



2023

14. Lumière

R2 : Guide SCRAPY

Numéro de projet: **2021-1-FR01-KA220-SCH-000031617**



Le soutien de la Commission européenne à la production de cette publication ne constitue pas une approbation du contenu, qui reflète uniquement les points de vue des auteurs, et la Commission ne peut être tenue responsable de toute utilisation qui pourrait être faite des informations contenues dans ce document.



**Co-funded by
the European Union**

ECAM EPMI

30/04/2023

Table des matières

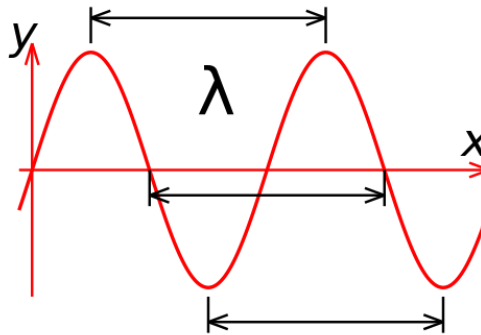
1. Introduction	2
2 longueur d'onde.....	2
3 Intensité	2
4 Lumières visibles et lumière invisible.....	3
5 Lumière ultraviolette	4
5.1 Ultraviolet-A	4
5.2 Ultraviolet-B	5
5.3 Ultraviolet-C	5
6 L'œil humain.....	6
6.1 Perception de la couleur	6
6.2 Perception de l'intensité	8
6.3 Daltonisme.....	9
7 Lumière infrarouge	9
8 Proche infrarouge.....	10
9 Infrarouge à grande longueur d'onde.....	11
10 Conclusion	12

1. Introduction

La manipulation de la lumière est une compétence très utile pour tout bricoleur en électronique. De l'éclairage à la détection de distance, la lumière relie l'électronique et le physique de multiples façons utiles.

2 longueur d'onde

La principale caractéristique d'un faisceau de lumière est sa longueur d'onde. La lumière se déplace dans l'espace sous la forme d'une onde, et la distance entre deux pics d'onde correspond à la longueur d'onde de ce faisceau de lumière. En termes humains, la longueur d'onde est ce qui détermine la couleur d'un faisceau lumineux.



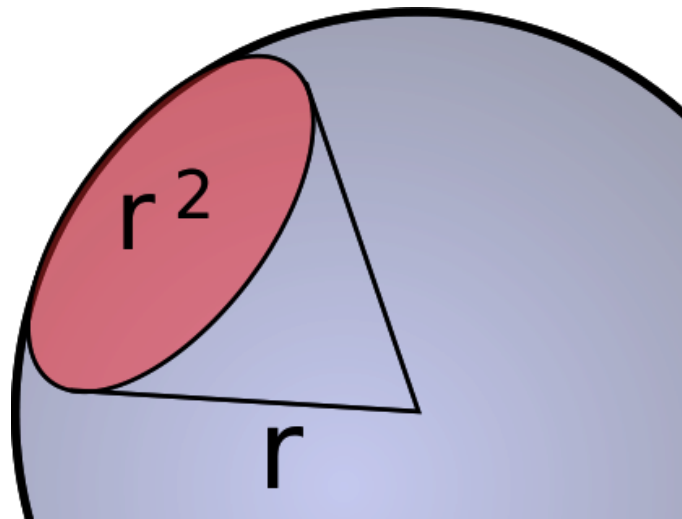
La longueur d'onde est généralement désignée par le caractère grec λ (prononcé « lamb-da ») (Image de l'utilisateur Wikipédia Dicklyon).

Parce que rien en physique ne peut être simple, un faisceau lumineux se comporte aussi comme un flux de particules, ou de photons (les masochistes peuvent se référer à cet article sur la dualité onde/particule de la lumière).
https://en.wikipedia.org/wiki/Wave%E2%80%93particle_duality

La lumière à longueur d'onde plus courte a plus d'énergie par photon.

