

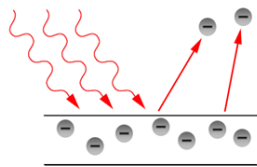
Fiche 5 :

Le capteur CCD

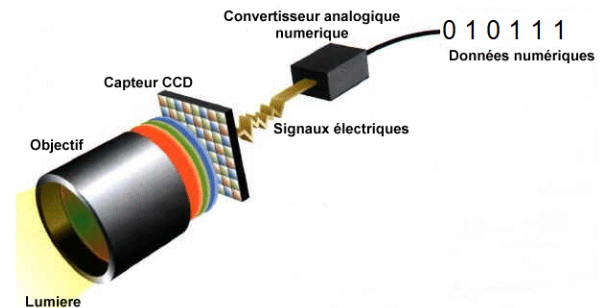
- Sur les appareils photo numériques, le film argentique des appareils photos argentique est remplacé par un capteur, le capteur CCD ou CMOS. Le capteur est le cœur de l'appareil photo numérique. C'est grâce à ce support que l'on peut enregistrer et voir nos photos sur support informatique.

Etudions ici le capteur CCD...

Le capteur CCD (Charge-Coupled Device) est un capteur photoélectrique qui convertit une information lumineuse en un signal électrique qui peut être ensuite numérisé.



En physique, l'effet photoélectrique désigne l'émission d'électrons par un matériau soumis à l'action de la lumière.

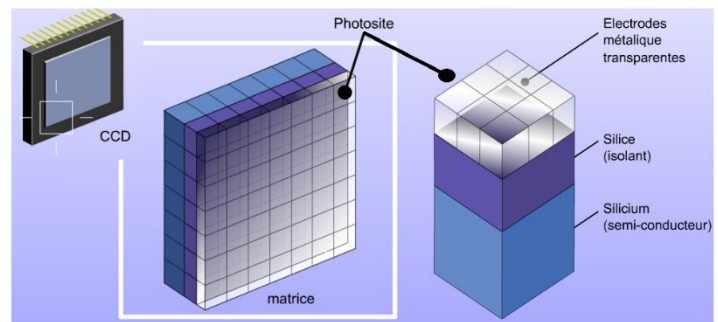


A : Structure de base d'un capteur CCD

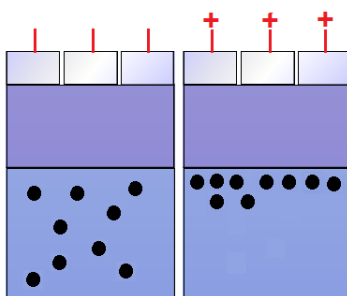
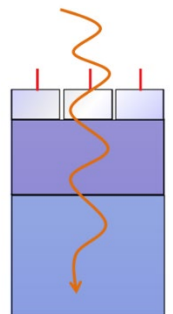
- La surface du capteur CCD est composée d'une multitude de cellules sensibles à la lumière appelées cellules photosensibles ou photosites, de quelques micromètres de côté. Elles sont placées les unes à côté des autres et constituent la matrice du capteur CCD, composée de lignes et de colonnes.

Chaque photosite est composé de 3 couches :

- La couche inférieure est composée d'un semi-conducteur : le silicium
- La couche intermédiaire en silice est un isolant thermique
- La couche supérieure, exposée à la lumière est composée d'électrodes métalliques transparentes



- Lorsqu'un rayon lumineux atteint un photosite, il traverse les électrodes et l'isolant transparent à la lumière. Les photons lumineux percutent les atomes de silicium présents dans la couche inférieure. L'énergie des photons permet alors d'arracher des électrons aux atomes de silicium. Ces électrons sont alors libres et se déplacent aléatoirement dans le silicium.



électrons arrachés des atomes de silicium par les photons incidents

Un potentiel positif appliqué aux électrodes permet d'attirer et de stocker tous les électrons libres dans la zone haute de la sous couche semi-conductrice, l'isolant électrique intermédiaire les empêchant de rejoindre les électrodes.

Plus un photosite reçoit de lumière donc de photons, plus il a d'électrons piégés : **il reste à dénombrer ces électrons pour connaître la quantité de lumière qui a atteint la cellule !!**

B : Le transfert des charges dans le capteur

- CCD signifie en français *Dispositif à Transfert de Charge*.

En effet, le fonctionnement du CCD fait intervenir le stockage et le transfert de charges électriques : le dispositif stocke et déplace des électrons.

