

# TP sur les capteurs optiques

Hocine ABDELHAMID 21100727

November 2022

## 1 Introduction

Le but du TP est d'étudier la réponse spectral d'un capteur monochrome CCD et d'un capteur monochrome CMOS dans un premier temps, puis d'étudier le bruit temporel et le bruit spatial fixe du capteur dans un second temps. Pour ce faire nous allons utiliser un système composé d'une lampe halogène, un monochromateur, une sphère intégratrice, un capteur calibré et le capteur sous test. Nous allons dans un premier temps présenter ce matériel puis vous présenter nos résultats.

## 2 Présentation du matériel

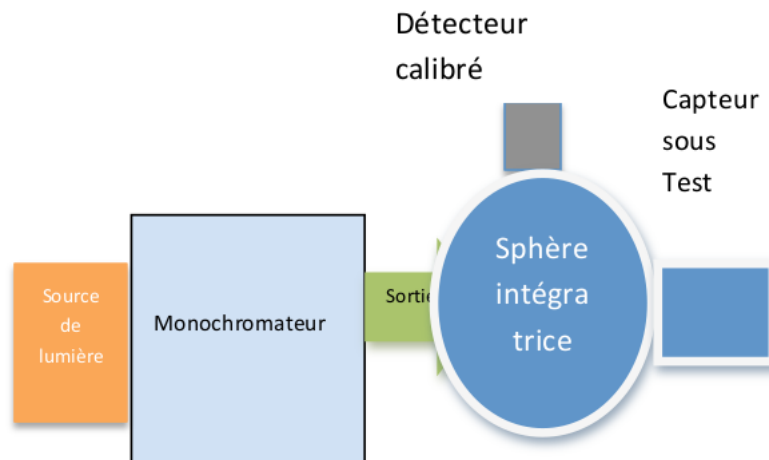


Figure 1: Schéma du dispositif

### 2.1 Le monochromateur

Le monochromateur (voir figure 2.2) est un dispositif optique qui sépare la lumière polychromatique. Un jeu de miroir couplé à un réseau de diffraction

permet de séparer les différentes longueur d'ondes de la lumière émise par la lampe halogène. Au final, une fente laisse passer seulement la longueur d'onde sélectionnée (grâce a un logiciel) dans la sphère intégratrice 2.2.

## 2.2 Source de lumière

La lumière est émise par une lampe halogène. Elle est émise de sorte que les rayons arrivent a peu près parallèle avant d'être traité par le monochromateur



Figure 2: monochromateur

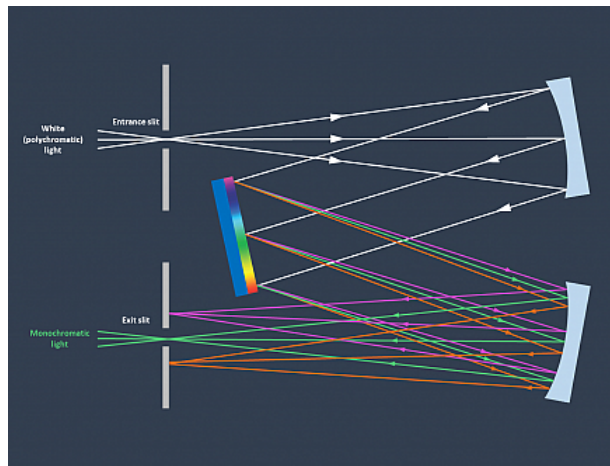


Figure 3: principe du monochromateur



Figure 4: sphère intégratrice

### 2.3 Sphère intégratrice

La sphère intégratrice 2.2 a pour fonction de diffuser la lumière équitablement dans toutes les directions. On dit que c'est un diffuseur parfait. Elle diffuse la lumière de sorte que l'intensité lumineuse soit la même pour le détecteur calibré et pour le capteur sous test.