3 Intensité

L'autre caractéristique d'un faisceau lumineux est son intensité. L'intensité radiante est mesurée par la vitesse à laquelle l'énergie traverse la surface de la sphère délimitée par ce cercle au sommet du cornet de crème glacée, en watts par stéradian. Pour comprendre cela, imaginez une sphère avec une toute petite étoile au centre. La lumière se propage de l'étoile dans toutes les directions de manière égale. Maintenant, ajoutez un cornet de glace avec sa pointe au centre de l'étoile, s'étendant jusqu'à la surface de la sphère. L'angle au bas du cône est d'un radian (il y a 2π radians dans un cercle ; un radian équivaut à environ $57,3^\circ$). La zone définie par ce cornet de glace imaginaire s'appelle un stéradian.



Représentation graphique d'un stéradian. L'intensité rayonnante d'un faisceau lumineux est décrite par la puissance du faisceau lumineux divisée par cette surface (Image fournie avec l'aimable autorisation de Wikimedia Commons.)

4 Lumières visibles et lumière invisible

Lorsque nous parlons de lumière, nous entendons généralement la lumière visible, la merveilleuse matière des arcs-en-ciel et du soleil. La lumière, cependant, couvre une très, très large gamme de longueurs d'onde. C'est ce qu'on appelle le spectre électromagnétique.

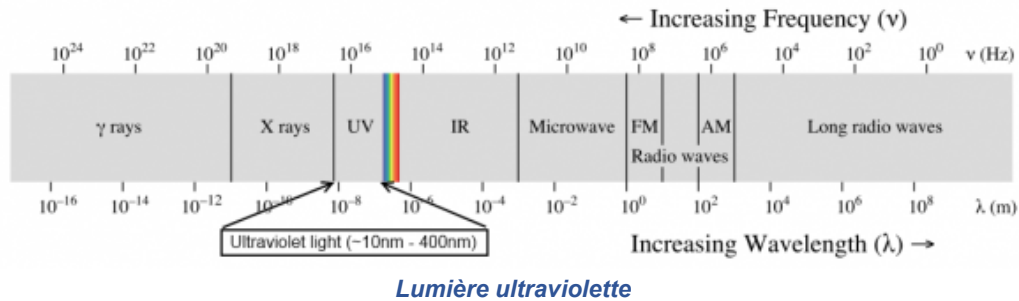
D'un côté, il y a les rayons gamma et les rayons X, qui sont des rayonnements électromagnétiques ionisants à haute énergie et fondamentalement incompatibles avec la vie. À l'autre extrémité, des ondes radio de très basse fréquence et de grande longueur d'onde transportent des informations sur de vastes distances, donnant un aperçu des origines mêmes de l'univers lui-même.

Dans cet article, nous nous en tiendrons à la lumière visible et aux zones les plus proches : infrarouge et ultraviolet. De l'ultraviolet à l'infrarouge lointain, la lumière se comporte de manière assez similaire à ce que nous avons l'habitude de voir avec la lumière visible : des ombres sont projetées, les lentilles peuvent la focaliser, elle peut être diffusée par, disons, une feuille de papier blanche, etc. Une fois que vous bougez dans les longueurs d'onde plus longues et plus courtes, les choses commencent à devenir bizarres, et nous réserverons une discussion à ce sujet pour une autre leçon.

Nous allons discuter de la lumière en trois groupes différents : ultraviolet, visible et infrarouge. La lumière ultraviolette est une lumière qui a une longueur d'onde légèrement plus courte que la lumière visible ; infrarouge, est juste un peu plus long. Parmi les trois groupes, le visible et l'infrarouge sont un peu plus utiles et courants en électronique, et nous leur accorderons en conséquence plus de temps.

5 Lumière ultraviolette

La lumière ultraviolette est une lumière comprise entre 10 nm et 400 nm, ce qui la place entre les rayons X et la lumière visible. Les ultraviolets peuvent être très nocifs pour les formes de vie – vous connaissez probablement mieux leurs effets sous forme de coups de soleil.



Lumière ultraviolette

5.1 Ultraviolet-A

Les UVA (longueur d'onde de 315 nm à 400 nm) sont la bande d'énergie la plus basse de la lumière ultraviolette. Il est presque visible pour les humains, et de nombreux insectes, et même certains oiseaux, peuvent voir dans cette bande lumineuse. Les ampoules blanches, fluorescentes et les LED blanches fonctionnent en exposant un matériau à la lumière UVA, qui absorbe les photons UVA et émet des photons dans le spectre visible, nous apparaissant blancs.

