

# Acheter une caméra CCD / CMOS industrielle ou scientifique

Julien ROMANN

Ingénieur Etudes, Applications et Formation - Photon Lines

[ju-romann@photonlines.com](mailto:ju-romann@photonlines.com)

L'achat d'un détecteur optique peut aujourd'hui relever du casse-tête étant donné le nombre de types de capteurs présents sur le marché. L'époque où le choix d'un capteur optique se limitait à la simple binarité CCD/CMOS est en effet révolue. Certes, ces deux grandes technologies constituent toujours le socle du marché actuel, mais ces dernières ont chacune progressivement donné naissance à des sous-technologies spécifiques engendrant des capteurs plus spécialisés.

Reposant toutes deux sur l'effet photoélectrique permettant de convertir les photons incidents en charges électriques, les technologies CCD (*charged coupled device*) et CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*) ne se différencient que par la manière dont les charges ainsi générées sont ensuite converties en signal de sortie exploitable. Les principes qui régissent ces deux technologies sont décrits en détails dans l'article *Comprendre* de ce numéro.

## Les capteurs CCD

Le CCD a dominé le marché des capteurs optiques durant des décennies en raison

de la haute qualité des images qu'il procurait compte tenu de la technologie disponible durant cette période. La surface du capteur étant constituée d'une matrice de capacités MOS (*metal oxide semiconductor*), chaque pixel de la matrice génère un puit de potentiel permettant de stocker les photoélectrons issus du rayonnement incident. Ces photoélectrons sont ensuite transférés de pixel à pixel de façon séquentielle sous l'effet de la tension de grille contrôlée par une horloge. Globalement, les capteurs CCD offrent une haute sensibilité, un bas niveau de bruit, une capacité quantique importante, donnant ainsi lieu à une dynamique (rapport entre le niveau de saturation et le seuil de détection) importante.

## Les CCD intensifiés (ICCD et EMCCD)

La nécessité de satisfaire aux besoins d'imagerie à très bas niveau de lumière a donné lieu au capteur ICCD, dispositif couplant un CCD et un intensificateur. L'intensificateur, monté en entrée du CCD, est la juxtaposition d'une photocathode (convertit les photons incidents en photoélectrons), d'une galette de micro-canaux (*micro-channel plate* ou MCP, multiplie les électrons incidents par émissions secondaires), et d'un écran phosphore (convertit les électrons issus de la MCP en photons). De multiples photons arrivent ainsi au CCD pour chaque photon incident en entrée de l'intensificateur. Une tension de contrôle est appliquée entre la



[info@photonlines.com](mailto:info@photonlines.com)

+33 (0)1 30 08 99 00

[www.photonlines.fr](http://www.photonlines.fr)

## Caméras CCD et CMOS

- A haute cadence
- A bas niveau de lumière
- A haute résolution
- Embarquées
- Refroidies
- Avec traitement d'images



photocathode et la MCP afin d'accélérer les photoélectrons vers cette dernière. Cette tension constitue un obturateur (*shutter*), puisque sa modification peut interdire le transfert des photoélectrons vers la MCP, et donc l'arrivée de photons vers le CCD. On parle ainsi de *gating*, caractéristique inhérente aux capteurs ICCD. D'un très haut niveau de sensibilité, l'ICCD bénéficie donc d'un *gating* rapide, le tout conféré par un intensificateur rendant toutefois ce capteur relativement onéreux.

L'EMCCD (*electron-multiplication CCD*) est également destiné aux bas niveaux de lumière, mais il ne comporte pas d'intensificateur en amont du capteur. L'intensification s'effectue ici par génération d'électrons secondaires en cascade au sein d'une unité de multiplication d'électrons située en sortie de capteur CCD. Un tel système permet, à la différence de l'ICCD, de bénéficier directement de la résolution procurée par la matrice CCD. L'intensification en sortie de détecteur procure également un faible niveau de bruit devant le gain obtenu par multiplication d'électrons. En revanche, un système de refroidissement est souvent nécessaire au fonctionnement de l'EMCCD, qui ne bénéficie par ailleurs pas de *shutter* en entrée de capteur. L'EMCCD atteint des performances rivalisant aujourd'hui avec l'ICCD pour un coût inférieur, offrant ainsi souvent une meilleure solution pour de bas niveaux de lumière dans les applications ne nécessitant pas de *gating* rapide.