## 3 Les capteurs

### 3.1 Capteurs CCD vs capteurs CMOS

Dans un premier temps, il fallait déterminer quels sont les capteurs CCD et les capteurs CMOS. une différence notable entre ces deux capteurs est que le CMOS intègre pour chaque pixel une photo-diode (qui sert a la conversion photon-charge et au stockage des charges) ainsi qu'un amplificateur qui permet la conversion des charges en tension. Autrement dit le capteur CMOS fais l'acquisition de la lumière et la conversion en tension au sein même de la puce, ce qui rend, par rapport au CCD, un circuit plus compacte et par extension, moins lourd. Une autre différence est le fait que les photo-diodes du capteur CMOS peuvent être constituée d'un autre matériaux que le silicium. Et cela permet par exemple d'utiliser le capteur CMOS sur une grande étendue de longueur d'ondes.

### 3.2 Capteur noir et blanc capteurs couleurs

Il existe plusieurs techniques pour pouvoir retranscrire les couleurs. On va développer ici le filtre de Bayer. Dans le filtre de bayer, on ajoute sur chaque photo-site un filtres rouge, vert ou bleu. on obtient une mosaïque de 4 filtres : 2 vert, 1 rouge, 1 bleu.

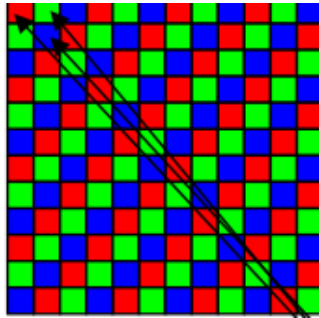


Figure 5: Mosaïque de filtre, 2 vert, 1 rouge, 1 bleu

La raison pour laquelle on utilise plus de filtre vert que de filtre bleu et rouge est que l'oeil humain possède plus de cône vert que de cône rouge et bleu. Il capte par conséquent mieux la lumière verte.

## 4 Utilisation du monochromateur

On teste le monochromatueur sur différente longueur d'onde dans le domaine du visible. on a fait un tableau présentant la couleur observée dans la sphère en fonction de la longueur d'onde à l'oeil nu, et avec notre téléphone.

Lambda(nm)	Couleur œil nu	Couleur Iphone
390	Invisible	Bleu foncé assez faible
400	Violet foncé faible intensité	Violet faible
410	Violet foncé	Violet foncé
420	Violet foncé	Violet foncé
430	Violet foncé	Violet foncé
440	Bleu Foncé	Violet pale
450	Bleu Foncé	bleu foncé
460	bleu foncé	bleu foncé
470	bleu un peu moins foncé	bleu un peu moins foncé
500	Vert bleuté	Vert bleuté
520	Vert pomme	Vert pomme
540	Vert clair	Vert clair
560	Vert morve	Vert morve
580	Orange soleil	Orange soleil
600	Orange crépuscule	Orange crépuscule
620	Rouge	Rouge
640	Rouge	rouge rosé
660	Rouge moins lumineux	Rose rouge
680	Rouge peu lumineux	Rosé
700	Bordeaux	Rouge foncé
720	Rouge peu visible	Faible bordeaux
740	Bordeaux très peu visible	Très faible bordeaux
760	Rouge presque invisible	Très faible bordeaux
780	Invisible	Invisible
800	Violet	Violet
850	Bleu foncé faible	Bleu foncé faible
900	Bleu foncé	Bleu foncé
950	turquoise faible	turquoise faible
1000	Vert turquoise	Vert turquoise
1050	Vert faible	Vert faible
1100	Vert jaune	Vert jaune

Table 1: Couler en fonction de lmbda

On voit par moment, principalement dans l'ultraviolet, que l'iphone capte une couleur légèrement différente qua' l'oeil nu. En effet l'iphone embarque un capteur CMOS avec un post traitement qui créer ces différences. On voit également que dans l'infrarouge, on peut observer a l'oeil nu, une couleure dans la sphère. Cela corresepond a la deuxieme frange d'interference du au réseau de diffraction. Une solution pour éviter cela est d'utiliser un filtre passe haut afin de couper les longueur d'ondes indésirables.