Les UVA sont également souvent utilisés pour détecter les documents contrefaits ; Pour se prémunir contre la contrefaçon, de nombreux documents (passeports, permis de conduire et billets de banque, pour n'en nommer que quelques-uns) comporteront un filigrane qui brille sous les rayons UVA. Les affiches à lumière noire sont un autre exemple de choses qui réagissent à la lumière UVA, et l'eau de Javel, le savon et de nombreux matériaux biologiques brilleront également lorsqu'ils sont exposés aux UVA.



Fonctions anti-contrefaçon sur un billet de 20 \$ US révélées par une LED UVA de 400 nm.

La majeure partie de la lumière UVA contenue dans un rayon de soleil atteint la surface de la Terre.

5.2 Ultraviolet-B

Les UVB (280 nm à 315 nm) ont un niveau d'énergie lumineuse plus élevé que les UVA. On le trouve au soleil et est responsable non seulement des dommages cutanés qui provoquent des coups de soleil et du cancer de la peau, mais également de la synthèse de la vitamine D dans le corps humain. Il est également produit par des chalumeaux de soudage ; même une brève exposition à la fusée éclairante d'une torche de soudage, et même à une distance raisonnable, peut causer de graves lésions oculaires si l'observateur n'est pas protégé.



Les torches de soudage créent beaucoup de lumière UVB et UVC. Les soudeurs doivent minimiser leur exposition pour éviter les coups de soleil et les lésions oculaires (Image fournie par Wikipédia).

La lumière UVB est assez bien bloquée par les vitres normales ; c'est pourquoi pendre un bras par la fenêtre d'une voiture ouverte peut entraîner un coup de soleil affectant uniquement ce bras. Richard Feynman (lauréat du prix Nobel et célèbre musicien de bongo) a observé l'explosion nucléaire expérimentale de Trinity en utilisant le pare-brise d'une camionnette pour se protéger du rayonnement ultraviolet émis par l'explosion.

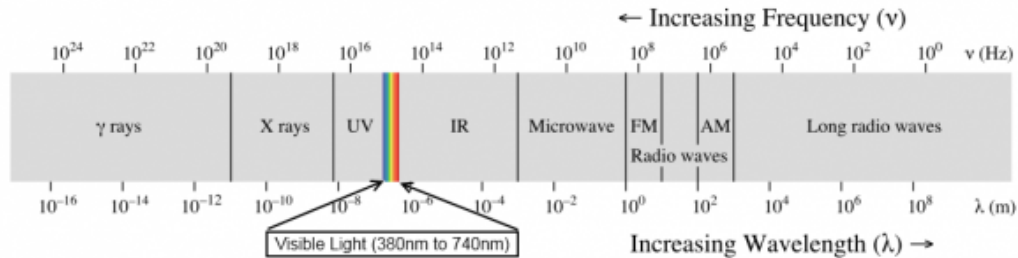
Seulement environ 10 % de la lumière UVB émise par le soleil atteint la surface de la Terre ; les 90 % restants sont absorbés par l'atmosphère (principalement la couche d'ozone).

5.3 Ultraviolet-C

Les UVC (100 nm à 280 nm) ont tendance à être la limite de la lumière UV intéressante pour nous. Presque aucun des rayons UVC du soleil n'atteint la surface de la Terre ; l'atmosphère fait un travail très efficace pour l'éliminer.

Dans le mauvais vieux temps, avant la mémoire EEPROM et la mémoire flash (qui peuvent être effacées et réécrites électroniquement), le seul moyen non volatile et non magnétique de stockage électronique de données était l'EPROM. Une fois qu'une EPROM était écrite, elle ne pouvait être effacée qu'en étant exposée à une forte source de lumière UVC pendant 20 à 30 minutes. Pour un amateur, c'est long d'attendre pour savoir si les modifications que vous avez apportées à votre code ont corrigé un bug !

Lumière visible est léger dans la plage de (environ) 380 nm à 740 nm. Cela peut varier ; les yeux de certaines personnes seront capables de détecter la lumière de longueurs d'onde inférieures ou supérieures à celles-ci, mais en général, les yeux de la plupart des humains sont sensibles à cette région.



