

# Capteurs CCD/CMOS : comment choisir ?

**A** lors que la technologie d'imageurs CCD, connue pour sa qualité d'image irréprochable, est toujours la technologie la plus répandue dans l'univers de la vision industrielle, les imageurs CMOS arrivent enfin à maturité et offrent de nouvelles perspectives. Cependant, dans la plupart des cas, le choix entre CCD et CMOS n'est pas évident. Chaque technologie présente son lot d'avantages et de limitations, qu'il est indispensable de connaître afin d'effectuer une sélection judicieuse.



## Technologies Comparées

Pendant longtemps le marché des imageurs pour la vision industrielle a été dominé par la technologie CCD (Charge-Coupled Device). Celle-ci, inventée en 1975, a connu au cours des trente dernières années d'importantes évolutions. Elle constitue aujourd'hui la technologie de référence.

Parallèlement à cela est apparue, dans les années 1990, une seconde technologie, baptisée CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), qui devait révolutionner le monde de la vision. Jugée moins performante que son aînée, celle-ci est restée pendant longtemps cantonnée aux applications bas de gamme, ne nécessitant pas une qualité d'image très élevée. Cependant, depuis quelques années, la donne a changé. L'arrivée à maturité des procédés de fabrication du CMOS, ainsi que les progrès réalisés dans le domaine de l'électronique, transforment peu à peu cette technologie en une véritable alternative au CCD.

Nous n'allons pas rentrer dans les détails du fonctionnement des technologies CCD et CMOS puisque nous avons déjà consacré un article à ce sujet dans le numéro 27 de Jautomatise, paru au mois de mars-avril 2003. Cependant il est important de connaître

les différences fondamentales qui existent entre ces deux technologies.

Toutes deux sont basées sur l'exploitation du même phénomène physique : l'effet photoélectrique, qui consiste à transformer la lumière récoltée au

Caractéristique	CCD	CMOS
Signal issu du pixel	Charge	Tension
Signal issu de la carte	Tension (analogique)	Bits (numérique)
Signal issu de la caméra	Bits (numérique)	Bits (numérique)
Facteur de remplissage	Elevé	Modéré
Niveau de bruit	Faible	Modéré à élevé
Complexité du système	Elevé	Faible
Complexité du capteur	Faible	Elevé
Composants de la caméra	Circuits intégré + cartes + lentilles	carte + lentille
Performance	CCD	CMOS
Dynamique	Elevée	Modérée
Uniformité	Elevé	Faible à modérée
Déclenchement uniforme	Rapide	Limité
Vitesse	Modérée à élevée	Elevée
Fenêtrage	Limité	Courant
Polarisation et synchronisation	Multiple, tension élevée	Simple, tension basse

Tableau de comparaison des caractéristiques et performances des technologies CCD et CMOS employées dans des applications de vision industrielle.  
(Source Dalsa Corporation)

niveau d'une couche de silicium, en signaux électriques exploitables par une caméra. Les photoélectrons sont collectés généralement grâce à des photo grilles ou des photodiodes munies de grilles de stockage, chacune de ces diodes représentant un pixel.

La différence fondamentale entre CCD et CMOS apparaît à l'étape de conversion charge-tension. Dans le cas d'un capteur CCD, celle-ci est réalisée en un point unique, à la suite d'un transfert des charges récoltées au niveau des pixels. Dans le cas d'un capteur CMOS, cette conversion est opérée directement, grâce à la présence d'éléments actifs au niveau de chaque pixel.

La présence de ces éléments a plusieurs conséquences : tout d'abord ils contribuent à une baisse significative du facteur de remplissage, auquel est directement liée la sensibilité du capteur. Alors qu'il est voisin des 100% dans le cas d'un capteur CCD pleine trame, ce facteur est beaucoup moins important pour un capteur CMOS de base. Il est à noter qu'il existe différentes architectures de CCD, et que toutes ne présentent pas un facteur de remplissage proche de 100 %. C'est le cas notamment des CCD à registres de transfert.

