



Frédéric Elie on
ResearchGate

Tester le fonctionnement d'une télécommande à infrarouge

Frédéric Elie
février 2013

Copyright France.com

La reproduction des articles, images ou graphiques de ce site, pour usage collectif, y compris dans le cadre des études scolaires et supérieures, est INTERDITE. Seuls sont autorisés les extraits, pour exemple ou illustration, à la seule condition de mentionner clairement l'auteur et la référence de l'article.

« Si vous ne dites rien à votre brouillon, votre brouillon ne vous dira rien ! »
Jacques Breuneval, mathématicien, professeur à l'université Aix-Marseille I, 1980

Abstract : Dans cet article nous allons voir comment tester le fonctionnement d'une télécommande infrarouge avec un téléphone portable (ou tout autre moyen de vidéo numérique)...

C'est une manip somme toute assez classique : si vous voulez vérifier que votre télécommande infrarouge fonctionne, il suffit d'appliquer l'expérience suivante.

D'abord, il faut savoir que cette expérience ne marche qu'avec les télécommandes infrarouge, lesquelles sont notamment les télécommandes de chaînes HIFI, téléviseur, ou lecteurs DVD. Elle ne convient pas pour les télécommandes telles que celles des voitures, parce qu'elles travaillent dans d'autres domaines du spectre électromagnétique, ou dans le domaine des ultrasons.

Plus précisément, ces télécommandes émettent un signal modulé dans le domaine du proche infrarouge, c'est-à-dire correspondant à des longueurs d'onde comprises de 0,7 microns à 1,4 microns environ. Ces ondes, étant sensibles aux diffusions, absorptions et diffractions de la part d'obstacles de tailles caractéristiques du même ordre, sont rapidement atténuées ou déviées. Elles ne peuvent pas être de longue portée. C'est pourquoi elles conviennent seulement pour télécommander des récepteurs proches.

Le tableau ci-après montre les domaines spectraux du rayonnement infrarouge. On voit qu'au-delà du domaine proche IR, il y a le domaine moyen IR et le domaine IR lointain qui correspondent principalement au rayonnement infrarouge des sources thermiques.

Longueur d'onde	fréquence	domaines
100 km – 1 m	$3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^8$ Hz	radiofréquences
1 m – 1 mm	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^{11}$ Hz	Hyperfréquences (radars, téléphones portables, fours microondes...)
1 mm – 0,78 μ m	$3 \cdot 10^{11} - 3,8 \cdot 10^{14}$ Hz	Infrarouge (IR)
0,78 – 0,38 μ m	$3,8 \cdot 10^{14} - 7,9 \cdot 10^{14}$ Hz	visible
0,38 μ m – 10 nm	$7,9 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$ Hz	ultraviolet
10 nm – 10 pm	$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{19}$ Hz	Rayons X
< 10 pm	$> 3 \cdot 10^{19}$ Hz	Rayons γ

NB: $1\text{ }\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m} = 10^{-3}\text{ mm}$ (micromètre ou micron)

$1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m} = 10^{-6}\text{ mm}$ (nanomètre)

$1\text{ pm} = 10^{-12}\text{ m} = 10^{-9}\text{ mm}$ (picomètre)

$1\text{ Hz} = 1\text{ oscillation/seconde}$ (Hertz)

rayons γ (gamma) = rayonnement électromagnétique pénétrant, une des composantes de la radioactivité

rayons X = découverts par Röntgen, utilisés en radiographie médicale, rayonnements fortement ionisants

Longueur d'onde λ (μm)	domaines	Caractéristiques (¹)
0,75 - 3	Proche infrarouge	Très proche ($< 1,5$) fenêtre atmosphérique I reflets solaires émission des corps à très haute température ($> 1000^\circ\text{C}$) (²)
3 - 30	Moyen IR IR thermique	Fenêtre atmosphérique II émission CO_2 émissions des corps chauds ($> 300^\circ\text{C}$) fenêtre atmosphérique III émission des corps à température ambiante ($0 - 30^\circ\text{C}$)
> 30	IR lointain	

Le domaine IR proche est voisin de celui du spectre des rayonnements électromagnétiques visibles (lumière visible : 0,4 microns, le violet, à 0,7 microns, le rouge). Les capteurs des appareils électro-optiques qui utilisent la technique CCD (³) (appareils photos, caméscopes, téléphones portables et autres iPad...) ont une réponse spectrale principalement dans le domaine du visible : leur courbe de réponse spectrale couvre en effet le domaine visible (figure 1). Mais on s'aperçoit, sur ces courbes, que la réponse spectrale n'est pas nulle au-delà du rouge, c'est-à-dire dans le proche infrarouge : elle est de l'ordre de 0,1 à 0,2.