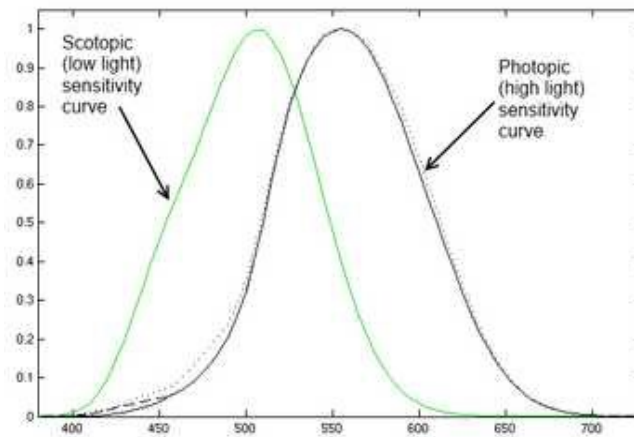
Lumière visible

6 L'œil humain

Il existe deux particularités dans la façon dont l'œil humain perçoit la lumière : nos yeux sont sensibles à différentes longueurs d'onde en quantités différentes, et nos yeux perçoivent l'intensité lumineuse de manière logarithmique plutôt que linéaire.

6.1 Perception de la couleur

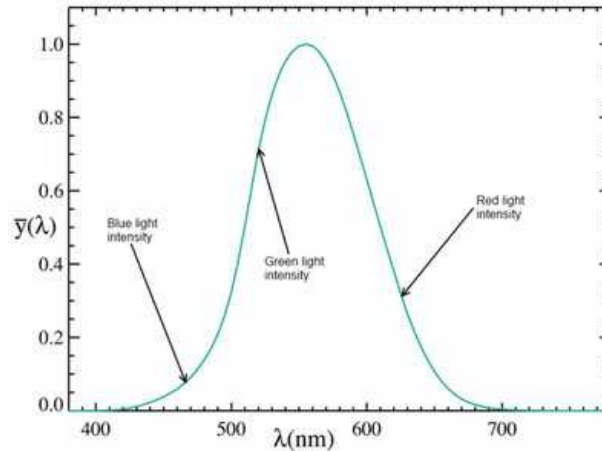
Comme vous pouvez le voir sur ce graphique, nos yeux captent différentes longueurs d'onde de lumière avec une efficacité différente, mélangeant les intensités perçues pour produire ce que nous appelons une « couleur ». De plus, vous pouvez également constater qu'à de faibles niveaux de lumière, notre perception des couleurs devient faussée.



Courbes de luminosité scotopique et photopique pour l'œil humain. Ces courbes montrent l'intensité perçue d'une source lumineuse par longueur d'onde, en supposant que l'intensité radiante des sources lumineuses est toutes égales.

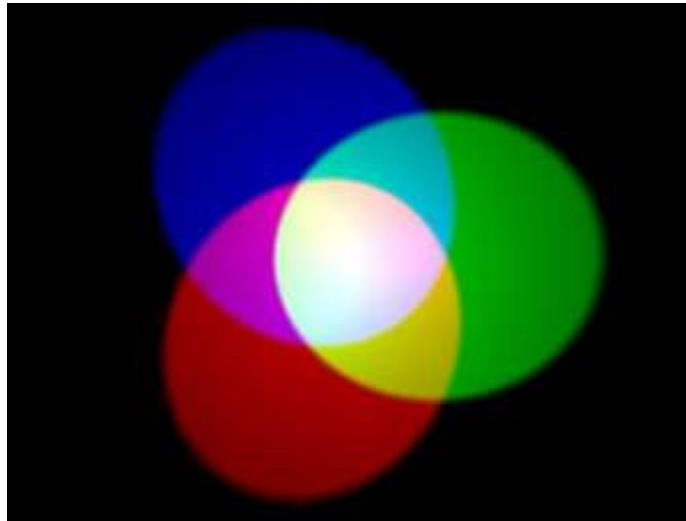
C'est pour cette raison qu'une unité spéciale d'intensité lumineuse, la candela, a été développée. La candela pondère l'intensité d'une source lumineuse en fonction de sa couleur ; un œil humain percevra une source lumineuse d'un candela comme ayant une luminosité similaire à une autre source lumineuse d'un candela, quelle que soit la longueur

d'onde. La luminosité des LED est généralement exprimée en millicandelas (mcd), et une excellente démonstration de la différence d'intensité perçue entre les couleurs peut être observée en considérant l'intensité d'une LED RVB telle que celle-ci : 800 mcd pour le rouge, 4 000 mcd pour le vert, et 900mcd pour le bleu. J'ai marqué les longueurs d'onde de ces trois couleurs (625 nm, 520 nm et 467,5 nm) sur le tableau ci-dessous.