## Les capteurs CMOS

Les capteurs CMOS ont connu un développement plus tardif que celui des capteurs CCD mais néanmoins significatif ces dernières décennies en raison de leur consommation plus faible en énergie, de leur coût de fabrication inférieur et des meilleures possibilités d'intégration qu'ils offrent au sein de dispositifs compacts. Ainsi, la prédominance de la technologie CMOS dans la production de masse lui a permis de surpasser la technologie CCD dans certaines applications.

La technologie CMOS ne parvient pas à ce jour à égaler la technologie CCD en

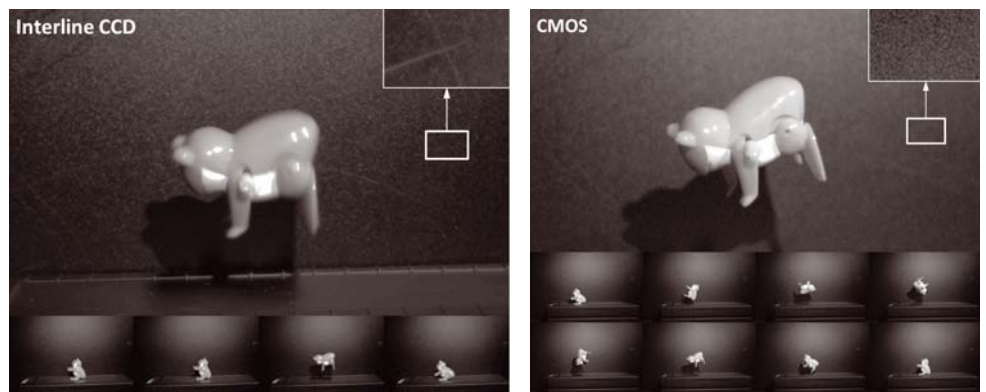


Figure 1. Clichés d'un objet en mouvement filmé avec une caméra comportant un capteur : interline CCD (à gauche), CMOS (à droite).

termes d'uniformité, de dynamique ou de niveau de bruit. Néanmoins, les capteurs CMOS ont un net avantage concernant la cadence maximale de fonctionnement, la capacité d'acquisition sur des régions d'intérêt du capteur (ROI), la fiabilité (la majorité des fonctions du capteur se trouvent sur le même circuit intégré) et le coût.

### Le CMOS scientifique (sCMOS)

Introduits en 2009, les capteurs sCMOS représentent une avancée surmontant les inconvénients de la technologie CMOS. Fondée sur les principes de cette dernière, l'architecture des capteurs sCMOS leur donne sur de nombreux aspects l'avantage à la fois sur les capteurs CMOS et sur les capteurs CCD. De manière générale, les capteurs CCD bénéficient d'une haute sensibilité au prix d'une vitesse d'échantillonnage relativement faible, alors que les capteurs CMOS se distinguent aussi bien par des cadences élevées que par une dynamique limitée. Face aux compromis inhérents à ces deux familles, les capteurs sCMOS rassemblent une grande dynamique, des cadences élevées, un faible bruit, de hautes résolutions et un large champ. Bien que les caractéristiques précises de ces capteurs restent assez confidentielles, certaines de leurs spécificités ont été révélées dans un *white paper* commun d'Andor Technology, Fairchild Imaging et PCO Imaging en 2009. Leur faible niveau de bruit ainsi que leur dynamique étendue résultent de la combinaison d'un système de bi-amplification en parallèle et de convertisseurs analogiques/numériques pour chaque rangée de pixels.

De plus, la lecture du capteur est réalisée de manière indépendante sur ses moitiés haute et basse. Enfin, ces capteurs offrent la possibilité de sélectionner le mode de *shutter* à utiliser (*global shutter* ou *rolling shutter*).

Les capteurs sCMOS atteignent aujourd'hui des performances pouvant surpasser celles de capteurs CCD en termes de dynamique et de cadence, tout en gardant un niveau de bruit comparable à celui des CCD. Seuls les EMCCD parviennent encore à surpasser les capteurs sCMOS concernant l'efficacité quantique (QE), c'est-à-dire le ratio entre les photoélectrons générés et les photons incidents captés.

