

La chaîne de l'acquisition d'images

Hervé Mathieu (herve.mathieu@inrialpes.fr)

N° 0246

décembre 2000

THÈME 3

 *rapport
technique*



La chaîne de l'acquisition d'images

Hervé Mathieu (herve.mathieu@inrialpes.fr)

Thème 3 — Interaction homme-machine,
images, données, connaissances
Projet Service Robotique Vision et Réalité Virtuelle

Rapport technique n° 0246 — décembre 2000 — 78 pages

Résumé : Ce travail a été réalisé dans le cadre du service de robotique, vision et réalité virtuelle de l'INRIA Rhône-Alpes, qui conçoit et réalise des machines de vision, et assiste les projets de recherche en vision par ordinateur dans leurs expérimentations.

Le domaine de la vision par ordinateur a besoin d'images. Les images proviennent pour la plupart de scènes réelles, et pour fournir ces images au calculateur, il faut un système d'acquisition d'images. Ce document décrit, étape par étape, les différents éléments qui constituent la chaîne de l'acquisition d'images. Les environnements ciblés sont les laboratoires de recherche et le milieu industriel.

Après une introduction destinée à apporter quelques bases théoriques et à expliquer certains concepts généraux, les différents éléments constituant la chaîne d'acquisition sont abordés, à savoir : l'objectif, le capteur d'images, le transfert des images, et la carte d'acquisition.

Mots-clé : image, CCD, CMOS, objectif, numérisation, carte d'acquisition.

(Abstract: pto)

Image acquisition system

Abstract: This work was done in the Robotic, Vision and Virtual Reality Department at INRIA Rhône-Alpes. This department works on computer vision for many years, and is in charge of experiments for research teams.

Computer vision needs images. Images are extrated from live scenes, and, giving images to the processor, means to have an acquisition system. This document is related all the elements which constitute this acquisition system. We focus on research labs and industrial needs.

After some words on theoretical problems and general purpose things, we describe the acquisition system, that means, optics, image sensor, image link, and acquisition board.

Key-words: image, CCD, CMOS, lens, digital converter, acquisition board.

Table des matières

1	Introduction	6
1.1	Objectifs	6
1.2	Domaines abordés	6
1.3	Références	8
1.4	Un peu de théorie	8
1.4.1	L'échantillonnage	9
1.4.2	La quantification	9
1.5	Quelques concepts	10
1.5.1	Entrelaçage des images	10
1.5.2	Taille de capteur	10
1.5.3	Ouverture de champ - volume de travail	11
1.5.4	L'éclairage	13
1.6	Histoire du capteur d'images	16
2	L'objectif des caméras	19
2.1	Rôle de l'objectif	19
2.2	Les paramètres	19
2.3	Corriger la distorsion	23
3	Le capteur d'images	25
3.1	Le capteur CCD	25
3.2	Le capteur CMOS	30
3.3	Comparatif CCD CMOS	32
3.3.1	Comparaison entre capteurs sur circuit et capteurs argentiques	34
3.4	La couleur	35
3.4.1	Représentation de la couleur	35
3.4.2	Les techniques de lecture de la couleur	36
3.5	La caméra	38

4	Le transfert des images	41
4.1	Le transfert analogique	41
4.1.1	La norme CCIR	41
4.1.2	La couleur	43
4.1.3	Le support de transmission	44
4.1.4	Conséquences sur les caméras	46
4.2	Le transfert numérique	46
4.2.1	La norme RS-422	47
4.2.2	La norme RS-644 (EIA-644)	49
4.2.3	Le mode IEEE-1394	49
4.2.4	La norme IUT-R601 (CCIR-601)	51
5	La carte d'acquisition	53
5.1	Interface caméra - carte d'acquisition	53
5.1.1	Signal analogique	54
5.1.2	Signal EIA-422 ou EIA-644	55
5.2	Interface carte d'acquisition - mémoire processeur	55
5.3	Partie logicielle	58
5.4	Rangement des pixels en mémoire	59
5.5	Contraintes temporelles	59
6	Conclusion	65
7	Annexe : les Connecteurs	66
7.1	Connecteur BNC	66
7.2	Connecteur RCA - Cinch	67
7.3	Connecteur Hirose 12 points	67
7.4	Prise PÉRITEL	69
7.5	Connecteur S-VHS	70
7.6	Connecteur IEEE-1394	70
8	Glossaire	72
9	Références fabricants et distributeurs	75
10	Références Web	76

Table des figures

1.1	Synoptique de la chaîne d'acquisition d'images	7
1.2	Spectre Électromagnétique	7
1.3	Numérisation d'un signal	8
1.4	Entrelaçage des images	10
1.5	Phénomène de décalage des trames	11
1.6	Champ visuel de la caméra	12
1.7	Schéma permettant le calcul du champ de vue	12
1.8	Différents types d'illumination	14
1.9	Mesure sur une bougie de moteur thermique par rétro-éclairage	15
2.1	Principe de l'objectif (A et B sont deux lentilles)	20
2.2	Différence entre Effective and Back focal length (EFL et BFL)	21
2.3	Réponse spectrale d'un objectif	22
2.4	Mesure de distorsion à l'aide d'une mire	24
3.1	Un pixel dans un capteur CCD	26
3.2	Cellule photo et registre à décalage	27
3.3	Positionnement de micro-lentilles	28
3.4	Effet de l'utilisation de micro-lentilles	28
3.5	Courbe de réponse fréquentielle du capteur CCD SONY ICX204AL	29
3.6	Principe du maillage permettant la lecture de la tension pixel	31
3.7	Réponse du capteur CMOS fuga 15c	32
3.8	Comparaison des pixels dans les capteurs CCD et CMOS	32
3.9	Comparaison des capteurs CCD/CMOS et argentique	34
3.10	Spectre du capteur en fonction de filtres couleur	35
3.11	Système de couleur RVB et JCM	36
3.12	Capteur couleur : masque de Couleur sur chaque pixel	37
3.13	Capteur couleur : un prisme et trois capteurs	37
3.14	Capteur couleur : séparation suivant la profondeur de l'électron excité	38
3.15	Eclaté d'une caméra	39
3.16	Caméra SONY XC75CE	40

4.1	Signal vidéo CCIR	43
4.2	Modulation de la chrominance et de la luminance	45
4.3	Connexion différentielle	48
4.4	Exemple de connexion numérique entre caméra et carte d'acquisition	48
4.5	Liaison LVDS	49
5.1	Synoptique de la carte d'acquisition Imaging Technology PC-RGB	56
5.2	Synoptique de la carte d'acquisition Matrox Meteor-II-Digital	57
5.3	Enchaînement des temps de l'acquisition dans le cas d'une carte d'acquisition avec mémoire d'images	61
5.4	Enchaînement des temps de l'acquisition dans le cas d'une carte d'acquisition avec mémoire de lignes	62
5.5	Système d'acquisition fonctionnant à 25 images par seconde	63
5.6	Système d'acquisition fonctionnant à 12.5 images par seconde	64
7.1	Connecteur BNC	66
7.2	Connecteur BNC	66
7.3	Connecteur RCA	67
7.4	Connecteur RCA	67
7.5	Connecteur Hirose 12 points	68
7.6	Connecteur Hirose 12 points	68
7.7	Prise PÉRITEL	69
7.8	Connecteur S-VHS	70
7.9	Connecteur S-VHS	70
7.10	Connecteurs IEEE-1394	71
7.11	Connecteur IEEE-1394	71
7.12	Numérotation des broches du connecteur IEEE-1394	71

Chapitre 1

Introduction

1.1 Objectifs

Ce rapport a deux objectifs, le premier est de fournir le vocabulaire nécessaire à la compréhension de ce qu'est l'acquisition d'images. Le second objectif est d'expliciter suffisamment les concepts et les technologies mises en œuvre dans l'acquisition d'images, afin de permettre au lecteur d'être capable de spécifier un tel système.

L'ordre des sections reflète la méthodologie appliquée pour une spécification de machine de vision, du monde réel vers l'image en mémoire, en passant par l'objectif, le capteur, le chemin du signal, la carte d'acquisition et la mémoire.

Ce document s'adresse particulièrement aux doctorants débutants, qui ont souvent une culture de la vision théorique et aux ingénieurs qui sont appelés à intervenir au sein d'un projet de machine de vision.

Un cours, dérivé de ce rapport, est proposé en école d'ingénieurs.

1.2 Domaines abordés

Nous allons aborder dans ce document l'acquisition d'images, comme partie intégrante d'une machine de vision, que l'on trouve en milieu industriel ou de laboratoire.

L'acquisition d'images représente le module qui relie le monde réel, de l'image stockée en mémoire et accessible via le programme applicatif. On peut le décomposer en plusieurs sections: l'optique, le capteur, le transport des données images (format et support), les entrées sur l'ordinateur (cf figure 1.1).

Par contre, nous n'aborderons pas l'acquisition d'images au sens multimédia du terme. En effet, l'analyse d'images (en générale) nécessite des images non compressées (ou tout du moins compressées sans perte), l'analyse étant justement là pour savoir ce qu'il faut retirer des données brutes, pour atteindre l'objectif. Or de nombreux systèmes d'acquisition vidéo, orienté multimédia, utilisent une compression temporelle (MPEG), ou dégradent fortement

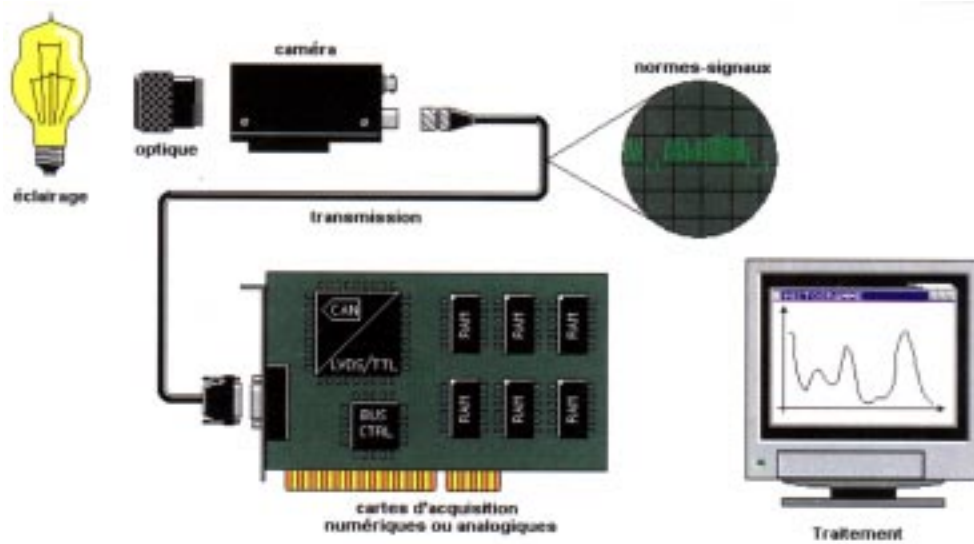


FIG. 1.1 – *Synoptique de la chaîne d'acquisition d'images*

le signal, pour s'adapter à une bande passante étroite (USB). Il est vrai qu'une application type "visualisation sur écran d'une image animée", ne demande pas une très grande qualité pour être intelligible. De plus, devant cette image(tte) animée se trouve un machine de vision hors catégorie, le système visuel humain.

Du point de vue physique, le dessin 1.2 nous donne une information sur la partie visible du spectre électromagnétique.

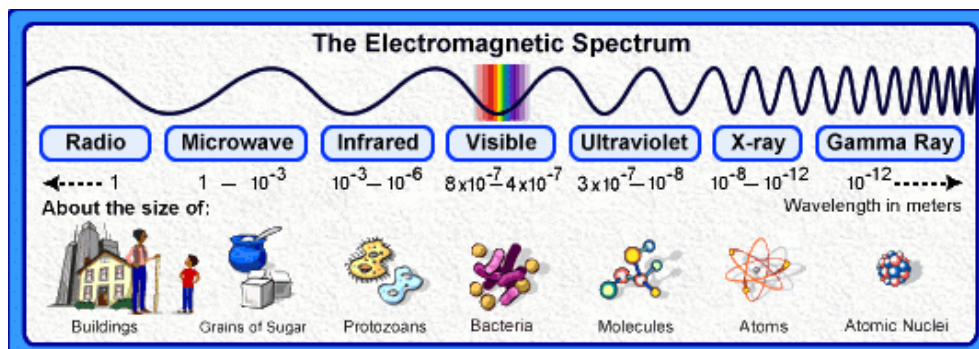


FIG. 1.2 – *Spectre Électromagnétique*

Enfin seuls les capteurs de type CCD et CMOS, qui représentent plus de 95% du marché, sont abordés. Les autres systèmes concernent des capteurs, soit spéciaux comme certains capteurs infrarouge, soit quasiment plus utilisés comme les capteur à base de tube.

1.3 Références

Sur le fond, la connaissance de la photographie, de la télévision et plus exactement du signal vidéo analogique utilisé, et de la vision humaine, permettent de mieux comprendre les technologies mises en œuvre dans l'acquisition d'images. On essaiera de se référer à ces éléments le plus souvent possible.

Sur la forme, la plupart des schémas, images et figures illustrant ce document ont été empruntés à des pages Web ou des documents divers. Les sources sont souvent citées indirectement et apparaissent dans la liste des pages Web ou dans la bibliographie.

1.4 Un peu de théorie

Le but de l'acquisition d'images est de convertir une vue du monde réel en une image numérique.

Une image numérique est un ensemble de points (x,y,v) , appelés aussi pixels pour lesquels, x (entier) correspond à l'abscisse du pixel, y (entier) l'ordonnée du pixel et v (entier) l'intensité lumineuse du pixel.

Une image peut être aussi vue comme un signal monodimensionnel, cela est concrétisé dans les capteurs actuels qui délivrent leur image pixel par pixel. Les lois classiques du traitement du signal peuvent donc être appliquées, notamment en ce qui concerne la numérisation du signal. La figure 1.3 permet de mettre en évidence les deux concepts clés du passage d'un signal continu à un signal discret : la quantification et l'échantillonnage.

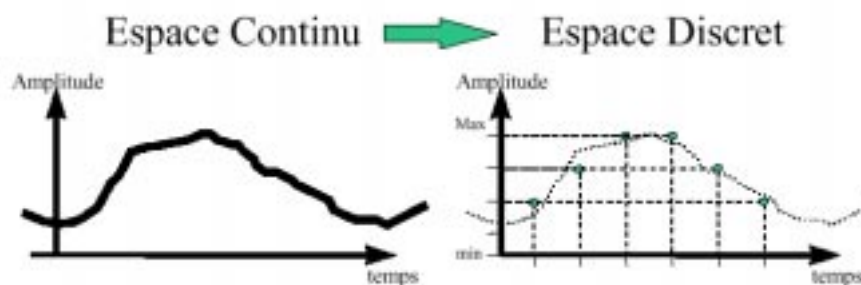


FIG. 1.3 – Numérisation d'un signal

1.4.1 L'échantillonnage

Ce traitement concerne l'axe du temps (cf figure 1.3).

L'échantillonnage spatial optimal (Théorème de Shannon) impose une fréquence de discrétisation (ou échantillonnage) au moins double de la fréquence maximale du signal d'entrée pour pouvoir reconstruire celui-ci.

Dans notre cas, il est impossible de connaître la fréquence maximale du signal d'entrée (vue du monde réel), de plus les capteurs utilisés ont tous une bande passante imposée. C'est par exemple le nombre de pixels d'un capteur CCD.

On peut donc dire qu'un filtre passe-bas est appliqué à l'image réelle. Cette étape d'échantillonnage donne aussi la bande passante du signal numérique.

1.4.2 La quantification

Ce traitement concerne l'axe des amplitudes (cf figure 1.3).

Pour compléter la numérisation de l'image, l'échantillonnage spatial doit être suivi par une quantification de l'intensité des échantillons.

Le principe de la quantification est de diviser la dynamique du signal analogique par un certain nombre d'intervalles et d'affecter la même valeur à chaque valeur de l'intensité contenue dans un intervalle donné.

Le problème consiste à déterminer le nombre d'intervalles et la variation de leur largeur en fonction de l'intensité.

Généralement, la grille de quantification est linéaire, c'est à dire que la largeur des intervalles est constante, et le nombre d'intervalles est codé sur k bits. La largeur de l'intervalle correspond à la plus petite variation du signal perçue, c'est le **quantum**.

Aujourd'hui, la plupart des numérisations se fait sur 8 bits ($k=8$), les raisons sont les suivantes :

- la dynamique de réponse des capteurs CCD (les plus répandus) est située entre 8 et 10 bits ;
- le rapport signal sur bruit du signal analogique CCIR ne permet pas de dépasser 8 bits ;
- l'octet (8 bits) est l'élément de base des ordinateurs.

Pourtant, cela commence à changer, en effet :

- les nouveaux capteurs CCD sont de plus en plus performants, notamment du point de vue de la dynamique ;
- les capteurs CMOS ont une dynamique d'environ 10 bits ;
- la transmission numérique, contrairement à la transmission analogique du type CCIR, n'est plus un frein au nombre de bits par pixel.

Tout cela ouvre la voie à des données sur 10, 12 ou 16 bits, en attendant mieux.

1.5 Quelques concepts

1.5.1 Entrelaçage des images

L'entrelaçage des images est un concept issu de la télévision. Pour rendre la visualisation des images animées sur un écran de télévision plus confortable, plus fluide, les ingénieurs ont pensé à afficher l'ensemble des lignes paires de l'images d'abord, puis l'ensemble des lignes impaires. Ainsi, la résolution verticale reste bonne et la fréquence de rafraîchissement est doublée. En fait l'image entière est toujours renouvelée tous les 1/25 ème de seconde (en Europe, 1/30 ème aux États-Unis), mais localement dans l'image, la moitié des pixels sont renouvelés tous les 1/50 ème de seconde (en Europe, 1/60 ème aux États-Unis).

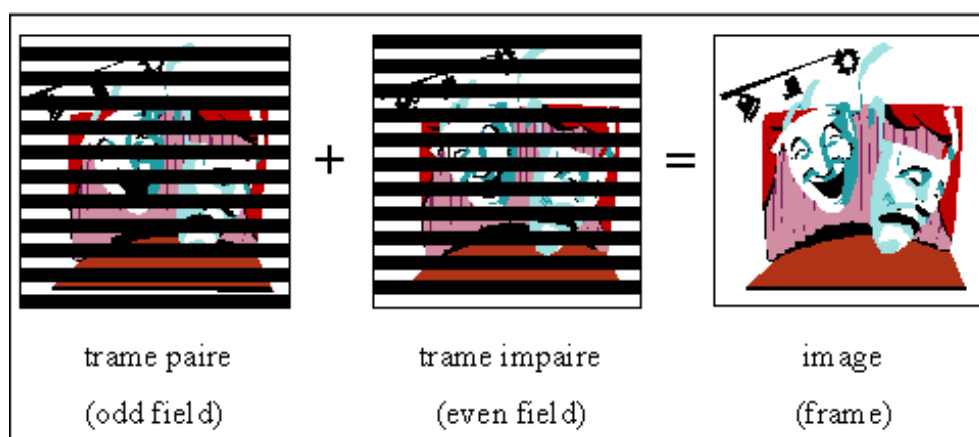


FIG. 1.4 – *Entrelaçage des images*

Dans l'acquisition d'images, ou plus exactement dans l'analyse des images, l'entrelaçage pose le problème des contours dentelés. La prise d'image d'une scène statique ne pose pas de problème, les deux trames sont prises avec un intervalle de 1/50ème de seconde, mais comme rien n'a bougé, l'image obtenue est nette et l'ensemble des lignes peut être utilisé pour le traitement. Par contre, si quelque chose a bougé dans la scène, ou si la caméra bouge elle-même, les deux trames se trouvent décalées (cf figure 1.5). Seule une des deux trames peut être utilisée pour l'analyse, et toujours la même (paire ou impaire) de manière que les pixels correspondent au même volume réel.

1.5.2 Taille de capteur

L'appellation de la taille des capteurs type CCD ou CMOS est une aberration. En effet, pour spécifier la taille d'un capteur, on parle de quart de pouce, de demi pouce, ... or ces dimensions ne correspondent à rien du point de vue physique. Il s'agit en fait d'équivalence avec la diagonale des capteurs de la génération précédente, les caméras à tube.

