qui le regarde ne reçoit qui des ondes lumineuses de couleur rouge et considère alors que cet objet est de couleur rouge.

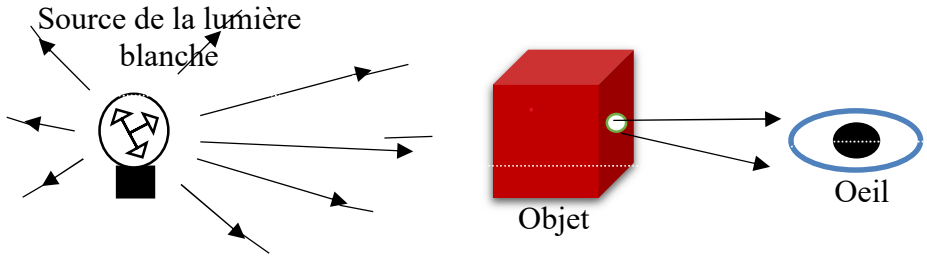

Figure I.7 : Perception de la couleur d'un objet rouge

5.2 Température de couleur [3]

La température de couleur T , exprimée en kelvin , est une grandeur utilisée pour caractériser la couleur d'une lumière . La température de couleur ne représente pas la température de la source lumineuse mais la température à laquelle il faudrait chauffer un corps noir, pour que celui- ci émette la couleur désirée. Le degré **kelvin** est défini par $T=\theta + 273$ avec θ Exprimé en degrés Celsius.

On distingue :

- la lumière chaude, comme une lumière de couleur rouge ou jaune, qui correspond à la couleur qui serait par un corps noir chauffé à environ 1000 K ;
- la lumière normale , comme le blanc ou comme la lumière du jour par beau temps, qui correspond à la couleur qui serait émise par un corps noir chauffé à environ 5000 K ;
- la lumière froide , comme le bleu ou comme la lumière du jour par mauvais tempe (ciel nuageux), qui correspond à la couleur qui serait émise par un corps noir chauffé à environ 10000 K .

Ainsi, quand on règle sur un appareil photo le paramètre température de couleur à 2000 K par exemple, on indique à l'appareil que la photo doit être prise en considérant que l'éclairage est constitué d'une lumière chaude (orangée). Dans ce cas l'appareil photo ajoute une couleur bleutée à la lumière reçue de façon à ce que le résultat se rapproche de celui obtenu avec une lumière naturelle.

De même si on règle le paramètre température de couleur à 20000 K par exemple , on indique à l'appareil que la photo va être prise avec une lumière froide (bleutée). Dans ce cas l'appareil que la photo ajoute une couleur orangée pour faire en sorte que le résultat se rapproche d'une lumière naturelle.

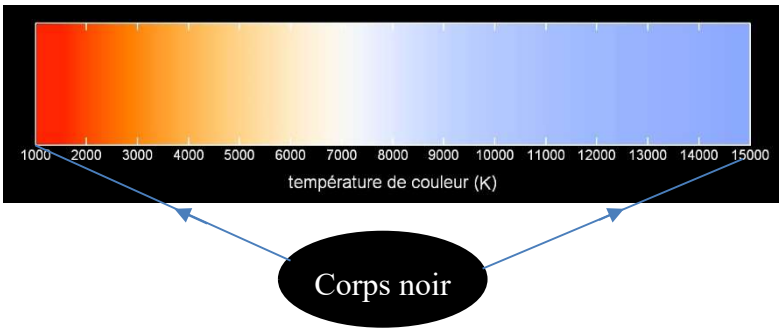

Figure I.8 : Température de couleur d'un corps noir

Ci-dessous le tableau [3] qu'indique la couleur équivalente à la température d'échauffement d'un corps noir :

Température du corps noir [K]	**Couleur émise équivalente à**
2000	soleil au lever
2000 à 6000	lampes

6000	soleil au zénith
6500	lumière naturelle
10.000	ciel nuageux

Tableau I.1 : Température d'un corps noir en Kalvin et sa couleur.

6. Mesure de la couleur

On distingue deux types de mesures de la couleur la mesure visuelle qui se repose sur l'évaluation humaine par comparaison avec des échantillons standards, et la mesure instrumentale qui se repose sur la mesure instrumentale utilise des appareils optiques permettant une mesure objective et reproductible de la couleur.

6.1 Radiométrie et photométrie

La radiométrie est une discipline qui étudie l'énergie électromagnétique rayonnante émise par une source, sans se soucier de l'impression que produit cette énergie sur l'œil humain. Elle manipule des grandeurs et des unités électromagnétiques de type énergétique.

La photométrie étude l'énergie lumineuse rayonnante émise par une source en tenant compte de l'impression que produit cette énergie sur l'œil humain, étant donné la sensibilité relative de l'œil humain aux différentes longueurs d'ondes. Elle manipule des grandeurs et des unités lumineuses de type visuel. La théorie de la photométrie est appliquée dans de nombreux domaines où intervient la lumière, et notamment en photographie, car elle présente l'avantage d'intégrer l'aspect visuel des choses.

En effet, la radiométrie et la photométrie jouent un rôle important dans l'analyse et la compréhension de l'exposition lumineuse et de l'éclairage en détection de la lumière et la couleur. Le lien entre ces deux types de grandeurs et assuré par la courbe de sensibilité relative de l'œil.

Les appareils de mesure utilisés en photométrie sont étalonnés en fonction de la courbe de sensibilité relative de l'œil humain, ce qui n'est pas le cas des appareils de mesure utilisés en radiométrie.

6.2 Colorimètre et reconstitution des couleurs

Pour pouvoir retrouver les couleurs d'une image, avec un capteur doté d'une seule couche de photosites, un ingénieur de la société kodak, le Dr. Bryce E. Bayer, a imaginé en 1976 un procédé simple et astucieux consistant à utiliser une grille composée de filtres de couleur rouge, verte et bleue, appelée matrice de Bayer.

En plaçant cette grille au-dessus d'un capteur, la reconstitution des couleurs de l'ensemble des points de l'image peut être effectuée à l'aide de divers procédés et algorithmes associés, appelés méthodes de dé matriçage.

La colorimétrie est la science qui traite de la mesure des couleurs (décrire la couleur de manière quantitative), en se basant sur des modèles mathématiques et perceptuels [CIE (Commission Internationale de l'Éclairage)]. Elle est utilisée dans de nombreux domaines, notamment en informatique, photographie, en vidéo et en impression. Le colorimètre mesure la couleur selon la sensibilité de l'œil humain à l'aide de filtres trichromatiques.

Une image numérique en couleur est définie par les composantes de couleur rouge , verte et bleue de chacun de ses points (pixels).

Ces composantes de couleurs sont représentées par des nombres, dans des plages de valeurs faisant partie d'un espace appelé 'espace colorimétrique ou espace de couleurs'.

Un espace colorimétrique est un espace à plusieurs dimensions qui permet de définir la valeur d'une couleur particulière à partir des valeurs des composantes de cette couleur sur chacune des dimensions de cet espace.

Il existe divers espaces colorimétriques et variantes associées :

- RVB (Rouge, Vert, Bleu) , appelé également RGB (Red ; Green, Blue)
- s RVB (rouge , vert et bleu standardisé)
- adobe RVB (rouge , vert et bleu développé par adobe)
- TSL (Teinte, Saturation , Luminosité), en anglais HSV (Hue ; Saturation ; Value).
- CMJN (cyan, magenta , jaune , noir).

Ces divers espaces diffèrent selon les correspondances utilisées entre les couleurs et les nombres.

L'espace RGB ou en français RVB, est basé sur la synthèse additive des couleurs primaires rouge, vert et bleu. Il est principalement utilisé dans les écrans et les systèmes numériques. Il est basé sur le fait qu'une couleur quelconque peut être définie à partir de la luminance particulière des trois

couleur élémentaires rouge, vert et bleu ajoutées les unes aux autres [3], voire Annexe code des couleurs.

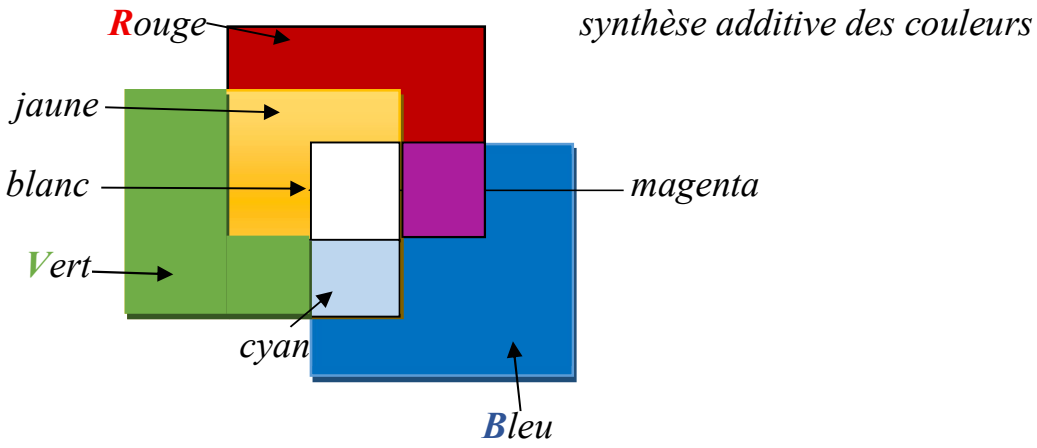

Figure I.10 : Espace colorimétrique RVB

Lorsqu'il s'agit de représenter la perception que l'on a d'une image couleur, l'espace RVB peut sembler inadéquat. On parle en effet des couleurs et non pas de leur interprétation en terme de RVB (seuls les imprimeurs le font et encore dans l'espace CJM). C'est pourquoi il est souvent utile, en traitement d'image, de passer de la représentation RVB à une représentation plus adéquate avec la représentation interne de la perception des images couleurs. Un des espaces les plus utilisés est l'espace Luminance-Teinte- Saturation (en anglais Hue Saturation Value).

Figure I.11 : Spectre des couleurs et cercle chromatique.

• la luminance correspond à l'excitation des bâtonnets, c'est à dire à l'énergie moyenne qu'ils reçoivent. Elle est équivalente à la moyenne des énergies reçues pas chaque cône (pour l'œil) ou chaque photorécepteur (pour le capteur d'images), la couleur, c'est la longueur d'onde émise par

l'objet imagé, sa représentation est souvent cyclique et coïncide avec celle de l'arc-en-ciel (figure 5)

• la saturation, c'est l'aptitude à distinguer la couleur, c'est la Pureté de la couleur

6.3 Capteur de la lumière

Le capteur est le composant de l'appareil photo numérique sur lequel arrivé la lumière émise par l'objet photographié. Le capteur est en photographié numérique l'équivalent de la pellicule utilisée en photographie argentique.

Le capteur est le composant de l'appareil photo numérique sur lequel arrivé la lumière émise par l'objet photographié. Le capteur est en photographié numérique l'équivalent de la pellicule utilisée en photographie argentique.

Un capteur est composé de photosites à partir desquels sont reconstitués les points de l'image en couleur(pixels).

Un capteur se caractérise par :

- sa taille (longueur et largeur en mm) ;
- sa résolution (en millions de pixels) ;
- son type et sa performance.

6.2.1 Photosites, couleurs et pixels

Le principe des capteurs et des représentations des images couleurs est directement relié à la nature physiologique de l'œil (figure 5).

En effet une image couleur est composée de trois images de luminance dans des bandes de fréquences données. Une image couleur est généralement formée par la superposition de trois images en niveaux de gris (appelées canaux ou plans), correspondant souvent aux bandes de fréquences spectrales Rouge, Vert et Bleu (RVB) [3].

6.2.1.1 Photosites [3]

Un capteur est une surface rectangulaire composée de millions de petites cellules photosensible appelées Photosites.

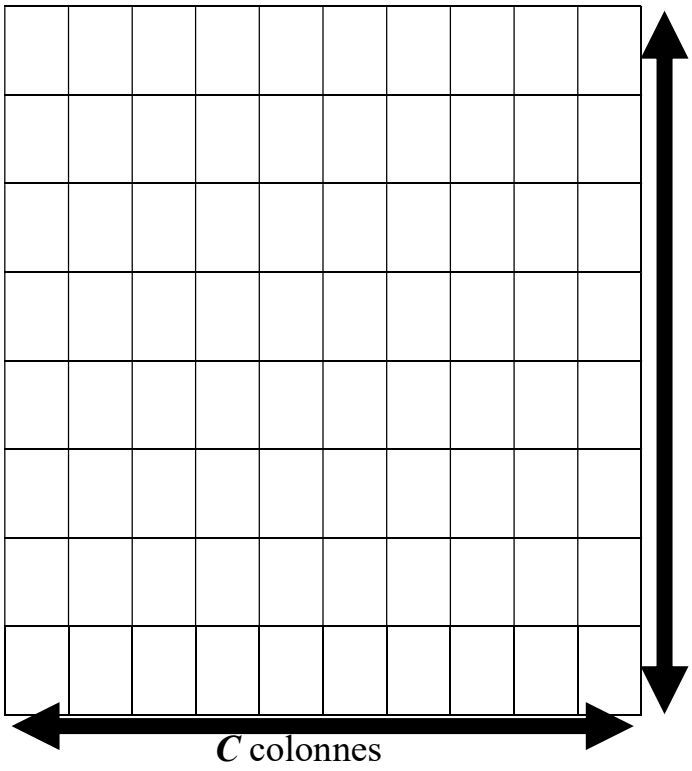

Figure I.12 : Représentation matricielle des Photosites

Les photons, en provenance de l'objet photographié, viennent percuter les photosites et leur arrachent des électrons. Ceci produit un courant électrique grâce auquel on peut reconstituer l'image correspondant à l'objet photographié.

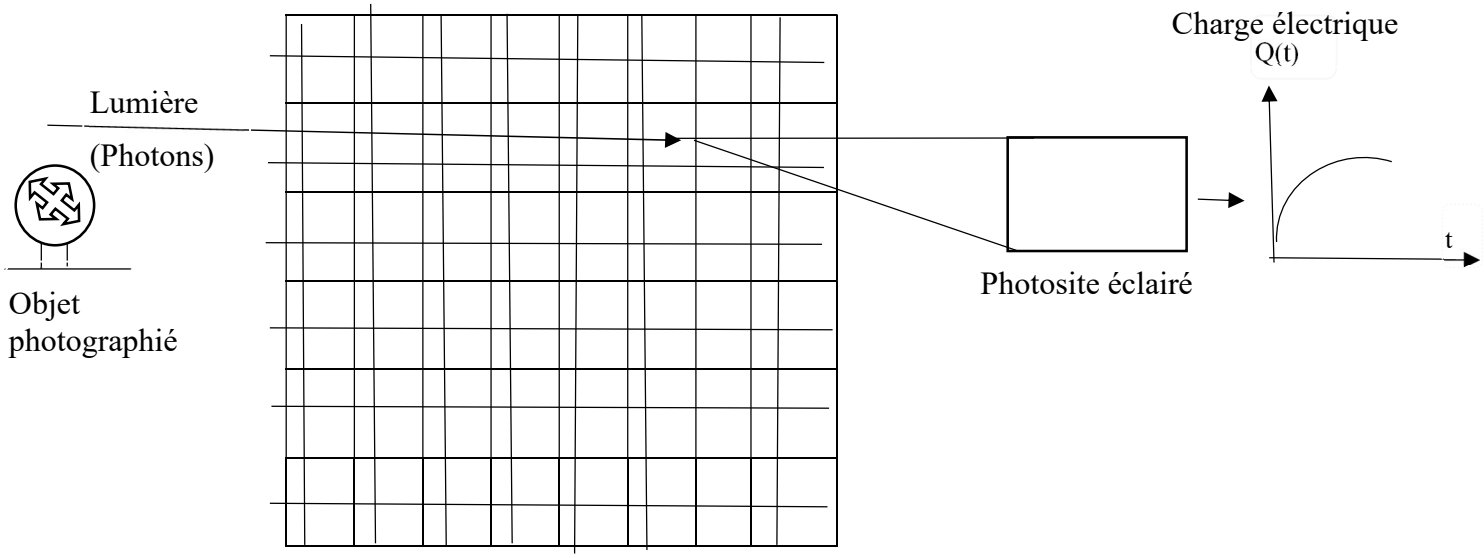

Figure I.13: Capture d'image par photosites [3]

6.2.1.2 Couleur et pixels [3]

En général, chaque photosite est associé à une seule des 3 couleurs élémentaires rouge, verte ou bleu (RVB) d'un point (pixel) de l'image.

