

**EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH  
ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE**

**CERN - PS DIVISION**

PS/ LP/ Note 93-62 (Tech.)

**ETUDE PRELIMINAIRE POUR LA MESURE DU PROFIL  
TRANSVERSAL DE FAISCEAUX LASER ET D'ELECTRONS  
PAR ANALYSE D'IMAGES VIDÉO**

E. Chevallay, P. Joly, G. Suberlucq

Geneva, Switzerland  
12 November, 1993

## Table des matières

1. Introduction.....	3
2. Spécifications de départ.....	3
3. Principe de l'acquisition d'images.....	3
3.1. Synchronisation de la prise d'image et de sa numérisation .....	4
3.2. Réglages des références du convertisseur analogique numérique .....	5
3.3. Géométrie d'observation des écrans.....	5
3.3.1. Angle de visée .....	5
3.3.2. Champ observé.....	7
3.4. Géométrie d'observation directe .....	7
4. Description du matériel de base .....	7
4.1. Ecrans.....	7
4.1.1. Ecran du laboratoire de photoémission.....	7
4.1.2. Ecrans pour le CTF .....	8
4.2. Spécifications des caméras .....	8
4.2.1. Caméras pour les écrans.....	8
4.2.2. Caméra pour le faisceau laser.....	8
4.2.3. Support de caméra.....	8
4.3. Spécifications de la carte d'imagerie numérique .....	9
4.4. Logiciels utilisés avec la carte de numérisation d'image .....	9
4.5. Matériel d'interconnexion et de contrôle.....	9
4.6. Configuration de travail .....	10
5. Le banc de test .....	10
5.1. Illumination par lampes à incandescence.....	10
5.2. Illumination par panneau lumineux LED .....	11
5.3. La mire de résolution .....	11
6. Précision de l'image numérisée.....	11
6.1. Précision sur le niveau de luminance.....	11
6.2. Etalonnages des dimensions de l'image .....	12
6.3. Résolution de l'image .....	13
6.4. Précision des mesures.....	15
7. Premières mesures sur faisceau d'électrons.....	15
7.1. Etalonnage géométrique.....	16
7.2. Profil de faisceau.....	16
8. Premières mesures sur faisceau laser.....	17
9. Conclusion.....	17
Références.....	18
Bibliographie .....	18

## 1. Introduction

Au Laboratoire de Photoémission, des faisceaux d'électrons sont générés par des photocathodes insolées par faisceaux laser. Il est intéressant de comparer la distribution spatiale des électrons à celle des photons qui les ont produits. Pour cela nous avons proposé d'utiliser l'analyse et le traitement d'images vidéo, délivrées par une caméra qui filme, soit l'image d'un écran scintillant sous l'effet des électrons ou des photons, soit qui filme directement le faisceau laser. L'objectif étant d'obtenir, à un faible coût, une évaluation grossière de ces distributions et d'explorer les possibilités offertes par ces systèmes. Il s'est rapidement avéré que le CTF [1] avait le même intérêt, aussi l'étude qui suit porte sur les deux applications.