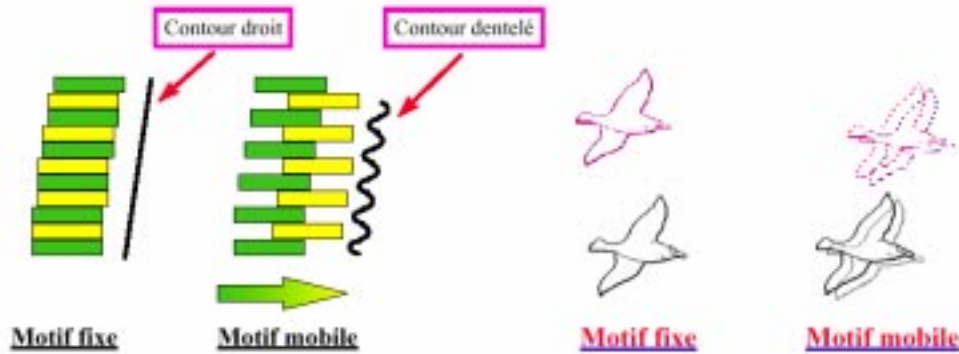


FIG. 1.5 – Phénomène de décalage des trames

Dénomination du capteur	Horizontale (mm)	Verticale (mm)	Diagonale (mm)	Diagonale (Inches)
1/4"	3.2	2.4	4.0	0.16
1/3"	4.8	3.6	6.0	0.24
1/2"	6.4	4.8	8.0	0.31
2/3"	8.8	6.6	11.0	0.43
1"	12.6	9.5	15.8	0.62

TAB. 1.1 – Dénominations et tailles des capteurs CCD ou CMOS

Ces dénominations sont néanmoins utiles, par exemple pour choisir le bon objectif (voir le chapitre sur l'objectif). Par contre, il faut bien veiller à prendre les dimensions réelles du capteurs pour calculer le champ de vue.

Le tableau 1.1 donne les dimensions des capteurs utilisés actuellement. Le format (largeur/hauteur) est de 4/3 pour quasiment tous les capteurs utilisés en milieu industriel ou de laboratoire. Cela provient des normes issues de la télévision, le 16/9 n'est pas encore passé pas là !

1.5.3 Ouverture de champ - volume de travail

Le but est ici de calculer le champ visuel (cf figure 1.6) en fonction du matériel existant, ou à l'inverse de dimensionner le matériel en fonction du champ à visionner.

Les paramètres principaux entrant en ligne de compte sont : les dimensions (horizontale et verticale) du capteur, la focale de l'objectif et les angles de vue (horizontale et verticale).

Le schéma 1.7 montre les grandeurs mises en jeu. Il peut être interprété pour le calcul horizontal ou vertical du champ.

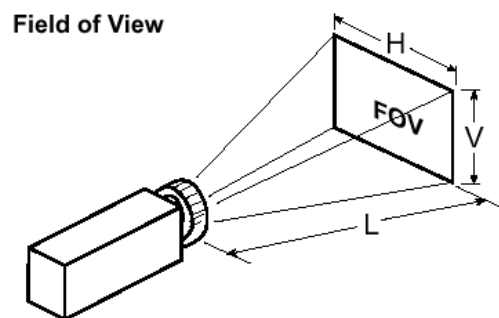


FIG. 1.6 – *Champ visuel de la caméra*

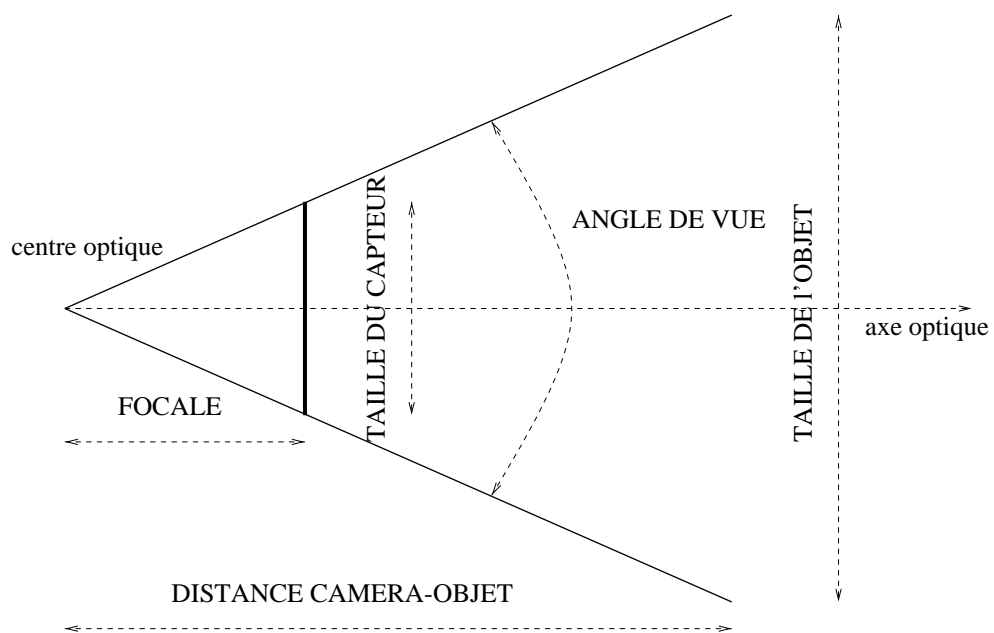


FIG. 1.7 – *Schéma permettant le calcul du champ de vue*

focale(mm)	distance(m)	objectif photo
6	1.25	30
8	1.67	40
10	2.08	50
12	2.5	60
16	3.33	80
25	5.20	125

TAB. 1.2 – Distances d'un objet en fonction de la focale

Premier cas : la caméra est connue, donc les dimensions du capteur aussi ; l'objectif est connu, donc la focale aussi ; et on cherche à déterminer l'angle de vue, ou encore la taille maximale d'un l'objet à une certaine distance. On a alors :

$$\text{angle_de_vue} = \arctangente(\text{taille_du_capteur} / \text{focale})$$

$$\text{taille_objet} = (\text{taille_du_capteur} * \text{distance_objet} / \text{focale})$$

Deuxième cas : Un objet dont la taille est connue, se trouve à une distance connue ; on cherche à dimensionner le système caméra objectif pour avoir cet objet en pleine échelle.

Il y a plusieurs solutions car les paramètres `taille_du_capteur` et `focale` sont dépendants. Il faut donc contraindre une des deux grandeurs. Dans le plupart des cas, `taille_du_capteur` est aussi connue, car la caméra existe déjà.

Avec une caméra demi-pouce (voir taille correspondante), on obtient :

$$\text{focale} = (\text{taille_du_capteur} * \text{distance_objet} / \text{taille_objet})$$

Le tableau 1.2 indique la distance à laquelle il faut mettre la caméra pour qu'un objet d'une hauteur d'un mètre soit vu en pleine échelle, et cela en fonction de la focale. Dans cet exemple, la caméra possède un capteur demi-pouce, la dimension du capteur pour la hauteur dans l'image est sa hauteur (4.8mm). La dernière colonne indique la focale équivalente dans le cas d'un appareil photo fonctionnant à base de pellicule de taille 24x36 mm. Le rapport de 5 entre la première et la dernière colonne correspond bien au rapport de taille entre les capteurs, à savoir 4.8 et 24 mm.

1.5.4 L'éclairage

La lumière est la base même de l'acquisition d'images. Un objet n'est pas visible par lui-même, c'est en fait la lumière réfléchie par cet objet qui est perçue.

Les modèles d'illumination

Le capteur d'images détecte des radiations lumineuses. Celles-ci (schéma 1.8) peuvent venir soit directement de l'objet (sources de lumière), soit d'une transmission (objets transparents ou translucides), soit d'une réflexion (objets opaques).

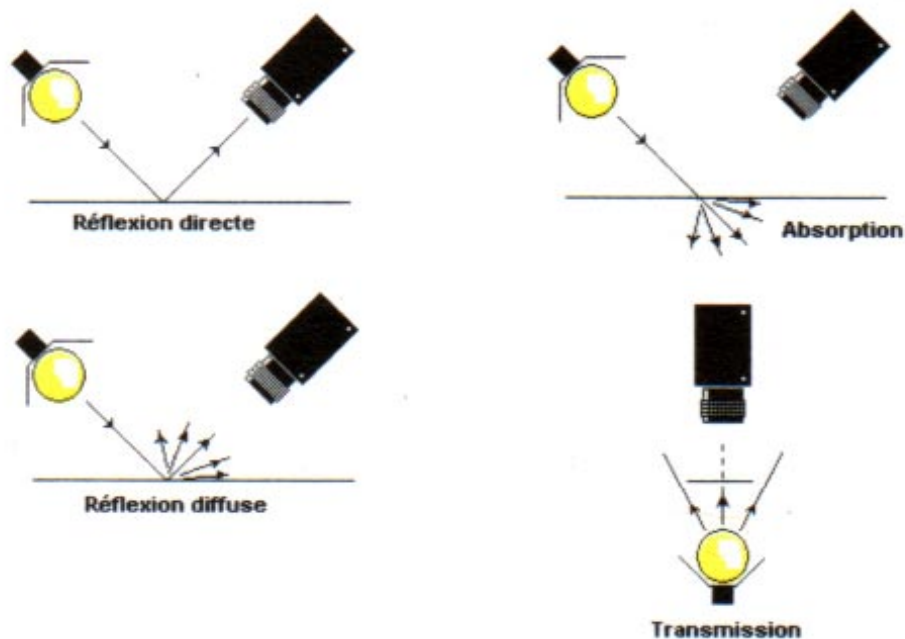


FIG. 1.8 – *Différents types d'illumination*

La réflexion est le mode d'illumination le plus répandu dans la prise d'images.

On parle alors de flux radiant (Watt) pour exprimer l'énergie transmise ou reçue sous forme de radiation, d'irradiance (Watt/m²) pour l'énergie atteignant une surface en un point donné, et de radiance (Watt/stéradian/m²) pour le flux radiant émergeant d'une surface dans une certaine direction.

Il existe des modèles pour une réflexion diffuse, le plus connu étant le modèle de Lambert, des modèles pour une réflexion spéculaire, le plus connu étant le modèle de Phong. La réflexion est alors la somme des deux réflexions.

L'image de synthèse est très gourmande de ces modèles, le réalisme des images en dépend pour beaucoup.

Type d'éclairage

L'éclairage détermine la manière de fournir la lumière (les photons!). Il existe plusieurs paramètres d'éclairage qui peuvent être modulés en fonction des disponibilités de sources et des besoins applicatifs.

- L'éclairage naturel : on retrouve les mêmes avantages et inconvénients que pour la photographie. Dans de bonnes conditions, le spectre est très riche, la lumière diffuse, les images obtenues ont une bonne dynamique, les nuances de couleur sont importantes.
- L'éclairage avec une source contrôlée : halogène, fibre optique, LED, fluorescent, laser : le choix de la source dépend du volume à éclairer, de la quantité de lumière à apporter, du spectre voulu. Dans les laboratoires, l'éclairage n'est pas très soigné, on s'intéresse surtout à subvenir au manque de lumière pour que le rapport signal/bruit de la caméra ne soit pas trop mauvais, et à empêcher les ombres portées, sources de problèmes pour les algorithmes de vision.
- L'éclairage structuré permet de projeter sur la scène un maillage, par exemple une alternance de zones éclairées et de zones sombres, de manière à faire ressortir des caractéristiques de la vue (souvent le relief).

Actuellement, les problèmes de vision en milieu industriel se résolvent à 50% par l'éclairage. Pour les calculs de gabarit sur des pièces simples, un retro-éclairage permet d'avoir une vue binarisée de la silhouette de la pièce (Vue 1.9). Pour des pièces se déplaçant sur un convoyeur, un éclairage stroboscopique est utilisé pour figer l'objet. Il s'agit d'apporter sur un temps très court un maximum de lumière de manière à prendre une photographie avec une vitesse d'obturation élevée (ou un temps d'intégration très court).



FIG. 1.9 – *Mesure sur une bougie de moteur thermique par rétro-éclairage*

Le tableau 1.3 donne une idée quantitative de l'éclairage en lux par rapport à des notions plus intuitives.

Illumination	Lux
Temps ensoleillé	30,000 to 100,000
Temps couvert	3,000 to 10,000
Coucher/lever du soleil	500
Crépuscule	5
Pleine lune	0.03 to 0.3
Nuit étoilée	0.0007 to 0.003
Nuit noire	0.00002 to 0.0002

TAB. 1.3 – *Données qualitatives/quantitatives de l'éclairage*

Mechanical Camera Era	
1873	Joseph May and Willoughby Smith found the Photoconductive Effect with the crystalline Selenium bars.
1880	Maurice LeBlanc suggested the Systematic Scanning of an Object in order to transmit moving pictures at a distance.
1884	Paul Nipkow in Berlin filed the first invention of systematically scanning an image onto its elemental points through the use of a perforated disc known as Nipkow's Disc in German Patent No. 30105.
1924	John Logie Baird succeeded in transmitting a shadow of a Maltese Cross by realizing Nipkow's Disc.
1925	Charles Francis Jenkins had developed a practical low definition system using glass prismatic discs and gave a demonstration of the transmission by radio of a silhouette image of a slowly rotation model windmill.

TAB. 1.4 – *Historique du capteur d'images opto-mécanique*

1.6 Histoire du capteur d'images

Les trois tableaux 1.4, 1.5 et 1.6 montrent l'évolution des trois grandes familles de capteurs d'images existant ou ayant existé :

- les systèmes opto-mécaniques qui ont mis en évidence la possibilité de reproduire la vision humaine ;
- les systèmes à tube qui ont lancé la télévision et la vision par ordinateur ;
- les systèmes sur circuit qui ont vulgarisé la prise d'images animées.

Electronic Image Pickup Tubes Era	
1908	Alan Archibald Campbell Swinton proposed a photoelectric pick-up tube containing electron beam scanning and magnetic deflection.
1911	Campbell Swinton proceeded to outline the first all-electric television scheme using two beams of cathode rays.
1923	Vladimir K. Zworykin of Westinghouse Electric & Manufacturing Company applied for a patent covering all-electric television system, US Patent No. 2,141,059.
1924	Zworykin at RCA actually built and operated a television camera tube and gave a demonstration.
1927	Philo T. Farnsworth devised a camera tube, so-called Image Dissector and succeed in operating it.
1931	Zworykin at RCA made the Iconoscope, a new single-sided camera tube using charge storing photocells.
1934	Hans Gerhard Lubszynski and Sidney Rodda of EMI developed super-Emitron Tube that separate the photoemiss part from charge storage image section.
1938	Harley Ambrose Iams and Alberts Rose at RCA developed the Orthicon, a new sensitive image tube, which is used for the first TV broad casting in 1940
1946	Alberts Rose, P. K. Weimer and H. B. Law at RCA developed the Image Orthicon to overcome the problem of high level instability of the Orthicon.
1949	P. K. Weimer at RCA developed the Image Isocon designed to overcome a shortcoming of the Image Orthicon, namely the return beam generated maximum noise in the black areas of the image.
1950	P. K. Weimer at RCA developed the Vidicon, a first photoconductive type TV pick-up tube using Sb ₂ S ₃ photoconductive Layer.
1962	E. F. DeHann at Philips developed the Plumbicon, the first photoconductive cameta tube to be fully acceptable for broad casting using PbO Photoconductive Layer with PIN construction.
1973	A joint venture between NHK and Hitachi Ltd. developed the Saticon, photoconductive type color image tube which used amorphous selenium layer with arsenic doping to suppress the selenium crystallization and tellurium doping to enhance red sensitivity.
1980	Newvicon, ZnSe-ZnCdTe Photoconductive Layer

TAB. 1.5 – *Historique du capteur d'images à tube*

Solid State Image Sensor Era	
1963	S. R. Morrison at Honeywell Co. devised a Photo Scanner, X-Y Addressed Silicon Junction Photo Sensing Device.
1964	J. W. Horton at IBM suggested the Scanister, a Solid-State Image Scanner.
1967	G. P. Wecker used p-n Junctions as Charge Integrating Photo Detectors.
1967	P. K. Weimer suggested the First MOS Switched Type Solid State Image Sensor.
1968	R. H. Dyck and G. P. Weckler P. K. Weimer suggested the First MOS Switched Type Solid State Image Sensor.
1970	W. S. Boyle and G. G. Amelio at Bell Lab. invented a new Efficient Signal Transporting Device, Charge Coupled Device.
1971	E. Arnold at Philips invented a Charge Injection Device Image Sensor which used MOS Capacitors as Photo Sensors.
1973	Frame Transfer Type CCD Image Sensor.(1/4 X 1/2 inch RCA Image Sensor with 120,000 Elements)
1973	Inter-line Transfer Type CCD Image Sensor.
1973	Interlaced Scanning.
1979	suggestion of n-p-n layered photo diode anti-blooming structure.
1979	Hitachi announced the First Commercial MOS Type Solid State Image Sensor with 320(H)X244(V) Pixels.
1979	Hitachi devised the Stacked Photo Sensor Type Solid State Image Sensor.
1982	Vertical Overflow Drain Structure.
1988	SNU SMDL and Samsung Display Devices Co. Developed Color 2/3" MOS Type Image Sensor.
1989	Samsung Electronics Co. Developed 1/2" IT-CCD Image Sensor.
1994	Samsung Electronics Co. began to massively produce B/W 1/3" IT-CCD Image Sensor.
1996	Samsung Electronics Co. began to massively produce High Sensitivity Color IT-CCD Image Sensor.

TAB. 1.6 – *Historique du capteur d'images sur circuit*

Chapitre 2

L'objectif des caméras

Le but de ce chapitre est de présenter les objectifs des caméras utilisés en laboratoire de vision par ordinateur ou en milieu industriel. La présentation de cet élément est organisée avec le point de vue preneur d'images et non pas celui du spécialiste d'optique. Le problème de la distorsion est évoqué à la fin de ce chapitre.

2.1 Rôle de l'objectif

L'objectif se situe entre le monde réel et le capteur d'images. Il permet de faire converger les rayons lumineux d'un point de l'espace 3D sur un point du plan image.

Chaque point de l'objet que l'on observe émet des photons dans une multitude de directions. Le premier principe de l'objectif est de faire converger le plus de rayons possible en un point unique, le second principe repose sur le fait que l'ensemble des points images formés se projette sur un même plan (cf figure 2.1).

L'objectif se présente sous la forme d'un cylindre, possède un certain nombre de bagues utilisées pour le réglage des paramètres (iris, focale,...), et se fixe sur la caméra par une liaison à baïonnette (comme les appareils de photographie) ou à vis (monture C ou CS). La plupart des caméras de laboratoire ou industrielles utilise une monture C.

L'intérieur de l'objectif est composé d'un certain nombre de lentilles assemblées de façon très précises.

2.2 Les paramètres

Un objectif se caractérise par plusieurs paramètres.

- **La focale** : elle indique la distance entre le centre optique et le plan focal. Son unité est le millimètre (mm). Elle caractérise l'angle de vue. Plus la focale est petite et plus l'angle de vue est grand.

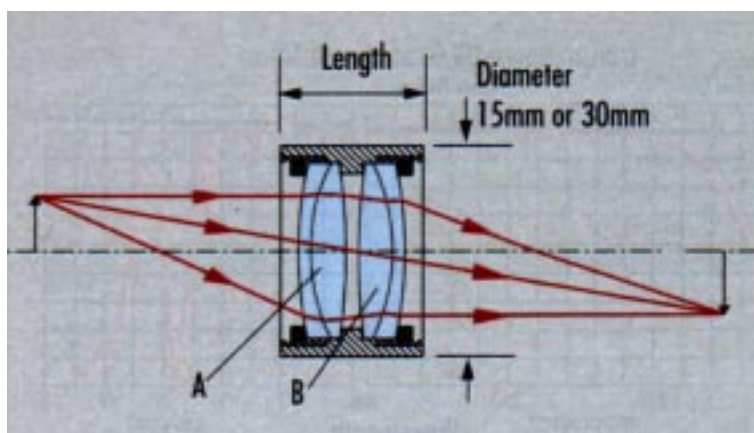


FIG. 2.1 – Principe de l'objectif (A et B sont deux lentilles)

Il existe des objectifs à focale fixe, à focale variable manuelle, et à focale variable motorisée. Les premiers sont meilleurs marché, à qualité optique identique, et sont donc les plus utilisés.