Les techniques utilisées pour reconstituer les pixels RVB à partir des photosites, varient selon les types de capteurs et les fabricants.

En général, les couleurs des pixels sont calculées par interpolation des couleurs de plusieurs photosites. Ceci n'implique pas l'existence d'un nombre de photosites supérieur à celui des pixels car un même photosite peut être utilisé plusieurs fois lors des calculs.

Ainsi, la technique basée sur l'utilisation du filtre de bayer consiste à recouvrir chaque photosite d'un filtre laissant passer uniquement une couleur rouge, verte ou bleu.

Chaque pixel est reconstitué à l'aide d'un calcul d'interpolation d'un photosite rouge d'un photosite bleu et de deux photosite verte.

La présence de deux photosites verte pour seulement un photosite bleu et un photosite rouge permet d'améliorer la capture de cette couleur à laquelle l'œil est particulièrement sensible.

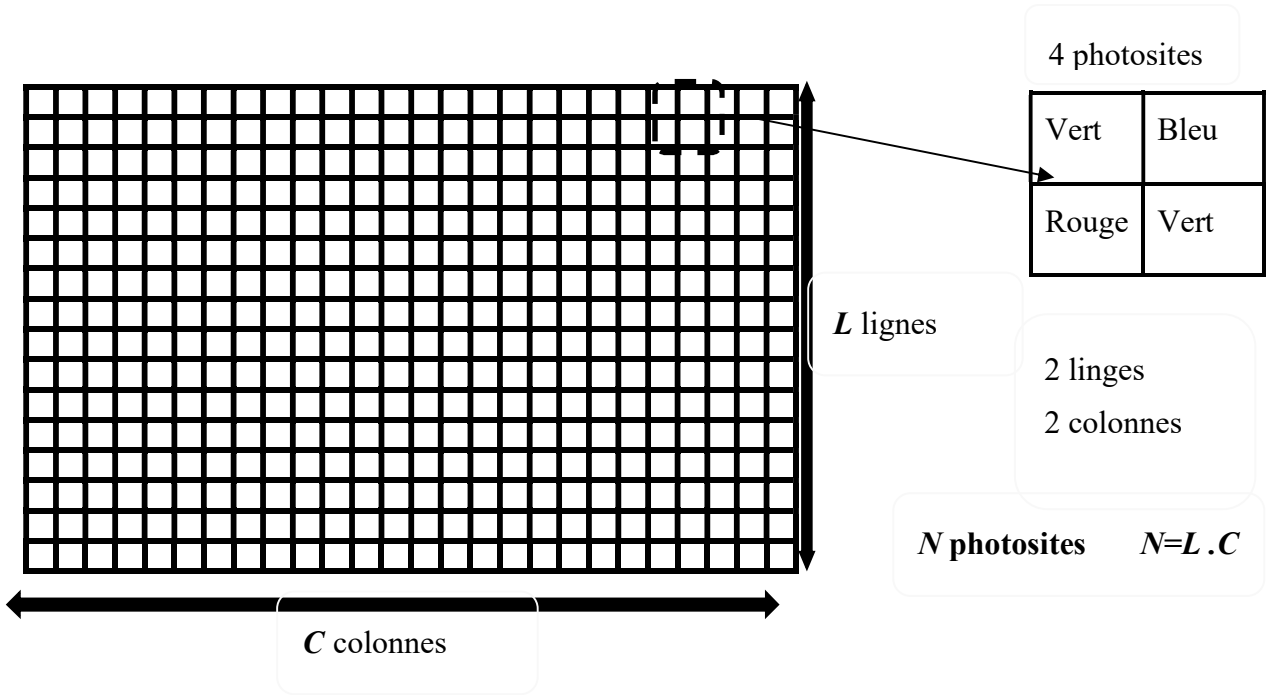

Figure I.14 : Présentation du capteur de couleur composé de *N* petites cellules photosensible

7. Causes de dégradation de la transparence de l'eau

Un changement de couleur peut signaler une modification de la composition chimique ou biologique de l'eau. Voici le tableau qui donne les principales causes les plus probable de la dégradation de la transparence de l'eau :

Couleur Observée	**Signification et Cause probable**
Vert/Bleu-vert	Algues et microorganismes
Rouge rouille / Orange	Oxydation du fer
Noir/ violet	Manganèse
Jaune vers le brun	Acide humique
Gris/ boueux/ Marron	Limon /argile
Pourpre/ violet	Apparaît dans les eaux stagnantes privées d'oxygène
Jaune boueux	Sédiments et algues
Bleu-vert / Turquoise	Cyanobactéries en décomposition
Vert Clair	Algues vertes

Tableau I.2 : Synthèse de causes de dégradation de la transparence de l'eau

Ce tableau affecté va nous aider à l'intégrer dans notre projet pour mettre l'attention et signaler la présence des compositions chimique et biologiques dans l'eau non transparent.

8. Conclusion

La mesure de la couleur constitue un outil essentiel pour garantir la qualité et la fiabilité de l'eau. Les avancées technologiques ont permis le développement des instruments et des capteurs de plus en plus précis, facilitant ainsi son intégration dans de nombreux secteurs industriels et scientifiques. Par conséquent, dans notre cas d'étude, on essaie d'intégrer le procédé de ce capteur de couleur dans le secteur hydraulique pour assurer la qualité de l'eau.

Chapitre 2

Description du matériel inclus dans le système de détection de couleur

1 . Introduction

Il existe de nombreuses familles des systèmes embarqués tels que l'Arduino, le Raspberry, et le ESP32 qui sont implantés dans la plupart des réalisations grand public ou professionnelles. Ils gèrent au plus juste et au plus vite les applications. Etant donné l'utilité de ce système nous avons jugés nécessaire de consacrer ce chapitre pour décrire ce type de composant.

En effet nous somme concerter sur la présentation de notre choix des outils nécessaires et leurs architecteurs aidants à la réalisation de notre système prototype. La connaissance de la différente caractéristique de ces composants va nous aider à mieux concevoir notre montage prototype.

2. Description du matériels utiliseés au système de détection de couleur

2 .1 Alimentation du système

Une alimentation externe est nesecaire pour faire fonctionner notre montage. Cette alimentation externe peut provenir soit d'un adaptateur AC-DC ou d'une batterie (figure II.1).

2.1.1 Adaptateur AC-DC

L'adaptateur peut être connecté en branchant une fiche à centre positif 2,1 mm dans la prise électrique du bord. Même à partir d'une batterie peut être insérée dans les en-têtes de broche de terre et Vin du connecteur d'alimentation.

Le système à réaliser peut fonctionner sur une alimentation externe de 6 à 20 volts. Si elle est fournie avec moins de 7V, cependant, la broche 5V peut fournir moins de cinq volts et le système peut être instable. Si vous utilisez plus de 12V, le régulateur de tension peut surchauffer et endommager la plage recommandée est de 7 à 12 volts.

Figure II.1 : Image d'Adaptateur AC-DC (12V—3A)

2.1.2 Power Bank

La batterie externe est considérée Batterie externe portable conçue pour recharger les appareils électroniques. Ces appareils, tels que les smartphones, les tablettes et même les ordinateurs portables, sont disponibles en l'absence de prise électrique. Ils offrent diverses capacités et fonctionnalités pour répondre à différents besoins. En revanche, Le power Bank peut fournir une tension de 5V continue stable pour alimenter notre système prototype et le rendre portable.

Les batteries externes varient en fonction de leur méthode de charge et de leurs fonctions supplémentaires, citons donc les différents types de batteries externes :

Batteries externes universelles : Les plus courantes, elles chargent les appareils via des câbles USB (A ou C).

Batteries externes sans fil : elles prennent en charge les technologies Qi ou MagSafe ; il suffit de placer un téléphone compatible dessus pour le recharger sans câble.

Batteries solaires externes : Dotées de panneaux solaires intégrés pour recharger leur batterie interne grâce à la lumière du soleil, elles sont idéales pour le camping.

Batteries externes pour ordinateurs portables : Elles se caractérisent par une tension élevée et une puissance de sortie importante (en watts) (souvent 45 watts et plus) pour alimenter les ordinateurs portables.

Batteries externes robustes : Conçues pour résister aux chocs, à la poussière et à l'eau (norme IP65 ou IP67), elles sont destinées aux activités extérieures difficiles.

Figure II.2 : Image d’un power bank

2.2 Carte Arduino

Ce qui distingue un système embarqué doté d'une carte Arduino des nombreues autres cartes dites de développement est son environnement logiciel. Tous les utilisteurs Aduino profitent du même environnement, qui constitue la pierre d'angle et la raison principale du succès d'Arduino.

En 2005, Massimo Banzi et David Cuartielles ont conçu un appareil programmable (système embarqué) facile à utiliser pour la conception et la réalisation de toutes sortes de projets artistiques interactifs. Le fruit de ce travail, réalise à l'instirut de design interavtif d'Ivrea en Italie. A 2T2 NOMM2 Arduino.

Le produit devait être simple d'emploi (moins cher et bon marché), facile à connecter à toutes sortes de capteurs et d'actionneurs.

Selon les termes même de l'équipe fondatrice Arduino, une carte Arduino peut se résumer à un circuit imprimé sur lequel est soudé un microcontrôleur de la famille AVR Atmel. Le chois du microcontrôleur s'est arrêté sur la famille de microcontrôleurs 8bits AVR d'Atmel. Un microcontrôleur (MCU) est une puce qui éunit toutes les fonctions requises avec des connexions simplifiées. Les microcontrôleurs sont ceux de la société Atmel Corporation de San José en Californie. Presque toutes les cartes Arduino utilisent un modèle sur 8 bits. (le modèle Due embarque un processeur assez différent, un Cortex ARM 32 bits).

2.2.1Caractéristique générale de la carte Arduino Mega

L'Arduino Mega est une carte microcontrôleur basé sur l'ATmega1280. Il dispose de 54 broches numériques d'entrée / sortie (dont 14 peuvent être utilisées comme sorties PWM),16 entrées analogiques, 4UART (ports série matériels), une MHz oscillateur en cristal de 16, d'une connexion USB, une prise d'alimentation, d'une embase ICSP et un bouton de réinitialisation. Il contient tout le nécessaire pour soutenir le microcontrôleur, il suffit de le connecter à un ordinateur avec un câble USB.

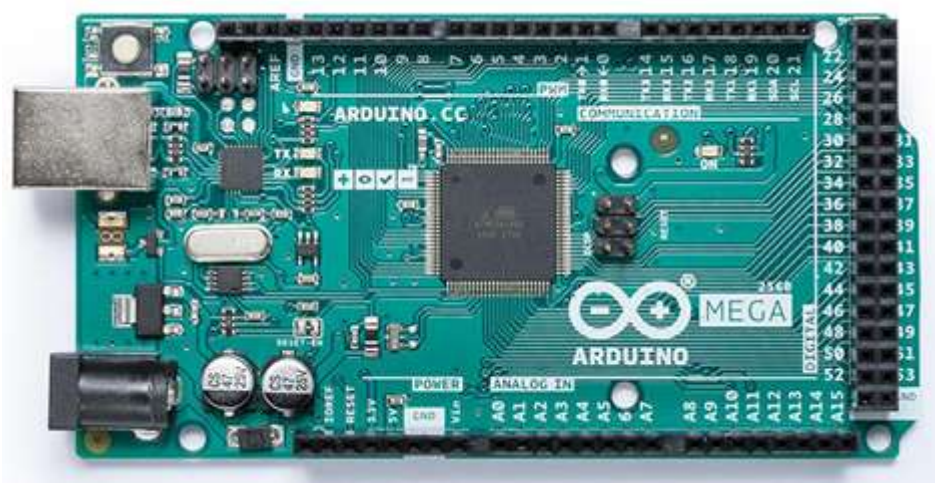

Figure II.3 : Image de la carte Arduino Mega2560

Microcontrôleur ATmega2560

Fonctionnement Tension 5V

Tension d'entrée (recommandé) 7-12V

Tension d'entrée (limites) 6-20V

PINS 54 (dont 15 fournissent PWM) E/S numériques

Bornes d'entrées analogique 16

DC Courant par l /O Pin 40 Ma

Courant pour Pin 3.3V 50 mA

Mémoire flash 256 Ko (dont 8 Ko sont utilisés pour programme de démarrage) 4 Ko EEPROM 8 Ko SRAM interne 32 × 8 registres de travail à usage général.

Compteur en temps réel avec oscillateur séparé.

Quatre canaux PWM 8 bits

Quatre contrôleurs/périphériques USART série programmables Interface série SPI

Vitesse d'horloge 16 MHz

2.2.2 Architecteur de la carte Arduino Mega 2560

Les cartes Mega et Mega 2560 se distinguent par le type de contrôleur, la Mega2560 replaçant la Mega (dont la fabrication est arrêtée chez Arduino.cc).

La figure donne les dimensions externes des Mega et Mega2560. Une carte d'extension bouclier de base (pour Uno, Leonando, etc.) est compatble avec le format Mega, puique les quatorze premières entrées-sorties numériques et les six premières entrées analogiques sont aux même endroits [7].