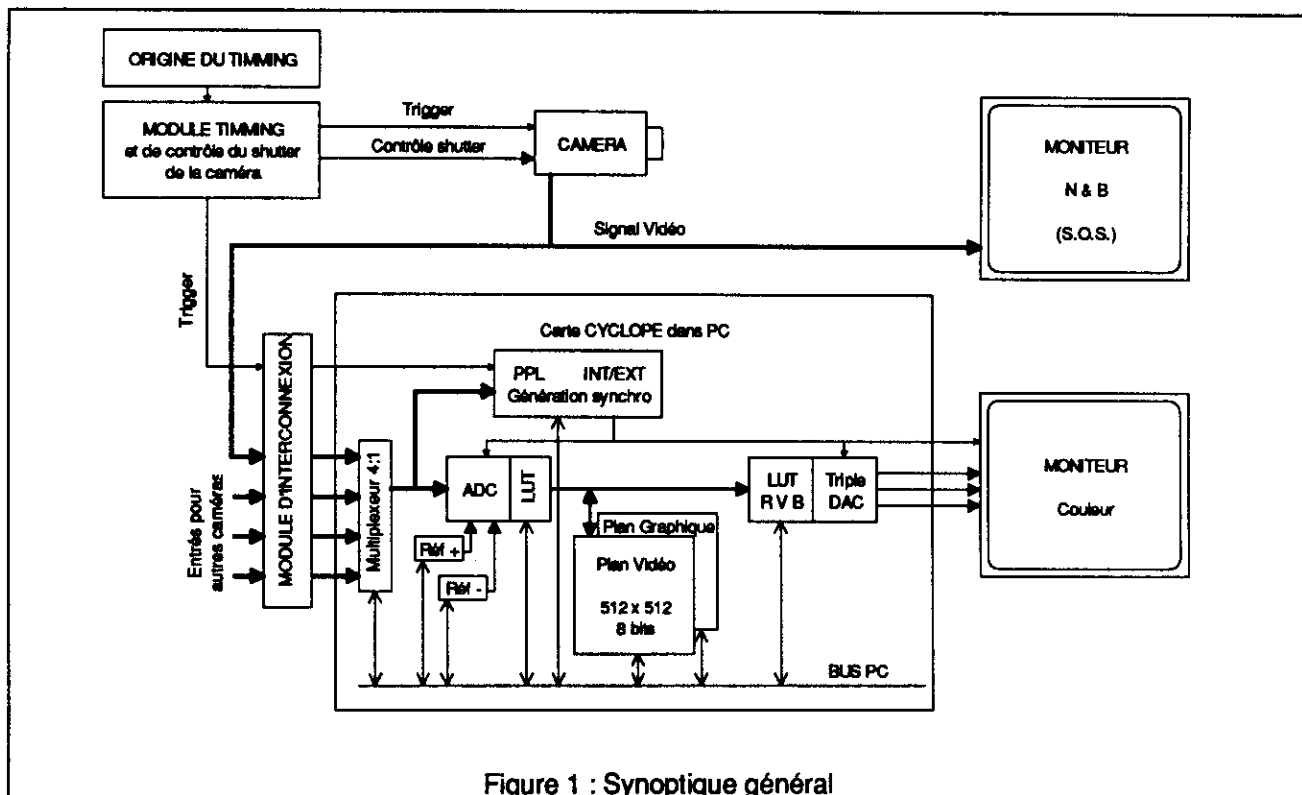
## 2. Spécifications de départ

- Visualiser les images comme sur un moniteur classique.
- Acquérir à un instant déterminé une image lorsque l'écran scintillant reçoit le faisceau, afin de ne pas être dépendant de la rémanence de l'écran.
- Sauvegarder les images pour les traiter après coup.
- Soustraire l'image ambiante, lorsque le faisceau est absent, afin de ne conserver que l'image du faisceau d'électrons ou de photons.
- Mesurer l'intensité lumineuse, exprimée en unité arbitraire, avec une linéarité meilleure que  $\pm 10\%$ .
- Mesurer les coordonnées X, Y avec une précision de l'ordre du mm et un écart de linéarité du même ordre.
- Calculer le barycentre de l'image.
- Calculer les profils des distributions.
- Fonctionner dans un environnement pas ou peu radioactif.

Une exploration du marché, ainsi que l'expérience acquise dans d'autres laboratoires [2], [3], nous ont permis de trouver et d'acquérir un équipement de base susceptible de remplir ces spécifications pour un montant de l'ordre de 10 KFS.

## 3. Principe de l'acquisition d'images

La figure 1, ci-dessous, présente l'installation mise en oeuvre au laboratoire de photoémission et au CTF. L'installation comprend essentiellement une caméra à détecteur CCD, permettant de filmer soit un écran scintillant, soit directement le faisceau laser (voir § 4.1 et 4.2) et une carte d'acquisition, de numérisation, puis de traitement d'images, contenue dans un PC (voir § 4.3).



Une impulsion issue du laser est à l'origine du timing. Un moniteur vidéo noir et blanc, visualisant directement l'image issue de la caméra montre l'image courante. Le second, couleur, est utilisée pour visualiser l'image numérisée puis traitée, car le moniteur du PC sert à passer les commandes d'acquisition et de traitement.

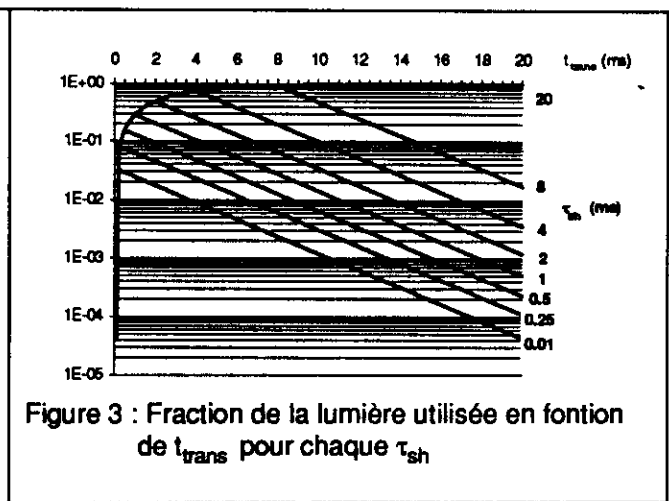
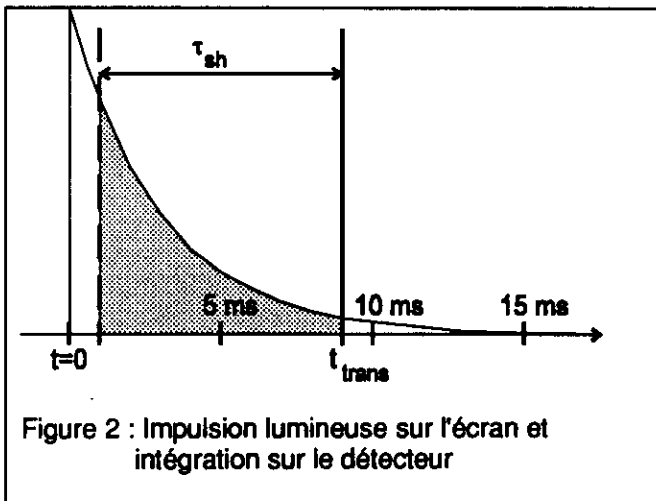
### 3.1. Synchronisation de la prise d'image et de sa numérisation

Pour garantir une bonne reproductibilité des mesures et pour rester indépendant du temps de réponse des détecteurs, l'acquisition de l'image doit être réalisée toujours au même instant par rapport au phénomène à observer.