- **La fixation ou monture** : elle désigne la façon de fixer l'objectif sur la caméra. Les montures C et CS sont les plus utilisées. Il s'agit d'une vis avec un filet de type 1-32 TPI (un filet au pas de 1/32 de pouce). La différence entre C et CS repose sur la distance (Back Focal Length) entre la l'arrière de l'objectif et le capteur (plan focal) : 17.5 mm pour C-mount, 12.5 mm pour CS-mount. La Back Focal Length est différente de la focale totale de l'objectif vue précédemment.

La figure 2.2 présente la distance de la focale effective (EFL : Effective Focal Length), qui a un sens optique, et la distance focale arrière (BFL : Back Focal Length) qui est plus utile pour le montage de capteur.

- **L'iris** : il régule la quantité de lumière qui traverse l'objectif. Cette régulation peut s'effectuer de deux manières.
 - Manuellement - Il suffit alors de régler l'iris, en bougeant à la main la bague correspondante. Ce type d'objectif est généralement utilisé lorsqu'un réglage répété de l'iris n'est pas nécessaire. Il convient parfaitement aux applications d'intérieurs, dans lesquelles il existe très peu de variations d'éclairage.
 - Automatiquement (Iris auto) - L'iris est alors asservi automatiquement en fonction de la quantité de lumière reçue. Ce type d'objectif existe sous deux versions. L'objectif avec iris auto normal, sur lequel le réglage est effectué par l'objectif lui-même en fonction d'information fournie par la caméra, et l'objectif à commande directe sur lequel l'asservissement provient de l'extérieur. Ce type d'objectif est

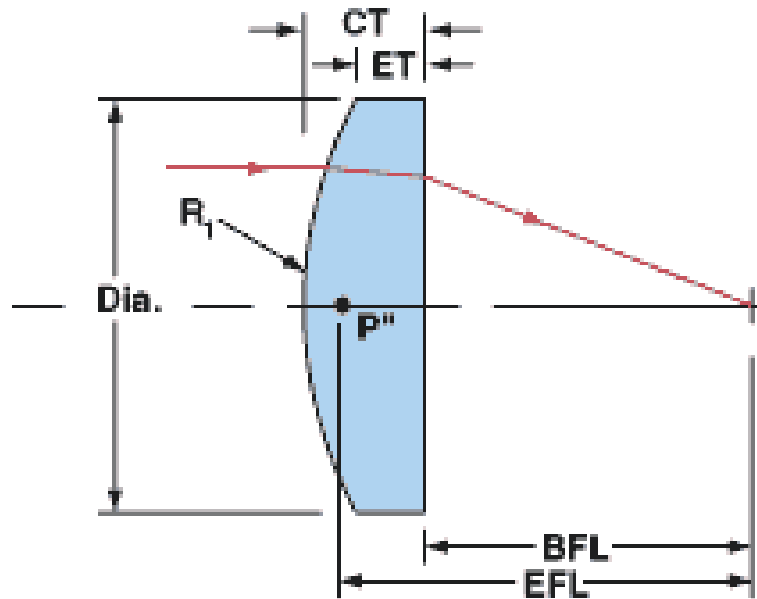


FIG. 2.2 – Différence entre Effective and Back focal length (EFL et BFL)

utilisé en extérieur, quand la dynamique du signal (zone d'ombre ou zone ensoleillée) est trop grande pour le capteur.

Par comparaison avec l'humain, l'oeil possède un iris qui fonctionne en mode automatique.

- **Le focus (netteté ou mise au point)** : il permet de régler la distance entre l'objectif et le plan principal de focus. La donnée est qu'un objectif ne peut faire converger correctement (de façon nette) qu'un seul plan du monde réel sur le plan image. Régler le focus, correspond à changer la valeur de ce plan de manière à le faire coïncider avec le plan réel qui convient à l'utilisateur.

L'espace au delà et en deçà de ce plan principal est flou. De manière subjective, il existe une zone, de part et d'autre du plan principale, qui peut être considérée comme presque nette. Il s'agit de la profondeur de champ, et certains paramètres peuvent la modifier. Par exemple, plus l'iris est fermé, ou plus la focale est petite, et plus cette zone sera grande.

Il est à noter que cet aspect de plan principal de focus peut être utilisé pour calculer la distance d'un objet (depth from focus).

De même manière que pour l'iris, il existe des objectifs avec focus manuel ou focus automatique.

- **Pour quelle caméra** : chaque objectif a un paramètre indiquant pour quelle taille de capteur d'image il a été réalisé. Sa valeur peut être 1/4, 1/2, 2/3 ou 1 pouce et indique que le capteur image ne peut être plus grand que ce paramètre.
- **La Qualité** : elle est pour une grande part liée aux lentilles utilisées pour construire l'objectif. Il faut plus particulièrement s'intéresser à plusieurs points.
 - La qualité du matériau : les objectifs utilisés dans des applications type surveillance de locaux sont fabriqués à partir de lentilles en plastique dont les qualités optiques (transmission, déviation,...) sont moins bonnes que des lentilles en verre. Le prix est par contre bien inférieur. Les lentilles en verre sont utilisées pour les objectifs industriels ou pour les appareils photographiques type reflex.
Chaque lentille, même de bonne qualité, ne transmet pas intégralement le signal lumineux, une partie de ce signal est réfléchi. La plupart des objectifs sont réalisés à partir de plusieurs lentilles, le signal réfléchi peut être renvoyé de lentille à lentille et générer du bruit. Pour cela, certaines lentilles sont traitées pour l'anti-reflet. L'image est alors améliorée, mais le coût de ces objectifs est supérieur.
Le nombre de lentilles utilisées est aussi déterminant. En général, les objectifs de très bonne qualité ont beaucoup de lentilles, elles-mêmes de très grande qualité.
 - La réponse spectrale (figure 2.3) : elle définit comment se comporte l'objectif en fonction de la longueur d'onde du photon. C'est un point important pour analyser la couleur.

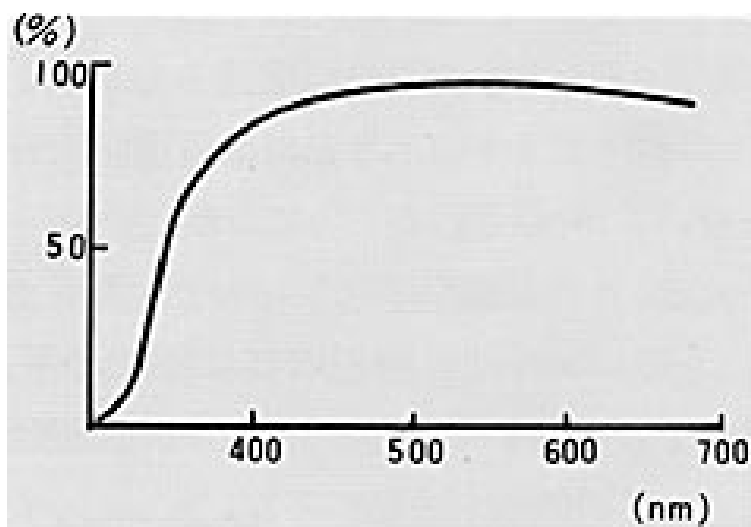


FIG. 2.3 – Réponse spectrale d'un objectif

- La distorsion : elle est responsable de la déformation de l'image, par exemple : une ligne droite sera incurvée dans l'image. Pour des raisons techniques de fabrication, une petite focale aggrave la distorsion.

Pour une application donnée, il n'est pas évident de choisir l'objectif adéquat.

Généralement, les objectifs utilisés dans des laboratoires ou en milieu industriel présentent des caractéristiques communes.

- Monture C : montage sur la plupart des caméras.
- Qualité industrielle : par opposition à une qualité surveillance, ou qualité supérieure. Pour avoir une idée des disparités, un objectif 8 mm aura beaucoup de distorsion et coûte 300 francs en qualité surveillance, a une faible distorsion et coûte 1500 francs en qualité industriel, et n'a pas de distorsion, ou alors très faible et elle est identifiée et coûte 12000 francs en qualité supérieure.
- 2/3 pouce, c'est-à-dire qu'il conviendra pour des capteurs d'images allant jusqu'à 2/3 pouce. En fait la taille d'un objectif 2/3 pouce et celle d'un objectif 1/2 pouce sont assez proches. Ce paramètre est donc rarement primordial, il vaut mieux donc prendre un objectif susceptible d'être utilisé par un maximum de caméras.
- Focale fixe entre 8 et 16 mm : en dessous de 8 mm, il y a trop de distorsion et un modèle de correction est requis. Au dessus de 16 mm, les angles de vue sont trop faibles. Le fait de prendre une focale fixe est lié en grande partie au prix. Une focale variable est nécessaire quand il faut zoomer sur une sous-partie de l'image.
- Iris manuel : le fait de prendre un iris manuel, permet de le régler en fonction de l'application. Les paramètres de la caméra sont ainsi constants dans le temps. Seule une utilisation extérieure peut justifier un iris contrôlable.
- Focus manuel : le fait de prendre un focus manuel, permet de le régler en fonction de l'application. Les paramètres de la caméra sont ainsi constants dans le temps. Un mode avec focus contrôlable se justifie avec un objectif à focale variable, plus particulièrement avec des focales grandes, et quand les objets à regarder se trouvent dans des plans d'éloignement assez distants.

2.3 Corriger la distorsion

Dans le domaine de la vision par ordinateur ou de la vision industrielle, le but est de quantifier des valeurs (mesure d'angles, distances,...), à partir de vues d'une scène. Les analyses sur les images se basent sur un modèle de projection 3D vers 2D. La distorsion peut perturber ce modèle et par conséquent le traitement des images. Il faut la rendre négligeable en fonction du problème à résoudre. Une manière de faire est de choisir des objectifs avec des focales plus grandes, ou des objectifs de grande qualité. Cela induit un coût plus important.

Quand cela n'est pas possible, il faut apporter une correction à la distorsion apportée par l'objectif. Cela se fait généralement par logiciel. En règle générale, la plus grande distorsion est d'ordre radiale, c'est-à-dire que l'image se dégrade au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre de l'image. Deux méthodes existent pour corriger ce défaut : soit une méthode analytique, soit une méthode par maillage. La première consiste à trouver une fonction $U, V = f(u, v)$ réalisant l'inverse de la distorsion. La seconde consiste à connaître avec précision le déplacement de certains pixels et d'extrapoler les autres par interpolation.

Le problème est donc connaître la distorsion. Seuls les objectifs haut de gamme possèdent cette information, via des courbes ou des tableaux. Dans la plupart des cas, une mire est utilisée pour quantifier cette erreur. La mire peut consister, par exemple, en une feuille sur laquelle sont dessinées des lignes verticales et horizontales (cf figure 2.4). La méthode consiste à mesurer dans l'image le non alignement des points représentant l'intersection des droites, ou la non rectilignité des droites, et d'en déduire la correction à apporter.

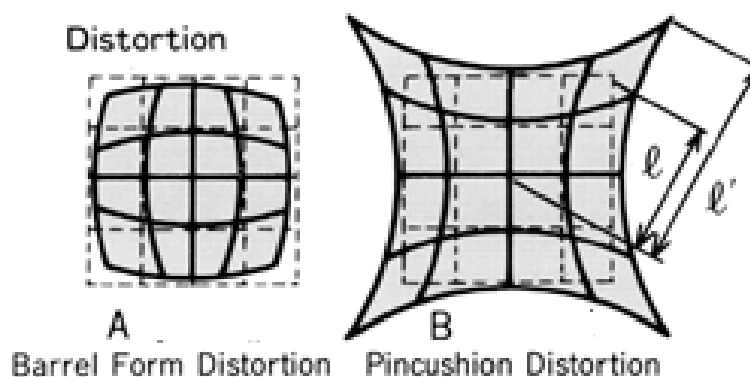


FIG. 2.4 – *Mesure de distorsion à l'aide d'une mire*

Chapitre 3

Le capteur d'images

Le marché des capteurs d'images, dans le milieu industriel ou de laboratoire, appartient aux technologies CCD et CMOS. Le principe de base de ces technologies est le même. Des photons incidents viennent exciter des électrons se trouvant dans du silicium. La différence technologique concerne la lecture de l'information induite, la différence commerciale incorpore aussi les potentiels de fabrication.

Le but de ce chapitre est d'expliquer le fonctionnement des capteurs d'images utilisés à l'heure actuelle. Il n'est donc pas question des capteurs à tube, qui ont quasiment disparus, mais des capteurs sur circuit, de technologie CCD et CMOS. On se contente de décrire ici les concepts, et de donner des schémas de fonctionnement, mais pas d'explicitier des schémas complets ou des procédés de fabrication.

Les capteurs d'images couleur, qui ne sont que des extensions de capteurs d'images noir et blanc, et le bloc caméra, qui est la mise en boîte du capteur, sont décrits à la fin de ce chapitre.

3.1 Le capteur CCD

La technologie

Le capteur à CCD (charge-coupled device), ou capteur à transfert de charge est un composant basé sur une technologie de composants à semi-conducteur. L'arrivée de photons sur le silicium va créer des charges électriques, charges qui vont s'accumuler durant un certain temps, appelé temps d'intégration, dans des zones appelées "puits" (cf figure 3.1). Ces zones sont la résultante de différentes tensions électriques appliquées localement. En jouant sur ces tensions, nous allons modifier la position des puits, et donc forcer les charges à se déplacer. Ces charges arrivent séquentiellement (pixel par pixel) sur un amplificateur, puis sortent du circuit CCD. Reste alors à mettre un circuit, pour la conversion analogique numérique dans le cas de sortie numérique, ou la mise en forme des signaux (synchronisation, voltage) dans le cas d'une sortie analogique.

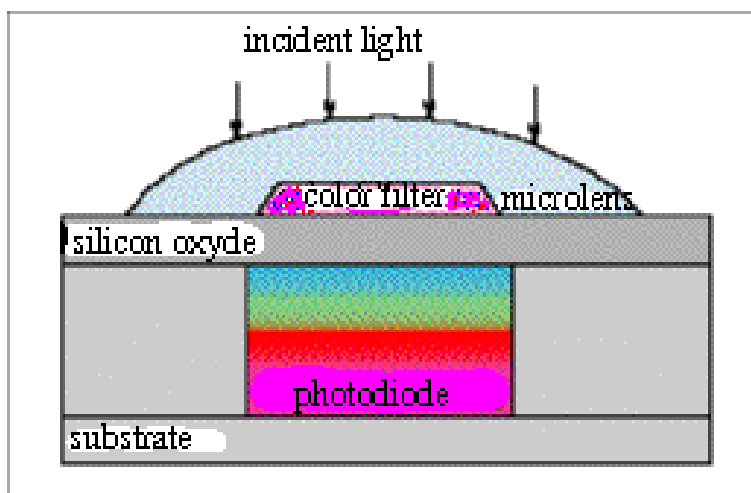


FIG. 3.1 – Un pixel dans un capteur CCD

Une matrice CCD est formée de Y lignes de X colonnes, chaque pont élémentaire (ou pixel) étant physiquement un rectangle de silicium de quelques microns. Il va falloir déplacer les charges accumulées dans ce pixel avant de les convertir en tension électrique, déplacement qui peut atteindre une quinzaine de millimètres, ce qui n'est pas instantané. Il faut donc disposer d'une zone de stockage intermédiaire pour découpler le temps d'intégration du temps de transfert des données. C'est sur la définition de cette zone de stockage que deux technologies s'opposent.

- Le transfert de trame: à la fin du temps d'intégration, les charges sont transférées ligne par ligne dans une zone équivalente mais protégée de la lumière par un film opaque. Les charges sont ensuite converties pixel par pixel pour donner le signal vidéo.

Avantage: toute la surface du pixel est affectée à l'intégration de charges, ce qui donne la plus grande sensibilité.

Inconvénient: pendant la durée du transfert, les pixels situés dans le haut de l'image vont être éclairés par la scène, et des charges parasites vont être ajoutées (smearing).

- Le transfert interligne: ici la zone de transfert se trouve entre les lignes (cf figure 3.2), et les charges n'ont plus que quelques microns à parcourir pour être sauvegardées. Le phénomène de smearing est donc théoriquement supprimé. Par contre, le pourcentage de surface photo-sensible recule à environ 50%, ce qui réduit d'autant la sensibilité du capteur.

Chacune de ces deux technologies a son domaine d'application : les CCD à transfert de trame ne sont plus conservées que pour les applications en très faible lumière (astronomie, biologie) où l'on peut accepter des temps de pose importants (de une à plusieurs secondes). Les CCD à transfert interligne autorisent par contre des temps d'intégration très courts (inférieurs à la milliseconde), ce qui permet de figer des scènes en mouvement.

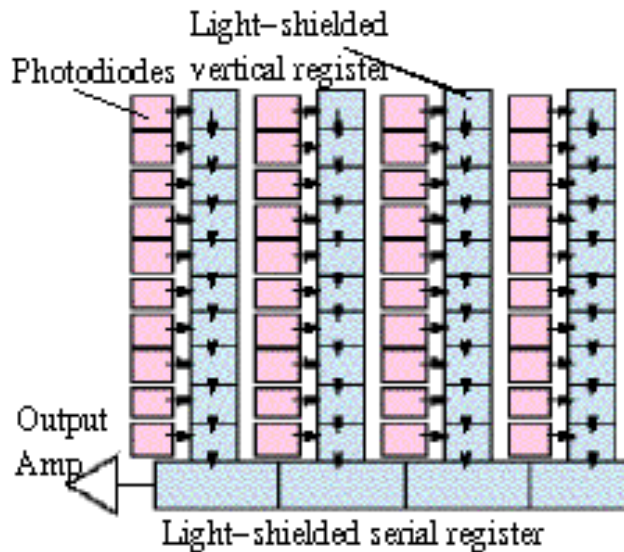


FIG. 3.2 – Cellule photo et registre à décalage

Dans le cas de capteurs à transfert de ligne, la perte de surface photo-sensible peut être atténuée par la pose de petites lentilles convergentes (microlens) sur chaque pixel. (cf figures 3.3 et 3.4).

La courbe 3.5 montre la sensibilité des capteurs CCD actuels. On peut voir notamment que le capteur CCD a une sensibilité non négligeable dans l'infrarouge. Par conséquent, un filtre infrarouge est souvent utilisé pour éviter de saturer le capteur durant la prise d'image.

Le shutter électronique

Dans le chapitre d'introduction, on a vu ce qu'est l'entrelaçage des images, et le problème des images floues qui en résulte. En effet une partie des lignes est exposées au temps T , les autres au temps $T+1$, l'image obtenue est par conséquent la somme de deux images acquises à des instants différents.