## 5 Mesure de la réponse spectral

Après avoir calibré les paramètres images de la caméra de sorte à ce qu'elle ne sature pas (choix d'un temps d'exposition de 200ms pour environ 4fps), on a enregistré pour chaque longueur d'ondes une trentaine d'images pendant que le détecteur calibré effectuait les mesures de la tension. On a ensuite écrit un programme afin de calculer la valeur moyenne des mesures à chaque longueur d'ondes du détecteur calibré, ainsi que l'image moyenne des 30 images. (le code est disponible sur le lien suivant : <https://github.com/Huss94/capteurs-optiques>)

### 5.1 Calcul de la puissance lumineuse moyenne

Dans un premier temps on calcule la moyenne à chaque longueur d'onde de la valeur numérique donnée par le détecteur calibré. On obtient un tableau contenant pour chaque longueur d'onde, une valeur moyenne. On divise ensuite ces valeurs par la réponse spectral du détecteur calibré.

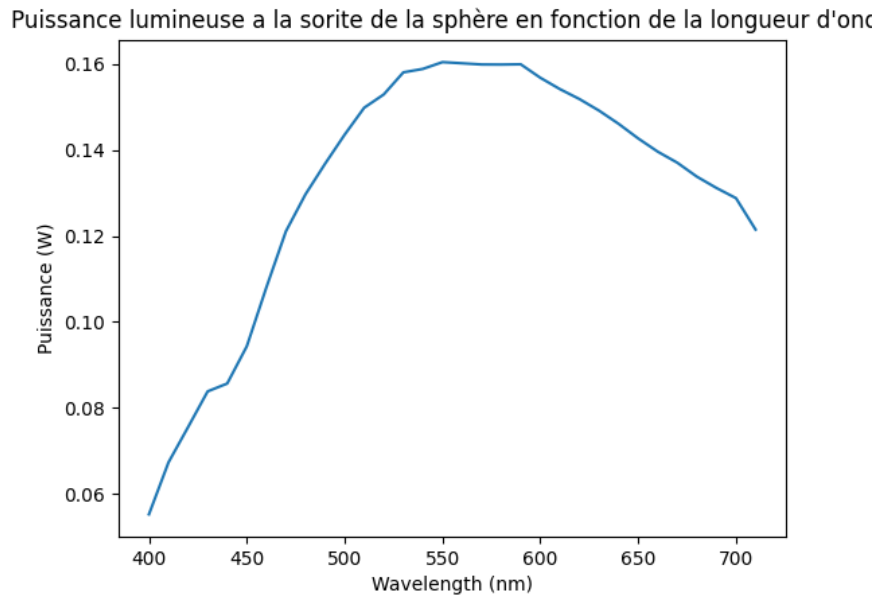


Figure 6: Puissances moyennes en fonction de la longueur d'onde

On remarque que la puissance est la plus élevée à 550nm ce qui est caractéristique du silicium.

Il faut maintenant calculer la réponse spectral du CCD. On va utiliser pour cela les images moyennes calculées précédemment qui représentent la valeur

numérique moyenne La réponse spectral a une longueur d'onde donnée est alors

$$Rs = \frac{Vn}{P}$$

où  $Vn$  est la valeur numérique et  $P$  la puissance lumineuse.

Nous avons des images moyennes on va alors calculer la réponse spectrale de 3 manière différentes :

- Sur un seul pixel 5.1
- Sur une petite fenetre de l'image 5.1
- Sur toute l'image 5.1