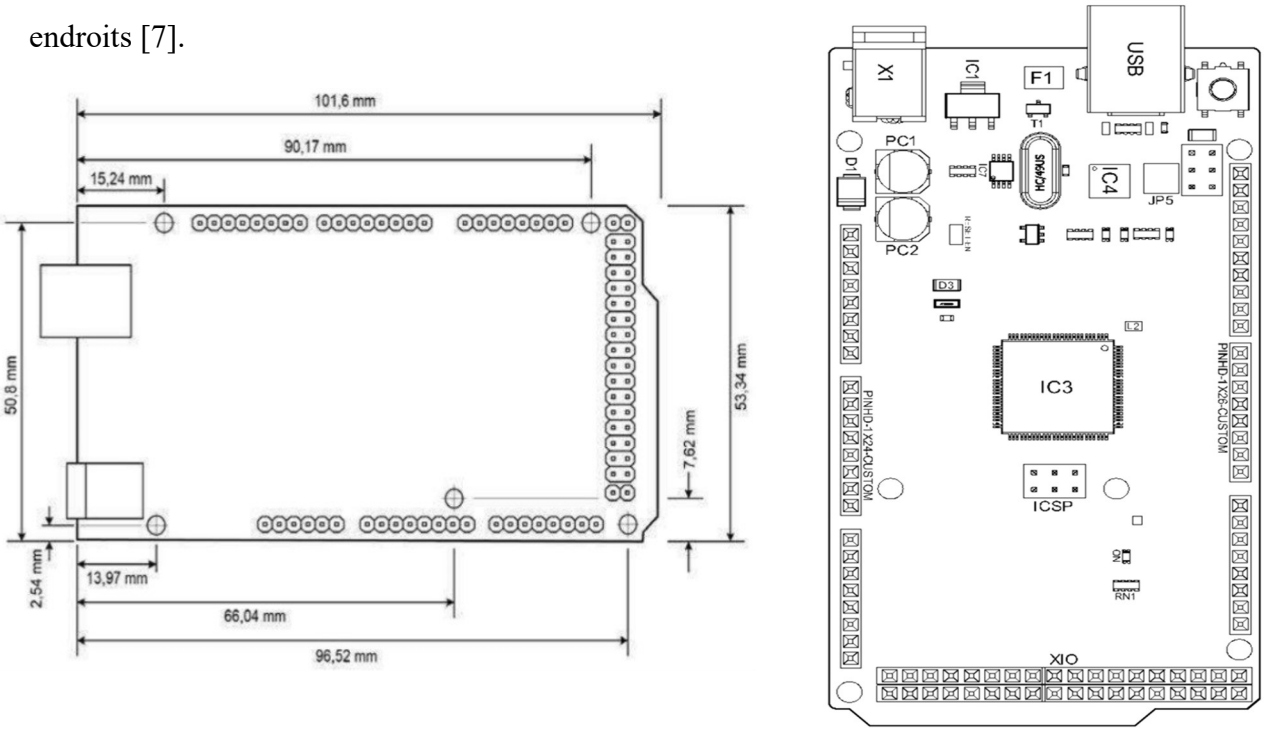

Figure II.4 : Dimensions de la carte Arduino Mega2560 et vue dessus

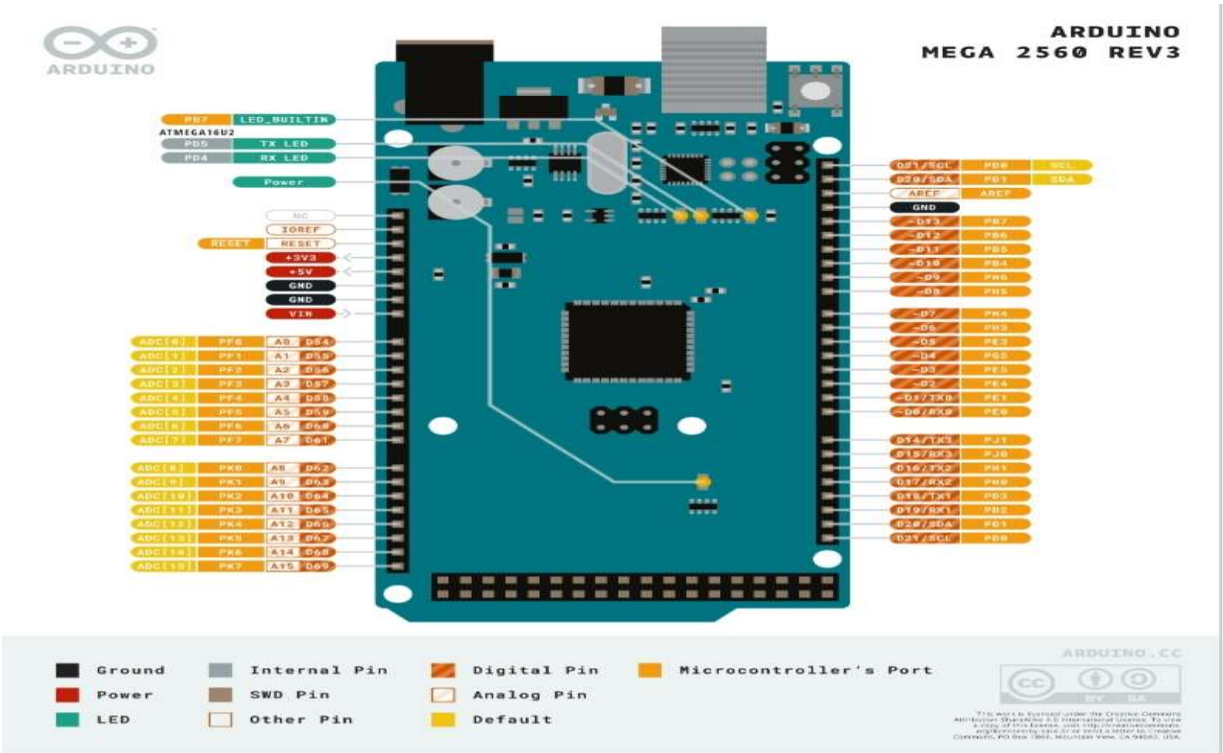

Figure II.5 : Schéma de câblage [7].

2.2.2.1 Broches d'alimentation

Les Arduino Mega peut être alimenté via la connexion USB ou avec une alimentation externe (figureII.12 a). La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

V_{IN} : La tension d'entrée à la carte Arduino quand il s'agit d'utiliser une source d'alimentation externe (par opposition à 5 volts de la connexion USB ou autre source d'alimentation régulée). Vous pouvez la tension d'alimentation à travers cet axe.

5V : L'alimentation régulée utilisée pour alimenter le microcontrôleur et d'autres composants de la carte. Cela peut provenir soit de VIN via un régulateur de bord, ou être alimenté par USB ou d'une autre alimentation de 5V régulée.

3V3 : Une alimentation de 3,3 volt généré par la puce FTDI de bard. Appel de courant maximal est de 50 mA.

GND : Les épingles de la terre [8].

2.2.2.2 Mémoire

Le AT mega 2560 dispose de 256 Ko de mémoire flash pour stocker le code (dont 8 Ko est utilisé pour le bootloader), 8 Ko de SRAM et 4 Ko de mémoire EEPROM (qui peut être lu et écrit avec la bibliothèque EEPROM).

2.2.2.3 Entrée et sortie

Chacune des 54 broches numériques sur le Mega peut être utilisé comme une ou sortie, en utilisant pin Mode (), digital lWrite () et les fonctions digital Read (). Ils fonctionnent à 5 volts.

Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40 mA et a une résistance de pull-up interne (déconnecté par défaut) de 20-50 kOhms.

En outre, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

Serial : 0 (RX) et 1 (TX), série 1 : 19 (RX) et 18 (TX), série 2 :17(RX) et 16 (TX), série 3 :15 (RX) et 14 (TX) . Permet de recevoir (RX) et transmettre (TX) des données du port série TTL Broches 0 et 1 sont également reliés à des broches correspondantes du FTDI USB-TTL puce série.

Interruptions externes : 2 (interruption 0), 3 (alarme 1), 18 (interruption 5), 19 (interruption 4),20 (interruption 3) et 21 (interruption 2). Ces broches peuvent être configurés pour déclencher

une interruption sur une valeur faible, un front montant ou descendant, ou un changement de valeur.

PWM : 2 à 13 et 44 à 46. Fournir 8 bits sortie PWM avec la fonction analogWrite ().

SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Ces broches supportent la communication SPI, qui, bien que fourmi par le matériel sous-jacent, n'est pas actuellement inclus dans le langage Arduino. Les broche SPI sont également réparties sur l'embase ICSP, qui est physiquement compatible avec le Duemilanove et Diecimila.

LED : 13. Il est équipé d'une LED connectée à la broche numérique 13. Lorsque la broche est faible, il est éteint.

I2C : 20 (SDA) et 21 (SCL). Soutenir la communication I2C(TWI) en utilisant la bibliothèque de fil (documentation sur le site Web de câblage).

Le Mega dispose de 16 entrées analogiques, chacun qui fournissent 10 bits de résolution (c. 1024 valeurs différentes). Par défaut, ils mesurent à partir du sol à 5 volts, mais est-il possible de changer de changer l'extrémité supérieure de sa gamme en utilisant la broche AREF et la fonction analogReference ().

Il y a une couple d'autres broches de la carte : AREF. Tension de référence pour les entrées analogiques. Utilisé avec analogReference ().

Réinitialiser, Apportez cette ligne basse pour réinitialiser le microcontrôleur, Généralement utilisé pour ajouter un bouton de réinitialisation de boucliers qui bloquent l'un sur le plateau [8].

2.2.2.4 Ports de Communication

L'Arduino Mega a un certain nombre de facilités pour communiquer avec un ordinateur, un autre Arduino ou d'autres microcontrôleurs. Le ATmega 2560 facilités quatre UART TTL matérielles pour la communication série (5V). Un FT232 sur les chaînes de bord de l'un d'entre eux via un port USB et le pilote FTDI (inclus avec le logique Arduino) fournit un port COM virtuel de logiciel sur l'ordinateur. Le logiciel Arduino comprend un moniteur de série qui permet aux données textuelles simple pour être envoyés vers et depuis la carte Arduino. Le RX et TX LED de la carte clignote lorsque des données sont transmises via la puce FTDI et la connexion USB à l'ordinateur (mais pas pour la communication série sur les broches 0 et 1).

Une bibliothèque Software Serial permet une communication série sur l'un des axes numériques de la Mega.

Le ATmega2560 supporte également la communication I2C (TTW) et SPI. Le logiciel Arduino inclut une bibliothèque de fil à simplifier l'utilisation du bus I2C, voir la documentation sur le site Web de câblage pour plus de détails. Pour utiliser la communication SPI, voir la fiche ATmega2560 sur site www.Arduino.cc [7]**.**

2.2.2.5 Broche Réinitialisation

Plutôt que d'exiger une presse physique du bouton de réinitialisation avant un téléchargement, l'Arduino Mega est conçu d'une manière qui lui permet d'être réinitialisé par un logiciel installé sur un ordinateur connecté. L'une des lignes de contrôle de flux de matériel (DTR) de la FT232 est reliée à la ligne de réinitialisation de l'ATmega2560 l'intermédiaire d'un condensateur de 100 nanofarads. Lorsque cette ligne est affirmée (prises faible), la ligne de réinitialisation tombe assez longtemps pour réinitialiser la puce. Le logiciel Arduino utilise cette capacité pour vous permettre de télécharge du code en appuyant simplement sur le bouton de téléchargement dans l'environnement Arduino. Cela signifie que le bootloader peut avoir un délai plus court, comme l'abaissement du DTR peut être bien coordonné avec le début de la télécharger.

Cette configuration a d'autres implications. Lorsque le Mega est connecté à un ordinateur fonctionnant sous Max OS X ou linux, il réinitialise à chaque fois qu'une connexion est établie avec elle à partir du logiciel (via USB). Pour la demi-seconde ou deux après, le bootloader est en cours d'exécution sur les Mega. S'il programmé pour ignorer les données malformées (c. autre chose que d'un chargement d'un nouveau code), il va intercepter les premiers octets de données envoyés à la carte une fois la connexion est ouverte. Si un croquis exécuté sur le conseil reçoit configuration d'un temps ou d'autres données quand il commence d'abord, assurons-nous que le logiciel avec lequel il communique attend une second après l'ouverture de la connexion et avant de données.

Le Mega contient une trace qui peut être coupé pour désactiver la réinitialisation automatique. Les électrodes sur chaque côte de la trace peuvent soudés ensemble pour le réactiver. Il est étiqueté ''RESET-FR''. Vous pouvez également être en mesure de désactiver la réinitialisation automatique en connectant une résistance de 110 ohms de 5V à la réinitialisation.

2.2.2.6 Protection de surintensité USB

L'Arduino Mega a une polyfuse remise à zéro qui protège les ports USB de votre ordinateur de shorts et les surintensités. Bien que la plupart des ordinateurs fournissent leur propre protection interne, le fusible fournit une couche supplémentaire de protection. Si plus de 500 mA est applique

sur le port USB, le fusible sera automatiquement rompre la connexion jusqu'à ce que le court ou surcharge.

2.2.3 Présentation de l'Espace de Développement Intégré (EDI) Arduino

Les Arduino Mega peuvent être programmées avec le logiciel Arduino (télécharger depuis le site [9] :

Le ATmega2560 sur l'Arduino Mega vient fiabilisées avec un bootloader qui permet de charger un nouveau code pour elle sans l'utilisation d'un programmeur de matériel externe. Il communique en utilisant le protocole STK500 origine (référence, les fichiers d'en-tête C).

On pout également contourner le bootloader et programmer le microcontrôleur grâce à I'ICSP (programmation In- Circuit Serial).

En effet, les outils nécessaires pour programmer Arduino Mega sont :

Un Microordinateur (PC), pour écrire les instructions permettant de confectionner le fichier sketch à extension .cc dans l'environnement IDE Arduino.

Un Logiciel de programmation fourni gratuitement par Société Arduino (à télécharger sur le site]. Il faut l'installer sur un PC et apprendre à servir.

Un câble de liaison USB pour relier le PC et la carte Arduino Mega.

Les fondateurs d'arduino ont alors écrit le microgiciel amorceur (bootloader) qui permet le chargement du progamme puis de l'outil de création fonctionnant sur une machine hôte sous Windows, macOS ou linux pour rédiger et compiler les programmes. Les fondateurs ont décidé de donner aux fichiers contenant le code source le nom de croquis, pour bien montrer que cette écriture devait rester simple comme une esquisse et pouvoir être peaufinée par étapes successives. Tout cela forme l'environnement Arduino.

À chaque carte correspond un domaine d'application. Toutes les cartes partage la même librairie de fonctions open source, le même jeu d'outils avr-gcc et le même logiciel amorceur/chargeur préimplanté dans le microcontrôleur de chaque carte Arduino.