Les intensités relatives des LED bleues, vertes et rouges dans une LED tricolore ont été marquées sur cette courbe photopique. Comparez les intensités relatives (0,3 pour le rouge, 0,7 pour le vert et 0,15 pour le bleu) aux valeurs en millicandela pour les trois couleurs données par la fiche technique des LED (800 mcd, 4 000 mcd et 900 mcd). Les ratios ne sont pas exacts. Alors que le bleu a un mcd légèrement supérieur à celui du rouge, le bleu est plus bas sur la courbe. La note mcd du vert est supérieure à celle des deux couleurs de la courbe.

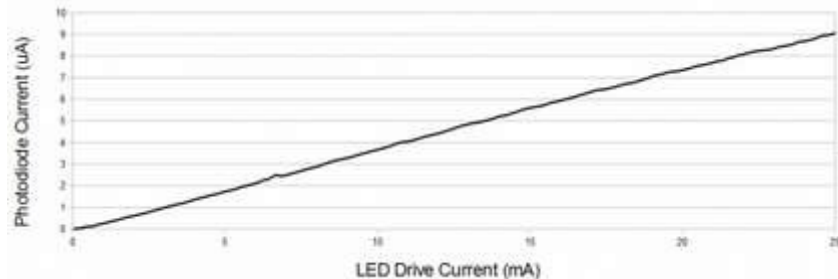
L'œil peut être amené à détecter des longueurs d'onde de lumière qui ne sont pas présentes en mélangeant différentes longueurs d'onde ; c'est selon ce principe que fonctionnent la plupart des écrans couleur. Seules trois couleurs (une certaine forme de rouge, de vert et de bleu) sont disponibles ; en mélangeant ces trois couleurs de lumière à différentes intensités, la grande majorité des couleurs naturelles peuvent être simulées (du moins en ce qui concerne nos yeux).



Mélange de couleurs de sources de lumière rouge, verte et bleue. En ajustant les niveaux de lumière, un grand nombre d'autres couleurs de lumière peuvent être simulées.

6.2 Perception de l'intensité

Nous avons naturellement tendance à considérer la lumière comme un phénomène linéaire. Étant donné deux sources de lumière, nous pouvons raisonnablement percevoir que l'une est deux fois plus lumineuse que l'autre. Nous avons déjà vu comment cela peut être affecté par la couleur ; Considérons maintenant l'intensité de la lumière d'une seule couleur par rapport à notre perception de celle-ci. L'intensité d'une LED varie linéairement en fonction du courant utilisé pour la piloter.



Les données réelles ont été collectées en pointant une LED vers une photodiode et en augmentant linéairement le courant de commande de la LED de 0 à 25 mA.

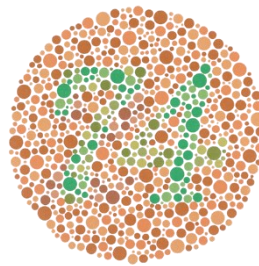
Pourquoi est-ce si difficile? Le rendement lumineux d'une LED est linéaire, donc doubler le courant traversant la LED double la quantité d'énergie lumineuse qu'elle émet. Cependant, votre œil ne réagit pas de manière linéaire, il répond de manière logarithmique. La raison en est simple : nos yeux ont besoin de nous fournir des informations utiles dans une gamme complète de conditions d'éclairage, de la lumière des étoiles à la lumière du jour. Par une nuit sans nuages sous une pleine lune, l'intensité lumineuse n'est que de 1/440 000ème de celle d'une journée ensoleillée, pourtant nos

yeux doivent bien fonctionner à ces deux extrêmes et partout entre les deux ! Cela rend très difficile l'évaluation de la luminosité relative d'une source de lumière linéaire.