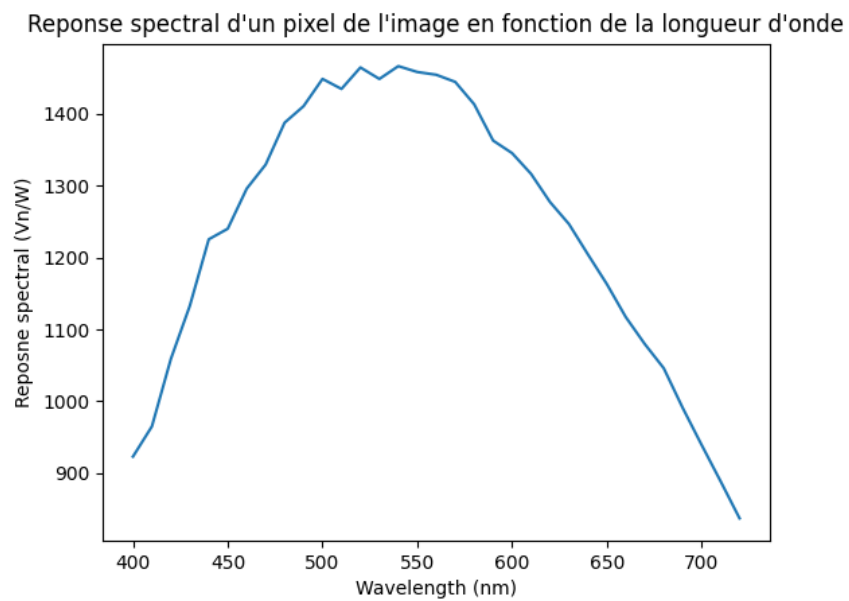


Figure 7: Reponse spectral d'un seul pixel de l'image en fonction de la longueur d'onde

Reponse spectral d'une fenetre de l'image en fonction de la longueur d'onde

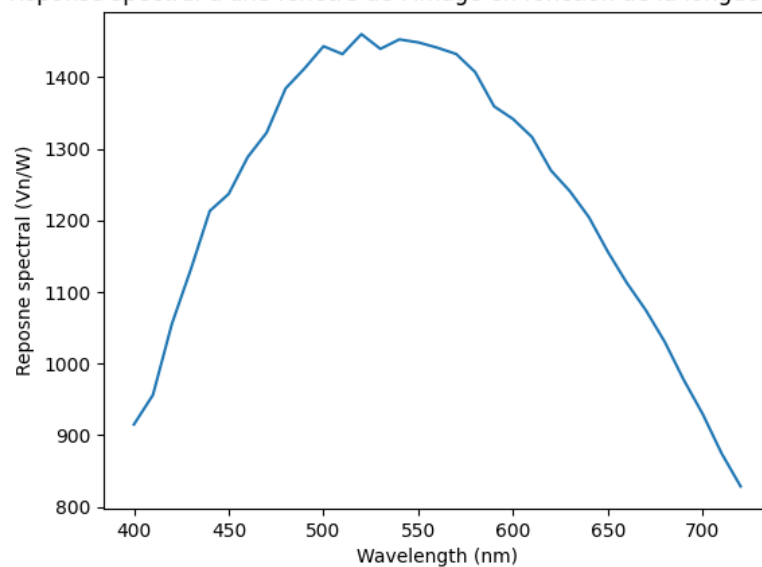


Figure 8: Reponse spectral d'une fenetre de l'image en fonction de la longueur d'onde



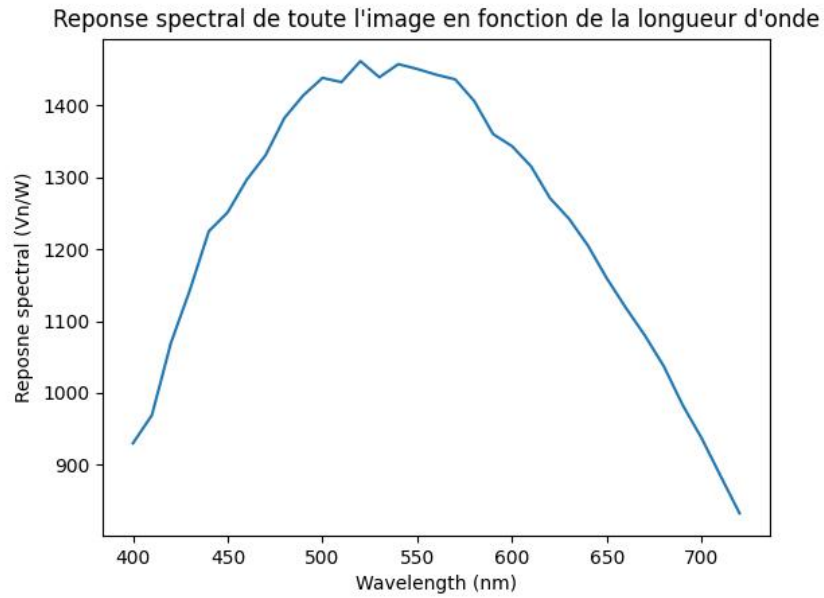


Figure 9: Reponse spectral de toute l'image en fonction de la longueur d'onde

## 6 Bruit temporel et bruit spatial

Nous n'avons pas eu le temps en TP de prendre les 100 images nécessaires à cette partie, on va cependant utiliser les 30 images prises pour la partie précédente.