L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série des instructions compréhensible par la carte 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/C+

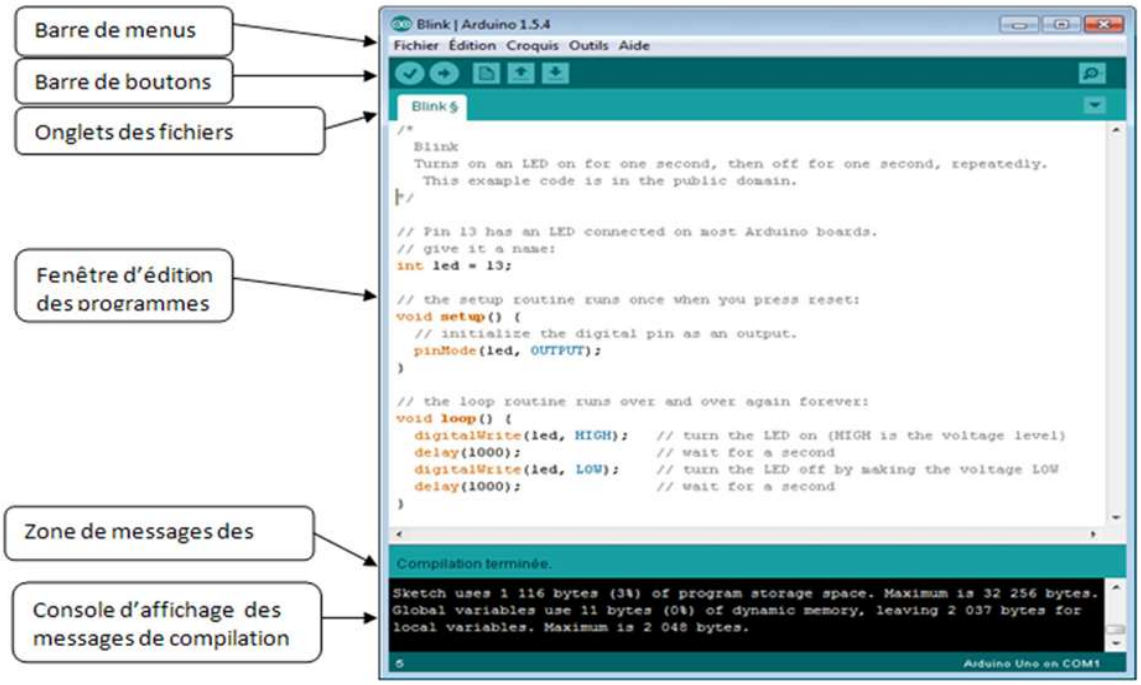

Figure II.6 : Interface IDE Arduino

Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres, dans l'ordre défini par les lignes de code, comme lors d'une programmation classique.

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino via le port USB.

Etape 1 : On crée notre programme adapter à notre étude avec le logiciel IDE Arduino.

Etape 2 : On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation par le bouton Vérifier)

Etape 3 : On téléverse le programme sur la carte (Téléversement du programme).

Etape 4 : On câble le montage électronique carte Arduino avec les sondes et les module de communication et le module d'affichage.

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de la carte (exemple Arduino Mega) et le numéro de port USB (COM 7 comme à titre d'exemple) cette figure suivante apparaitre :

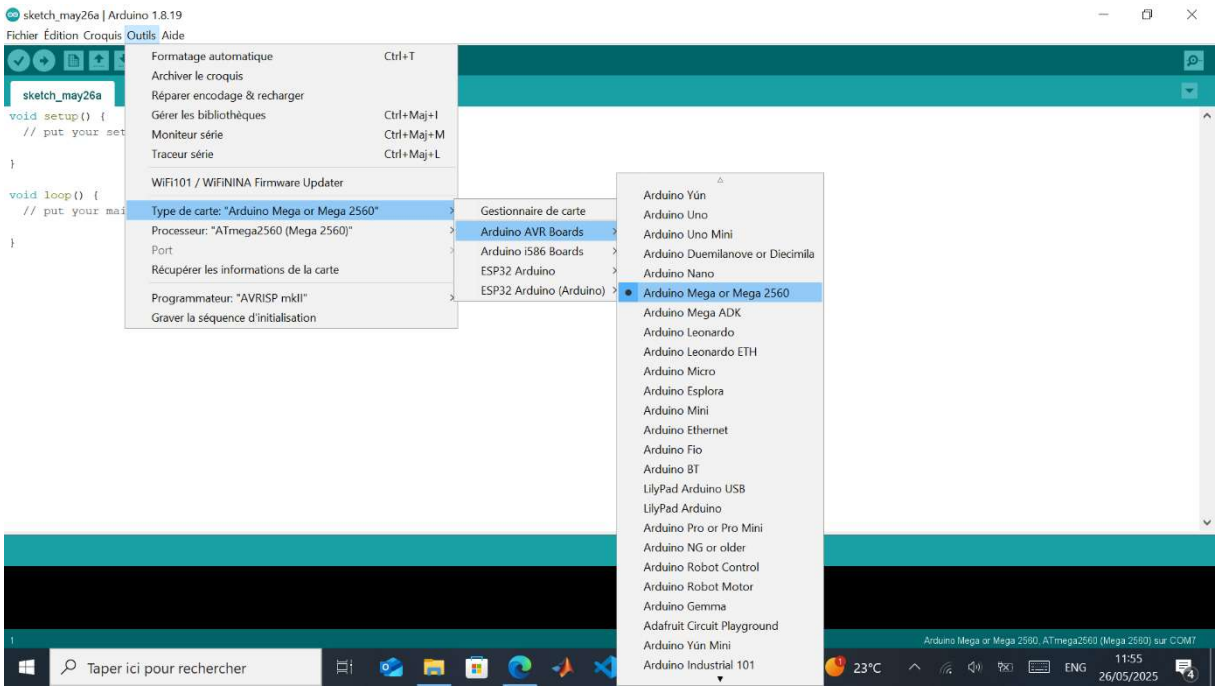

Figure II.7: Paramétrage de la carte Arduino Mega (sélection type de la carte)

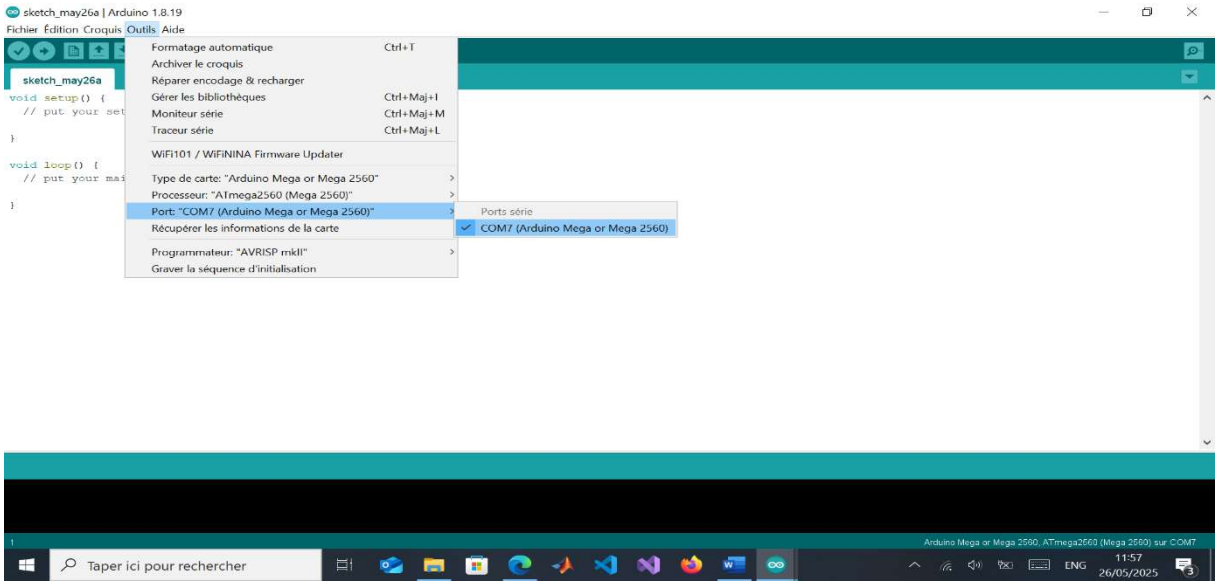

Figure II.8: Choix du port de communication

2.3 Capteur de couleur TCS34725 [10]

En général, chaque photosite est associé à une seule, des 3 couleurs élémentaires rouge, verte ou bleu (RVB) d'un point (pixel) de l'image.

Les techniques utilisées pour reconstituer les pixels RVB à partir des photosites, varient selon les types de capteurs et les fabricants.

Le capteur de couleur TCS34725 trouve de nombreuses applications, notamment dans contrôle du rétroéclairage LED RVB, l'éclairage à semiconducteurs, les produits de santé et de bienêtre, le contrôle des processus industriels et les équipements de diagnostic médical.

2.3.1 Caractéristiques du TCS34725

Le dispositif TCS34725 comprend une matrice de photodiodes 3 × 4, ce capteur fournit un retour numérique des valeurs de détection de la lumière rouge, verte, bleue (RVB) et de la lumière blanche.

Un filtre bloquant les infrarouges, intégré sur la puce et localisé au niveau des photodiodes de détection de couleur, minimise la composante spectrale infrarouge de la lumière incidente et permet des mesures de couleur précises.

Sa haute sensibilité, sa large plage dynamique et son filtre bloquant les infrarouges font du TCS34725 une solution idéale de capteur de couleur pour une utilisation dans des conditions d'éclairage variables et à travers des matériaux atténuants.

De plus, son filtre anti-infrarouge lui permet d'effectuer une mesure de la lumière ambiante.

Cette fonction est largement utilisée dans les produits à écran tels que les téléphones portables, les ordinateurs portables et les téléviseurs pour détecter l'environnement lumineux et adapter automatiquement la luminosité de l'écran, offrant ainsi un confort visuel optimal et des économies d'énergie.

Le TCS34725 peut également passer en mode veille basse consommation entre les mesures de luminosité afin de réduire davantage sa consommation électrique moyenne.

Des interruptions de type niveau sont déclenchées lorsque des valeurs prédéfinies sont dépassées, réduisant ainsi la charge du microprocesseur associé. (Très haute sensibilité, Détection avec filtre bloquant les infrarouges).

Avantages et caractéristiques du convertisseur numérique de lumière couleur TCS34725

• Interruption masqua blé

• Lumière rouge, verte, bleue (RVB) et transparente

• La broche d'interruption programmable permet

• Permet des mesures précises de la couleur et de la luminosité dans des conditions d'éclairage variables en minimisant les effets des composantes spectrales IR et UV filtre de persistance.

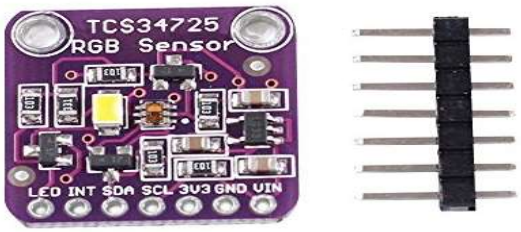

Figure II.9 : Capteur de couleur TCS34725

TCS34725 comprend une matrice de photodiodes 3 × 4, quatre convertisseurs analogique numérique (CAN) intégrant le courant des photodiodes, des registres de données, une machine à états et une interface I²C.

La matrice de photodiodes 3 × 4 est composée de photodiodes filtrées rouge, verte, bleu et transparentes (non filtrées). De plus, les photodiodes sont recouvertes d'un filtre bloquant les infrarouges.

Les quatre CAN intégrateurs convertissent simultanément les courants amplifiés des photodiodes en une valeur numérique 16 bits. À la fin d'un cycle de conversion, les résultats sont transférés vers les registres de données, qui sont protégés par un double tampon afin de garantir l'intégrité des données.

La machine à états gère la temporisation interne ainsi que l'état d'attente basse consommation.

La communication des données du TCS34725 s'effectue via un bus série I²C à deux fils rapides, jusqu'à 400 kHz. Ce bus I²C, standard de l'industrie, facilite la connexion directe aux microcontrôleurs et aux processeurs embarqués.

Outre le bus I²C, le TCS347225 fournit une sortie de signal d'interruption dédiée. Lorsque les interruptions sont activées et que des seuils définis par l'utilisateur sont dépassés, l'interruption active à l'état bas est déclenchée et reste active jusqu'à son effacement par le contrôleur.

Cette fonctionnalité d'interruption simplifie et améliore l'efficacité du logiciel système en éliminant la nécessité d'interroger le TCS347225.

L'utilisateur peut définir les seuils d'interruption haut et bas et appliquer un filtre de persistance d'interruption.

Le filtre de persistance d'interruption permet à l'utilisateur de définir le nombre d'événements consécutifs hors seuil nécessaires avant la génération d'une interruption.

La sortie d'interruption est à drain ouvert, ce qui permet de la connecter par un OU logique à d'autres périphériques.

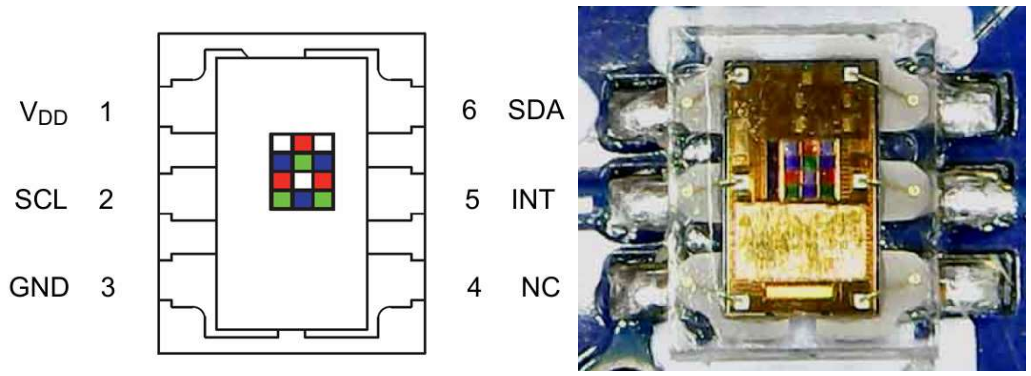

Figure II.10: Schéma des broches de TCS34725

Numéro de broche	Nom de la broche	Type de broche	Description
1	VDD		Tension d'alimentation
2	SCL	Entrée	Tension d'entrée d'horloge série I^2C – signal d'horloge pour les données série I^2 C
3	GND		Masse de l'alimentation. Toutes les tensions sont référencées à la masse
4	NC	Sortie	Non connecté -ne pas connecter
5	INT	Sortie	Interruption – drain ouvert (actif bas).
6	SDA	Entrée /sortie	Borne d'E/S de données série I^2 C – E/S de données série I^2 C

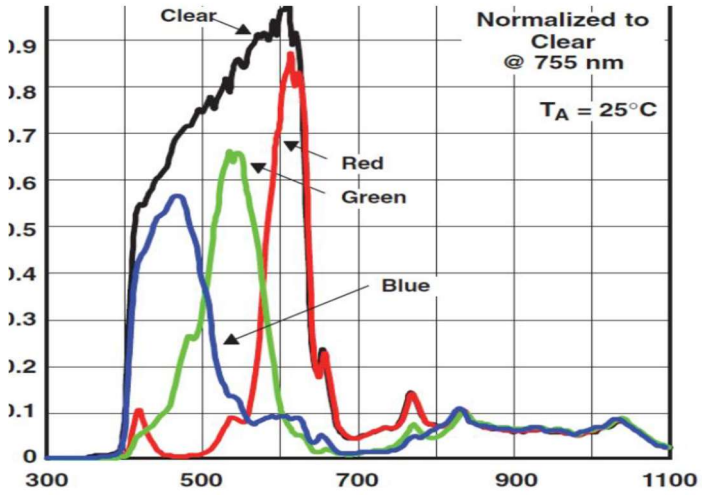

Figure II.11: Réponse spectrale de la photodiode RVBC [10]

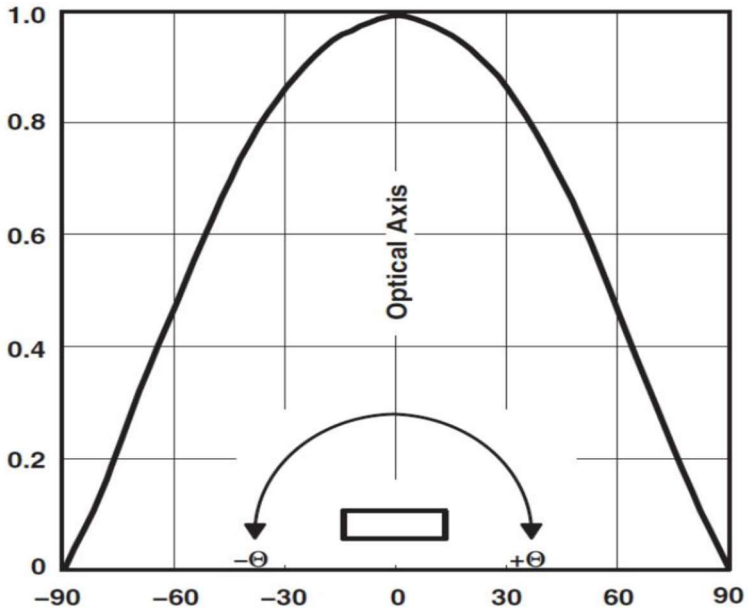

Figure II.12 : Réponse normalisée en fonction de déplacement angulaire [10]

2.3.2 Fonctionnement RVBC [10]

Le module RVBC (Rouge, Vert, Bleu, et Clair) comprend un contrôle de gain RVBC (AGAIN) et quatre convertisseurs analogique numérique (CAN) intégrateurs pour les photodiodes RVBC. Le temps d'intégration RVBC (ATIME) influe sur la résolution et la sensibilité de la mesure RVBC.