## À chaque capteur sa spécialité

Les différences entre technologies induisent des performances distinctes mais définissent surtout des domaines de prédilection pour chaque type de capteur. En effet, les divers cas pratiques impliquant une solution d'imagerie nécessitent d'un capteur des performances de natures différentes.

Les exemples visuels sont souvent très utiles afin de mieux se rendre compte de l'impact d'une technologie de capteur sur le résultat obtenu. La figure 1 illustre d'abord la cadence d'acquisition plus élevée du capteur CMOS que celle du capteur CCD, expliquant pour le CMOS le plus grand nombre d'images disponibles pour décrire le mouvement du sujet. En revanche, une observation des images

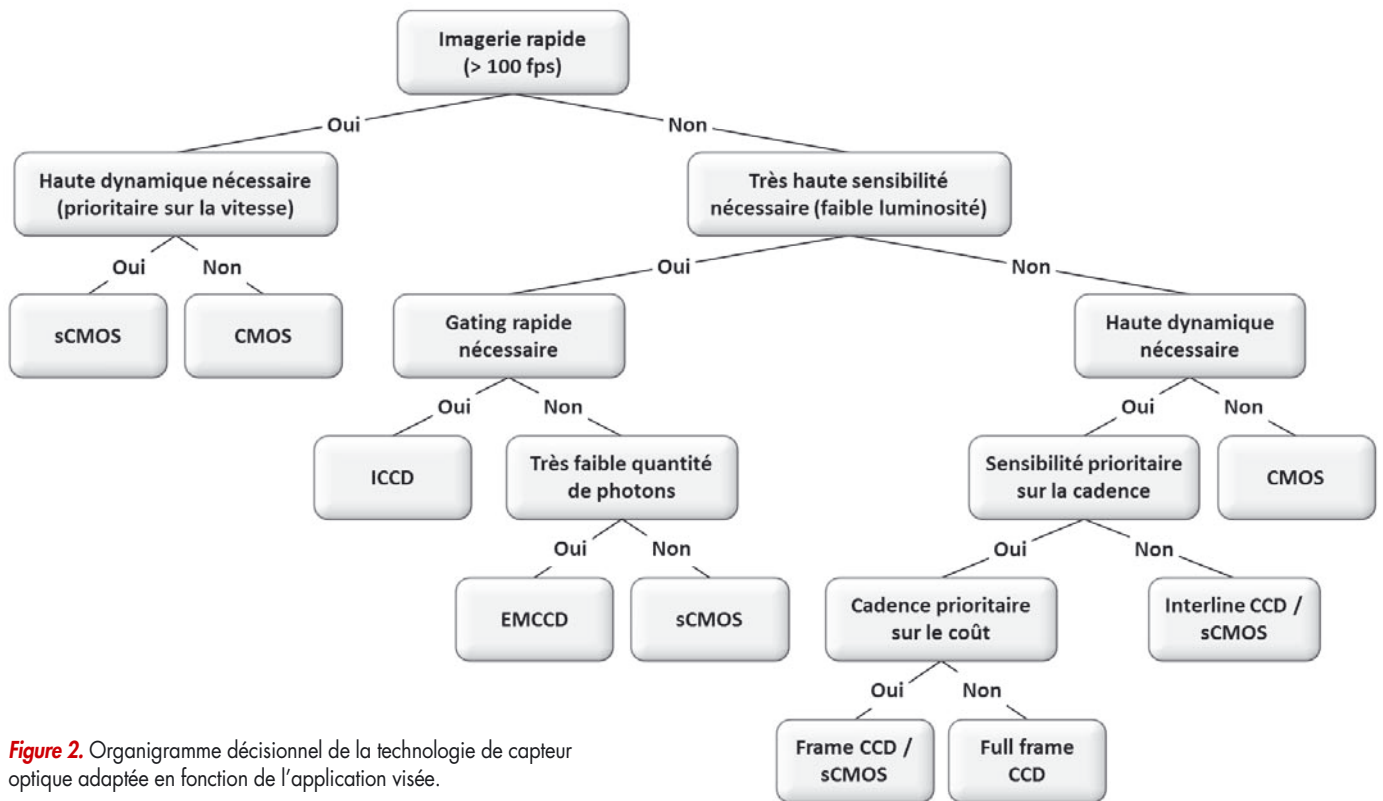
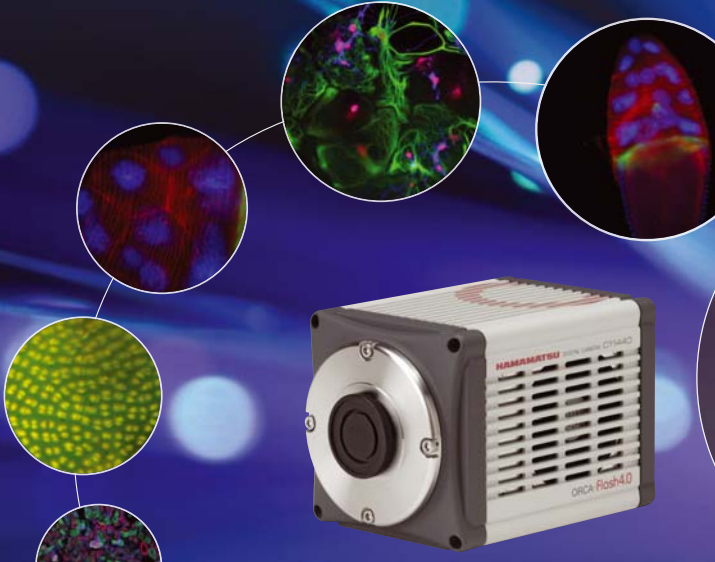