On trace la valeur d'un pixel en fonction du temps afin de visualiser le bruit temporel. 6

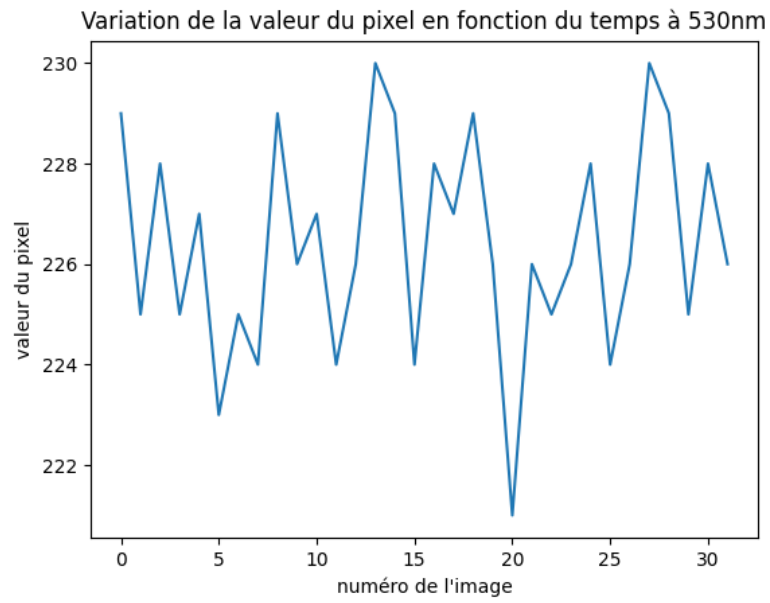


Figure 10: Bruit temporel pour les images prises à  $\lambda = 530\text{nm}$

Pour le bruit spatial fixe, on calcule la moyenne des images à 530nm et on trace chaque pixel de l'image 6

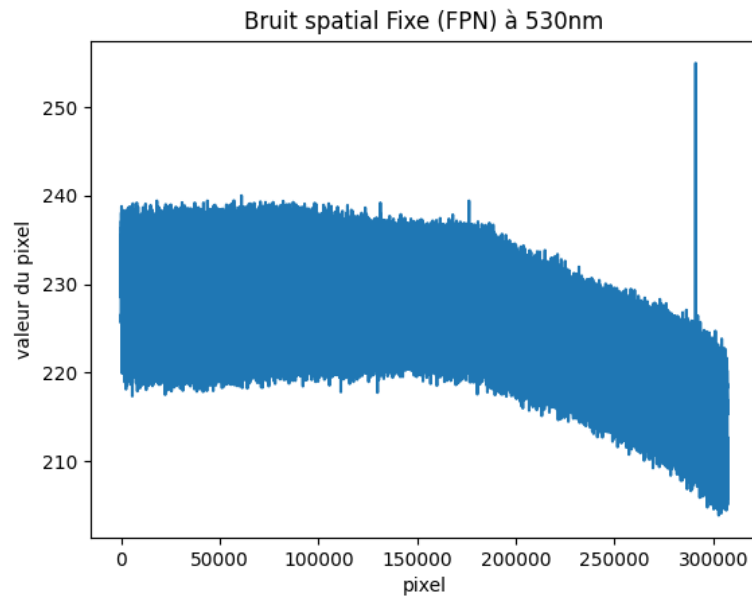


Figure 11: Bruit spatial fixe pour l'image moyenne à  $\lambda = 530\text{nm}$

ces bruits peuvent être dû aux interférences électromagnétiques, aux bruit thermique (courant noir) et plusieurs autres facteurs.