6.3 Daltonisme

Le daltonisme n'est pas, comme son nom l'indique, une simple incapacité à percevoir la couleur. Il existe de nombreuses variétés de daltonisme ; Le daltonisme rouge-vert le plus courant touche, dans une certaine mesure, près de 10 % de la population masculine.

Le daltonisme peut être diagnostiqué par un simple test, où le sujet est invité à identifier des motifs ou des symboles créés à partir de points d'une couleur différente sur un fond de points de taille similaire.

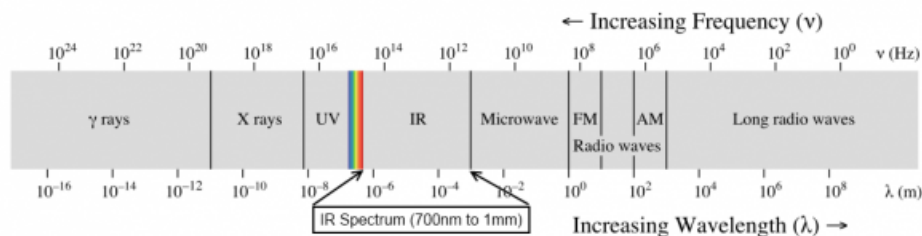


Plaque de test du test de daltonisme d'Ishihara. Une personne ayant une vision des couleurs normale verra le nombre 74 ; les personnes daltoniennes peuvent voir le chiffre 21 ou ne pas voir le chiffre du tout, selon le type de déficience présente.

Par gentillesse envers ceux d'entre nous qui sont daltoniens, essayez de ne pas utiliser la couleur pour transmettre des informations. De bons exemples de mauvaise conception incluent les LED qui changent de couleur pour signifier une condition (le vert signifie « ok », le rouge signifie « échec »), les cartes utilisant une gamme de couleurs pour connecter une valeur numérique à une région et les couleurs de texte autres que le blanc sur noir ou noir sur blanc.

7 Lumière infrarouge

La lumière infrarouge est une lumière dont la longueur d'onde est plus longue que la lumière visible, mais plus courte que celle des micro-ondes. Il a été arbitrairement choisi de commencer à 700 nm et de s'arrêter à 1 mm.



Lumière infrarouge

(1 000 000 nm), ce qui en fait un segment du spectre beaucoup plus large que la lumière ultraviolette ou visible. Environ 55 % de l'énergie lumineuse provenant du soleil et atteignant la surface de la Terre est infrarouge.

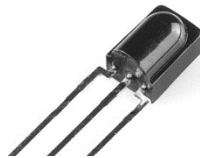
8 Proche infrarouge

Le proche infrarouge est une région d'un grand intérêt en électronique : c'est la région dans laquelle fonctionnent les télécommandes infrarouges, les capteurs d'objets et les détecteurs de distance. Il se situe à peine au-dessus de la plage visible et est extrêmement facile à créer et à détecter avec les technologies à semi-conducteurs.



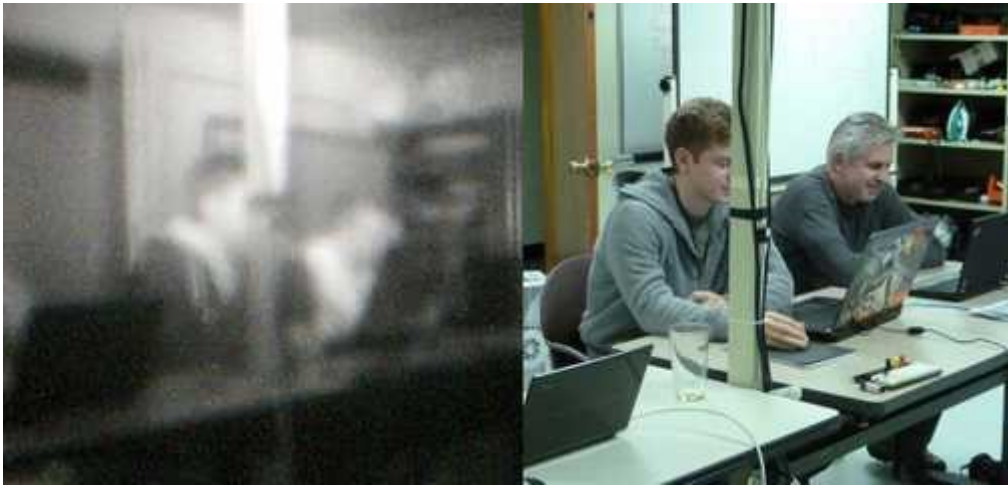
Paire émetteur/détecteur infrarouge. Peu coûteux, mais extrêmement sensible aux interférences de la lumière visible et infrarouge de l'environnement.