Figure 2. Organigramme décisionnel de la technologie de capteur optique adaptée en fonction de l'application visée.

# Discover the Breakthrough



ORCA®-Flash4.0 V2

The first sCMOS camera with over 80% peak Quantum Efficiency. Available NOW from Hamamatsu.

Scientific breakthroughs rarely come from giant steps. Rather, it's a continuous progression of small steps and astute application of those differences that enables advances. From its introduction the ORCA-Flash4.0 has challenged the status quo of imaging and has undergone a series of useful enhancements. The most recent is perhaps the most exciting; a notable increase in the ability to detect photons. If you have not yet experienced the ORCA-Flash4.0 V2 sCMOS, now is the time.

What breakthrough will you make with your extra photons?

HAMAMATSU

PHOTON IS OUR BUSINESS

www.hamamatsucameras.com



Les principaux fabricants et fournisseurs de solutions d'imagerie industrielle et scientifique (hors caméras rapides).

Distributeurs	Fabricants et technologies	Contacts
ACAL BFI	LUMENERA (CCD, CMOS), MIGHTEX (CCD, CMOS) NEW IMAGING TECHNOLOGIES (CMOS) QIMAGING (CCD, EMCCD, CMOS, sCMOS)	Louis Goyer +33 (0)6 87 70 73 88 – <a href="mailto:louis.goyer@acalbfi.fr">louis.goyer@acalbfi.fr</a>
AMS TECHNOLOGIES	MIGHTEX (CCD, CMOS)	33 (0)1 64 86 46 00 – <a href="mailto:info@amstechnologies.com">info@amstechnologies.com</a>
ANDOR	ANDOR (CCD, EMCCD, ICCD, sCMOS)	William Fresquet (life sciences) +33 (0)6 78 01 27 72 – <a href="mailto:w.fresquet@andor.com">w.fresquet@andor.com</a> Jean-Michel Laurent (physical sciences) +33 (0)6 07 09 18 98 – <a href="mailto:jm.laurent@andor.com">jm.laurent@andor.com</a>
ATD ELECTRONIQUE	ANDANTA (CCD), AWAIBA (CMOS), CMOSIS (CMOS) FAIRCHILD IMAGING (sCMOS), NEW IMAGING TECHNOLOGIES (CMOS), SONY (CCD, CMOS)	Bernard Kreff +33 (0)1 30 15 69 74 – <a href="mailto:bkreff@atd.fr">bkreff@atd.fr</a>
HAMAMATSU	HAMAMATSU (CCD, EMCCD, ICCD, sCMOS)	Anne Llorens +33 (0)1 69 53 71 00 – <a href="mailto:allorems@hamamatsu.fr">allorems@hamamatsu.fr</a>
I2S	BASLER (CCD, CMOS)	Corinne Barbot +33 (0)5 24 07 74 35 – <a href="mailto:c.barbot@i2s.fr">c.barbot@i2s.fr</a>
IDS IMAGING	IDS IMAGING (CCD, CMOS)	Mithridate Mahmoudi +33 (0)1 42 21 47 04 – <a href="mailto:m.mahmoudi@ids-imaging.fr">m.mahmoudi@ids-imaging.fr</a>
LASER 2000	PHOTON FOCUS (CMOS)	Fabien Poujol +33 (0)5 57 10 92 87 – <a href="mailto:poujol@laser2000.fr">poujol@laser2000.fr</a>
OPTOPRIM	RAPTOR PHOTONICS (CCD, EMCCD, sCMOS)	Yann Joly +33 (0)6 09 48 19 74 – <a href="mailto:info@optoprim.com">info@optoprim.com</a>