L'intégration des quatre canaux s'effectue simultanément et, une fois le cycle de conversion terminé, les résultats sont transférés vers les registres de données couleur.

Ces données sont également appelées canal, compter es transferts sont mis en mémoire tampon à deux reprises afin de garantir que les données invalides soient.

Les données ne sont pas lues pendant le transfert. Périphérique passe automatiquement à l'état suivant conformément à la machine à périphérique passe automatiquement à l'état suivant conformément à la machine à états configurée.

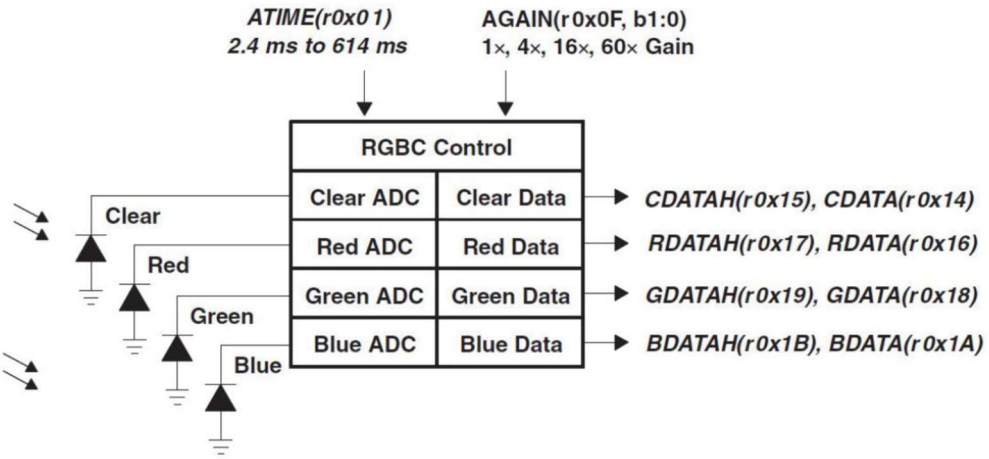

Figure II.13: Schéma du fonctionnement RVBC (RGBC) et leur adressage mémoire [10]

Dans cette figure II.13, la nomenclature utilise le nom du champ de bits en italique, suivi de l'adresse du registre et du numéro du bit, afin de permettre à l'utilisateur d'identifier facilement le registre et le bit qui contrôlent la fonction. Par exemple, la mise sous tension (PON) se trouve dans le registre 0x00, bit 0. Ceci est représenté par PON (r0x00:b0) [10].

2.5 Module Bluetooth HM-10 BLE 4.0

Le HM -10 est un petit module Bluetooth 4.0 BLE SMD fonctionnant en 3.3V, basé sur les SOC Bluetooth TI CC2540 ou CC2541 (System On Chip). Le HM-10 est fabriqué par Jinan Huamao et fait partie de nombreux dispositifs Bluetooth qu'ils produisent [11].

Le HM-10 est devenu un module Bluetooth 4 BLE très populaire pour une utilisation avec Arduino. Cela est en partie dû à la connexion série UART standard qui permet de se connecter assez facilement à un Arduino. La couche UART est à la fois un avantage et un inconvénient : elle facilite l'utilisation, mais masque la couche BLE, ce qui empêche de contrôler le côté BLE proprement dit.

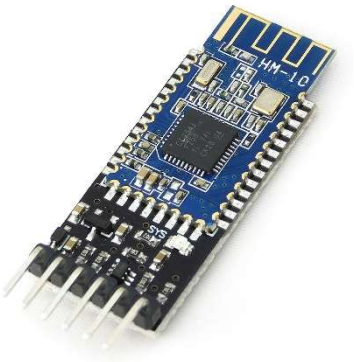

Figure II.14: Image du module HM-10BLE 4.0

2.6 Afficheur LCD

L'afficheur LCD 16×02 est un écran à cristaux liquides capable d'afficher 16 caractères sur deux lignes. Avec une ROM intégrée contenant 160 caractères. Le rétroéclairage de l'écran est vert. Cet afficheur, de dimensions 80mm x 35mm x 11mm, avec une zone de visualisation de 64.5mm x 16mm, est fréquemment utilisé dans des appareils tels que photocopieuses, télécopieurs, imprimantes laser, et équipements de réseau, offrant une facilité de programmation et une adaptabilité à divers projets.

Afficheur LCD 2 x16 caractères rétroéclairé se raccordant via le bus I^2C sur un microcontrôleur (Arduino ou Raspberry Pi).

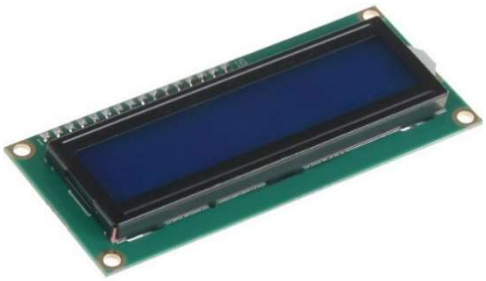

Figure II.15 : Image d'un afficheur LCD 16X2 [12]

Le câblage se fait comme suit : GND—GND ; VCC—VCC ; SDA—Port Analogique ou SDA Arduino Maga; SCL—Port Analogique ou SCL Arduino Maga.

Tension de fonctionnement (Alimentation Vcc) : 5 V

Un potentiomètre utilisé pour régler le rétroéclairage et le contraste

Interface : I2C (adresse 0x27)

Contraste ajustable via potentiomètre

Dimensions : 80 x 38 x 18 mm

3. Conclusion

La compréhension de modules exposées dans ce chapitre nous offre des bases de connaissances pour l'usage de la carte d'acquisition Arduino. Dans ce chapitre, notre travail s'est focalisée sur la présentation de ce système embarqué choisi Arduino Mega, et le matérielle nécessaire pour réaliser ce projet tout en commençant par un bref historique et quelques détails concernant la création et l'utilité de ce système. Par la suite nous avons donné son côté matériel, enfin présenter le logiciel et le langage de programmation qui permet de le flasher.

Chapitre 3

Réalisation, implémentation et mise en service du système intelligent

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la réalisation, l'implémentation et la mise en service du système intelligent développé pour la détection et le changement de couleur de l'eau. Cette partie représente la phase pratique du projet, où les composants matériels et logiciels sont assemblés afin d'assurer le bon fonctionnement du système. Elle comprend la conception du montage électronique, l'intégration des capteurs, et la programmation de la carte Arduino Mega pour garantir un traitement intelligent des données collectées. Après l'implémentation et calibration, plusieurs tests et vérifications seront réalisés afin d'évaluer les performances, la fiabilité et l'efficacité du ce système intelligent. Cette partie permet ainsi de valider le fonctionnement global du prototype et de démontrer sa capacité à répondre aux objectifs fixés au début de ce projet.

2. Conception du système de détection de la couleur de l'eau

Le système embarqué choisi Arduino Mega est préprogrammé, de tel sorte nous détecterons la couleur de l'eau. Cette couleur sera indiquée dans un afficheur LCD ou superviser dans un smartphone via Bluetooth ou un câble USB par le PC.

Nous avons réalisé ce système prototype dans une boîte de plastique pour un meilleur disposition (figure III.1).

Le tableau suivant illustre le matriels utilisés pour realiser notre système avec leurs prix :

Image du Module	Désignation	Caractéristiques	Prix (DA)
	Module Arduino Mega	ATmega2560 Processor (16MHz)	4400,00
	Capteur de couleur	TCS 34725	1.150,00
	Module Bluetooth	HM-10 BLE 4.0	1200.00
	Alimentation continue Ou	Alimentation (AC-DC) +12[V] 6000mah	500.00 4800,00

	Power Bank		
	Afficheur LCD	16x2, I2C	1300.00
	Files de connexion jumper électrique (10x files)	F/M 10cm M/M 10cm	100.00
	Boitier en plastique		50.00
			Total Prix :8700 ou 13000 (pour le choix power bank)

Tableau III.1 : Liste des matériels

Ainsi le câblage de notre système est donné par la figure suivante :

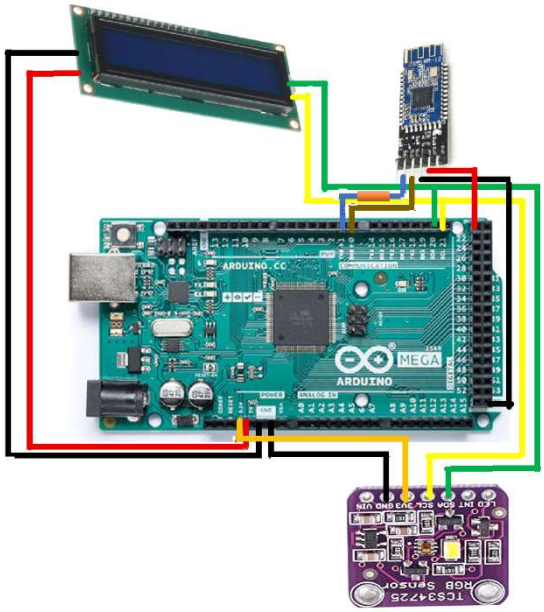

Figure III. 1 : Câblage du système de détection de changement de la couleur de l'eau avec connexion Bluetooth.

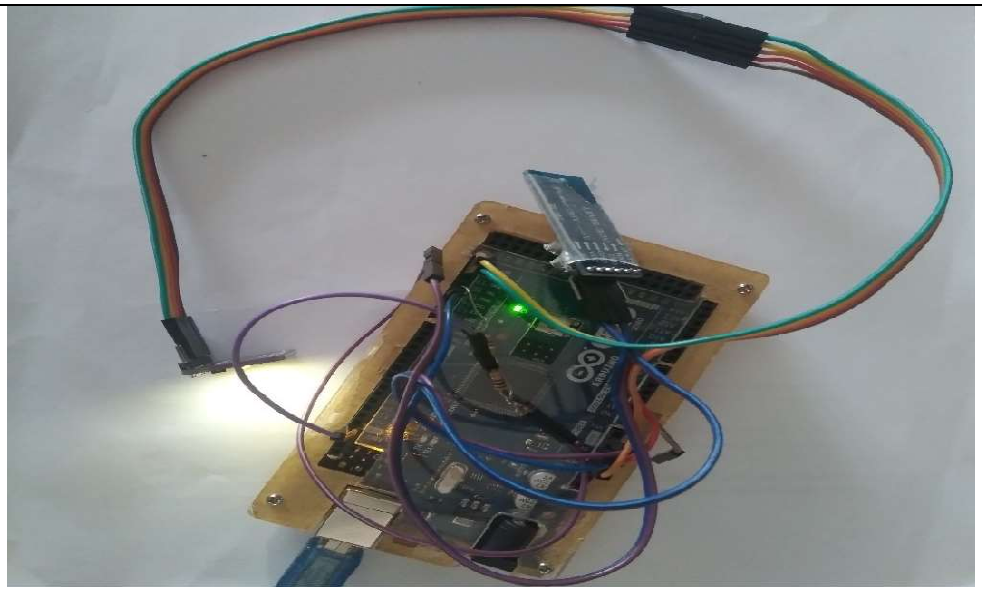

Figure III.2 : Photo du montage prototype réalisé

Le tableu suivant donne la désignation du branchement de ce montage :

Broche Bluetooth HM-10	**Signification**	**Connexion à Arduino Mega**
STATE	Sortie Etat du HM-10	Non connecter
RXD	Réception des Données	TX0
TXD	Transmission des Données	RX0
GND	Masse	GND
VCC	Alimentation (attention 3.3V non 5V)	3.3V
EN		Non connecter
Broche Capteur TCS34725	**Signification**	**Connexion à Arduino**
GND	Masse	GND
SDA	Ligne de Données Série (constitue le bus de communication I^2C)	SDA
SCL	Ligne d'Horloge Série (constitue le bus de communication I^2C)	SCL

RXD	Réception des Données	TX1 (il faut ajouter un pont diviseur de tension (2 résistances) pour baisser la tension a 3.3V
Afficheur LCD 16×02	**Signification**	**Connexion à Arduino**
VCC	Alimentation (5V)	5 V
SDA	Ligne de Données Série (constitue le bus de communication I^2C)	SDA
SCL	Ligne d'Horloge Série (constitue le bus de communication I^2C)	SCL
GND	Masse	GND

Tableau III.2 : Désignations du branchement des modules et capteur avec Arduino Mega

2.1 Description et normalisation du code couleur RVB

Le code couleur RVB présente sous la forme de 3 couples de codes en chiffres compris entre 0 et 255. Chaque couple représente la valeur nécessaire de chacune des couleurs primaires pour obtenir la couleur désirée. Les trois codes représentent respectivement la valeur du rouge, du vert et du bleu [6].

L'espace colorimétrique RVB ou le système de couleurs RVB construit toutes les couleurs à partir de la combinaison des couleurs Rouge, Vert et Bleu. Le rouge, le vert et le bleu utilisent 8 bits chacun, qui ont des valeurs entières de 0 à 255 [6].

Cela rend 256 * 256 * 256 = 16777216 couleurs possibles.

Le Format de couleur RVB est de 24 bits (bits 0..23):

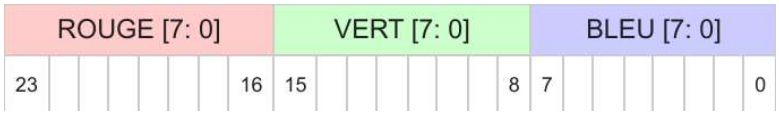

Figure III.3: representation du code Couleur RVB dans un register a 8bit [6]

Le calcul du code RVB est :

RVB = (R*65536)+(V*256)+B , (R est ROUGE, V est VERT et B est BLEU)

Exemples de calcul code des couleurs [6] (Voir Annexe table des code couleur RVB)

Couleur RVB blanche, RVB code = 255*65536+255*256+255 = #FFFFFF

Couleur RVB bleue, RVB code = 0*65536+0*256+255 = #0000FF

Couleur RVB rouge, RVB code = 255*65536+0*256+0 = #FF0000

Couleur RVB verte, RVB code = 0*65536+255*256+0 = #00FF00

Couleur RVB grise, RVB code = 128*65536+128*256+128 = #808080

Couleur RVB jaune, RVB code = 255*65536+255*256+0 = #FFFF00 (Figure III.5)

Pour le transparent le ratio entre les valeurs est équilibré (comme le blanc), Mais une valeur de Clair *C* bien plus faible.