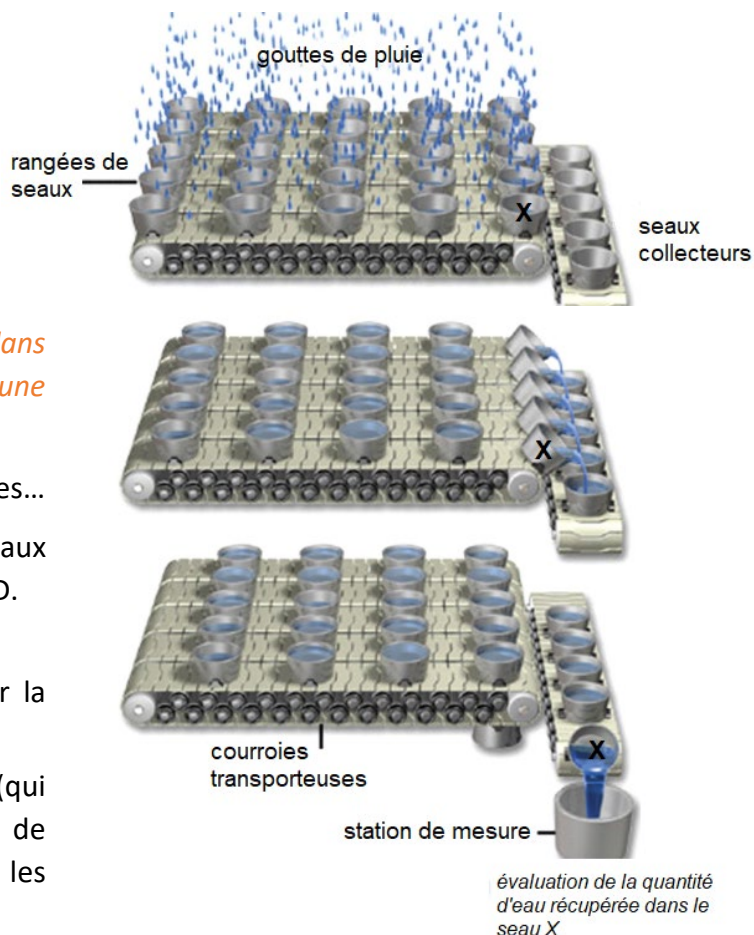
↳ Comment le système compte-t-il les électrons dégagés par l'action de la lumière ?

Pour comprendre le fonctionnement d'un CCD, faisons **une petite parenthèse « pluviométrique »** !

Afin de déterminer la quantité d'eau que reçoit chaque m^2 d'un grand champ, on répartit régulièrement des seaux en les alignant parfaitement.

Pendant la pluie, l'eau s'accumule dans les seaux.

Lorsque la pluie cesse, des courroies transportent les rangées de seaux. Quand une rangée atteint l'extrémité du champ, les seaux se déversent dans d'autres seaux collecteurs qui transportent l'eau à une station de mesure où le contenu est mesuré.



Et maintenant revenons à notre matrice de photosites...

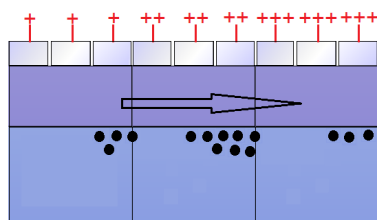
- Les gouttes de pluie qui s'accumulent dans les seaux sont analogues aux photons entrants frappant le CCD.

Les photosites remplacent les seaux.

Le système de pluviométrie permet de déterminer la quantité d'eau qui tombe sur chaque m^2 du terrain.

Le capteur CCD va, grâce à ses photosites (qui remplacent les seaux), déterminer la quantité de lumière qui arrive sur chaque cellule, en comptant les électrons dégagés dans le silicium.

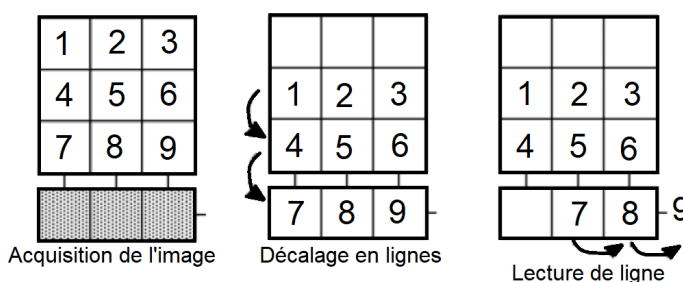
Une fois la pose terminée, les électrons piégés sont déplacés de cellule en cellule jusqu'à un dispositif de comptage : **c'est le transfert des charges**



les électrons se déplacent de photosite en photosite grâce à la variation des potentiels des électrodes

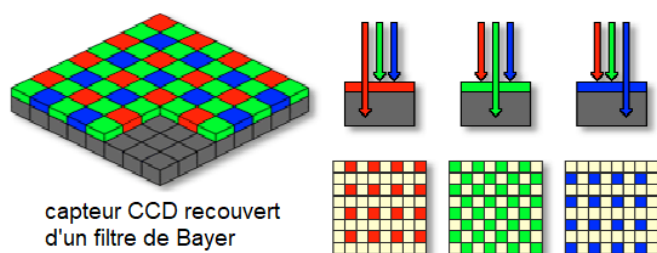
Les électrodes permettent de transférer les électrons d'une cellule à une autre. En faisant varier le potentiel des électrodes alternativement d'un potentiel faible à un potentiel plus fort, celles-ci peuvent successivement attirer les électrons. Il est ainsi possible de transférer par paquets les électrons de chacune des cellules afin d'en déterminer la charge.