Quoi qu'il en soit, dans les deux cas le problème peut-être arrangé par la mise en place de microlentilles chargées de concentrer la lumière sur les zones photosensibles des pixels. Comme le précise Louis Brissot de la société Atmel : « La précision lithographique restreint la surface des zones mortes au niveau de chaque pixels à quelques  $\mu\text{m}^2$ , typiquement de l'ordre de 3 à  $8\mu\text{m}^2$ . L'utilisation de microlentilles s'avère de plus en plus indispensable à mesure que la taille des pixels diminue ».

Deuxième conséquence : la présence d'éléments actifs au niveau des pixels augmente significativement la quantité de bruit spatial fixe (FPN), qui est la résultante de la dispersion des caractéristiques électroniques des éléments actifs. « Chaque pixel d'un imageur CMOS contient une petite capacitance qui permet de convertir la charge en potentiel électrique, puis un amplificateur qui diminue l'impédance pour les traitements ultérieurs. Ces deux élé-

ments sont sujets à des variations aléatoires d'un pixel à l'autre, ce qui a pour effet de conférer à l'image un aspect irrégulier et granuleux caractéristique du phénomène de bruit spatial fixe », poursuit Louis Brissot.

Jusqu'à présent, toutes ces considérations semblent donner un avantage conséquent à la technologie CCD. Celle-ci, en comparaison de la technologie CMOS, possède une sensibilité plus grande, pour un niveau de bruit

Par ailleurs, la technologie CMOS autorise l'intégration de fonctionnalités avancées de traitement d'images au plus près du capteur, et permet de concentrer l'action sur les zones d'intérêt de l'image, grâce à un adressage direct des pixels. Enfin, la technologie CMOS consomme beaucoup moins d'énergie et est beaucoup moins difficile à alimenter que son aînée. « Les capteurs CCD présentent deux défauts majeurs. D'une part ils consomment beaucoup plus d'énergie que les CMOS, et



plus faible. C'est ce qui explique la qualité d'image exceptionnelle qui a fait le succès de cette technologie. L'inconvénient est que celle-ci reste malgré tout extrêmement chère et complexe à mettre en œuvre.

Tout d'abord, il faut savoir que la technologie CCD relève d'un procédé de fabrication particulier dont le coût a une inévitable répercussion sur le prix de vente des capteurs. Par opposition, la technologie CMOS est basée sur un processus de fabrication parfaitement maîtrisé et banalisé, qui est le même que celui employé pour la fabrication des circuits intégrés. Ceci permet d'envisager l'ajout à moindre coût de circuits logiques et de mémoire au niveau du capteur, dans le but, par exemple, de se débarrasser du besoin d'utiliser un frame grabber.

d'autre part ils nécessitent la mise en œuvre d'une électronique complexe. Par opposition, les capteurs CMOS présentent des avantages architecturaux permettant la réalisation de caméras on-chip, et l'intégration de fonctionnalités de traitements au niveau du capteur. Ils contribuent ainsi à la diminution globale de la consommation et à la miniaturisation des systèmes de vision », conclut Pascal Chevalier de la société i2s.

## Quel capteur pour quelle application ?

L'univers de la vision industrielle n'est pas figé, et il n'existe à l'heure actuelle aucune solution générique capable de répondre à l'ensemble des besoins.

Le choix de la technologie d'imageur la mieux adaptée pour une application donnée fait partie intégrante du travail de conception des systèmes de vision industrielle, et celui-ci n'a en général rien d'évident. Il se base sur la prise en compte de l'ensemble des caractéristiques propres aux technologies et à l'application, qui conduit bien souvent les concepteurs à faire des compromis.

Voici quelques indications concernant les cas typiques d'utilisation des technologies CCD et CMOS pour des applications de vision industrielle.

Pour caricaturer, jusqu'à présent l'utilisation de capteurs CMOS était réservée aux applications de contrôle industriel simples, ne nécessitant pas impérativement une qualité d'image très élevée. Le CCD, quant à lui, était systématiquement employé pour toutes les applications nécessitant un haut niveau de précision, pour les systèmes de traitement d'images complexes, les applications scientifiques, ou encore pour les applications présentant un faible niveau d'éclairage, et nécessitant une sensibilité élevée.