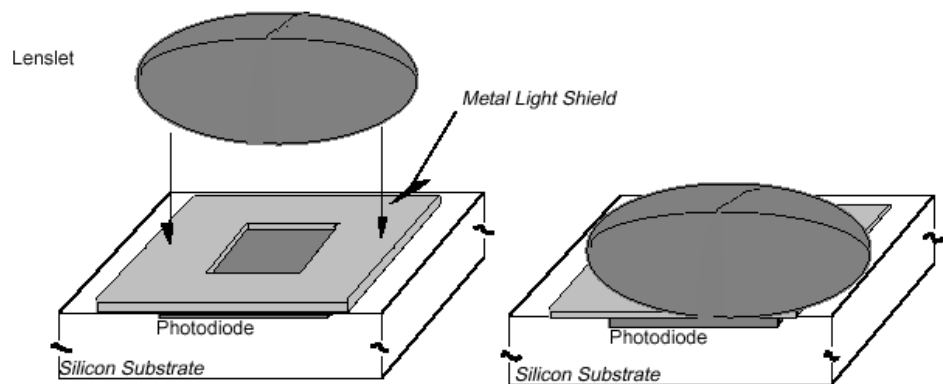


FIG. 3.3 – Positionnement de micro-lentilles

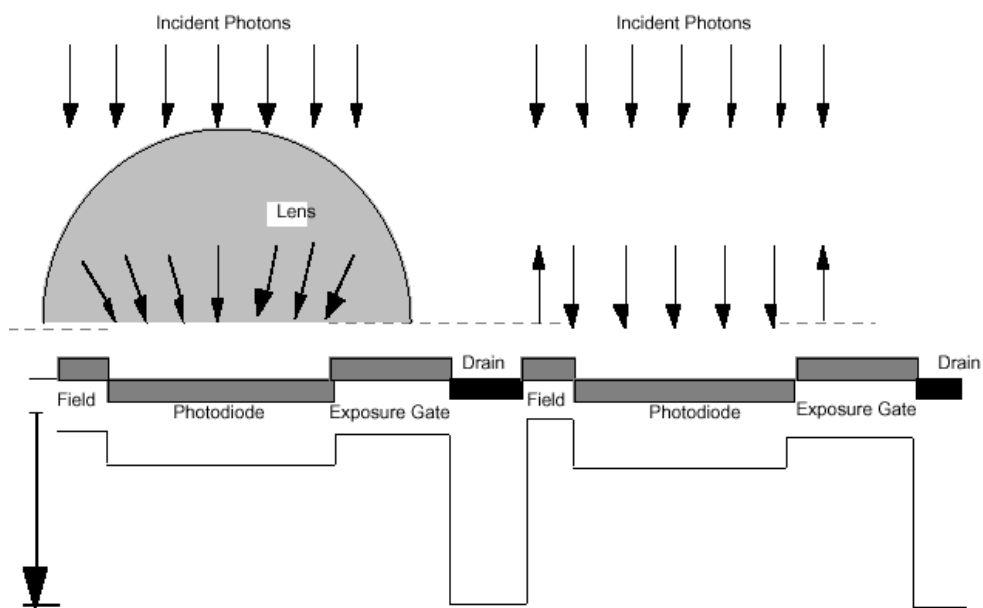


FIG. 3.4 – Effet de l'utilisation de micro-lentilles

Spectral Sensitivity Characteristics (excludes lens characteristics and light source characteristics)

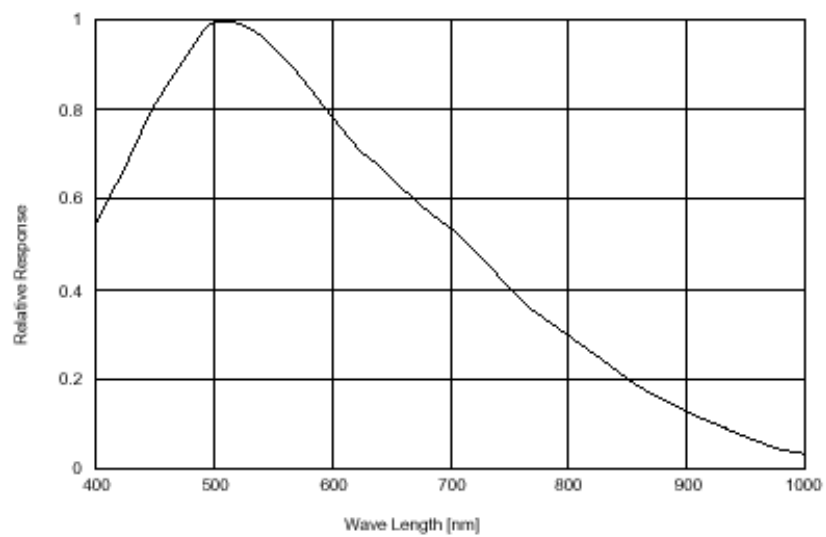


FIG. 3.5 – Courbe de réponse fréquentielle du capteur CCD SONY ICX204AL

Un problème similaire peut survenir si tous les pixels du capteur ne sont pas exposés simultanément, dans ce cas l'image résultante est composée d'une somme de pixels n'ayant pas de cohérence temporelle.

Le temps d'exposition est une caractéristique bien connue de la photographie. C'est le temps durant lequel la pellicule est exposée à la lumière. Un temps d'exposition court permet de saisir des objets se déplaçant rapidement, et inversement, un temps d'exposition long permet de saisir des objets peu lumineux.

Le temps d'intégration variable et l'exposition simultanée des pixels sont gérés sur les capteurs solides par un "Reset" (mise à zéro) commun à tous les pixels, et par un "electronic shutter". La fonction "Reset" réinitialise tous les pixels dans un état sans charge, et permet l'accumulation des charges à un même instant. La fonction "electronic shutter" bloque à un moment donné l'accumulation des charges, en détournant les nouvelles charges créées par les photons afin que celles-ci ne rejoignent par les puits d'accumulation.

Ces deux fonctions permettent la prise de photographies avec un temps d'intégration variable, au même sens que dans la photographie argentique.

Progressive scan

Les premiers capteurs CCD ont été conçus pour délivrer des images entrelacées. D'une part, cela correspondait à la norme CCIR, d'autre part, cela permettait de garder une surface photo-sensible suffisante sur le circuit. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, la technologie interligne est basée sur la présence d'une ligne de transfert pour deux lignes photo-sensibles.

La technologie progressive scan consiste à mettre une ligne de transfert par ligne photo-sensible. Grâce aux micro-lentilles et aux progrès faits sur les matériaux, la sensibilité des capteurs n'a pas baissée. Le résultat direct est qu'il est possible d'exposer simultanément tous les pixels du capteurs. Les traitements d'images peuvent donc utiliser toutes les lignes.

Les nouvelles générations de capteurs CCD sont systématiquement déclinées en une version progressive scan. Les demandes sont en effet fortes de la part du monde industriel et des laboratoires, pour acquérir des images avec une résolution maximale. Une autre raison est que les transferts d'images numériques apportent une alternative au transfert analogique standard, qui ne supporte pas les images non entrelacées.

La conjonction des fonctions progressive scan et shutter électronique, permet de garantir une cohérence temporelle de tous les pixels du capteur.

Le coût actuel d'une caméra progressive scan est double, par rapport à une caméra entrelacée de qualité équivalente.

3.2 Le capteur CMOS

Le capteur CMOS (Complementary Metal Oxyde Semiconductor) est un composant basé sur une technologie de composants à semi-conducteur. L'arrivée de photons sur le silicium va

créer des charges électriques, qui vont s'accumuler dans le silicium durant un certain temps, appelé temps d'intégration.

Une matrice CMOS est formée de Y lignes de X colonnes, chaque pixel mesure quelques microns, et est composé d'une partie photo réceptrice et de transistors jouant le rôle d'interrupteurs. Un maillage en X et Y permet en fermant les transistors voulus (cf figure 3.6) de lire la tension du pixel. Cette tension est proportionnelle à l'intensité reçue.

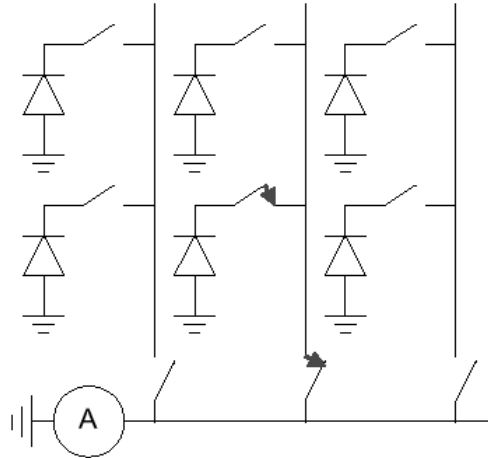


FIG. 3.6 – Principe du maillage permettant la lecture de la tension pixel

La technologie des capteurs CMOS est encore jeune et de nouvelles idées fleurissent régulièrement. Les principales nouveautés des trois dernières années concernent le nombre de transistors affecté à chaque pixel, et surtout leur rôle. Le problème de base à résoudre est le caractère bruité du signal lu au niveau du pixel. On distingue donc deux familles de capteurs CMOS, ceux avec pixels passifs, et ceux avec pixels actifs.

L'intérêt des pixels passifs est le fort taux de couverture de la partie photo sensible du capteur, mais le rapport signal/bruit est mauvais.

Les pixels actifs permettent d'amplifier localement (sur chaque pixel) le signal, mais aussi d'améliorer le signal en jouant sur des offsets de tensions. Bien sûr, tout cela prend de la place, et tend à réduire la surface photo sensible. Pour éviter cet "effet de bord", il existe plusieurs solutions, dont celle (commune aux capteurs CCD) de mettre des petites lentilles convergentes (microlens) sur les pixels.

La courbe 3.7 montre la sensibilité des capteurs CMOS actuels. On peut voir notamment que le capteur CMOS a une sensibilité non négligeable dans l'infrarouge. Par conséquent, un filtre infrarouge est souvent utilisé pour éviter de saturer le capteur durant la prise d'image.

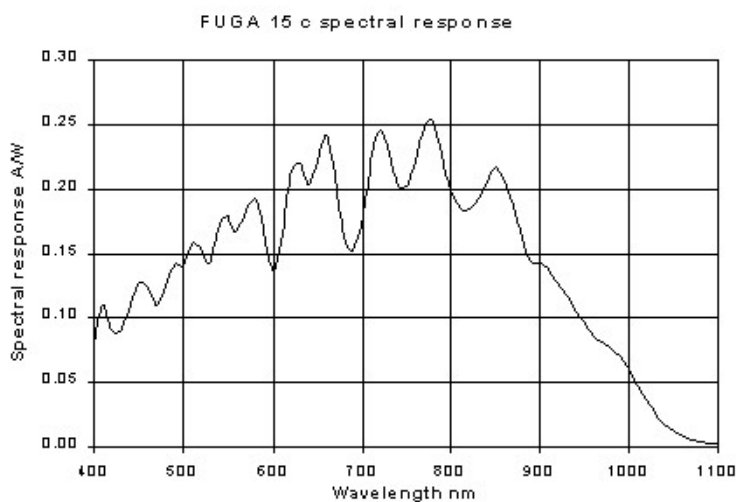


FIG. 3.7 – Réponse du capteur CMOS fuga 15c

3.3 Comparatif CCD CMOS

La figure 3.8 rappelle les différents types de représentation des pixels suivant la technologie.

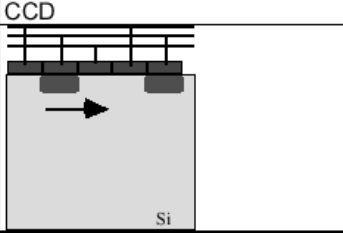
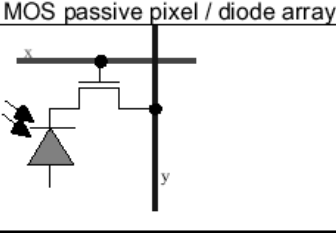
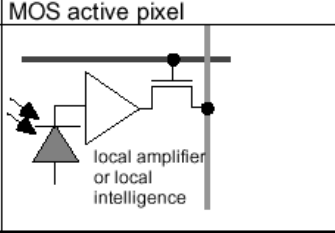
CCD	MOS passive pixel / diode array	MOS active pixel
		
Si		
multiplexing of charge packets by lossless transfer	Multiplexing by switches on photodiode node	Multiplexing of the local amplifier output
one charge sense amplifier at the end of the CCD register	One charge sense amplifier on the output bus	(charge sense) amplifier in every pixel

FIG. 3.8 – Comparaison des pixels dans les capteurs CCD et CMOS

Nous avons vu au début du chapitre que le principe de base de ces technologies (conversion photon-électron) est le même. Pourtant des différences existent entre les capteurs CMOS et CCD.

- La technologie CCD à 30 ans d’existence, et 15 ans d’intense production. Le processus de fabrication est bien maîtrisé. Les effets indésirables comme l’éblouissement de pixels voisins, provoqué par un pixel saturé, a quasiment disparu. Autre point, la sensibilité s’est sans arrêt accrue au fil des générations de produits.

La technologie CMOS à 20 ans, dont 5 ans d’intense production. Le passage de pixels passifs aux pixels actifs montrent bien que la technologie n’est pas encore tout à fait mature.

- La fabrication des capteurs CCD est plus compliquée que celle des capteurs CMOS : le nombre d’étapes dans la fabrication des capteurs CCD est plus important (triple métallisations), et à l’opposé, le processus de fabrication de circuit CMOS est bien mieux maîtrisé. Il bénéficie en effet d’immenses investissements depuis plusieurs années, puisque qu’il est utilisé par une grande partie des circuits intégrés actuels. Ceci explique que les capteurs CCD ne possèdent que la fonction capteur d’image (surface photo-sensible), mais aucun traitement ou conversion de l’information. Par contre, les capteurs CMOS peuvent regrouper sur le même circuit, la partie photo-sensible et également la conversion, le stockage, le processeur, etc. Une plus grande intégration permet des solutions meilleur marché.

On considère qu’il faut en moyenne six circuits pour réaliser un capteur d’image à base de technologie CCD (capteur CCD, gestionnaire d’horloges, d’alimentations, drivers, etc), alors qu’en théorie, un seul suffit pour les capteurs CMOS (actuellement la moyenne est plutôt de trois circuits).

- La technologie CCD nécessite, pour le déplacement des charges dans le silicium, plusieurs horloges et plusieurs alimentations bien maîtrisées. Il en résulte une consommation plus importante que les capteurs CMOS.
- La fonction de shutter électronique : actuellement, tous les capteurs CCD proposent cette fonction, contrairement aux capteurs CMOS. Ceci explique en partie que les appareils photos numériques et le domaine de la vision par ordinateur privilégie des capteurs CCD : la cohérence temporelle de la prise d’image a une grande importance. Cependant, il est à noter que certains capteurs CMOS intègrent maintenant ces fonctions.
- La fonction progressive scan : dans le sens où progressive scan signifie non entrelacé, cette fonctionnalité est naturelle pour les capteurs CMOS. En effet chaque pixel est indépendant, il n’y a pas de notion de ligne.

Un débat actuel est de savoir si les capteurs CCD disparaîtront, à terme, au profit des capteurs CMOS. Il semble que les capteurs CCD gardent une avance en ce qui concerne

les capteurs rapides et de grande taille, la lecture des capteurs CMOS étant plus lente. Par contre, les capteurs CMOS intégrant des fonctionnalités sur le même circuit sont appelés à se développer rapidement.

3.3.1 Comparaison entre capteurs sur circuit et capteurs argentiques

On peut aussi faire une comparaison entre les capteurs sur circuit (CCD ou CMOS) et le capteur argentique utilisé dans la photographie. La figure 3.9 nous montre comment une ligne est perçue sur un capteur matriciel et un capteur argentique. L'avantage du capteur argentique est la densité des cellules photo-sensibles : les pseudo-pixels mesurent entre 0.1 et 1 microns (contre 5 à 12 pour les capteurs sur circuit). Par contre, la conversion photon/électron (un pour un) est meilleure que la conversion photon/grains_de_la_pellicule_photographique (trois pour un).

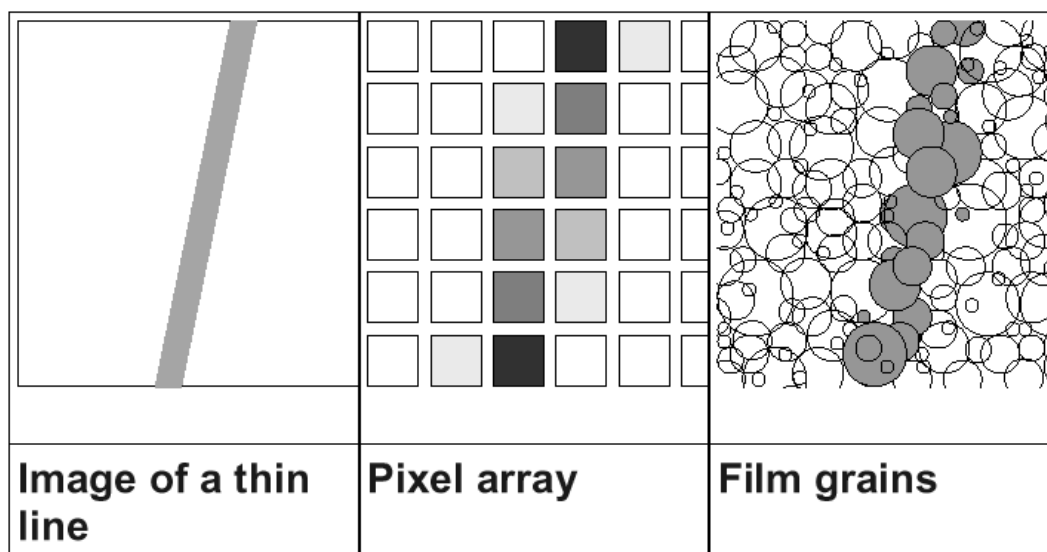


FIG. 3.9 – *Comparaison des capteurs CCD/CMOS et argentique*

3.4 La couleur

3.4.1 Représentation de la couleur

Les capteurs CMOS ou CCD sont sensibles dans le spectre visible et le proche infrarouge (cf figure 3.10). Le spectre visible occupe la bande 400nm-700nm et la couleur perçue est caractérisée par une fonction continue de la longueur d'onde du signal.

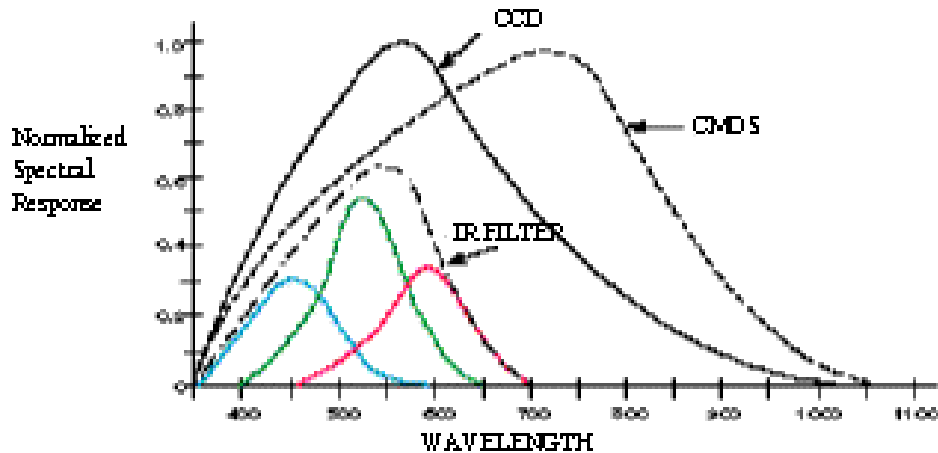


FIG. 3.10 – Spectre du capteur en fonction de filtres couleur

La représentation de la couleur est un espace de dimension trois, plusieurs bases de représentation sont utilisées couramment.

- L'une d'elle utilise trois notions, proche de la perception humaine.
 - La **longueur d'onde dominante**, celle de la couleur (pure) observée dans le signal. Cela permet de distinguer le rouge, le vert, le jaune ..., il y a plus d'une centaine de teintes distinctes pour l'oeil humain.
 - La **pureté** est la proportion de lumière dominante et de lumière blanche nécessaire à la reproduction du signal. Une couleur pure est saturée à 100%, le blanc et les gris le sont à 0%. Cela permet de distinguer rouge et rose, bleu marine et bleu roi.... Pour l'humain, il y a une vingtaine de niveaux de saturation distinctes.
 - La **luminance** est la quantité d'énergie du signal. Cela permet de distinguer les niveaux de gris. L'oeil en perçoit plus d'une centaine.

- Le système **Rouge Vert Bleu** est utilisé par la plupart des capteurs et par les moniteurs. Il correspond à la séparation du signal en fonction de sa longueur d'onde : longue, moyenne et courte. C'est un système dit additif, la somme de ces trois couleurs donne du blanc. (cf figure 3.11)
- Le système **Jaune Cyan Magenta**, complémentaire du système RVB est utilisé par les imprimantes. C'est un système dit soustractif, la somme de ces trois couleurs donne du noir. (cf figure 3.11)

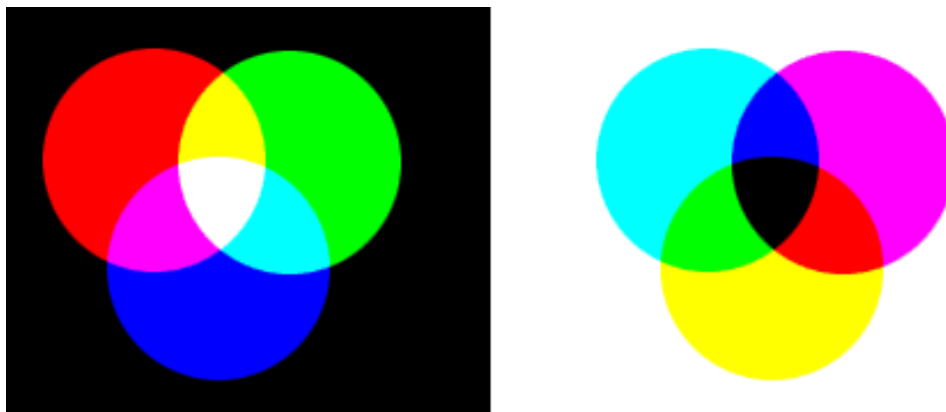


FIG. 3.11 – *Système de couleur RVB et JCM*

- Le système composé d'une variable achromatique ($R+V+B$), d'une variable rouge/vert ($R-V$) et d'une variable bleu/jaune ($R+V-B$): c'est un système optimal au sens où les composantes sont orthogonales, et donc ne contiennent pas d'information redondante.