- Ensuite, le convertisseur analogique/numérique convertit le signal analogique donné par le capteur en données binaires.



C : La restitution des couleurs

• Un pixel, plus petit point d'une image, peut avoir une certaine couleur. Un pixel est normalement composé de 3 sous-pixels, chacun capable de restituer une variance de la couleur primaire qui lui est attribuée : rouge, vert et bleu. La couleur du pixel change en fonction de l'intensité de chaque sous-pixel par synthèse additive.



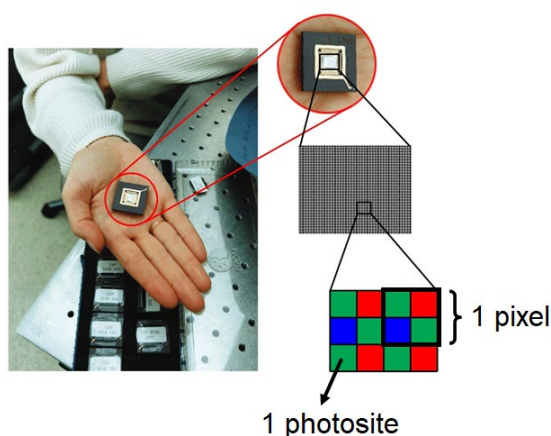
• Pour que le capteur CCD puisse créer une image en couleur, il lui faut posséder plusieurs photosites pour un pixel et que chaque photosite n'accumule que la lumière d'une couleur primaire. Ainsi, par synthèse additive, on obtiendrait une couleur pour le pixel.

On dispose donc sur la surface de la matrice du CCD, un filtre (Filtre de Bayer) afin que chaque photosite ne reçoive qu'une composante (rouge, bleue ou verte) de la lumière blanche.

Dans le cas d'un capteur CCD, 4 photosites formeront le pixel de l'image

Un pixel est donc maintenant composé de 4 surfaces photosensibles : un photosite sensible (grâce au filtre) au bleu, un photosite sensible au rouge et 2 photosites sensibles au vert.

Afin que l'image restituée par le capteur soit la plus proche possible de l'image vue par l'œil (qui est plus sensible au vert), le capteur possède 2 photosites verts.



D : La taille des capteurs et des pixels



• Sur le marché « grand public », on trouve plusieurs tailles de capteur, qui vont de 24x36mm pour les reflex, à 4,6x6,13 mm pour certains compacts.

• La taille du capteur a une incidence directe sur l'angle de champ de l'objectif que l'on utilise. Un grand capteur a ainsi un plus grand angle de champ qu'un capteur plus petit avec un objectif identique. La profondeur de champ est également plus petite avec un grand capteur de 24x36mm.

• La taille du capteur a une influence sur la taille des pixels.

Ainsi si un capteur numérique possède 24 millions de pixels, on peut montrer que sur un capteur 24x36 mm, la taille du pixel sera d'environ 6 μm alors que sur un capteur 15,9x23,6 mm, sa taille sera d'environ 4 μm .

- Lorsque les pixels sont plus petits, il apparaît un effet de grain sur les photos lors de l'agrandissement (cet effet est appelé « *bruit numérique* »)



E : Définition et résolution

- Les termes résolution et définition sont souvent confondus ; il y a pourtant une différence !

↳ **La définition** d'une image (ou d'un capteur) s'exprime en pixels : c'est le nombre de pixels contenus dans l'image.

Ainsi un capteur d'APN qui produit 4000 pixels sur le grand côté de l'image et 3000 sur le petit côté aura donc une définition de $6000 \times 4000 = 24\,000\,000 = 24$ millions de pixels

↳ **La résolution** est un nombre de pixels par pouce.

Elle s'exprime en trois unités équivalentes :

- En dpi (Dots Per Inch),
- En ppi (Points Per Inch)
- En ppp (Points Par Pouce)

Remarque : sachant qu'un pouce est égal à 2,54 cm, on peut calculer une résolution en pixels par centimètre (bien que ce ne soit pas dans les habitudes !)

Ainsi pour une résolution de 200 dpi on aurait 79 pixels par cm