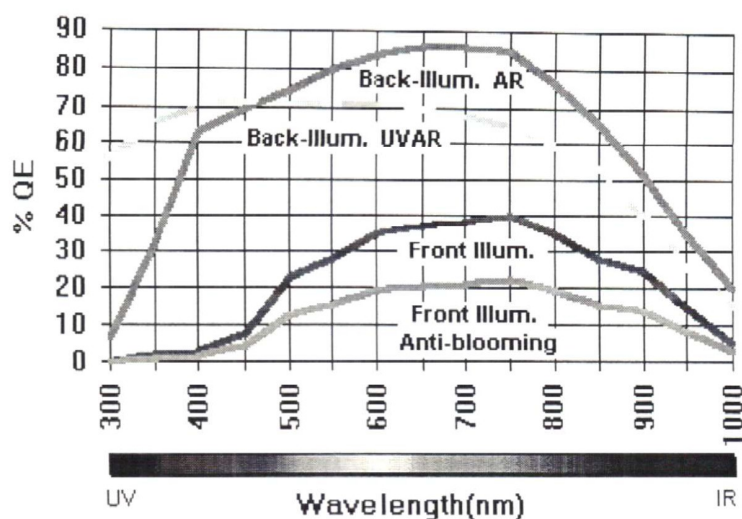


Fig. 1: Efficacité quantique relative (QE) en % vs. longueur d'onde (réponse spectrale du capteur)

Cette réponse spectrale au proche infrarouge s'étend de 0,7 à 1 micron environ. On est donc très loin de l'infrarouge thermique (aux environs de 10 à 100 microns, juste avant le domaine des rayonnements microondes) : les caméras CCD ou les appareils photos numériques ordinaires sont incapables de détecter des sources de chaleur, elles ne permettent donc pas de « voir » des sources de chaleur, y compris humaines, à travers des parois ou des obstacles thermiquement conducteurs. Tant pis (pour la surveillance) ou au contraire tant mieux (pour la

1 Plus précisément, les normes fixent les domaines de rayonnement IR selon les domaines (NF C 01-845): IR-A entre 780 et 1400 nm; IR-B entre 1400 nm (1,4 μm) et 3 μm ; IR-C entre 3 μm et 1 mm.

2 Selon la loi du déplacement de Wien, qui relie la longueur d'onde (λ en μm) à la température T (en Kelvin K) de la source émettrice du rayonnement, $\lambda = 2898/T$, on déduit que pour le Soleil, à la température de surface $T = 6000\text{ K}$ correspond une lumière de longueur d'onde $\lambda = 0,5\text{ }\mu\text{m}$, c'est-à-dire le vert: eh oui, notre Soleil émet principalement dans le vert !!!

3 Voir Annexe.

préservation de notre vie privée !).

Les rayonnements infrarouge (proche et a fortiori lointain ou thermique) ne sont pas décelables par le système de vision humain. Les détecteurs CCD sont, par contre, sensibles au proche infrarouge : ils « voient » donc ce que l'œil humain ne peut pas voir. Si donc, une télécommande émet dans le proche infrarouge, l'homme ne le verra pas mais l'appareil photo ou vidéo numérique le verra. Il permettra alors de savoir si la télécommande fonctionne ou non. C'est ce que montrent la photo et la vidéo de l'expérience suivante :

Braquons la télécommande du téléviseur vers l'objectif de l'appareil photo numérique. Appuyons sur n'importe quelle touche, si elle fonctionne un signal modulé en IR est émis : l'œil humain ne le voit pas mais, sur l'écran de l'appareil photo, un spot clignotant bleu, blanc ou violet est visible ; il traduit le rayonnement infrarouge émis par la télécommande.



En appuyant une touche quelconque de la télécommande IR, le caméscope, appareil photo ou webcam décode un spot lumineux au niveau de l'émetteur, que l'œil humain ne peut pas voir

[cliquer ici pour voir la vidéo](#)

Voici donc un bon moyen pour vérifier le fonctionnement d'une télécommande infrarouge de téléviseur.

Remarques :

1 - L'infrarouge est invisible, avons-nous dit. Alors, comment se fait-il qu'il devienne visible sur l'écran de l'appareil photo sous forme d'un spot blanc, bleu, ou violet ? La réponse des capteurs CCD ne devrait-elle pas se limiter au seul domaine infrarouge proche lorsqu'ils sont excités par un rayonnement de ce même domaine ?