3.4.2 Les techniques de lecture de la couleur

On peut distinguer quatre techniques principales pour obtenir l'information de couleur à partir des capteurs CMOS ou CCD.

- La méthode dite “**du bricoleur**” : on dispose successivement devant un capteur d'image, un filtre rouge puis vert puis bleu. On obtient par la superposition de ces images, l'information couleur. Ce système ne fonctionne que si la scène est statique, mais elle a le mérite d'être économique, et de laisser à l'utilisateur le choix des filtres.
- La méthode **grand public**, utilisée par les caméscopes : un filtre de couleur est disposé sur chaque pixel. Les capteurs CMOS ou CCD ont une meilleure réponse dans le spectre du vert (voir les courbes de réponses des capteurs). Par conséquent, et afin d'obtenir un bon rapport signal/bruit, on privilégie cette partie du spectre.

Concrètement, le capteur est pour moitié recouvert de filtre vert, pour un quart Rouge et pour le dernier quart Bleu. Ceci est illustré par la figure 3.12.

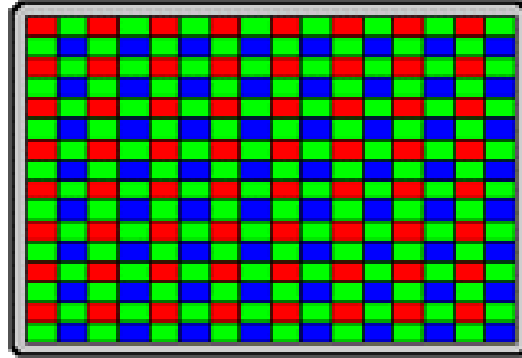


FIG. 3.12 – *Capteur couleur : masque de Couleur sur chaque pixel*

- La méthode “**pro**” : elle consiste à utiliser un prisme optique permettant de dupliquer l’image venue de l’objectif en trois images, chacune se projetant sur un capteur image, lui-même recouvert d’un filtre de couleur (cf figure 3.13). On obtient alors à une résolution maximale. Cette solution est plus onéreuse, elle est utilisée par les matériels professionnels.

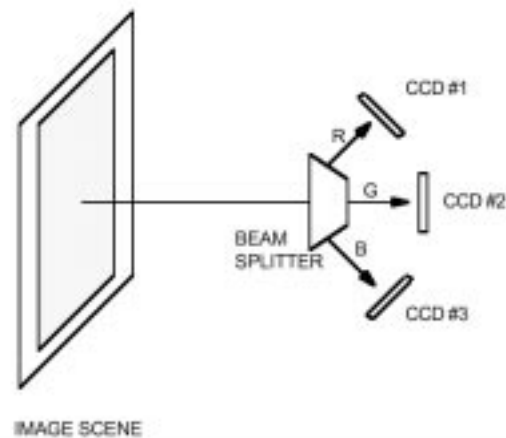


FIG. 3.13 – *Capteur couleur : un prisme et trois capteurs*

- La méthode “**recherche**” : dans le silicium, la profondeur des électrons excités par les photons, est proportionnelle à la longueur d’onde de ces derniers (cf figure 3.14). Le principe est par conséquent de lire le signal par couche (en fonction de la profondeur) et ainsi d’extraire les composantes Rouge, Verte et Bleue. Il n’est pas vendu, à ma connaissance de ce type de capteurs.

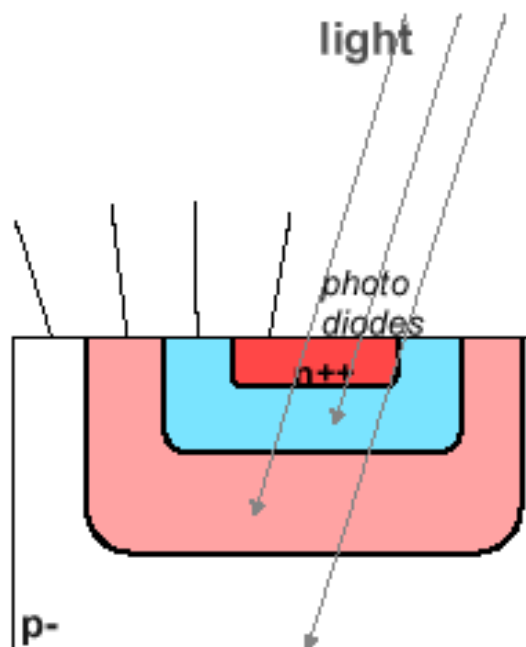
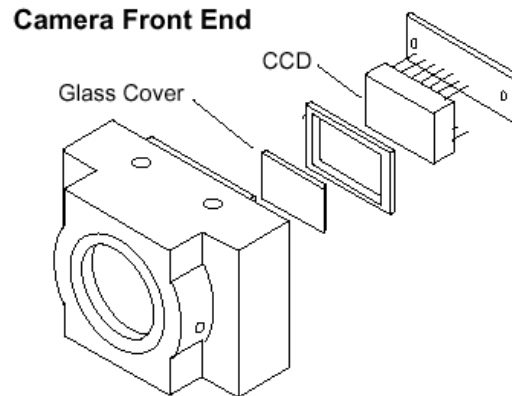


FIG. 3.14 – Capteur couleur : séparation suivant la profondeur de l’électron excité

3.5 La caméra

Une caméra, c’est une boîte contenant le capteur d’images (cf figure 3.15). Il existe des caméras avec ou sans objectif intégré. Les domaines de la vision par ordinateur en laboratoire et en milieu industriel utilisent plutôt des caméras sans objectifs intégrés. Les raisons de ce choix sont la souplesse, quant au choix de la qualité et des paramètres de l’objectif. Dans la suite de ce chapitre, la caméra est considérée sans objectif.

FIG. 3.15 – *Eclaté d'une caméra*

Le but de la caméra est de convertir une image formée par un faisceau de photons, en un signal électrique compréhensible par un autre système. Pour remplir cette tâche, la caméra possède un certain nombre d'entrées et de sorties accessibles à l'extérieur du boîtier.

- Une ouverture, située à l'avant de la caméra, permet la fixation de l'objectif. C'est dans la plupart des cas, un filetage 1-32 TPI.
- Un connecteur situé à l'arrière, permettant d'alimenter l'électronique de la caméra, en général 12 volts pour un peu moins de 2 watts.
- Un connecteur situé à l'arrière, pour sortir le signal électrique, représentant le signal vidéo.
- Un connecteur situé à l'arrière, permettant soit de fournir l'horloge pixel, soit de fournir sa synchronisation, soit de recevoir une synchronisation externe. Le chapitre sur les cartes d'acquisition d'images présentent en détail ce type de signaux.
- Quelques micro-interrupteurs pour changer des paramètres de base de la caméra, comme par exemple le temps d'intégration.
- Quelques trous filetés permettant de fixer la caméra sur un support.

Sur certaines caméras, plusieurs signaux décrits ci-dessus peuvent être regroupés dans un même connecteur. Les images (figure 3.16) présentent une vue en perspective et une vue arrière de la caméra SONY XC75CE.



FIG. 3.16 – Caméra SONY XC75CE

Chapitre 4

Le transfert des images

Ce chapitre est consacré aux différents types de transfert d'images entre la caméra et la carte d'acquisition vidéo. La première partie traite du transfert analogique, basé sur la norme CCIR et provenant tout droit du monde de la télévision. La seconde partie s'intéresse aux transferts numériques utilisés actuellement. Dans chaque cas, on présente les paramètres des normes utilisées, les supports physiques et les performances de ces transferts.

4.1 Le transfert analogique

Plus des 3/4 des caméras utilisées actuellement utilisent le signal analogique basé sur la norme CCIR. Ce pourcentage est amené à diminuer, mais de façon assez lente. Ce mode de transfert est en effet très souple d'utilisation, et le changer nécessite d'adapter l'ensemble des éléments intervenant dans une machine de vision, comme par exemple le moniteur vidéo.

4.1.1 La norme CCIR

La norme CCIR est l'équivalent européen de la norme RS-170. Cette norme RS-170 a été mise au point dans les années 1930. Elle définit le signal vidéo utilisé dans les télévision N&B aux États-Unis. Les différences entre ces deux normes (cf tableau 4.1) concernent les temps et les fréquences utilisés, mais leur sémantique est la même.

Le terme CCIR signifie "Comité Consultatif International des Radio-télécommunications", comité fondé en 1927 et devenu Union International des Télécommunications en 1934. Pourtant, tous les documents techniques perpétuent l'appellation "norme CCIR" pour désigner la norme suivante.

Le signal vidéo a été conçu dans un but de simplicité de décodage, correspondant à la technologie disponible à cette époque et au marché grand public, auquel il était destiné. Les normes CCIR ou RS-170 sont prévues pour un affichage 4/3, c'est-à-dire qu'une image, pour

	RS-170A	CCIR	
# of raster lines/frame	525	625	Lines
# of raster lines/field	262.5	312.5	Lines
V total displayed lines/frame	485	575	Lines
V total displayed lines/field	242.5	282.5	Lines
V front porch/field	3.0	2.5	Lines
V sync/field	3.0	2.5	Lines
equalization pulse width	2.3 +- 1	2.35 +- 1	micro sec
V back porch/field	14	20	Lines
V blanking/field	20	25	Lines
line frequency	15.734	15.625	KHz
line duration	63.556	64.000	micro sec
line blanking	10.9 +- 0.2	12.0 +- 0.3	micro sec
front porch	1.5 +- 0.1	1.5 +- 0.3	micro sec
H sync pulse width	4.7 +- 0.1	4.7 +- 0.2	micro sec
back porch	4.7	5.8	micro sec
active horizontal	52.66	52	micro sec
nominal bandwidth	4.2	5.0, 5.5, 6.0	MHz
effective horizontal resolution	640	768	Pixels
output voltage	1.0	1.0	Vp-p
video voltage	0.7	0.7	Vp-p
sync voltage	0.3	0.3	Vp-p
impedance	75	75	Ohm

TAB. 4.1 – *Comparaison des normes RS-170 et CCIR*

ne pas être déformée, doit être affichée sur un écran ayant un rapport horizontal/vertical de 4/3.

Le signal, présenté par la figure 4.1 pour une ligne vidéo, est composée de deux parties.

- L'information vidéo, d'amplitude 0.714 volts, indique directement la valeur de l'intensité lumineuse des pixels en fonction du temps.
- L'information de synchronisation, permet le codage des lignes et des trames de l'image. Elle sert aussi à calibrer (offset et amplitude) l'information vidéo.

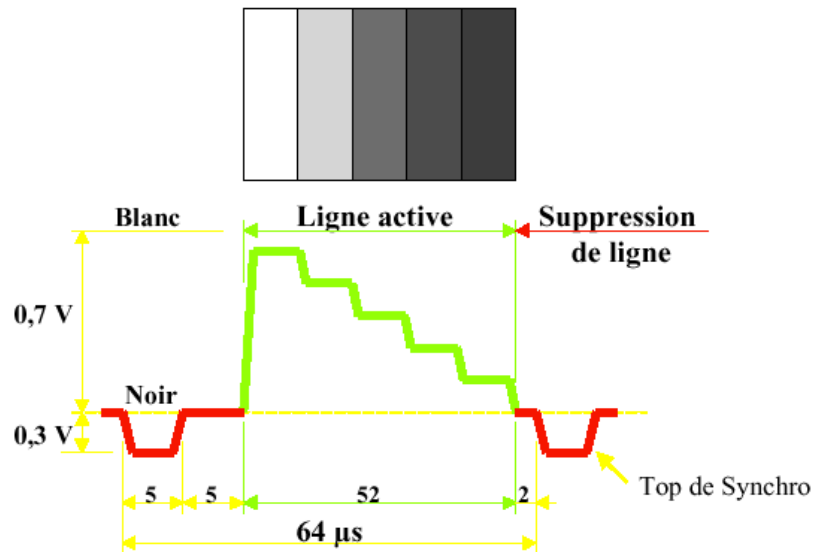


FIG. 4.1 – *Signal vidéo CCIR*

4.1.2 La couleur

La couleur correspond à un espace de dimension trois. Il existe trois solutions pour coder le signal couleur.

- Le transfert peut se faire en utilisant l'espace Rouge, Vert et Bleu. Chaque composante est codée comme un signal monochrome. Certaines variantes peuvent exister : les trois composantes étant transmises simultanément, la partie synchronisation de deux des composantes (en général Rouge et Bleu) peut ne pas être transmise. L'avantage de ce

mode est qu'il est proche du mode d'acquisition du capteur, et qu'il permet d'utiliser une grande bande passante. L'inconvénient majeur est de nécessiter trois canaux physiques.

- Quand les images couleurs sont arrivées à la télévision, il a fallu trouver un système permettant aux téléviseurs N&B de continuer à fonctionner. Le signal utilisé dans la télévision N&B est un signal de luminance. La solution a été de choisir une représentation (3 composantes) de la couleur associant le signal de luminance et deux signaux pour la chrominance. La chrominance représente l'information de couleur, elle nécessite moins de bande passante, du point de vue de la vision humaine. Elle est codée de différentes manières suivant les pays.

- Le codage YIQ, correspondant à la norme RS-170 (États-Unis), est une combinaison linéaire du codage primaire RVB, sous la forme suivante :

$$Y = 0.299 R + 0.587 V + 0.114 B, I = 0.27 (B - Y) + 0.74 (R - Y) = 0.60 R - 0.28 V - 0.32 B, Q = 0.41 (B - Y) + 0.48 (R - Y) = 0.21 R - 0.52 V + 0.31 B.$$

La norme NTSC permet de transmettre par modulation les signaux YIQ sur un seul canal physique. Les paramètres de la modulation sont : des bandes passantes respectives de 4.2, 1.2 et 0.4 Mhz pour Y, I et Q et une fréquence de modulation de 4.5 Mhz pour les composantes I et Q.

- Le codage YUV correspond à la norme CCIR, c'est une combinaison linéaire du codage primaire RVB, sous la forme suivante: $Y = 0.299 R + 0.587 V + 0.114 B$, $U = 0.493 (B - Y)$, $V = 0.877 (R - Y)$.

La norme PAL permet de transmettre par modulation les signaux YUV sur un seul canal physique. Les paramètres de la modulation sont : des bandes passantes respectives de 6.0, 1.2, 1.2 Mhz pour Y, U et V et une fréquence de modulation de 4.433 Mhz pour les composantes U et V.

La figure 4.2 présente une vue "fréquentielle" de la modulation.

- Un système intermédiaire (Y/C ou S-VHS) a été mis au point, gardant la séparation luminance/chrominance, mais utilisant deux canaux pour améliorer la qualité des signaux.

4.1.3 Le support de transmission

Les signaux vidéo (N&B, PAL, NTSC, luminance,...) décrits ci-dessus se transportent via des câbles coaxiaux ayant une impédance caractéristique de 75 Ohms. La valeur de l'impédance est importante pour des longueurs de câble supérieures à 10 mètres, en dessous, une valeur approchée convient. Par contre, il est primordial de conserver une impédance constante tout au long du trajet. Des discontinuités d'impédance provoquent des réflexions d'ondes qui dégradent le signal vidéo.

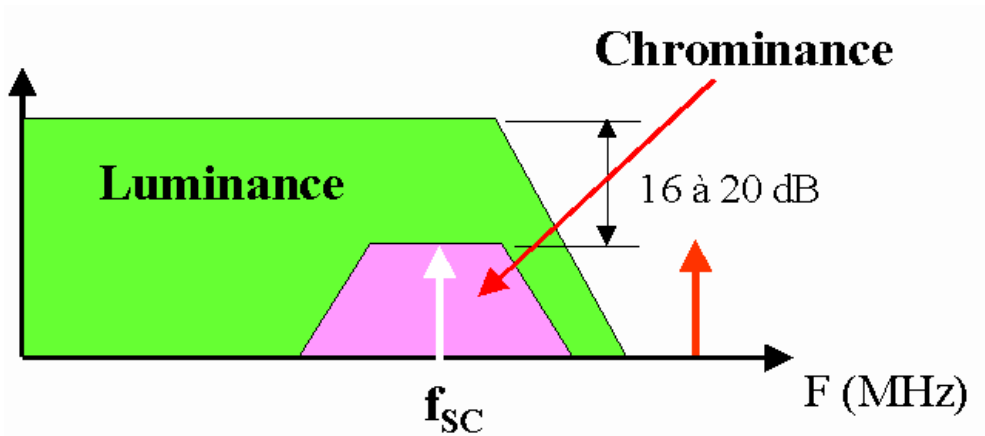


FIG. 4.2 – Modulation de la chrominance et de la luminance

La connectique employée avec les signaux RVB ou composite (NTSC, PAL) est du type BNC pour le matériel professionnel, du type RCA pour le matériel grand public. Les signaux Y/C utilisent des connecteurs mini-din 4 points.

A titre d'information, la prise PERITEL présente sur tous les appareils vidéo, véhicule les mêmes types de signaux (PAL ou Rouge, Vert, Bleu).

L'ensemble de ces connecteurs sont explicités dans le chapitre numéro 7 relatif aux connecteurs.

Il arrive que le signal vidéo soit transmis sans utiliser de fils, en utilisant une transmission hertzienne. Ce type de transmission consiste à transmettre un signal par les ondes. Les différentes étapes de cette transmission sont :

- Moduler le signal vidéo sur une fréquence porteuse. La fréquence de celle-ci doit être nettement plus élevée que le signal à transporter. Les fréquences utilisées dans la vidéo sont comprises entre 400 et 2400 Mhz.
- Émettre le signal modulé via une antenne d'émission.
- Recevoir le signal modulé via une antenne de réception.
- Démoduler le signal modulé, afin de reconstituer le signal d'origine.

Dans la pratique, les bandes passantes, et par conséquent la qualité des signaux, sont a peu près respectées. Par contre, des discontinuités de transmission provoquent des sauts d'images, qui induisent, au niveau du système d'acquisition, des images non exploitables.

4.1.4 Conséquences sur les caméras

Le signal analogique CCIR ou sa version couleur PAL, est le seul signal analogique utilisé par les caméras. Les caméras analogiques ayant un capteur progressive scan suivent aussi la norme, à une seule exception près : le signal a une synchronisation de trame unique, contrairement aux caméras entrelacées qui en ont deux (paire et impaire).

La norme CCIR a induit certaines caractéristiques des caméras :

- Les capteurs ont un format 4/3, et sont prévus pour obtenir des images au format 4/3.
- La bande passante du signal CCIR, est comprise entre 4 et 6 Mhz. La résolution des capteurs actuels utilise au maximum cette bande passante. Les lignes des capteurs ont environ 720 pixels actifs, ou échantillons et vérifie ainsi le théorème de Shannon (cf chapitre 1). En effet, la partie image d'une ligne du signal vidéo dure 52 micro secondes. Suivant une règle de trois, on obtient 13.85 méga échantillons par seconde, ce qui est bien supérieur à deux fois la bande passante du signal analogique.
- Le nombre de lignes de pixels valides dans le capteur est de l'ordre de 580 donc légèrement supérieur aux 576 lignes d'images de la norme CCIR.

Aujourd'hui, la norme analogique CCIR est clairement une limitation à l'évolution des systèmes d'acquisition d'images. Par exemple, la bande passante de la norme ne permet pas de transmettre des images issues de capteurs de résolution supérieure à 768x576 pixels. Pourtant, la technologie de fabrication des capteurs permet l'obtention de résolution nettement supérieure. Cette limitation est une des principales raisons de l'essor des transmissions numériques.