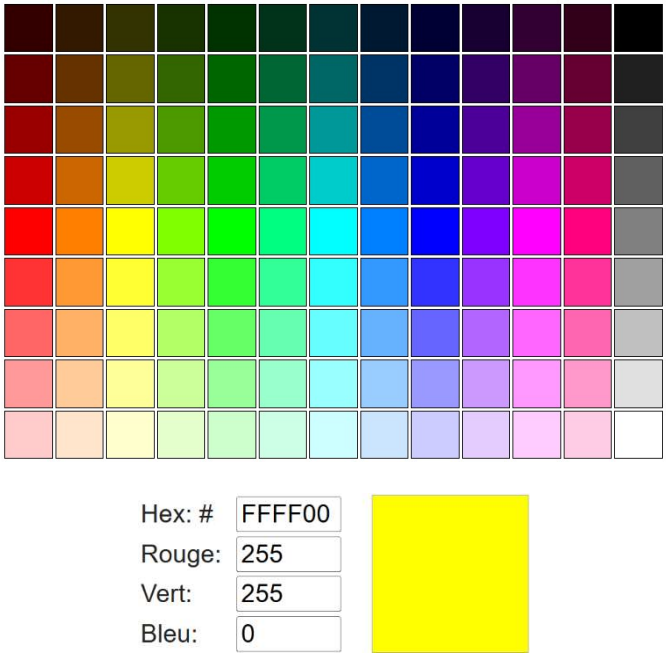

Figure III.4 : Exemple espace colorimétrique RVB du jaune (valeur de R,V,B en hexadécimal et en Décimal) [6]

En effet le capteur TCS34725 fournit un retour numérique des valeurs de détection de la lumière rouge, verte, bleue (RVB) et de la lumière blanche (C, Clair).

Les quatre convertisseurs analogiques numérique intégrateurs, convertissent simultanément les courants amplifiés des photodiodes en une valeur numérique de 16 bits. À la fin d'un cycle de conversion, les résultats sont transférés vers les registres de données donc on trouve 2^{16} bits 65536

de valeur différente. 65535 *65535 * 65535 = 2^{48}, donc plus de 4 milliards de nuances de couleurs sont possibles.

Le capteur TCS34725 fournit des valeurs 16 bits (0–65535), donc si on convertit en 8 bits avec R_8bits = R_16bits / 256, on perd beaucoup d'information.

Une meilleure approche est souvent de normaliser les valeurs détecter qui sont en 16 bits.

Afin de garantir l'intégrité des données, on va travailler avec des valeurs normalisées puis la conversion en valeur en 8bits. Moyennant des formules suivantes quand va les intégrer à notre code du programme IDE Arduino.

Les valeurs normalisées :

$$R_n = \frac{R_{16}}{R_{16} + V_{16} + B_{16}}$$

$$V_n = \frac{V_{16}}{R_{16} + V_{16} + B_{16}}$$

$$B_n = \frac{B_{16}}{R_{16} + V_{16} + B_{16}}$$

Maintenant on peut trouver les valeurs en 8 bits :

$$R_8 = R_n * 255$$

$$V_8 = V_n * 255$$

$$B_8 = B_n * 255$$

2.2 Mise en œuvre du code du système

La carte Arduino présente le noyau de notre système, elle est programmée par un logiciel compatible appelé Arduino EDI (Espace de développement intégrée) utilise le langage C++, qui est une application écrite en Java.

Le téléchargement étant effectué depuis le site officiel d'Arduino son installation sur l'ordinateur n'offre aucune difficulté particulière. Sous Windows une icône 'Arduino' apparaît sur le bureau. En cliquant sur elle, on obtient l'écran ci-dessous :

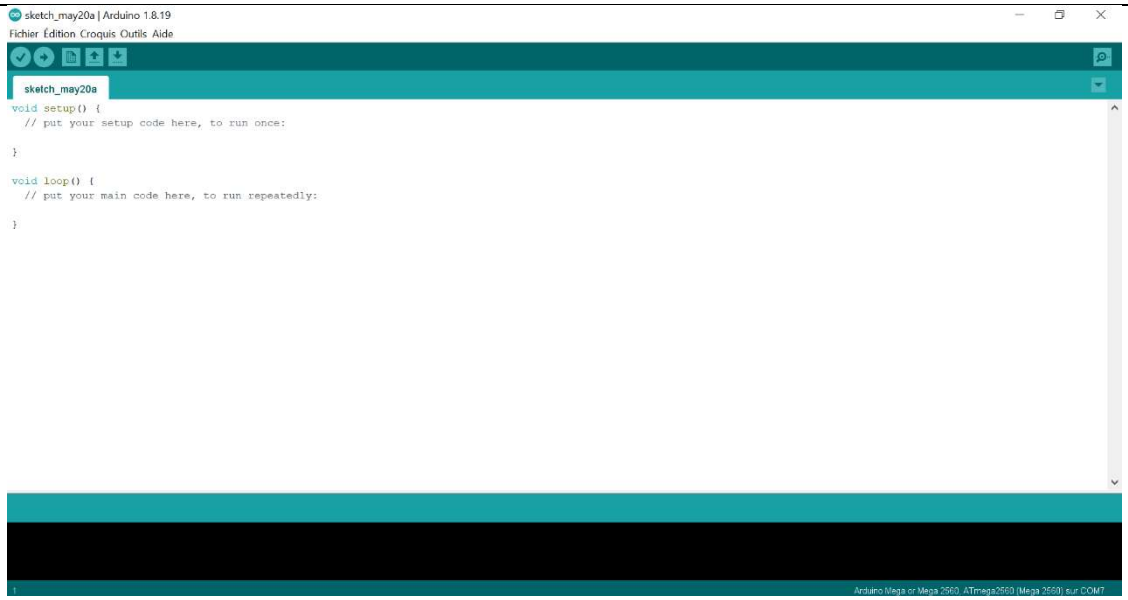

Figure III.5 : fenêtre d'accueil Arduino IDE

2.2.1 Démarrage avec Arduino IDE

Arduino IDE est un outil de développement spécifique aux système embarquée Arduino, ESP 32, et d'autre. Il permet d'écrire, mettre au point et optimiser les programmes, sous Windows ou Linux.

- **Première étape : création du new Project**

Créer un projet revient à définir entre autres :

  - Le nom que va porter le programme ;
  - Les fichiers qu'IDE Arduino devra utiliser au cours du développement. Un projet comporte un nom, avec extension ***.cc***

- **Création d'un projet :**

  Lancez Arduino IDE, puis allez dans :

  Fichier → Nouveau

Cette manœuvre ouvre la fenêtre suivante

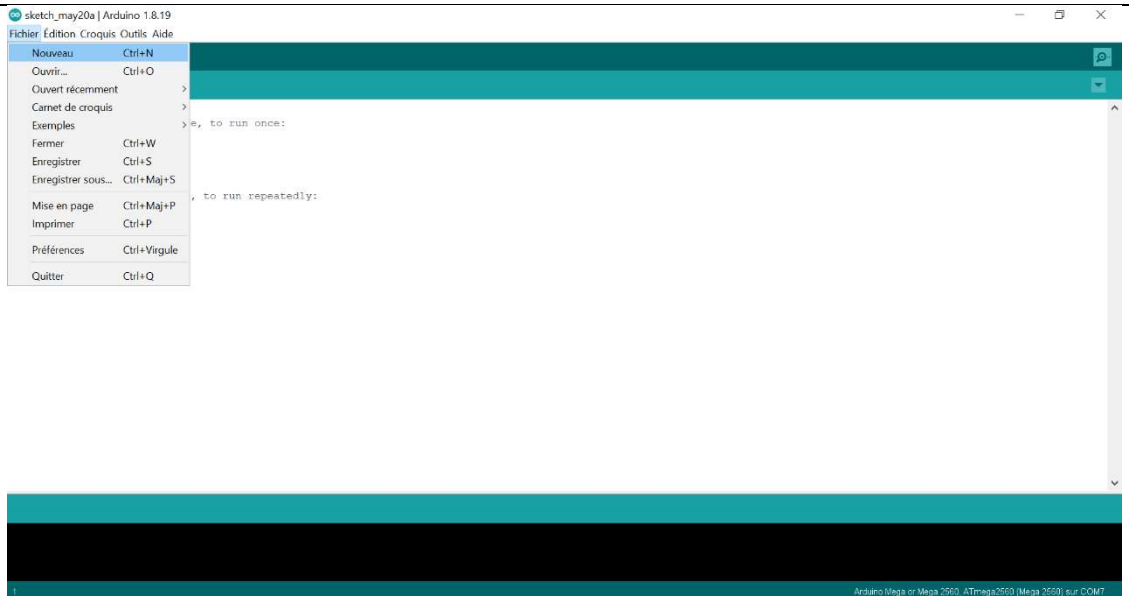

Figure III.6 : Etape d'ouverture de nouveau projet

Par la suite on choisit le type de carte qu'on voulut flasher

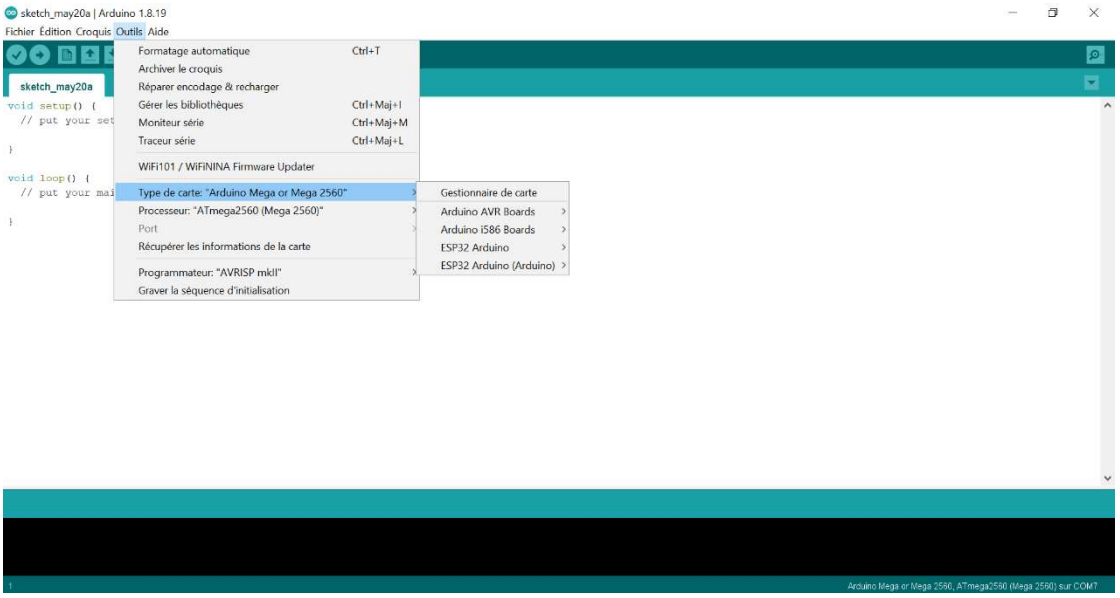

Figure III.7 : Choix du type de carte (Arduino Mega)

A partir de là on peut commencer à écrire notre programme adapté à résoudre le problème et réaliser notre cahier de charge, qui sera décrit dans le paragraphe suivant.

2.2.2 Description du Code Arduino

Un programme ou un code Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle (ligne par ligne). La carte Arduino Mega lit puis effectue les instructions les unes après les autres dans l'ordre défini par les lignes de codes.

Ainsi notre programme est écrit dans la fenêtre présentée dans la figure III.6 comme suit :

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_TCS34725.h"
// Initialisation du capteur
Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_154MS, TCS34725_GAIN_4X);
uint8_t  rr, bb, gg;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("=== Détection de couleurs avec TCS34725 ===");
  if (tcs.begin()) {
    Serial.println("Capteur TCS34725 détecté !");
  } else {
    Serial.println("Erreur : capteur non détecté !");
    while (1);
  }
}

void loop() {
  uint16_t r, g, b, c;
  tcs.getRawData(&r, &g, &b, &c);
  // Normalisation pour comparaison
  float somme = r + g + b;
  float Rn = (float)r / somme;
  float Gn = (float)g / somme;
  float Bn = (float)b / somme;
 // conversion en 8_Bit
  rr=(Rn*255);
  gg=(Gn*255);
  bb=(Bn*255);
 //Serial.print(" rr= "); Serial.print(rr);
  //Serial.print(" gg=: "); Serial.print(gg);
  //Serial.print(" bb=: "); Serial.print(bb);
  //Serial.print(" clear: "); Serial.print(c);
  String couleur = detecterCouleur(Rn, Gn, Bn, c);
```