Réponse : l'étendue spectrale de la réponse d'un capteur CCD est finie. Une source de longueur d'onde centrale λ provoque la réponse électronique du capteur suivant cette même longueur d'onde, mais aussi pour une plage de longueurs d'ondes voisines centrées sur elle. Ceci tient au fait qu'une émission provoque, dans les semi-conducteurs du capteur CCD, une cascade d'avalanches d'électrons émetteurs de cette longueur d'onde centrale mais aussi secondaires qui émettent des longueurs d'onde voisines. Ainsi, ce que l'on voit sur l'écran, le spot, n'est évidemment pas le rayonnement infrarouge direct, mais les rayonnements indirects qui proviennent des changements de niveaux d'énergie des électrons, en réponse à ce rayonnement direct, sous forme de rayonnements secondaires allant jusqu'à la fin du spectre visible.

2 – Entre la longueur d'onde émettrice moyenne λ et la température de la source de ce rayonnement, T , existe la relation du « déplacement de Wien » :

$$\lambda(\mu m) = \frac{2898}{T(K)}$$

déduite de la théorie du rayonnement de Planck. Elle montre que pour l'infrarouge lointain (10 à 100 K) ce sont les sources de chaleur ordinaires (corps humain, machines, etc.) qui en sont les sources (quelques dizaines ou centaines de degrés Celsius), et que pour l'infrarouge proche (1 micron) on a affaire à des sources très chaudes (quelques milliers de Kelvin). Ces températures sont celles que l'on trouve dans les émetteurs IR des télécommandes, mais elles ont un très faible rayon d'action, limité au niveau atomique des LED émettrices : c'est pourquoi on ne se brûle pas en touchant ces sources en action.

Annexe: Acquisition de l'image par technique CCD

Pour acquérir une image et la convertir en signaux électriques qui seront traités pour transmettre et reproduire la scène, il faut un photo-détecteur. Son rôle est de transformer l'énergie lumineuse en énergie électrique. La photo-détection utilise l'effet photoélectrique: les interactions d'un milieu semi-conducteur avec des photons incidents modifient les propriétés électriques, notamment la conduction électrique, de ce milieu. L'absorption du rayonnement électromagnétique reçu fait passer les électrons du milieu d'une bande de valence à une bande de conduction, ce qui a pour conséquence de modifier sa résistivité.

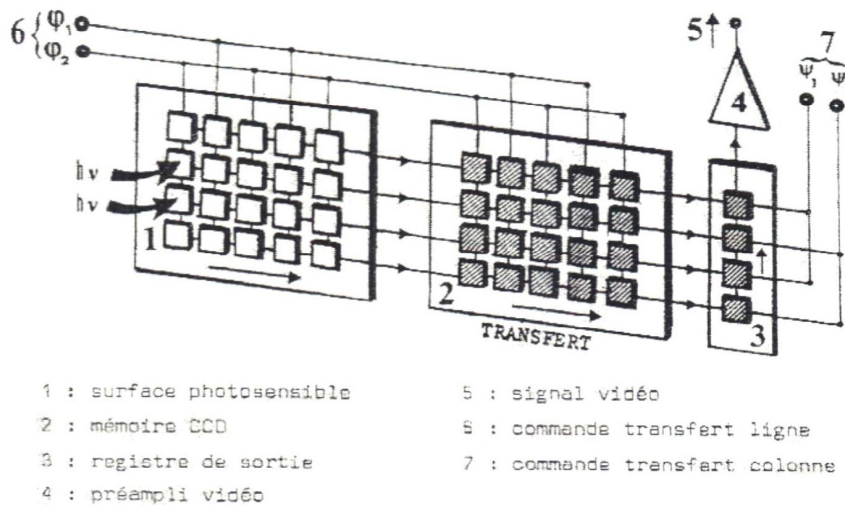
L'effet photoélectrique se manifeste des différentes façons suivantes:

- photoémission: émission d'électrons lorsque le matériau reçoit une lumière incidente;
- photoconduction: le flux (c'est-à-dire l'énergie transportée par le rayonnement par unité de temps, donc exprimée en Watts W) incident instantané provoque l'augmentation de la conductivité du matériau semi-conducteur;
- création de paires électron-trou: lorsqu'un matériau possédant des homo-jonctions PN ou des hétéro-jonctions MOS (Métal-Oxyde Semi-conducteur) est soumis à un flux de photons (lumière) ses niveaux d'énergie sont modifiés et donnent naissance à des charges électriques mobiles: les paires électron-trou.