4.2 Le transfert numérique

La norme analogique CCIR définit le signal vidéo par son contenu (niveaux électrique, fréquence,...) et par son contenant (câble 75 Ohms,...). Il n'existe pas de telle norme pour le numérique. Le transfert d'images en numérique nécessite de s'appuyer sur deux normes, la première définissant la couche physique et la seconde le protocole.

La philosophie suivie est celle appliquée aux réseaux informatiques. Elle consiste à scinder la communication en plusieurs tranches, et à définir une norme pour chaque tranche. Le grand avantage est de pouvoir changer une tranche sans tout remettre en cause, moyennant le fait de rester compatible avec les couches supérieures et inférieures. Dans le cas de la transmission numérique des images, la norme CCIR-601 (ou IUT-R601) est une des principales normes décrivant le contenu du signal. Elle définit en quelque sorte l'ordre des pixels. En ce qui concerne le contenant, il existe plusieurs normes sans qu'aucune se soit imposée. La technologie actuelle est en effet trop limitée, par rapport aux besoins. Ces besoins, issues de demandes d'applications, sont de transférer des images de taille supérieure à 1000x1000, avec des pixels de 8 à 16 bits, et à des fréquences supérieures à 50 Hertz. Cela représente une bande passante de 100 Méga octets par seconde.

SPECIFICATIONS	EIA-422
Mode of Operation	DIFFERENTIAL
Total Number of Drivers and Receivers on One Line	1 DRIVER 10 RECVR
Maximum Cable Length	4000 FT.
Maximum Data Rate	10Mb/s
Maximum Driver Output Voltage	-0.25V to +6V
Driver Output Signal Level (Loaded Min.): Loaded	+/-2.0V
Driver Output Signal Level (Unloaded Max): Unloaded	+/-6V
Driver Load Impedance (Ohm)	100
Max. Driver Current in High Z State: Power Off	+/-100uA
Slew Rate (Max.)	N/A
Receiver Input Voltage Range	-10V to +10V
Receiver Input Sensitivity	+/-200mV
Receiver Input Resistance (Ohm)	4k min.

TAB. 4.2 – *Spécifications de la norme EIA-422*

Par la suite, nous décrivons les normes RS-422, RS-644 et IEEE-1394, qui définissent les couches physiques de la transmission, puis la norme CCIR-601, qui décrit quant à elle, une couche protocole de la transmission.

4.2.1 La norme RS-422

La norme RS-422 (RS signifie “Recommended Standard”) s’appelle maintenant EIA-422, EIA pour Electronics Industry Association. C’est une norme électrique pour la communication de données. Elle est prévue pour des transferts point à point, avec éventuellement plusieurs points d’arrivée (multi-drop). Ce n’est par conséquent pas un bus (multi-point), puisqu’il y a qu’un seul émetteur.

La norme EIA-422 a été définie pour dépasser les limitations de la norme RS-232 (ou EIA-232), qui est la liaison série la plus connue, car utilisée sur tous les ordinateurs. La norme EIA-422 permet d’avoir des connexions plus longues et des débits plus importants que la norme EIA-232. Pour atteindre ces performances, les signaux sont transmis en différentiel pour une meilleure immunité au bruit.

Le tableau 4.2 présente les principales caractéristiques de la norme EIA-422.

La figure 4.3 illustre une connexion différentielle type EIA-422.

Pour transmettre les images de la caméra à la carte d’acquisition vidéo, on utilise une connexion composée de plusieurs liaisons EIA-422 élémentaires (cf figure 4.4). Une partie de ces liaisons transmet les pixels. En général, il y a autant de liaisons que de niveaux de quantification, par exemple, 8 liaisons pour des pixels sur 8 bits. Une autre partie des liaisons transmet les signaux de contrôle (horloge, synchronisation ligne et image,...), ceux-ci peuvent aller de la caméra vers la carte, ou vice versa.

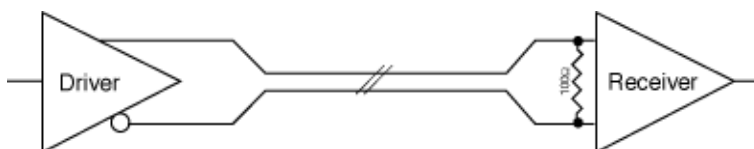


FIG. 4.3 – Connexion différentielle

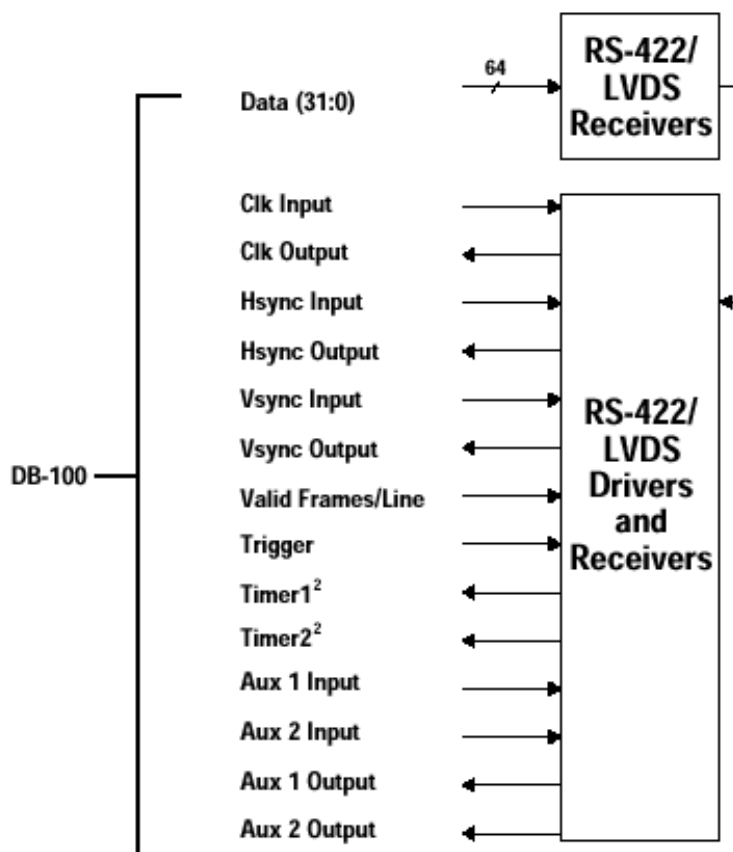


FIG. 4.4 – Exemple de connexion numérique entre caméra et carte d'acquisition

4.2.2 La norme RS-644 (EIA-644)

La norme EIA-644, norme de la famille LVDS (Low Voltage Differential Signal), est aussi utilisée. Elle est plus performante, et permet des débits de 3 à 9 fois supérieur à la norme EIA-422. Il existe une certaine compatibilité entre les deux normes, puisque un récepteur EIA-644 peut recevoir un émetteur EIA-422. La figure 4.5 illustre une liaison LVDS.

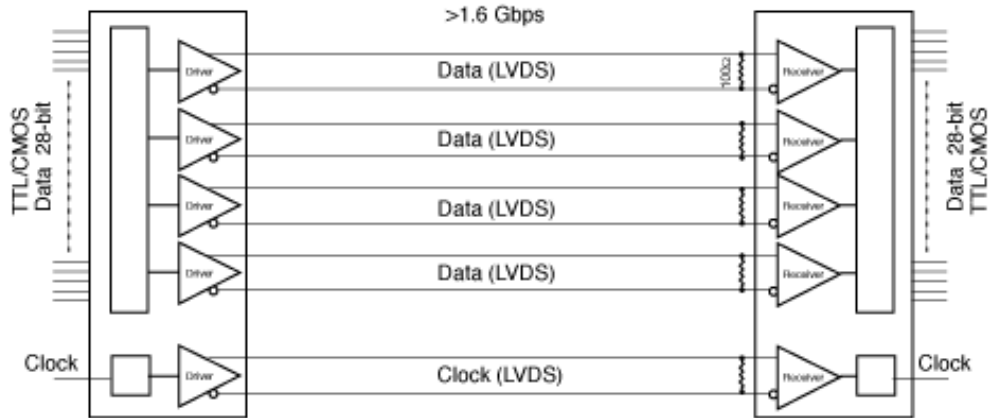


FIG. 4.5 – *Liaison LVDS*

4.2.3 Le mode IEEE-1394

En préambule, rappelons que IEEE est l’acronyme de Institute of Electrical and Electronic Engineers, et que pour devenir un standard, une norme électrique ou électronique se doit d’être inscrite dans les registres IEEE.

La norme IEEE-1394 a été définie en 1995 et mise à jour en 2000. Il s’agit d’une liaison série dont le débit actuel est de 400 Méga bauds maximum, débit qui sera porté à 3200 Méga bauds dans la version à venir.

La raison d’être de cette nouvelle norme est d’améliorer les performances des réseaux type LAN (Local Area Network) ou WAN (Wide Area Network), en permettant, à moindre coût, de garantir la bande passante et la réactivité. Elle vise aussi à remplacer les liaisons parallèles type SCSI, par de meilleurs débits et une plus grande souplesse d’utilisation (au niveau connectique, longueur des liaisons). Pour ajouter à sa convivialité, il est possible d’ajouter ou de retirer un élément IEEE-1394 à chaud (hot-plug).

Les caractéristiques principales de la norme IEEE-1394 sont détaillées par la suite.

- **La configuration automatique** : durant la phase d’initialisation, chaque appareil connecté au bus IEEE-1394 annonce, à tour de rôle, son identification et sa configu-

ration et reçoit en retour une adresse qui lui est propre. Ce procédé d'énumération et d'attribution d'adresse s'effectue automatiquement. Ainsi, on peut connecter à chaud un nouvel élément au bus. Le bus IEEE-1394 est donc "plug-and-play".

- **La transmission**: La norme IEEE-1394 utilise une technologie de transmission de données par paquet qui est organisée de façon similaire à un espace mémoire interconnecté avec plusieurs appareils. La topologie d'un réseau IEEE-1394 est constituée de plusieurs couches.
 - **La couche PHY** est une couche physique, qui doit gérer le signal de mise sous tension à distance, la reconnaissance du signal de sélection de l'appareil, le signal d'initialisation du bus et la réception/émission des données. La vitesse de transmission via le bus IEEE-1394 dépend de l'électronique de la couche PHY. Généralement, l'électronique de la couche PHY supporte des vitesses de 100Mb/s, 200Mb/s et 400Mb/s.
 - **La couche de lien** formate les données en paquets pour la transmission via le câble IEEE-1394 et supporte les modes de communication asynchrone et isochrone. Le mode de transmission asynchrone garantit la bonne réception des données car la cible envoie, dès la réception d'un paquet, un signal de reconnaissance à l'expéditeur. Par contre, le temps de transfert n'est pas garanti, car il dépend du taux d'utilisation du bus IEEE-1394. Ce paquet de données peut être envoyé à une adresse d'un appareil connecté au réseau ou à toutes les adresses. Par contre, on ne peut pas envoyer un paquet à une branche (sous-ensemble) du réseau. Le mode de transmission isochrone réserve, pour la transmission, un espace-temps de dimension particulière et cyclique (toutes les 125 micro secondes, soit 8000 cycles isochrones par seconde). Un espace-temps isochrone est garanti. Les communications isochrones sont prioritaires vis à vis des communications asynchrones de sorte que la bande passante pour les communications isochrones est assurée. La communication isochrone est établie d'un émetteur vers un ou plusieurs récepteurs. Plusieurs canaux peuvent être réservés pour un seul appareil et des canaux supplémentaires peuvent lui être ajoutés tant que la capacité d'émission isochrone de l'appareil n'est pas atteinte et que la bande passante isochrone du bus IEEE-1394 est disponible. C'est ce mode de transmission que l'on choisit pour le transport de données vidéo ou de toutes autres données qui nécessitent une transmission garantie en "temps réel".
- **La gestion du bus**: plusieurs types d'appareils peuvent être connectés au bus IEEE-1394.
 - Si un appareil est capable de communiquer, il est capable de répondre à une communication asynchrone et doit comprendre des registres de contrôle de statuts (CSR) et un ROM de configuration minimale.

- Les appareils capables de communication isochrone ajoutent une horloge de 24,576Mhz, qui incrémente le registre du cycle d’horloge. Ce registre est lui-même mis à jour à l’initiative de l’appareil ”master-cycle”, à chaque cycle de réception des paquets.
- Les appareils ”master-cycle” (cycle principal) ont l’aptitude de produire le départ du cycle à 8KHz, de générer le départ du cycle des paquets et de rendre effectif le registre d’horloge du bus.
- Les appareils IRM (Isochronous Resource Manager) gèrent toutes les opérations présentées ci-dessus. De plus, ils détectent les mauvaises adresses de paquet, déterminent l’adresse de l’appareil pour l’IRM choisi, et gèrent les canaux libres, la bande passante disponible, et le registre des adresses. Pour qu’un réseau IEEE-1394 puisse gérer une communication isochrone, il est nécessaire d’avoir au moins un appareil IRM. Un PC ayant un processeur assez rapide avec un mémoire suffisante est le candidat idéal pour gérer le réseau IEEE-1394.
- Les appareils ayant la fonction BM (bus manager) doivent gérer le bus. C’est la fonction la plus complexe. Il s’agit de :
 - stocker chaque auto allocation d’adresse d’un appareil dans une carte de topologie du réseau;
 - analyser cette carte pour fournir une nouvelle carte de vitesse du bus;
 - activer l’appareil ”master-cycle”;
 - écrire la configuration du PHY pour le format des paquets pour permettre l’optimisation du bus;
 - et éventuellement gérer l’alimentation des appareils.

4.2.4 La norme IUT-R601 (CCIR-601)

La norme IUT-R601 est la version numérique de la norme analogique CCIR, vue au début du chapitre.

Pour transmettre de la vidéo en utilisant des techniques numériques, il est nécessaire de numériser le signal. Les signaux vidéo sont échantillonnés et convertis en une représentation numérique. Le choix de la fréquence d’échantillonnage ainsi que la résolution ont un effet important sur la qualité du signal numérique obtenu. Le standard IUT-R601 propose une méthode de standardisation pour encoder des informations vidéo sous une forme numérique.

Les signaux de luminance (Y) et de chrominance (U et V) sont échantillonnés et codés avec une précision sur 8 bits. La fréquence d’échantillonnage est choisie de telle sorte que le signal numérique obtenu soit de qualité comparable au signal analogique de départ après reconstitution. À titre d’exemple, la luminance Y d’une trame d’un signal NTSC est échantillonnée de manière à produire une image de 525 lignes, chacune d’elles contenant 858 échantillons. La zone active d’une trame numérisée contient $720 * 486$ éléments d’image (pixels). La luminance Y d’un signal PAL ou SECAM est échantillonnée de manière à produire une image de 625 lignes, chacune d’elles contenant 864 échantillons. La zone active dans ce cas est de $720 * 576$ pixels. Les signaux de chrominance sont échantillonnés à des

débits plus faibles dans le standard IUT-R601. La résolution verticale reste la même (486 ou 576) mais la résolution horizontale est réduite de moitié. Ceci signifie que, pour chaque ligne, seuls les pixels impairs ont des valeurs de chrominance associées. Cette structure d'échantillonnage a pour dénomination "4:2:2". Le débit d'un signal de télévision numérique correspondant au standard IUT-R601 possède un débit de 216 Mbit/s.

Chapitre 5

La carte d'acquisition

L'arrivée du "tout numérique" et la vulgarisation de l'acquisition d'image pourrait bien annoncer la fin des cartes d'acquisition vidéo en tant que telles.

Le cas IEEE-1394 est l'exemple type, puisque les ordinateurs sont maintenant munis pour la plupart de connecteurs IEEE-1394. Acquérir une image revient donc à connecter un disque externe ou une ressource "classique" à l'ordinateur.

Cette mutation vers le "numérique" a une autre conséquence. Avec les cartes basées sur les signaux analogiques, la connaissance de l'électronique analogique est indispensable pour évaluer correctement un système d'acquisition vidéo. Avec les systèmes numériques, cela n'a plus de sens.

Dans le suite de ce chapitre, on ne s'intéresse qu'au cas où une carte d'acquisition est indispensable, ce qui représente encore 90% des systèmes industriels ou de laboratoire.

Une carte d'acquisition vidéo est un système électronique permettant de traduire un signal image en un ensemble de pixels rangés en mémoire de l'ordinateur. On ne s'intéresse pas ici aux cartes d'acquisition munies de calculateur. Ces dernières sont réservées à de grosses applications très spécialisées, où la rapidité est primordiale, au détriment de la souplesse de programmation et de la complexité des algorithmes mis en jeu.

La traduction du signal image en une mémoire image, se fait en deux étapes, qui sont détaillées dans ce chapitre. Par le suite, on s'intéresse à la partie logicielle des cartes d'acquisition, au rangement des pixels en mémoire, et enfin aux contraintes temporelles liées sur le traitement des images.

5.1 Interface caméra - carte d'acquisition

C'est la première étape de la traduction du signal image. Il s'agit de stocker l'image sur la carte d'acquisition. Les différents types d'entrée supportés par les cartes d'acquisition correspondent aux différents types de transfert d'images vus au chapitre 4.

5.1.1 Signal analogique

L'élément de base de la carte d'acquisition ("frame grabber") est le convertisseur analogique-numérique. La qualité de ce composant et de la glu électronique nécessaire à son fonctionnement, donne la qualité de la carte et son prix par la même occasion. Une carte de bonne qualité exploite la totalité de la bande passante du signal. Pour cela deux opérations sont requises, la première consiste à séparer les synchronisations et le signal pixel proprement dit, la seconde consiste à échantillonner le signal pixel.

Il existe des cartes permettant de numériser, soit un signal N&B, soit plusieurs signaux N&B multiplexés entre eux. Pour numériser la couleur, on utilise généralement trois convertisseurs, pour numériser simultanément les trois signaux Rouge, Vert et Bleu. Si le format d'entrée est composite (PAL) ou du type YC, un transcodeur est intercalé entre l'entrée et les convertisseurs pour obtenir un codage de l'image en Rouge, Vert et Bleu.

Le système de numérisation de la couleur est aussi utilisé pour acquérir trois signaux issus de trois caméras N&B. Ceci permet d'avoir une prise de vue stéréoscopique de la scène. Le problème à résoudre est de synchroniser les signaux issus des trois caméras. Une première solution consiste à synchroniser les caméras entre elles. Sur certains modèles de caméras, il est en effet possible de paramétrer une caméra comme exportant sa synchronisation, et de paramétrer les autres comme important une synchronisation. Une autre solution est de configurer la carte d'acquisition pour qu'elle génère et exporte une synchronisation. Il faut alors configurer les caméras afin qu'elles importent cette synchronisation.

Une carte d'acquisition analogique possède un certain nombre d'éléments.

- Pour tenir compte de variations parasites sur la synchronisation, la carte utilise un PLL (Phase Lock Loop) pour bien se caler sur la fréquence nominale. Le jitter (delta en temps sur la synchro ligne) est ainsi minimisé.
- Pour améliorer la correspondance entre le pixel du capteur et le pixel codé en mémoire, un signal nommé horloge pixel est ajouté. Il est fourni par la caméra et reçu par la carte d'acquisition. Le convertisseur se synchronise sur ce signal pour opérer la numérisation du signal. Le gain de précision est sensible quand l'application de vision nécessite des calculs sub-pixeliques.
- Par défaut, la caméra fournit son signal de manière indépendante, et la carte d'acquisition s'adapte. Dans certaines applications, il est intéressant que la caméra s'adapte à la carte, notamment quand la carte doit aussi déclencher un flash lumineux en relation avec la prise d'image. Dans ce cas, il est prévu sur la plupart des caméras et la plupart des cartes d'acquisition, que cette dernière puisse communiquer la synchronisation à la caméra.
- La plupart des convertisseurs analogique-numérique travaillent sur 8 bits, à une fréquence comprise entre 10 et 20 méga Hertz.
- La connectique d'entrée la plus simple est un connecteur BNC ou RCA. Elle convient quand la caméra impose sa synchronisation, et quand seul le signal vidéo est utilisé.

Quand l'horloge pixel est utilisée, ou quand la carte fournit la synchronisation, le nombre de connexions impose des connecteurs multi-points, comme par exemple des connecteurs DBV25 (identique au port parallèle du PC). On peut aussi trouver des connecteurs mini-din 4 points pour une entrée YC.