PHOTON LINES	FINGER LAKES INSTRUMENTATION (CCD) GREATEYES (CCD), JENOPTIK (CCD, CMOS) LUMENERA (CCD, CMOS), PCO (CCD, sCMOS) SPECTRAL INSTRUMENTS (CCD)	Agnes Robert +33 (0)1 30 08 99 00 – <a href="mailto:ag-robert@photonlines.com">ag-robert@photonlines.com</a>
	PHOTEK LUMINTEK (ICCD, EMCCD)	Eric Drean +33 (0)1 30 08 99 00 – <a href="mailto:er-drean@photonlines.com">er-drean@photonlines.com</a>
ROPER SCIENTIFIC	PHOTOMETRICS (CCD, EMCCD, CMOS) PRINCETON INSTRUMENTS (CCD, ICCD, EMCCD) QIMAGING (CCD, EMCCD, CMOS, sCMOS)	Jeremy Thiblet, Eric Morcet +33 (0)1 60 86 80 59 – <a href="mailto:info@roperscientific.fr">info@roperscientific.fr</a>
SPOT IMAGING	SPOT IMAGING (CCD, CMOS)	<a href="mailto:info@spotimaging.com">info@spotimaging.com</a>

sous grandissement révèle un bruit plus marqué dans le cas du capteur CMOS.

L'organigramme décisionnel présenté à la figure 2 ne constitue pas un raisonnement absolu et systématique à suivre avant l'achat d'une caméra, mais a simplement pour but d'illustrer de manière simple certaines questions techniques à se poser afin de faciliter le choix parmi les différentes technologies disponibles. Bien entendu, le budget alloué à l'achat d'un capteur intervient dès le début du processus de sélection. Toutefois, même si la question du coût peut conditionner l'achat même du capteur, elle ne se substitue en général pas au besoin appelant à une technologie particulière.

Les capteurs CCD bénéficient de hautes performances et d'une grande polyvalence d'utilisation. Bien que leur coût relativement élevé limite leur utilisation dans les dispositifs de grande consommation, ils sont très utilisés dans les applications à haute technicité, aussi bien dans le visible que dans l'infrarouge ou l'UV. Les capteurs ICCD et EMCCD constituent deux solutions de choix en matière de très haute sensibilité pour les bas niveaux de lumière. En revanche, les capteurs CCD ne peuvent généralement pas répondre aux besoins d'imagerie à haute vitesse (> 100 fps).

L'architecture multifonctionnelle, compacte et très fiable propre aux capteurs

CMOS fait de ces derniers un choix souvent évident pour les dispositifs embarqués. Combinées à un faible coût de production, ces caractéristiques rendent ces capteurs prédominants sur le marché de la consommation de masse (smartphones, caméras grand public...). De plus, la technologie CMOS représente très souvent la seule option possible dans les applications d'imagerie à haute vitesse. Enfin, la récente évolution apportée par les capteurs sCMOS permet à ces derniers de progressivement s'implanter dans les technologies de pointe et dans la recherche, mettant ainsi fin à la situation de quasi-monopole exercée jusqu'alors par les capteurs CCD dans ces secteurs.