Mais, comme le précise Mithridate Mahmoudi de la société Imasys : « Ceci n'est plus totalement vrai aujourd'hui, car la technologie CMOS enregistre des progrès très rapides. On voit aujourd'hui apparaître sur le marché des caméras CMOS dont la qualité d'image est très proche de celle du CCD. Mais il est difficile de statuer sur cette question dans la mesure où le capteur seul ne fait pas la qualité de l'image. Il faut également prendre en compte l'ensemble de l'électronique associée, ainsi que le savoir-faire du fournisseur de caméras ».

Quoi qu'il en soit, les bénéfices de l'utilisation de la technologie CMOS sont clairs, et il ne fait aucun doute que celle-ci connaîtra dans les années à venir un regain de popularité pour des applications variées de vision industrielle. « Avec la technologie CMOS, les coûts sont fortement réduits par rapport aux solutions CCD équivalentes. Ceci est principalement dû au fait que le fonctionnement des capteurs CMOS ne

requiert pas la mise en œuvre de beaucoup de composants extérieurs. Tout peut être intégré, de l'acquisition au traitement », explique Gunnar Jonson, responsable marketing de la société Jai-Pulnix.

Cette technologie sera de plus en plus utilisée, notamment pour des applications requérant de grandes vitesses d'acquisition et de traitement : « Le principal avantage des capteurs CMOS est qu'il est possible de déclencher à très haute cadence, tout en maintenant une faible dissipation d'énergie », poursuit Gunnar Jonson. Combinée à un processeur et une mémoire locale de plusieurs giga octets, la technologie CMOS est en mesure de traiter des problèmes tels que l'analyse d'impact à haute-vitesse, l'inspection d'objets en mouvement, la mesure de vitesse des particules. La réduction de la zone d'intérêt de l'image et l'adressage direct des pixels permet d'optimiser la vitesse d'acquisition et de traitement.

Néanmoins, pour la capture d'objets en mouvement avec du CMOS, il est indispensable d'utiliser une méthode de déclenchement spécifique, appe-

Le CMOS a également le vent en poupe pour des applications nécessitant une dynamique importante, comme le soudage ou l'inspection de plaques minéralogiques. En effet, les capteurs CMOS actuels peuvent atteindre des dynamiques énormes, de l'ordre de 120 dB, contre 70 dB pour les capteurs traditionnels. Ce résultat est obtenu grâce à des méthodes de déclenchement combinant réponses linéaires et logarithmiques, qui permettent d'exposer moins longtemps les pixels situés dans les zones fortement éclairées afin de ne pas les saturer de lumière.

Mais face à la montée en puissance du CMOS, la technologie CCD n'a pas dit son dernier mot. C'est elle qui équipe aujourd'hui encore la majeure partie de la base installée de caméras industrielles et il ne fait aucun doute que celle-ci dispose encore d'un bel avenir devant elle dans le domaine des applications professionnelles. Elle reste incontournable pour les applications requérant un très faible niveau de bruit, dans les applications à faible éclairage ainsi que pour les applications nécessitant une grande résolution d'image et un haut niveau de

Vitesse d'acquisition, en images par seconde		
Définition	Rolling Shutter	Global Shutter
1280*1024	27	25
1000*1000	33	30
750*480	77	63
640*480	107	81
64*64	8000	320

Comparaison des vitesses d'acquisition entre une caméra CMOS rolling shutter et une caméra CMOS global shutter. (Source PixelLINK's)

lée global shutter. Celle-ci permet l'exposition simultanée de tous les pixels, contrairement à la méthode traditionnellement employée par les CMOS, dite de rolling shutter, qui expose les pixels ligne par ligne. La méthode de déclenchement global shutter est légèrement plus lente que la méthode rolling shutter, car elle dissocie entièrement les phases d'exposition et de lecture. Elle permet en revanche d'éviter les déformations dues au bougé du sujet, que l'on retrouve typiquement sur les images CMOS à déclenchement rolling shutter.

rendu des couleurs. Le CCD reste également prédominant dans le domaine des caméras linéaires et TDI.

Par ailleurs, s'il est vrai que le coût de fabrication d'un système de vision CCD est plus élevé que celui d'un CMOS, il n'en va pas de même pour le coût de développement, qui est bien plus important dans le cas du CMOS, en raison de la complexité du capteur. Cela n'aurait pas beaucoup d'importance si le volume de caméra CMOS à usage professionnel vendu était élevé, mais ce n'est pas encore le cas aujourd'hui. ■