```
  Serial.print(" R: "); Serial.print(Rn);
  Serial.print("  G: "); Serial.print(Gn);
  Serial.print("  B: "); Serial.print(Bn);
  Serial.print("  C: "); Serial.print(c);
  Serial.print("  => Couleur détectée : ");
  Serial.println(couleur);
  delay(2000);
}
String detecterCouleur(float Rn, float Gn, float Bn, uint16_t c) {
  // Gestion du noir et blanc
 if (0.32< Rn && Rn < 0.45 && 0.32< Gn && Gn < 0.42 && 0.22< Bn && Bn < 0.28 && c<740) return "Noir. Cause probable présence de métaux lourds dissous le Manganèse";
  if (0.37< Rn && Rn < 0.44 && 0.33< Gn && Gn < 0.41 && 0.19< Bn && Bn < 0.26 && c>2621) return "Blanc. Cause probable présence de matières organiques naturelles";
  // if (c > 2000 && Rn > 0.3 && Gn > 0.3 && Bn > 0.3) return "Blanc";
  // Détection des teintes principales
  if ( 0.58< Rn && 0.15< Gn && Gn < 0.23 && 0.12< Bn && Bn < 0.20)return "Rouge et nuance de rouge. Cause présence de métaux lourds dissous le Fer";

  if ( 0.26< Rn && Rn < 0.42 && 0.45< Gn && 0.12< Bn && Bn < 0.24)return "Vert et nuance de vert. Cause probable présence d'espèce d'algue";
  if ( 0.17< Rn && Rn < 0.40 && 0.29< Gn && Gn < 0.49 && 0.25< Bn)return "Bleu et nuance de Bleu. Cause probable présence d'espèce d'algue";
  // Couleurs secondaires
  if (0.27< Rn && Rn < 0.54 && 0.34< Gn && Gn < 0.46 && 0.10< Bn && Bn < 0.15) return "Jaune et nuance de Jaune. Cause probable présence de matières organiques naturelles";
  if (0.53< Rn && Rn < 0.74 && 0.13< Gn && Gn < 0.32 && 0.10< Bn && Bn < 0.28) return "Orange à rouge rouille. présence de métaux lourds dissous le Fer ";
  if (0.26< Rn && Rn < 0.44 && 0.24< Gn && Gn < 0.40 && 0.17< Bn && Bn < 0.27) return "Rose";
  if ( 0.37< Rn && Rn < 0.44 && 0.31< Gn && Gn < 0.39 && 0.21< Bn && Bn < 0.26 && 734<c && c<9594) return "Gris et nuance de gris, Cause probable présence des particules en suspension le limon (silt) et l'argile";
if (0.44< Rn && Rn < 0.53 && 0.29< Gn && Gn < 0.38 && 0.14< Bn && Bn < 0.25) return "Marron. présence de métaux lourds Manganèse ou particules en suspension l'argile";
if (0.25< Rn && Rn < 0.34 && 0.39< Gn && Gn < 0.47 && 0.25< Bn && Bn < 0.31 && 2081<c && c<4055) return "Transparent";
  return "Inconnu";
}
```

Le capteur fonctionne sans amplification de signal lorsque on utilise la bibliothèque "Adafruit_TCS34725.h". Alors pour la lumière détectée le gain agit comme :

- 1X → aucune amplification
- 4X → amplification ×4
- 16X → amplification ×16
- 60X → amplification ×60

A la fin de cette étape on peut maintenent compiler le programme en fin le téléverser dans la carte Arduion Mega.

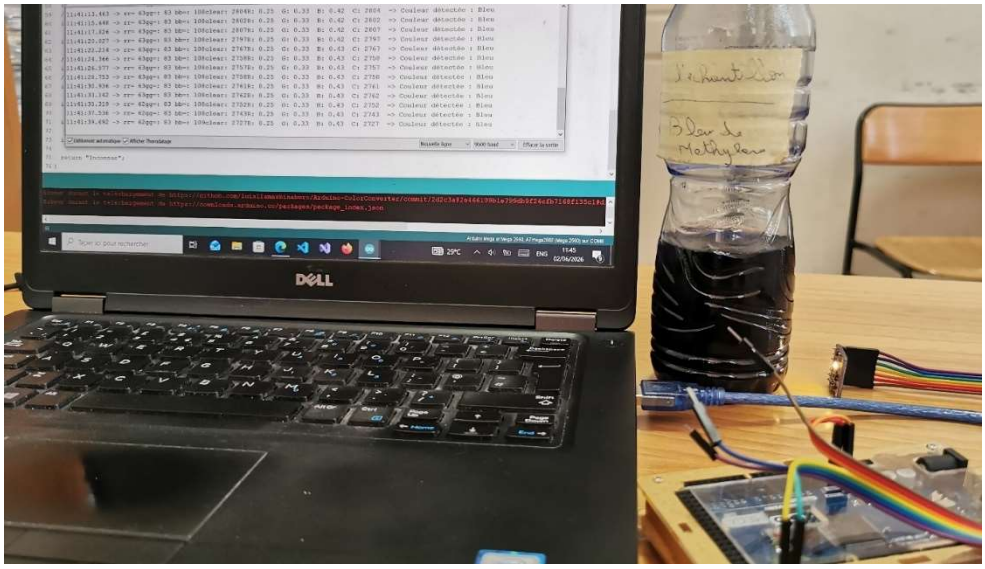

Figure III.8 : Connexion du montage au PC via USB

2.3 Mise en service du système et calibrage

Le travail que nous avons proposé ici consiste à manipuler des couleurs de l'eau issues des échantillons afin de tester et valider notre montage. Dans une second étape, le système prototype sera appliqué à des échantillons réels prélevés dans l'environement, en vue didentifier les causes les plus probables de changement de couleur de l'eau.

2.3.1 Calibrage du système

Un étalonnage est recommandé pour maintenir la précision de notre système qui est construit autour d'un capteur optique TCS 34725, pour la mesure précise de la couleur dans les liquides dans la gamme visible du spectre électromagnétique.

Les capteurs de couleur de l'eau sont calibrés à l'aide de solutions de référence avec des couleurs connues.

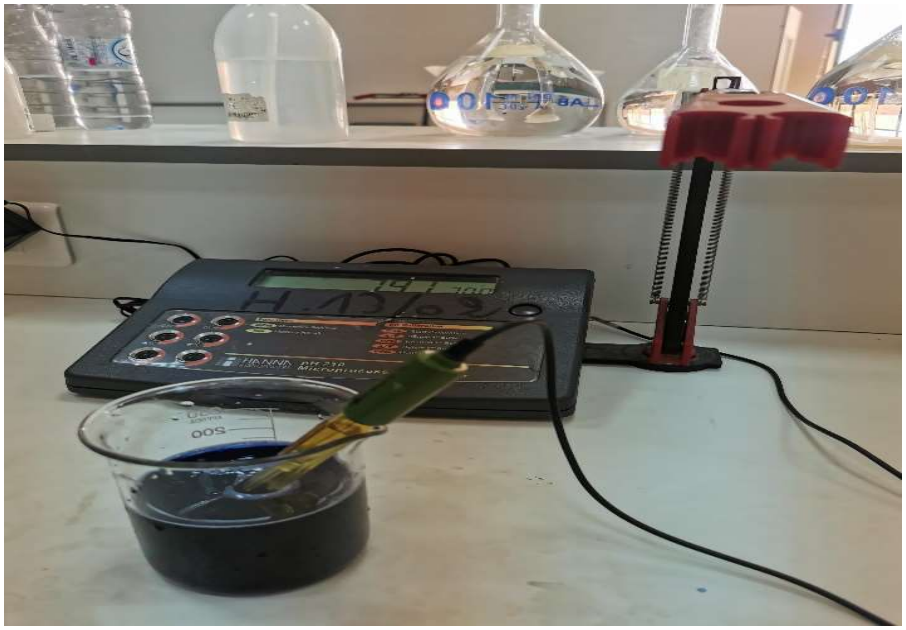

Figure III.9 : Image de prise de mesures dans le labo Hydraulique pour l'étalonnage de notre système prototype.

Ces normes de référence garantissent que le capteur fournit des mesures précises sur une gamme de couleurs pour assurer une mesure des changements de couleur les plus faibles, en garantissant les standards de qualité les plus élevés.

Des solutions calibrées utilisées pour étalonner notre montage avant utilisation, généralement des solutions avec des couleurs et pH connues (par exemple le bleu de Méthylène de pH=7.9), relevé au laboratoire de l'hydraulique de l'universite de Msila (figure III.4).

Figure III.10 : Echantillons de différentes couleurs

En Plaçant, le capteur à une distance fixe (1cm par exemple) figure (III.15). Ensuite on ouvre le moniteur série dans l'Arduino IDE. Puis on Observe les valeurs R, G, B, C brutes affichées, pour compléter le tableau suivant :

Couleur testée	**Valeur brute de C (clair)**	**Valeur normalisée Rn= R/(R+G+B)**	**Valeur normalisée Gn= G/(R+G+B)**	**Valeur normalisée Bn= B/(R+G+B)**
Rouge et nuance du rouge	>1545	0.59 0.71	0.16 0.22	0.13 0.19
Vert et nuance du vert	>1545	0.27 0.41	0.55 0.55	0.13 0.23
Bleu et nuance du Bleu	>1545	0.18 0.39	0.30 0.48	0.26 0.45
Jaune **nuance de Jaune**	>1545	0.28 0.53	0.35 0.45	0.11 0.27
Orange **Et nuance d'orange**	>1545	0.54 0.73	0.14 0.31	0.11 0.18
Rose et nuance du rose	>1545	0.27 0.43	0.25 0.39	0.18 0.26
Marron **et nuance du marron**	>1545	0.45 0.52	0.30 0.37	0.15 0.24
Blanc	2622 33468	0.38 0.43	0.34 0.40	0.20 0.25
Noir	214 1545	0.33 0.44	0.32 0.41	0.23 0.27

Gris et nuance du gris	739 9593	0.38 0.43	0.32 0.38	0.22 0.25
Transparent	2081 4055	0.26 0.33	0.40 0.46	0.26 0.30

Tableau III.3 : Calibration des couleurs (TCS34725)

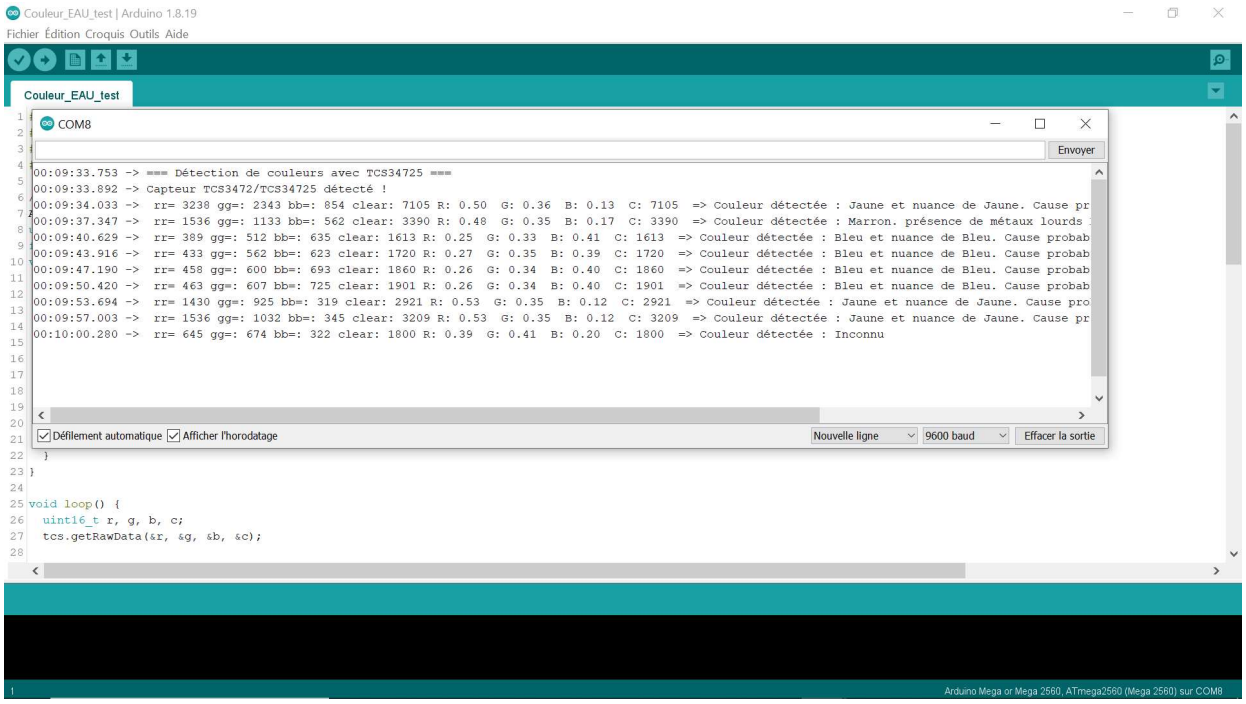

Figure III.11 : Affichage de detection de type de couleur sur le moniteur serie (port COM7)

En effet, pour superviser maintenant ces données sur smartphone via Bluetooth, nous devons Telecharger dabord « Serial Bluetooth » depuis Playstore sur un smartphone. Par la suite ouvrire l'application Serial Bluetooth pour ce connecter avec le module Bluetooth de notre montage. Les donnees de detection de changement de couleur de l'eau serons visionnées sur le smartphone

Alors la figure suivante montre ce que nous supervisons dans le Smartphone:

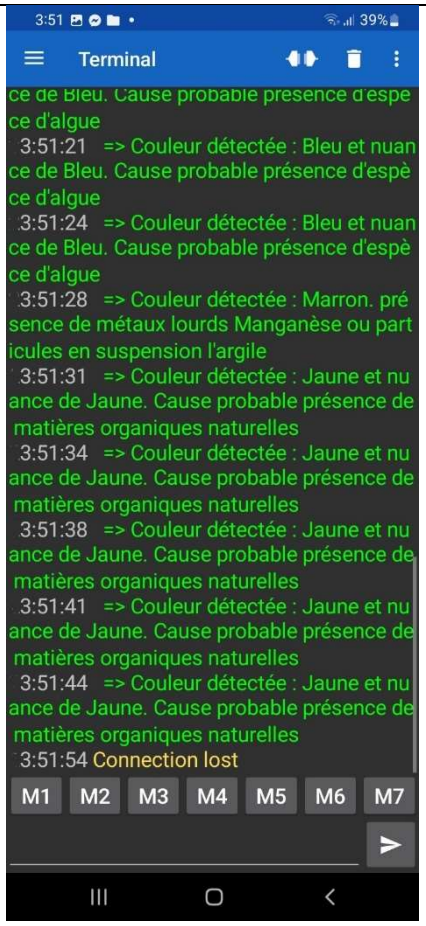

Figure III.12 :Supervision sur smartphone de type de couleur des échantillons d'eau

Ces donneés affichées on peut les partager, on appuie sur l'angle droite en haut puis sur Data, ensuite sur Share (partager).

3. Test du prototype et analyse des resultats

La couleur de l'eau peut changer sous l'influence de plusieurs facteurs naturels ou artificiels. Parmi les principales causes, on trouve la présence des algues et des micro-organismes qui modifient la couleur de l'eau en vert, brun ou rouge selon leur concentration. Les polluants industriels et domestiques, tels que les produits chimiques et les déchets, peuvent également provoquer un changement de couleur. De plus, les matières organiques en décomposition, les sédiments, la boue et certains métaux comme le fer ou le cuivre influencent l'apparence de l'eau. Les variations climatiques, la lumière et la température jouent aussi un rôle important dans la modification de la couleur de l'eau. Ainsi, le changement de couleur constitue souvent un indicateur de la qualité et de l'état de pollution de l'eau.

Les principaux responsables des teintes. L'eau prend généralement une teinte :

- **Jaune ou brune** dans les eaux de surface (rivières, marécages) causé par la présence des matières organiques naturelles. Les acides organiques issus de la décomposition des végétaux, tels que les acides humiques et fulviques.
- **Jaune à rouge rouille**, causé par la présence de métaux lourds dissous comme le Fer qui provoque une coloration lors de leur oxydation (au contact de l'air ou de désinfectants).
- **Noire ou brune foncée,** provoquée par la présence de métaux lourds dissous comme le Manganèse.
- **Verte, bleue-verte, ou même rouge** (phénomène de marée rouge) selon l'espèce d'algue présente. Activité Biologique et Algues, modifie la couleur de l'eau en raison de la chlorophylle.
- **Gris ou boueux (Marron)** qui donne un aspect trouble provoqué par des particules en suspension comme le limon (silt) et l'argile, provenant de l'érosion des sols ou des inondations (Turbidité et matière en suspension).

Figure III.13 : Test du système sur des échantillons

Notre système intelligeant base sur un capteur de couleur de référence TCS 34725, est un système qui peut être appliqué pour évaluer la qualité de l'eau en utilisant la mesure de la couleur de l'eau et en se basant sur la base de données des causes du changement de la couleur traiter au chapitre 1 et détailler au-dessus. Il détecte les changements de couleur de l'eau, ce qui peut indiquer la présence de contaminants, matière organique, ou des produits chimiques dans l'eau. En effet notre système lors de le mettre en service dans des échantillons, affiche les causes les plus probables dans le moniteur du Pc ou sur Smartphone les résultats suivants :

Couleur détecter : **Jaune et nuance de jaune.** Cause probable présence de **matières organiques naturelles**

Couleur détecter : **brune et nuance de brune.** Cause probable présence de **matières organiques naturelles**

Couleur détecter : **Rouge et nuance de rouge.** Cause probable présence de **métaux lourds dissous le Fer** ou présence **d'espèce d'algue**

Couleur détecter : **Noire.** Cause probable présence de **métaux lourds dissous le Manganèse**

Couleur détecter : **Marron foncée ou Marron.** Cause probable présence de **métaux lourds dissous le Manganèse** ou des **particules en suspension l'argile**

Couleur détecter : **Verte, bleue-verte.** Cause probable présence **d'espèce d'algue**

Couleur détecter : **Gris.** Cause probable présence des particules en suspension **le limon (silt) et l'argile**

4. Conclusion

Ce travail nous a également permis d'acquérir des connaissances pratiques dans les domaines d'hydraulique, l'électronique, de la programmation et des systèmes intelligents.

Grâce à l'intégration des différents composants matériels et logiciels, le système assure une surveillance fiable tout en facilitant le traitement des données en temps réel. La réalisation et l'implémentation de ce système intelligent ont permis de développer une solution capable de détecter le changement de couleur de l'eau de manière automatique et efficace et d'avertir le superviseur de présence des impuretés. La couleur de l'eau peut changer sous l'influence de plusieurs facteurs principales causes, par la présence des algues et des micro-organismes qui modifient la transparence de l'eau selon leur concentration.