La bande proche infrarouge s'étend jusqu'à 1400 nm. Les longueurs d'onde courantes des émetteurs sont 850 nm et 950 nm. Une énorme quantité de lumière proche infrarouge nous entoure à tout moment ; le potentiel d'interférence avec la signalisation et la détection infrarouge est important. La plupart des systèmes de signalisation infrarouge (tels que les télécommandes infrarouges résolvent ce problème en modulant le faisceau à une fréquence fixe, plutôt qu'en essayant de filtrer la lumière qui n'a pas la longueur d'onde souhaitée.



Module récepteur IR modulé. Ce petit circuit intégré recherche la lumière infrarouge pulsée à 38 kHz et tente de l'interpréter comme un signal de données.

Le proche infrarouge est également bien détecté par les appareils photo numériques. Si bien détecté que la plupart des appareils photo numériques disposent d'un filtre physique pour bloquer les longueurs d'onde infrarouges. Ce filtre peut être retiré, permettant une plus grande sensibilité dans la plage infrarouge. Un simple filtre qui laisse passer la lumière infrarouge mais bloque la lumière visible peut être créé à partir de négatifs de film 35 mm ; l'étiquette du rouleau de film qui ne contient aucune image est parfaite pour cela.



Deux photos de la même scène. L'image de gauche a été prise dans une pièce sombre avec une webcam bon marché dont le filtre infrarouge a été retiré et remplacé par des négatifs de film, et l'image de droite a été prise avec un appareil photo standard.

9 Infrarouge à grande longueur d'onde

L'infrarouge à longue longueur d'onde est une lumière comprise entre 8 000 et 15 000 nm. Il s'agit de la zone d'imagerie thermique, d'où proviennent toutes ces étonnantes images en fausses couleurs détaillant la température relative des objets.



La même scène dans le spectre visible et dans l'infrarouge à grande longueur d'onde. Notez que le sac en plastique est opaque à la lumière visible mais presque transparent à l'infrarouge (avec l'aimable autorisation de l'équipe du télescope infrarouge Spitzer de la NASA).

C'est une erreur courante que de mal comprendre la différence entre l'imagerie proche infrarouge et l'imagerie infrarouge à ondes longues. L'imagerie proche infrarouge est assez facile à réaliser : les puces d'imagerie CMOS et CCD standard peuvent facilement détecter la lumière dans la région proche infrarouge. L'IR à ondes longues nécessite des capteurs spéciaux puisque le faisceau lumineux a une longueur d'onde 1 000 fois plus

longue que l'IR proche. Cela nécessite une géométrie proportionnellement plus grande dans les éléments capteurs.



Un capteur de température IR à ondes longues. La longueur d'onde plus longue nécessite une région de détection plus grande que les applications visibles ou proches de l'infrarouge.

Une autre utilisation de plus en plus familière de cette région est la gravure et la découpe au laser. La plupart des découpeuses laser utilisent un tube laser CO₂ pour générer le faisceau laser à une longueur d'onde de 10 640 nm.

10 Conclusion

La lumière est une chose fascinante et complexe, et nous n'avons fait qu'effleurer la surface dans cette leçon. Si vous souhaitez en savoir plus, voici quelques excellentes ressources à consulter :

- Communication IR
- Guide de branchement du kit de contrôle IR
- Guide de branchement du capteur de luminosité TSL2561
- Article Wikipédia sur la lumière ultraviolette
- Article Wikipédia sur la lumière visible
- Article Wikipédia sur la lumière infrarouge
- Article sur les différentes longueurs d'onde de découpe laser
- Lumière visible et astuces avec l'oeil
- Test « Colour IQ » – Dans quelle mesure votre vision des couleurs est-elle proche de la « normale » ?