La figure 5.1 présente le synoptique d'une carte d'acquisition vidéo pouvant numériser trois signaux.

5.1.2 Signal EIA-422 ou EIA-644

La caméra transmet des pixels de façon numérique, le rôle de la carte d'acquisition est de servir de mémoire tampon entre le flux de pixels entrants et la mémoire du processeur.

Les cartes d'acquisition actuelles possèdent environ 32 entrées pixels, qui peuvent être configurées de plusieurs manières. Les exemples les plus fréquents sont :

- quatre caméras, dont la dynamique des pixels est de 8 bits ;
- une caméra couleur, qui délivre son signal sur 24 lignes EIA-644 ;
- trois caméras, dont la dynamique des pixels est de 12 bits.

Dans les configurations multi-caméras, il faut synchroniser les différentes caméras entre elles. Très peu de caméras type EIA-422 ou EIA-644 permettent cela actuellement.

La figure 5.2 représente le synoptique d'une carte d'acquisition vidéo pouvant numériser 32 voies numériques.

5.2 Interface carte d'acquisition - mémoire processeur

C'est la seconde étape de la traduction du signal image. Il s'agit de transférer l'image de la carte d'acquisition à la mémoire du processeur. Le mode de transmission est directement lié au bus du système sur lequel est branchée la carte d'acquisition.

Actuellement, le bus PCI est le plus utilisé. Le bus VME est un bus industriel sur lequel la plupart des systèmes d'acquisition industriel ont été réalisés dans la période 1985-1995. Il existe d'autres bus, aucun n'occupe une part de marché significative.

Dans le cas du bus PCI, le transfert de l'image de la carte d'acquisition vers la mémoire se fait par le mode DMA (Direct Memory Acces). Les différentes étapes du mode DMA sont :

- la carte d'acquisition envoie une interruption DMA vers le processeur ;
- le processeur traite l'interruption DMA, en initialisant, les compteurs du circuit DMA ;
- le circuit DMA transfère les octets de la carte d'acquisition vers la mémoire du processeur, puis envoie une interruption de fin de tâche au processeur ;

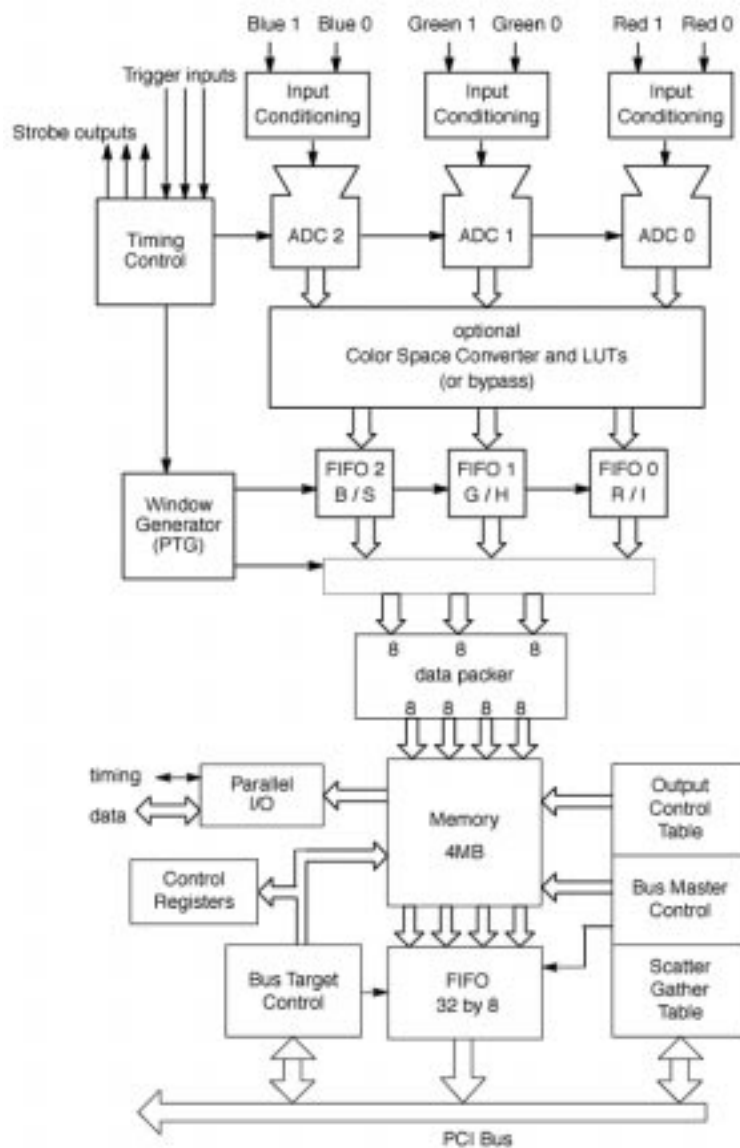


FIG. 5.1 – *Synoptique de la carte d'acquisition Imaging Technology PC-RGB*

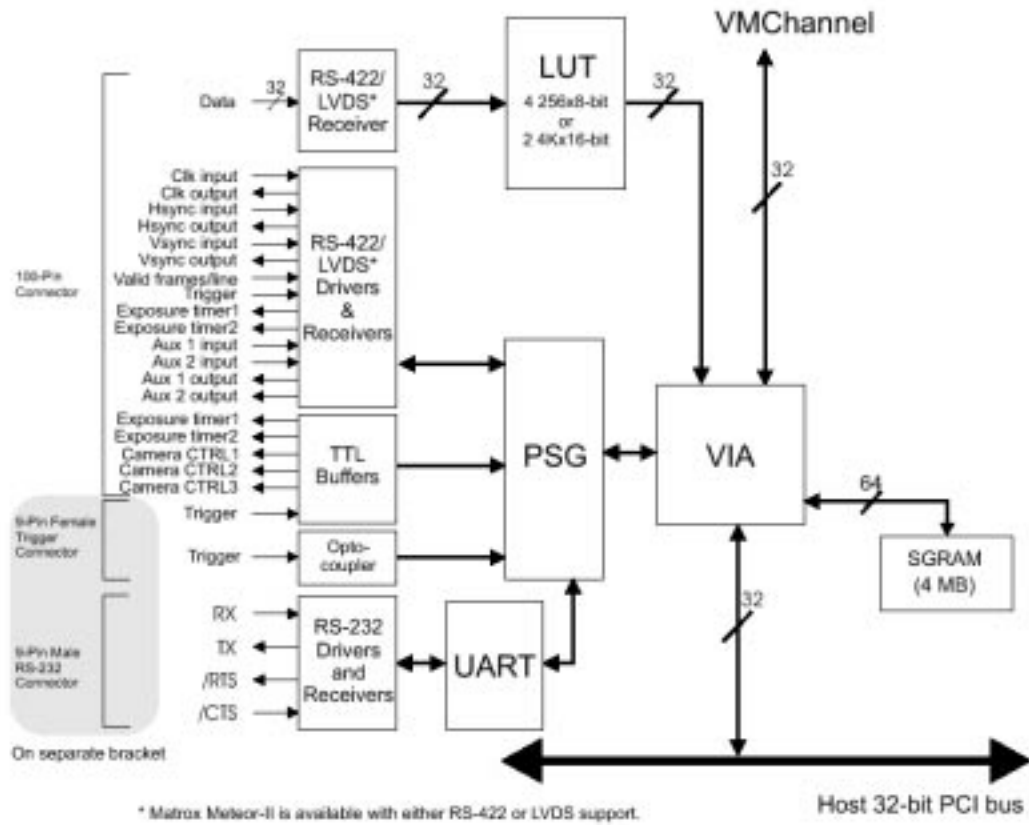


FIG. 5.2 – Synoptique de la carte d'acquisition Matrox Meteor-II-Digital

- le processeur traite l'interruption de fin de tâche, et avertit le programme applicatif par un "flag" que les données sont valides.

La fréquence des interruptions DMA dépend de la configuration mémoire de la carte d'acquisition. Il en existe deux types.

- Si la mémoire de la carte d'acquisition peut stocker l'image entière, l'interruption DMA est générée à chaque image. Un système basé sur un signal analogique CCIR génère des interruptions DMA tous les 40 millisecondes (25 Hertz).
- Si la mémoire de la carte d'acquisition ne peut stocker que quelques lignes, l'interruption DMA est générée à chaque ligne. Un système basé sur un signal analogique CCIR génère des interruptions DMA tous les 64 microsecondes.

Le premier mode de fonctionnement nécessite une grande quantité de mémoire sur la carte d'acquisition, et induit peu d'interruptions, et par conséquent une faible contribution du processeur. À l'inverse, le second mode de fonctionnement permet de mettre un minimum de mémoire sur la carte, mais demande plus de travail au processeur. Afin de ne pas perdre de données, le second mode nécessite de la part de la machine deux qualités.

- Le bus liant la carte d'acquisition et le processeur doit avoir un débit de transfert (méga octets par seconde) supérieur au flux vidéo entrant. Dans le cas contraire, la carte d'acquisition stocke la ligne (N) à la place de la ligne (N-1), et le processeur (ou le circuit DMA) perd la ligne (N-1). Dans le cas d'un signal analogique couleur CCIR, le bus doit avoir un débit de transfert supérieur à 32 méga octets par seconde, correspondant à 25 images de 3x768x576 pixels par secondes.
- Le processeur doit réagir suffisamment rapidement à l'interruption DMA demandée par la carte d'acquisition. La raison est là aussi le risque de perte de ligne. Cette contrainte est toutefois allégée par la mise en place sur les cartes d'acquisition d'une mémoire pouvant contenir plusieurs lignes.

5.3 Partie logicielle

Les cartes d'acquisition des années 1980-1990 étaient assez simples dans leur fonctionnement. Par rapport aux cartes actuelles, elles étaient plus spécialisées et leur performance était moindre. Le contrôle de ces cartes se faisait par quelques registres. Par conséquent, la partie logicielle de la carte d'acquisition, aussi appelée "driver" ou pilote était facilement programmable.

Le contrôle des cartes d'acquisitions actuelles nécessite la programmation de plusieurs dizaines de registres. Il est très difficile d'écrire soi-même le pilote d'une carte d'acquisition. Aussi, il est très important d'évaluer le pilote vendu avec la carte. Les différents points à évaluer sont :

- la mesure des performances ;

- la liste des systèmes d'exploitation supportés;
- les fonctions destinées à être utilisées dans les applications.

La plupart des pilotes de cartes d'acquisition ne supporte que le système d'exploitation WINDOWS. Les laboratoires de vision par ordinateur, qui travaillent surtout sur des systèmes UNIX type LINUX, se retrouvent devant un choix réduit de cartes d'acquisition.

5.4 Rangement des pixels en mémoire

Le rangement en mémoire est assez constant, les pixels sont rangés de gauche à droite et de bas en haut, par rapport à l'image. Les éléments variables sont :

- la largeur du pixel, qui peut être codé sur 8, 16, ou 32 bits;
- le rangement des composantes d'une image couleur, qui peut être soit par pixel (RV-BRVBRVB...), soit par couleur (RR...RRR, VVV..VV, BB...BBB).

5.5 Contraintes temporelles

Nous avons vu dans ce rapport la fonctionnalité des différents éléments intervenant dans l'acquisition d'images. Ce paragraphe est destiné à étudier la chronologie de ces éléments. Un système analogique d'acquisition d'images couleur sert d'exemple au cours de cette partie.

Considérons une machine de vision par ordinateur, qui traite un flux d'images, afin d'effectuer une tâche d'asservissement visuel, ou de tri de pièces mécaniques. Les phases du programme sont :

- l'acquisition d'images;
- le traitement informatique des images;
- l'action qui en résulte.

Du point de vue temporel, les temps à prendre sont au nombre de cinq.

1. Le temps d'intégration du capteur, vu dans le chapitre 3. Durant cette période, la scène est figée sur le plan image formé par le capteur.
2. Le temps de transfert de l'image depuis la caméra vers la carte d'acquisition d'images. Dans le cas d'un système d'acquisition analogique, ce temps est fixe et est égal à 40 millisecondes.

3. Le temps de transfert de la carte d'acquisition d'images vers la mémoire du processeur. Ce transfert est assuré par le circuit de DMA (Direct Memory Acces). Une carte de bonne qualité effectue des transferts DMA sur bus PCI à un débit de 100 méga octets par seconde. Dans ce cas, le transfert d'une image couleur au format CCIR ($3 \times 768 \times 576 = 1.26$ méga octets) prend environ 14 millisecondes.
4. Le temps de transfert de la mémoire du processeur vers la mémoire applicative. Il s'agit ici de recopier l'espace mémoire image, rempli par le circuit de DMA, dans un espace mémoire image, propre au programme applicatif. Cette recopie permet au programme de travailler sur un espace mémoire image, sécurisé vis à vis du DMA et avec un accès plus rapide (par exemple en mémoire cache). Ce temps est assez court. Pour une image couleur au format CCIR, il est de l'ordre de 6 millisecondes.
5. Le temps de traitement correspond à l'analyse de l'image, ainsi qu'à l'action qui en résulte. C'est le temps le plus difficile à évaluer, puisqu'il dépend du programme applicatif.

Les figures 5.3 et 5.4 illustrent l'enchaînement de ces cinq temps dans le cas d'un système d'acquisition analogique. La différence entre les deux figures tient à la technologie de mémoire utilisée sur la carte d'acquisition. La première figure correspond à une carte d'acquisition munie de mémoire suffisante pour accueillir une image complète. La période de transfert de la carte d'acquisition vers la mémoire du processeur, débute quand l'image est entièrement stockée dans la carte d'acquisition. Une seule requête DMA est effectuée par image. La seconde figure correspond à une carte d'acquisition munie d'une mémoire pouvant accueillir que quelques lignes. À chaque ligne, une requête DMA est effectuée de manière à libérer l'espace mémoire occupée par cette ligne. La période de transfert de la carte d'acquisition vers la mémoire du processeur débute peu de temps après le début de stockage de l'image par la carte d'acquisition. Cette période s'achève peu de temps après la fin du stockage de l'image par la carte d'acquisition.

Ces cinq temps et leur enchaînement sont maintenant définis et spécifient l'analyse d'une image. Il faut à présent étudier comment la machine de vision enchaîne ces tâches élémentaires, et réalise l'analyse du flux d'images. Du point de vue de l'automatique, on cherche à avoir la machine de vision la plus robuste possible. Pour cela, deux paramètres sont optimisés.

- La fréquence de travail est maximale. Un système d'acquisition analogique travaille à 25 images par seconde.
- Le délai entre la prise d'images (temps d'intégration) et l'action (temps de traitement) est minimum.

Les figures 5.5 et 5.6 illustrent les contraintes temporelles imposées par le flux d'images dans le cas d'un système constitué d'une carte d'acquisition analogique sur un bus PCI. On

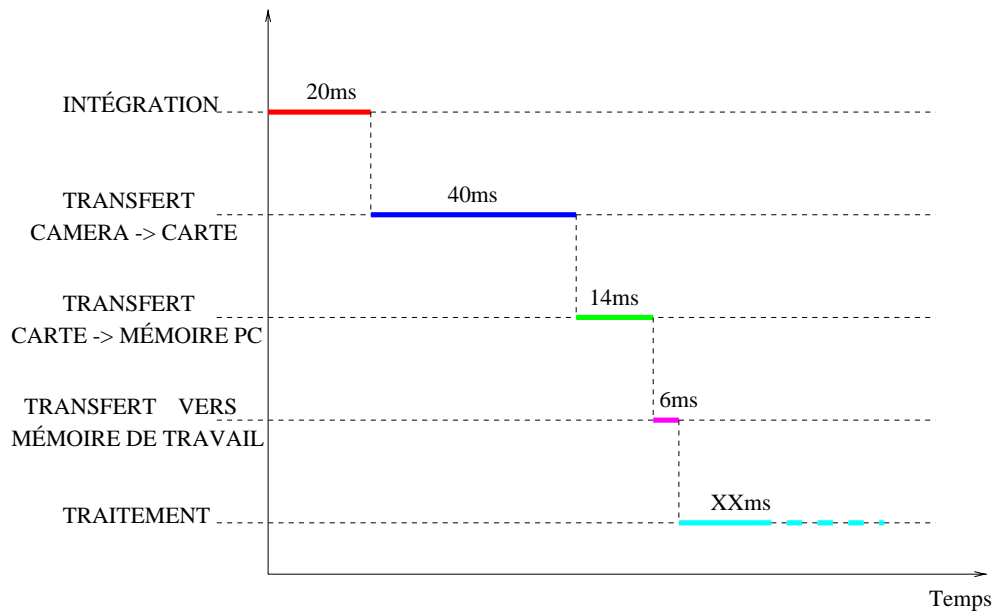


FIG. 5.3 – Enchaînement des temps de l'acquisition dans le cas d'une carte d'acquisition avec mémoire d'images

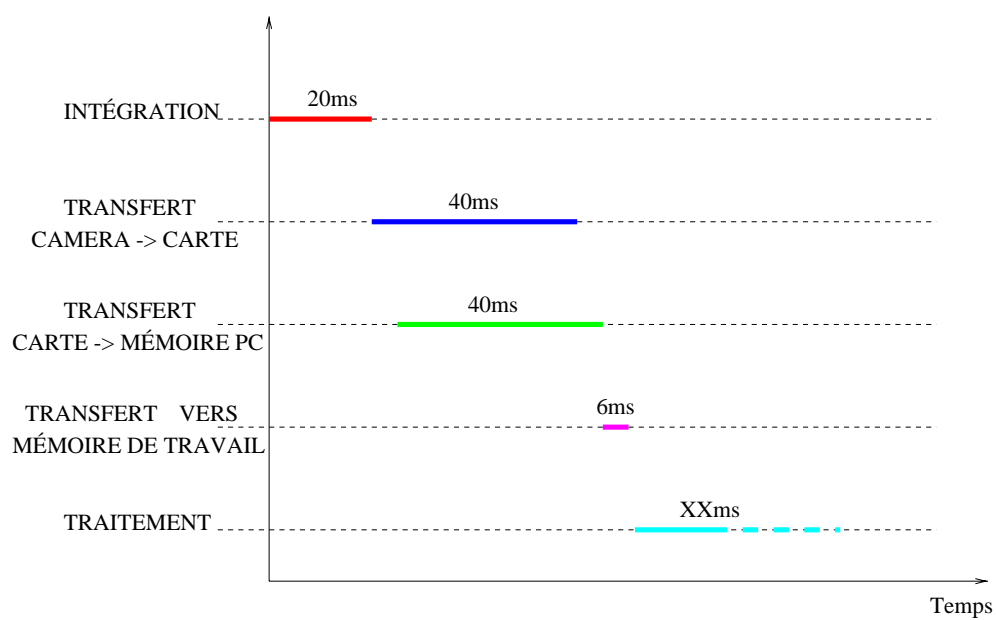


FIG. 5.4 – Enchaînement des temps de l'acquisition dans le cas d'une carte d'acquisition avec mémoire de lignes

remarque que la fréquence du système est influencé par deux éléments : la sortie du signal de la caméra et le temps de traitement.

- La caméra transfère en continu le signal vidéo, ce qui prend 40 millisecondes par image.
- Si le temps de traitement pour l'image (N) se termine avant le début du transfert de la mémoire du processeur vers la mémoire de travail de l'image (N+1), le système travaille à 25 images par seconde (cf figure 5.5). Si il y a dépassement temporel, le système saute une image et travaille sur la suivante, la fréquence de travail est alors de 12.5 images par seconde (cf figure 5.6). La fréquence est d'autant réduite que le temps de traitement s'allonge.