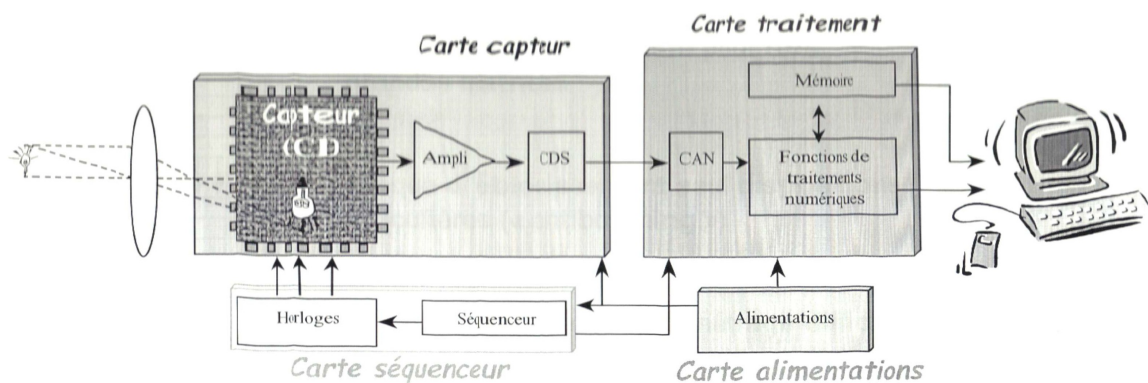
Dans les systèmes d'acquisition de l'image où les capteurs élémentaires sont composés d'un réseau de photo-éléments, les charges électriques mobiles sont récupérées dans des circuits spécifiques pilotés par des signaux d'horloge, lesquels ont pour rôle de balayer les photo-éléments pour convertir le signal lumineux (la scène reçue sur les capteurs) en un signal électrique de sortie.

La technologie CCD (Charges Coupled Device, ou dispositif à transfert de charges) utilise la photo-détection de la manière suivante (figure 2):

- les hétéro-jonctions MOS sont organisées en barrettes ou en matrices;
- le balayage utilise des registres à décalage analogiques appelés circuits à transfert de charges. En effet, l'acquisition d'une image nécessite un temps d'intégration pendant lequel les charges électriques, résultant de l'effet photoélectrique, sont accumulées par les photo-éléments, puis stockées dans un élément d'isolant qui joue le rôle de condensateur. Après cette étape, vient le temps de transfert pendant lequel les charges électriques sont transférées par un dispositif à transfert de charges (CCD), où le courant électrique est orienté vers son utilisation et son traitement numérique.
- Le CCD est constitué d'un semi-conducteur photosensible recouvert d'une couche isolante sur laquelle les électrodes sont fixées. Ces électrodes sont soumises à des tensions de commande déphasées de telle manière que le transfert de charges s'effectue d'une électrode à l'autre en synchronisation. Les charges électriques se déplacent ainsi jusqu'à la dernière électrode, d'où le signal vidéo, converti en signal électrique, est recueilli et amplifié pour subir un pré-conditionnement du signal.



Principe de la technologie CCD



Principe de l'architecture des caméras à base de capteurs CCD

Fig. 2: technologie CCD

Les principales caractéristiques, à ne pas confondre, des caméras CCD sont:

- La résolution: de par la taille réduite mais finie de chaque capteur CCD, l'image reçue est échantillonnée dans les deux directions (horizontale et verticale). Le nombre total de photo-éléments (ou pixels) détermine donc la résolution maximale de la caméra, c'est-à-dire la taille du plus petit détail qui peut être décelé pour un grandissement donné (zoom). Il s'agit d'une limite théorique, car beaucoup de facteurs réduisent la résolution.
- La sensibilité absolue: elle est égale au plus petit nombre de photons reçus par unité de surface pour générer un signal électrique de sortie, corrigé du bruit. Elle est exprimée en puissance par unité de surface du capteur, soit en W/m^2 ou bien en lux (puissance lumineuse). Pour fixer les idées, la lumière reçue du Soleil correspond à 1000 lux, celle de la Lune pleine, à 0,1 lux, et celle d'une lampe, à 200-500 lux environ. Pour les capteurs CCD, ce n'est pas la surface entière qui doit être prise en compte, mais seulement 30 à 70%. La sensibilité est directement proportionnelle à la taille du photo-élément.
- La sensibilité relative: elle caractérise le nombre de photons minimal nécessaire pour passer d'un niveau d'intensité à un autre (niveaux de gris). Elle est donnée par la courbe reliant les signaux d'entrée et les signaux de sortie pour un flux lumineux donné fixé. Idéalement, cette courbe est linéaire, en réalité elle ne l'est que sur une gamme de signaux d'entrée.