Les tests effectués ont montré de bonnes performances ainsi qu'une stabilité satisfaisante du prototype.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude pratique vise à évaluer la qualité de l'eau sur le plan organoleptique, notamment en détectant les changements de couleur, qui peuvent indiquer une pollution, une prolifération d'algues, ou des perturbations des sédiments. Sur la base de cette étude observée, il est possible de conclure que certains polluants, comme la matière organique dissoute ou les proliférations d'algues, peut provoquer des changements de couleur visibles que le capteur peut détecter. Ce système de mesure intelligent, basé sur ce capteur est un prototype appliqué pour mesurer la couleur de l'eau. Il détecte les changements de couleur de l'eau, ce qui peut indiquer probablement la présence de contaminants, matière organique, ou des produits chimiques. D'après cette étude, les causes les plus probables de changement de la transparence de l'eau peuvent être dues aux activités microbienne ou organique due aux conditions de stockage et la variation de température qui peuvent produire des chlorophylles.

En perspective, les mesures sont affectées par la température et l'éclairage de l'environnement, elles doivent donc être compensées automatiquement. Notre montage prototype prend en charge Bluetooth pour transmettre les données vers des smartphones ou des ordinateurs, ce qui permettra aux algorithmes d'intelligence artificielle d'être utilisés dans de futures études afin d'analyser les données et de corriger au mieux les erreurs. Enfin, ce projet peut être amélioré par l'ajout de nouvelles fonctionnalités afin d'augmenter la précision, et les possibilités d'utilisation dans plusieurs domaines liés au contrôle de la qualité de l'eau, la surveillance des rivières et des lacs, le contrôle de traitement de l'eau potable, et la surveillance de la qualité de l'eau d'aquaculture. Afin de garantir qu'elle répond aux normes réglementaires et la clarté et la propreté de l'eau.

Bibliographie

[1] Wyszecki, G. and Stiles, W.S. (2000) Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

[2] Fatima Zerd, Moussa Bissar, Conception d'un système de supervision du pH pour l'évaluation de la qualité de l'eau, (2025), Mémoire de fin d'étude Master hydraulique Université M'sila.

[3] Turrier claude, photographie numérique : basses théoriques, prise de vue, fichier image, cours et exercices corrigés, éditions ellipses.

[4] https://www.lirmm.fr › Couleur › TP-Couleur.

[5] Hunt, R. W. G. (2004). The Reproduction of Colour. Wiley

[6] https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html

[7] www.arduino.cc

[8] https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3

[9] https://www.arduino.cc/en/software/

[10] https://www.alldatasheet.com

[11] http://www.Ai-thinker.Com

[12] www.gotronic.fr

Annexe

Annexe [6]

Couleur	Nom HTML / CSS	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal (R, G, B)
	Noir	# 000000	(0,0,0)
	blanc	#FFFFFF	(255 255 255)
	Rouge	# FF0000	(255,0,0)
	Citron vert	# 00FF00	(0,255,0)
	Bleu	# 0000FF	(0,0,255)
	Jaune	# FFFF00	(255,255,0)
	Cyan / Aqua	# 00FFFF	(0,255,255)
	Magenta / Fuchsia	# FF00FF	(255,0255)
	argent	# C0C0C0	(192.192.192)
	gris	# 808080	(128 128 128 128)
	Bordeaux	# 800000	(128,0,0)
	olive	# 808000	(128.128,0)
	vert	# 008000	(0,128,0)
	Violet	# 800080	(128,0,128)
	Sarcelle	# 008080	(0,128,128)
	Marine	# 000080	(0,0,128)

Couleur	Nom de la couleur	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal R, G, B
	bordeaux	# 800000	(128,0,0)
	rouge foncé	# 8B0000	(139,0,0)
	marron	# A52A2A	(165,42,42)
	brique réfractaire	# B22222	(178,34,34)
	cramoisi	# DC143C	(220,20,60)
	rouge	# FF0000	(255,0,0)
	tomate	# FF6347	(255,99,71)

Couleur	Nom de la couleur	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal R, G, B
	corail	# FF7F50	(255.127,80)
	rouge indien	# CD5C5C	(205,92,92)
	corail clair	# F08080	(240 128 128 128)
	saumon noir	# E9967A	(233 150 122)
	Saumon	# FA8072	(250.128.114)
	saumon clair	# FFA07A	(255 160 122)
	rouge-orange	# FF4500	(255,69,0)
	Orange sombre	# FF8C00	(255,140,0)
	Orange	# FFA500	(255,165,0)
	or	# FFD700	(255,215,0)
	tige d'or foncé	# B8860B	(184,134,11)
	verge d'or	# DAA520	(218.165,32)
	verge d'or pâle	# EEE8AA	(238 232 170)
	kaki foncé	# BDB76B	(189.183.107)
	kaki	# F0E68C	(240 230 140)
	olive	# 808000	(128.128,0)
	Jaune	# FFFF00	(255,255,0)

Annexe :

Couleur	Nom HTML / CSS	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal (R, G, B)
	Noir	# 000000	(0,0,0)
	blanc	#FFFFFF	(255 255 255)
	Rouge	# FF0000	(255,0,0)
	Citron vert	# 00FF00	(0,255,0)
	Bleu	# 0000FF	(0,0,255)
	Jaune	# FFFF00	(255,255,0)

Couleur	Nom HTML / CSS	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal (R, G, B)
	Cyan / Aqua	# 00FFFF	(0,255,255)
	Magenta / Fuchsia	# FF00FF	(255,0255)
	argent	# C0C0C0	(192.192.192)
	gris	# 808080	(128 128 128 128)
	Bordeaux	# 800000	(128,0,0)
	olive	# 808000	(128.128,0)
	vert	# 008000	(0,128,0)
	Violet	# 800080	(128,0,128)
	Sarcelle	# 008080	(0,128,128)
	Marine	# 000080	(0,0,128)

Couleur	Nom de la couleur	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal R, G, B
	bordeaux	# 800000	(128,0,0)
	rouge foncé	# 8B0000	(139,0,0)
	marron	# A52A2A	(165,42,42)
	brique réfractaire	# B22222	(178,34,34)
	cramoisi	# DC143C	(220,20,60)
	rouge	# FF0000	(255,0,0)
	tomate	# FF6347	(255,99,71)
	corail	# FF7F50	(255.127,80)
	rouge indien	# CD5C5C	(205,92,92)
	corail clair	# F08080	(240 128 128 128)
	saumon noir	# E9967A	(233 150 122)
	Saumon	# FA8072	(250.128.114)
	saumon clair	# FFA07A	(255 160 122)
	rouge-orange	# FF4500	(255,69,0)

Couleur	Nom de la couleur	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal R, G, B
	Orange sombre	# FF8C00	(255,140,0)
	Orange	# FFA500	(255,165,0)
	or	# FFD700	(255,215,0)
	tige d'or foncé	# B8860B	(184,134,11)
	verge d'or	# DAA520	(218.165,32)
	verge d'or pâle	# EEE8AA	(238 232 170)
	kaki foncé	# BDB76B	(189.183.107)
	kaki	# F0E68C	(240 230 140)
	olive	# 808000	(128.128,0)
	Jaune	# FFFF00	(255,255,0)
	vert jaunâtre	# 9ACD32	(154 205,50)
	vert olive foncé	# 556B2F	(85.107,47)
	olive terne	# 6B8E23	(107.142,35)
	pelouse verte	# 7CFC00	(124.252,0)
	réutilisation des graphiques	# 7FFF00	(127.255,0)
	vert jaune	# ADFF2F	(173.255,47)
	vert foncé	# 006400	(0,100,0)
	vert	# 008000	(0,128,0)
	forêt verte	# 228B22	(34.139,34)
	citron vert	# 00FF00	(0,255,0)
	vert citron	# 32CD32	(50 205,50)
	vert clair	# 90EE90	(144 238 144)
	vert pâle	# 98FB98	(152 251 152)
	vert de mer foncé	# 8FBC8F	(143.188.143)
	vert printemps moyen	# 00FA9A	(0,250,154)
	vert printanier	# 00FF7F	(0,255,127)
	vert de mer	# 2E8B57	(46.139,87)
	moyen aqua marine	# 66CDAA	(102 205 170)

Couleur	Nom de la couleur	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal R, G, B
	vert de mer moyen	# 3CB371	(60.179.113)
	vert de mer clair	# 20B2AA	(32.178.170)
	gris ardoise foncé	# 2F4F4F	(47,79,79)
	sarcelle	# 008080	(0,128,128)
	cyan foncé	# 008B8B	(0,139,139)
	aqua	# 00FFFF	(0,255,255)
	cyan	# 00FFFF	(0,255,255)
	cyan clair	# E0FFFF	(224 255 255)
	turquoise foncé	# 00CED1	(0,206,209)
	turquoise	# 40E0D0	(64 224 208)
	turquoise moyen	# 48D1CC	(72.209.204)
	turquoise pâle	#AFEEEE	(175 238 238)
	aqua marine	# 7FFFD4	(127 255 212)
	poudre bleue	# B0E0E6	(176 224 230)
	bleu cadet	# 5F9EA0	(95.158.160)
	bleu acier	# 4682B4	(70 130 180)
	bleuet	# 6495ED	(100 149 237)
	bleu ciel profond	# 00BFFF	(0,191,255)
	bleu canard	# 1E90FF	(30 144 255)
	bleu clair	# ADD8E6	(173 216 230)
	bleu ciel	# 87CEEB	(135 206 235)
	bleu ciel clair	# 87CEFA	(135 206 250)
	bleu nuit	# 191970	(25,25,112)
	marine	# 000080	(0,0,128)
	bleu foncé	# 00008B	(0,0,139)
	bleu moyen	# 0000CD	(0,0,205)
	bleu	# 0000FF	(0,0,255)
	bleu royal	# 4169E1	(65 105 225)
	bleu violet	# 8A2BE2	(138,43,226)

Couleur	Nom de la couleur	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal R, G, B
	indigo	# 4B0082	(75,0 130)
	bleu ardoise foncé	# 483D8B	(72,61,139)
	bleu ardoise	# 6A5ACD	(106,90 205)
	bleu ardoise moyen	# 7B68EE	(123 104 238)
	violet moyen	# 9370DB	(147.112.219)
	magenta foncé	# 8B008B	(139,0,139)
	violet foncé	# 9400D3	(148,0,211)
	orchidée sombre	# 9932CC	(153,50204)
	orchidée moyenne	# BA55D3	(186,85,211)
	violet	# 800080	(128,0,128)
	chardon	# D8BFD8	(216.191.216)
	prune	# DDA0DD	(221 160 221)
	violet	# EE82EE	(238.130.238)
	magenta / fuchsia	# FF00FF	(255,0255)
	orchidée	# DA70D6	(218.112.214)
	rouge violet moyen	# C71585	(199,21,133)
	rouge violet pâle	# DB7093	(219.112.147)
	rose profond	# FF1493	(255,20,147)
	rose vif	# FF69B4	(255.105.180)
	rose clair	# FFB6C1	(255.182.193)
	rose	# FFC0CB	(255.192.203)
	blanc antique	# FAEBD7	(250 235 215)
	beige	# F5F5DC	(245 245 220)
	bisque	# FFE4C4	(255 228 196)
	amande blanchie	#FFEBCD	(255 235 205)
	blé	# F5DEB3	(245 222 179)
	soie de maïs	# FFF8DC	(255 248 220)
	mousseline de citron	#FFFACD	(255 250 205)
	tige d'or clair jaune	# FAFAD2	(250 250 210)

Couleur	Nom de la couleur	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal R, G, B
	jaune clair	# FFFFE0	(255 255 224)
	brun selle	# 8B4513	(139,69,19)
	terre de sienne	# A0522D	(160,82,45)
	Chocolat	# D2691E	(210,105,30)
	Pérou	# CD853F	(205.133,63)
	brun sable	# F4A460	(244.164,96)
	bois bohu	# DEB887	(222.184.135)
	bronzage	# D2B48C	(210 180 140)
	brun rosé	# BC8F8F	(188.143.143)
	mocassin	# FFE4B5	(255 228 181)
	navajo blanc	#FFDEAD	(255 222 173)
	feuilleté aux pêches	# FFDAB9	(255218185)
	rose brumeuse	# FFE4E1	(255 228 225)
	blush lavande	# FFF0F5	(255 240 245)
	lin	# FAF0E6	(250 240 230)
	vieille dentelle	# FDF5E6	(253.245.230)
	fouet de papaye	# FFEFD5	(255 239 213)
	coquillage	# FFF5EE	(255.245.238)
	crème à la menthe	# F5FFFA	(245 255 250)
	gris ardoise	# 708090	(112.128.144)
	gris ardoise clair	# 778899	(119.136.153)
	bleu acier clair	# B0C4DE	(176.196.222)
	lavande	# E6E6FA	(230 230 250)
	floral blanc	# FFFAF0	(255 250 240)
	alice bleu	# F0F8FF	(240 248 255)
	fantôme blanc	# F8F8FF	(248 248 255)
	miellat	# F0FFF0	(240 255 240)
	Ivoire	# FFFFF0	(255 255 240)
	Azur	# F0FFFF	(240 255 255)

Couleur	Nom de la couleur	Code hexadécimal #RRGGBB	Code décimal R, G, B
	neige	#FFFAFA	(255 250 250)
	noir	# 000000	(0,0,0)
	gris foncé / gris foncé	# 696969	(105 105 105)
	gris	# 808080	(128 128 128 128)
	gris foncé / gris foncé	# A9A9A9	(169.169.169)
	argent	# C0C0C0	(192.192.192)
	gris clair / gris clair	# D3D3D3	(211211211)
	gainsboro	#DCDCDC	(220 220 220)
	fumée blanche	# F5F5F5	(245 245 245)
	blanc	#FFFFFF	(255 255 255)