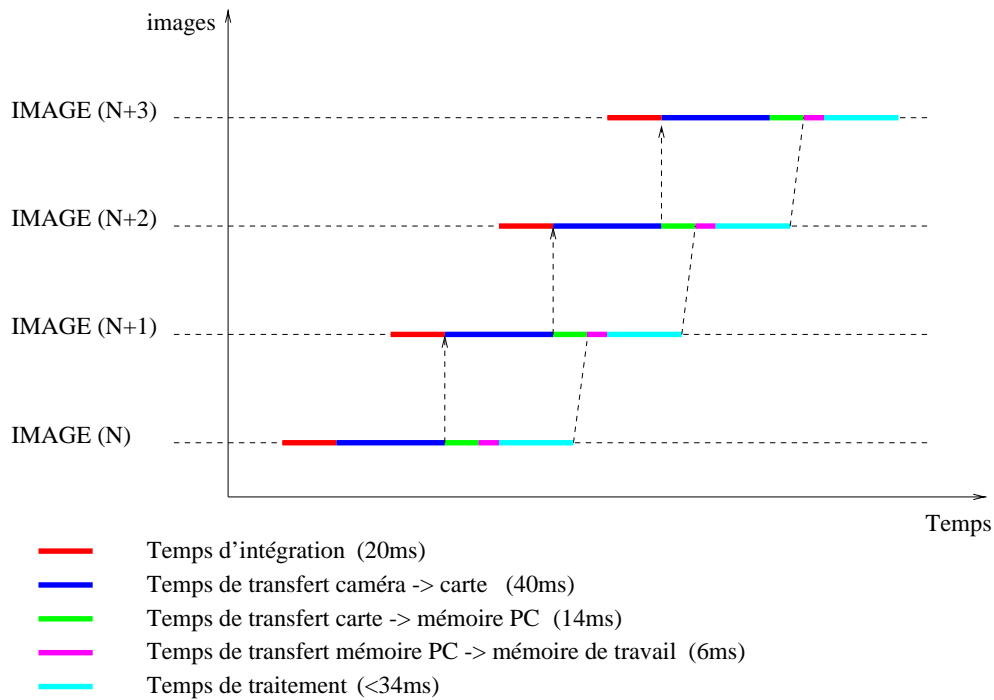


FIG. 5.5 – *Système d'acquisition fonctionnant à 25 images par seconde*

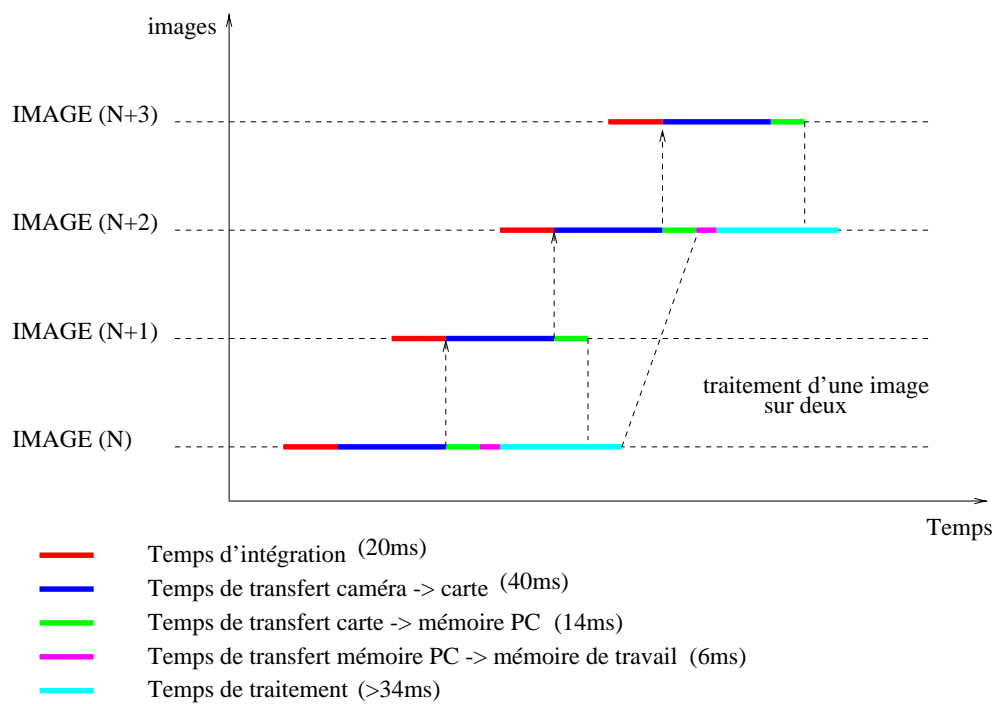


FIG. 5.6 – *Système d'acquisition fonctionnant à 12.5 images par seconde*

Chapitre 6

Conclusion

Ce rapport a fourni une description, étape par étape, des différents éléments qui constituent un système d'acquisition d'images, en se limitant à des environnements type laboratoire de recherche ou milieu industriel.

L'acquisition d'images concerne plusieurs technologies, comme par exemple, l'optique ou les capteurs sur circuits intégrés, et s'appuie sur différentes normes. Ce document a donné l'état actuel de ces éléments, en apportant à chaque fois, les bases nécessaires à sa compréhension. Ce rapport est, par conséquent, aussi un point de départ pour approfondir un domaine particulier.

Un cours destiné aux écoles d'ingénieurs est issu de ce rapport, qui a donc déjà rempli son rôle.

Enfin, les utilisateurs, non spécialistes de systèmes d'acquisition d'images, devraient mieux comprendre le système qu'ils utilisent, et améliorer les performances de leur application.

Merci à Soraya Arias et à Pascal Di Giacomo pour leur relecture.

Chapitre 7

Annexe : les Connecteurs

7.1 Connecteur BNC



FIG. 7.1 – *Connecteur BNC*

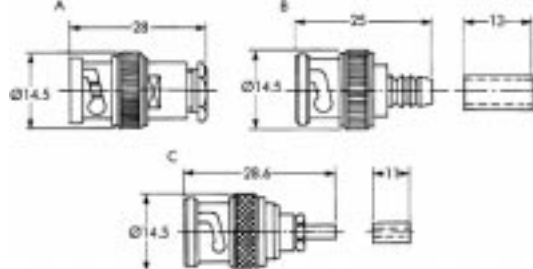


FIG. 7.2 – *Connecteur BNC*

7.2 Connecteur RCA - Cinch



FIG. 7.3 – Connecteur RCA

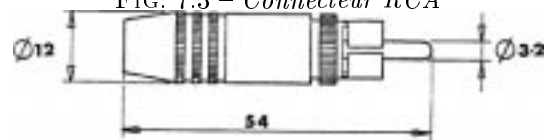


FIG. 7.4 – Connecteur RCA

7.3 Connecteur Hirose 12 points

Numéro	Nom	Description
1	GND	0 volt de l'alimentation
2	+12	alimentation 12 volts
3	0(VIDÉO)	0 volt du signal vidéo
4	VIDÉO	signal vidéo coaxial 75 Ohms
5	0(HD)	0 volt du signal HD
6	HD	synchro horizontale
7	VD	synchro verticale
8	0(CLK)	0 volt de CLK
9	CLK	horloge pixel
10	GND	0 volt de l'alimentation
11	+12	alimentation 12 volts
12	0(VD)	0 volt du signal VD



FIG. 7.5 – *Connecteur Hirose 12 points*

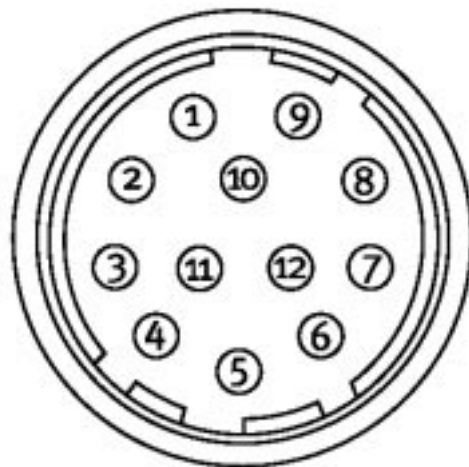
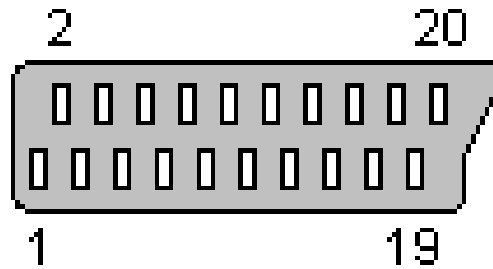
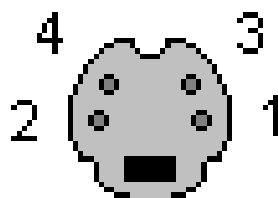


FIG. 7.6 – *Connecteur Hirose 12 points*

FIG. 7.7 – *Prise PÉRITEL*

7.4 Prise PÉRITEL

Numéro	Nom	Description
1	AOR	Audio Out Right
2	AIR	Audio In Right
3	AOL	Audio Out Left + Mono
4	AGND	Audio Ground
5	B	GND RGB Blue Ground
6	AIL	Audio In Left + Mono
7	B	RGB Blue
8	SWTCH	Audio/RGB switch / 16:9
9	G	GND RGB Green Ground
10	CLK	OUT Data 2: Clockpulse Out
11	G	RGB Green In
12	DATA	Data 1: Data Out
13	R	GND RGB Red Ground
14	DATA	GND Data Ground
15	R	RGB Red In / Chrominance
16	BLNK	Blanking Signal
17	VGND	Composite Video Ground
18	BLNK	GND Blanking Signal Ground
19	VOUT	Composite Video Out
20	VIN	Composite Video In / Luminance
masse	SHIELD	Ground/Shield (Chassis)

FIG. 7.8 – *Connecteur S-VHS*FIG. 7.9 – *Connecteur S-VHS*

7.5 Connecteur S-VHS

numéro	Nom	Description
1	GND	Ground (Y)
2	GND	Ground (C)
3	Y	Intensity (Luminance)
4	C	Color (Chrominance)

7.6 Connecteur IEEE-1394

numéro	Nom	Description
1	POWER	8-40volts 1.5ampère
2	GND	Masse
3	TPB-	paire torsadée B, signaux différentiels
4	TPB+	
5	TPA-	paire torsadée A, signaux différentiels
6	TPA+	



FIG. 7.10 – Connecteurs IEEE-1394

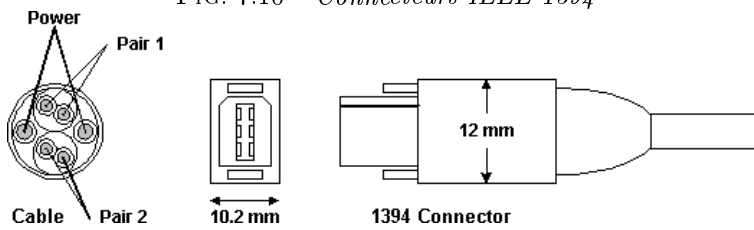


FIG. 7.11 – Connecteur IEEE-1394

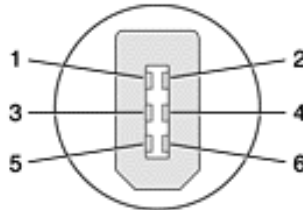


FIG. 7.12 – Numérotation des broches du connecteur IEEE-1394

Chapitre 8

Glossaire

- **CCD (Charge Coupled Device)** : un capteur CCD est un circuit intégré, ouvert sur le dessus par une petite fenêtre. Le signal lumineux capté par l'objectif de la caméra est dirigé vers cette fenêtre découpée en points élémentaires (pixels). Chacun de ces pixels est photo-sensible et se charge proportionnellement à la quantité de lumière reçue. Lorsque l'image a été entièrement balayée, les charges électriques sont transférées vers des cellules mémoire qui sont ensuite vidées par transfert de charge, d'où l'appellation CCD.
- **CMOS** : Acronyme de Complementary Metal Oxide Semiconductor, principal concurrent du CCD, moins cher à fabriquer, mais plus sensible au bruit, et d'une sensibilité moindre.
- **Correction gamma** : elle désigne l'opération à appliquer pour corriger un défaut de non linéarité du rendu des luminosités affichées sur un moniteur. L'équation est $y = (x)^{\text{gamma}}$ avec gamma typiquement compris entre 0.3 et 2.0.
- **Dynamique d'une image** : elle désigne le nombre de bit utile pour décrire une image.
- **HAD (Hole-Accumulation Diode)** : désigne un procédé utilisé par SONY pour ses capteurs CCD. Il s'agit de l'élément de base du capteur CCD. Du point de vue électronique, c'est une diode exposée entièrement aux photons.
- **Histogramme** : désigne le nombre de pixel de chaque niveau. Dans le cas d'une image sur 8 bits (256 niveaux), l'histogramme est un tableau de 256 entrées. La valeur de l'élément "i" du tableau indique le nombre de pixels ayant pour valeur "i".
- **Intensité Lumineuse** : dans une direction particulière, par unité d'angle solide (unité candela=lumen par steradian).

- **Irradiance** : désigne le flux de radiation arrivant sur une surface par unité d'aire (unité $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$).
Exemple : irradiance dûe au soleil à la surface de la Terre.
- **Lambertien** : désigne la propriété des surfaces qui sont purement diffuses, et qui obéissent à la loi de Lambert d'émission égale dans toutes les directions.
- **Luminance** : désigne le flux lumineux le long d'une direction (projection sur le plan perpendiculaire à la direction)(unité candela par m^2).
- **MESECAM** : désigne une variante du SECAM. Il s'agit d'un format hybride employé essentiellement en Afrique du Nord. Il reprend le principe de transmission séquentielle de la chroma utilisé par le SECAM, mais effectue une modulation d'amplitude au lieu d'une modulation de fréquence. La justification de ce choix de modulation tient à des raisons essentiellement économiques, les magnétoscopes PAL étant nettement moins chers que les SECAM.
- **NTSC** (National Television Systems Committee) : désigne le standard de télévision couleur utilisé notamment au Canada, U.S.A, Mexique, Pérou, Japon. Ce format d'origine américaine est aussi appelé ironiquement Never Twice the Same Color (jamais deux fois la même couleur), pour sa versatilité. Compatible avec le format américain Noir et blanc 60 Hertz (balayage 60 fois par seconde, soit 2 demi-images balayées 30 fois, soit 30 images complètes en 1 seconde). C'est le premier standard couleur inventé (1953) par les américains pour garder la compatibilité avec les postes noir et blanc de l'époque.
Définition de l'image : 640 pts x 475 lignes utiles (x 30 par seconde).
- **PAL** (Phase Alternate Line) : désigne le standard de télévision couleur utilisé notamment en U.K., Allemagne, Espagne, Italie, Inde, Australie, Singapour, Hong Kong, Chine, Argentine, Brésil. Format européen, mis en application en 1962, qui s'est fortement inspiré du modèle américain (NTSC), en prenant les avantages et en essayant d'en gommer les défauts. Compatible avec le format européen Noir et blanc 50 Hertz (balayage 50 fois par seconde, soit 2 demi-images balayées 25 fois, soit 25 images complètes en 1 seconde).
Définition de l'image : 720 pts x 576 lignes utiles (x 25 par seconde).
- **Réfraction** : désigne la déviation d'un rayon de lumière quand il entre ou sort d'un matériau diélectrique, tel que le verre.
- **SECAM** (Séquentiel à mémoire) : désigne le standard de télévision couleur utilisé notamment en France. C'est un format français, développé concurrentiellement au système PAL (1962), basé sur une approche fondamentalement différente. Il est compatible avec le format européen noir et blanc 50 Hertz (balayage 50 fois par seconde, soit 2 demi-images balayées 25 fois, soit 25 images complètes en 1 seconde).
Définition de l'image : 720 pts x 576 lignes utiles (x 25 par seconde).

- **Spéculaire** : désigne une réflexion ou transmission de la lumière qui se fait avec une préférence directionnelle.
- **Temps d'intégration** : il désigne le temps pendant lequel la surface sensible est exposée à la lumière avant transfert. Il varie suivant les caméras de 100 microsecondes à plusieurs secondes. Ce temps ne doit pas être confondu avec la durée d'une trame qui est un temps de transmission d'information.
- **Vitesse d'obturation** : elle désigne la durée d'ouverture de l'obturateur pendant laquelle la lumière va frapper le récepteur.

Chapitre 9

Références fabricants et distributeurs

SOCIÉTÉ	Web	PRODUIT
TAMRON	www.tamron.co.jp/english	objectif
Edmund Industrial optics	www.edmundoptics.com	objectif
KYNOPTIK	-	objectif
ANGÉNIEUX	www.angenieux.com	objectif
PULNIX	www.pulnix.com	caméra
DALSA	www.dalsa.com	caméra
SONY	bpgprod.sel.sony.com/	caméra
JAI	www.jai.dk	caméra
KODAK	www.masdkodak.com	caméra
MATROX	www.matrox.com	carte d'acquisition
IMAGING TECHNOLOGY	www.imaging.com	carte d'acquisition
CORECO	www.imaging.com	carte d'acquisition

TAB. 9.1 – *Quelques fabricants de l'acquisition d'images*

SOCIÉTÉ	Web
IMASYS	www.imasys.fr
I2S	www.i2s.fr
CFM électronique	www.cfm-elec.fr

TAB. 9.2 – *Quelques distributeurs français de l'acquisition d'images*

Chapitre 10

Références Web

- <http://bpgprod.sel.sony.com/allcategories.bpg>: index des caméras SONY.
- <http://www.sel.sony.com/semi/ccdarea.html>: index des capteurs CCD SONY.
- http://www.brunel.ac.uk/faculty/tech/systems/webhome_PPD/webhome_final_year_project/HTM/body_acquisi
comment fonctionne une caméra à tube.
- http://www.cinemia.net/SFCV-RMIT-Annex/rnaughton/IMAGE_ORTHICON.html:
comment fonctionne une caméra à tube.
- <http://www.vvl.co.uk/whycmos/whitepaper.htm>: comparaison de la technologie CMOS
par rapport à la technologie CCD, par un construction de capteur CMOS.
- <http://www.suni.com/pages/wsipaper.htm>: Comment fabriquer un capteur CCD.
- <http://www.edmundoptics.com/>: tout sur les objectifs.
- <http://www.itu.int/ITU-R/index-fr.html>: Union Internationale des Télécommunications,
anciennement CCIR (Comité Consultatif International des Radiotélécommunications).
- <http://www.photobit.com/>: un fabricant de capteur CMOS, pas mal d'information sur
la technologie.
- <http://www.amkor.com/>: fabricant de circuit CMOS <http://jefferson.village.virginia.edu/dfa4y/cmos/>:
étapes de fabrication de circuits en CMOS.
- http://iseea.online.fr/Rapports/a_jolly/html/bus/bus6.html: bon rapport en français
sur le bus IEEE-1394.
- <http://www.ti.com/sc/docs/products/msp/intrface/1394/tech.htm>: introduction au bus
IEEE-1394.

Bibliographie

- [1] Société Pulnix: Industrial Products Division: Introduction to Video 101.
- [2] Société National Instrument: séminaire vision, 2000.
- [3] Société Imasys: fiche d'information sur un cours: théories de l'imagerie numérique et de la vision industrielle.
- [4] Société Dalsa: CCD technology primer.
- [5] Société Kodak: application note: solid state image sensors, revision0, 8 décembre 1994.
- [6] Société Kodak: ccd primer: charge-coupled device image sensors.
- [7] Société Fillfactory: cmos image sensors - concept, photonics west 2000 short course.
- [8] Société Sgs Microelectronics: application note: introduction to semiconductor technology (AN900/0197) sur un cours: théories de l'imagerie numérique et de la vision industrielle.
- [9] Société SITE (Scientific Imaging Technology: An introduction to scientific imaging charged-coupled devices.
- [10] rapports de recherche inria: la couleur en vision par ordinateur: une revue (<http://www.inria.fr/RRRT/RR-1251.html>).
- [11] Société National Semiconductor: AN-971: An overview of LVDS technology.
- [12] Société Imasys: Carte d'acquisition avec fifo ou mémoire embarquée.



Unité de recherche INRIA Lorraine, Technopôle de Nancy-Brabois, Campus scientifique,
615 rue du Jardin Botanique, BP 101, 54600 VILLERS LÈS NANCY
Unité de recherche INRIA Rennes, Irisa, Campus universitaire de Beaulieu, 35042 RENNES Cedex
Unité de recherche INRIA Rhône-Alpes, 655, avenue de l'Europe, 38330 MONTBONNOT ST MARTIN
Unité de recherche INRIA Rocquencourt, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex
Unité de recherche INRIA Sophia-Antipolis, 2004 route des Lucioles, BP 93, 06902 SOPHIA-ANTIPOLIS Cedex

Éditeur
INRIA, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex (France)
<http://www.inria.fr>
ISSN 0249-6399