- Le rapport signal/bruit: le signal de sortie est entaché de bruits électroniques d'origines diverses et possédant une certaine dynamique (niveau) qu'il s'agit de réduire par rapport à celle du signal utile. Le rapport de ces deux niveaux est le signal/bruit, exprimé en dB. Parmi les principales sources de bruit on mentionne: le « bruit de grenaille » dû à la nature corpusculaire de la lumière, c'est-à-dire les photons (théorie de Nyquist), et le bruit associé au « courant d'obscurité », due à l'agitation thermique des électrons, et qui spécifie un courant mesurable même lorsque le capteur ne reçoit aucun flux lumineux (obscurité). Le rapport signal/bruit des capteurs CCD est de l'ordre de 45 à 60 dB, bien supérieur donc à celui de l'œil humain.
- La réponse spectrale: elle caractérise le niveau relatif de signal délivré par le capteur en fonction de la longueur d'onde. Elle dépend de l'efficacité quantique relative des photo-éléments (exemple en figure 1). En effet, un photo-élément ne réagit pas de la même manière aux longueurs d'onde du flux lumineux incident, et présente généralement un maximum autour d'une certaine longueur d'onde.
- La dynamique: c'est la rapport, exprimé en dB, entre le plus petit niveau de signal décelable (en l'occurrence celui du courant d'obscurité) et le niveau le plus élevé que peut recevoir le capteur à la saturation. La dynamique des CCD est aujourd'hui au moins de l'ordre de 80 à 100 dB (l'œil humain a une dynamique de 200 dB!).
- La caractéristique de transfert: la tension de sortie du capteur CCD (exprimée en volt V) dépend directement du temps d'intégration de la lumière sur le capteur, exprimé en ms (cela signifie qu'un capteur capte d'autant plus de photons qu'il est exposé longtemps au flux). Mais cette relation, généralement linéaire ⁽⁴⁾, est favorisée par les éclaircissements élevés (exprimés en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$): la pente de la droite tension-temps d'intégration augmente avec l'éclairement.
- La numérisation: la construction d'une image numérique, à partir des signaux de sortie bruités des photo-éléments, le signal analogique de sortie doit être échantillonné et codé. L'échantillonnage et le codage (transformation en digits ou bits) sont assurés par un convertisseur analogique/digital (CAN). La mémoire nécessaire pour coder un signal analogique dépend directement de la dynamique du signal. Elle est représentée par la quantité d'information, exprimée en bits, liée à la transmission d'un signal, notée $I_{\text{éch}}$. Or la dynamique est donnée par le rapport $(S^2 + B^2)/B^2$, où S^2 est la puissance du signal utile, B^2 la puissance du bruit ($S^2 + B^2$ est donc la puissance à la saturation). On montre alors que $I_{\text{éch}}$, encore appelée entropie de l'échantillon bruité, est égale à:

$$I_{\text{éch}}(\text{bits}) = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{S^2}{B^2} \right) \approx 0,1661 \left(\frac{S^2}{B^2} \right)_{\text{dB}}$$

Plus la dynamique est grande, plus il faut de digits pour échantillonner et coder le signal. Ainsi, pour un rapport signal/bruit $(S^2/B^2) = 60$ dB, il faut un CAN de 10 bits. Au-delà de 70 dB, il faut un CAN de 12 bits. Ce sont les valeurs généralement adoptées pour les CCD.



⁴ Ce n'est pas le cas de l'œil humain: la fonction de transfert, linéaire pour les CCD, est logarithmique pour l'œil humain. Le même phénomène existe aussi pour l'acoustique de l'ouïe humaine (loi de Fechner).

Références:

- Alain Trémeau, Christine Fernandez-Maloigne, Pierre Bonton: Image numérique couleur, de l'acquisition au traitement – Dunod 2004
- Jean-Claude Béliard: Bases de la télévision – DGA, Centre d'Essais des Landes, version 3, octobre 2003
- Jean-Claude Béliard: Initiation à la video numérique – DGA, CELM département optique, octobre 2003
- S. Filiquier: Stage imagerie, rappels d'optique – DGA, CFBS, Bourges, juin 2003
- René Bouillot: Cours de photographie numérique: principes, acquisition et stockage – Dunod 2003
- Joseph Caniou: L'observation et le mesurage par thermographie, AFNOR, Paris, 1991