L'acquisition d'une image se fait en quatre temps. D'abord, la lumière correspondant à une image tombe sur les pixels du détecteur de la caméra qui accumulent des charges. Ensuite celles-ci sont transférées très rapidement dans une mémoire tampon analogique intégrée au capteur CCD. De cette image électronique ne sont alors envoyées en série sur le signal vidéo qu'une ligne sur deux pour suivre le standard de télévision européen CCIR 625 lignes entrelacées 2/1. Les autres lignes sont perdues. Cette série de lignes, paires ou impaires, constitue une trame et on parlera donc de trame paire ou impaire. C'est enfin, ce signal vidéo qui, numérisé par la carte, permet d'avoir une image digitale dans le micro-ordinateur.

Le signal vidéo, délivré en continu par la caméra, est constitué d'une succession de trames paires et impaires. La transmission d'une trame dure 20 ms et pendant ce temps l'image qui servira à la trame suivante est préparée. L'intégration des charges dans les pixels est contrôlée par un shutter électronique qui permet de régler l'équivalent du temps d'exposition. Lorsque le shutter est fermé, les charges sont évacuées au fur et à mesure qu'elles se forment. Lorsqu'il s'ouvre, les charges s'accumulent jusque ce qu'elles soient transférées. Le moment de transfert a toujours lieu entre deux trames, donc toutes les 20 ms, et le shutter est immédiatement refermé. C'est son ouverture qui fixe le début de l'exposition effective du détecteur CCD et donc aussi sa durée. Cette durée sera au maximum de 20 ms, pour une réouverture juste après le transfert précédant, et peut être réduite, par pas, jusqu'à 100µs (voir figure 2).

Lors d'une re-synchronisation de la caméra par trigger externe, la trame en cours sur le signal vidéo est interrompue et une nouvelle trame impaire commence. L'information qu'elle contient est inutilisable car elle est faite à partir de la mémoire tampon qui a déjà été partiellement vidée. Mais, pendant les 20 ms qui lui correspondent a lieu l'intégration, toujours contrôlée par le shutter, des charges dans les pixels. Ensuite vient le transfert et la trame suivante, qui est paire, sort et correspond à la première image après la re-synchronisation. A partir de là le cycle normal de la caméra a repris et se déroule jusqu'à la prochaine re-synchronisation (voir figure 4).



Le signal lumineux sur l'écran fluorescent a une durée de quelques millisecondes. Il est trop court pour former deux images successives et donc avoir deux trames (une paire une impaire). Par conséquent, on devra se contenter d'une résolution moitié dans le sens vertical.

La fraction de la lumière utilisée pour former l'image peut être calculée en modélisant l'émission de l'écran par une impulsion de temps de montée nul (la durée du faisceau d'électrons est négligeable) et ayant une décroissance exponentielle d'une durée de 3 ms (voir figure 2). Cette fraction est fonction de la durée  $\tau_{sh}$  du shutter électronique, qui peut varier de 20 à 0.1 ms, et du temps  $t_{trans}$  séparant le transfert des charges de l'impact des électrons sur l'écran pris ici comme origine des temps. Les courbes pour chacune des valeurs du shutter en fonction de  $t_{trans}$  sont données figure 3.

Comme la carte numérise deux trames successives et qu'une seule porte l'image du faisceau, l'autre donne une image sans faisceau qui pourra être soustraite à la première pour n'avoir que l'information utile. Cette

trame de fond peut être soit celle précédant, soit celle suivant, immédiatement la trame portant l'image. Il vaut mieux prendre celle qui précède pour s'affranchir de toute rémanence. Dans ce cas la re-synchronisation de la caméra devra se faire à  $t = t_{\text{trans}} - 40 \text{ ms}$ . La récurrence du laser étant de 10 Hz, le trigger de re-synchronisation devra donc être généré à partir du coup précédent, avec un retard de  $t_{\text{trans}} + 60 \text{ ms}$ . L'ensemble de la synchronisation est résumé par le chronogramme figure 4.

Après ce trigger, le signal vidéo porte une trame impaire inutilisable, une trame paire correspondant à une image de fond, puis une trame impaire correspondant à l'image du faisceau. Ce même trigger est aussi envoyé à la carte de digitalisation où l'on peut sélectionner par programme un délai permettant de numériser les deux trames, de fond et avec faisceau, qui nous intéressent.

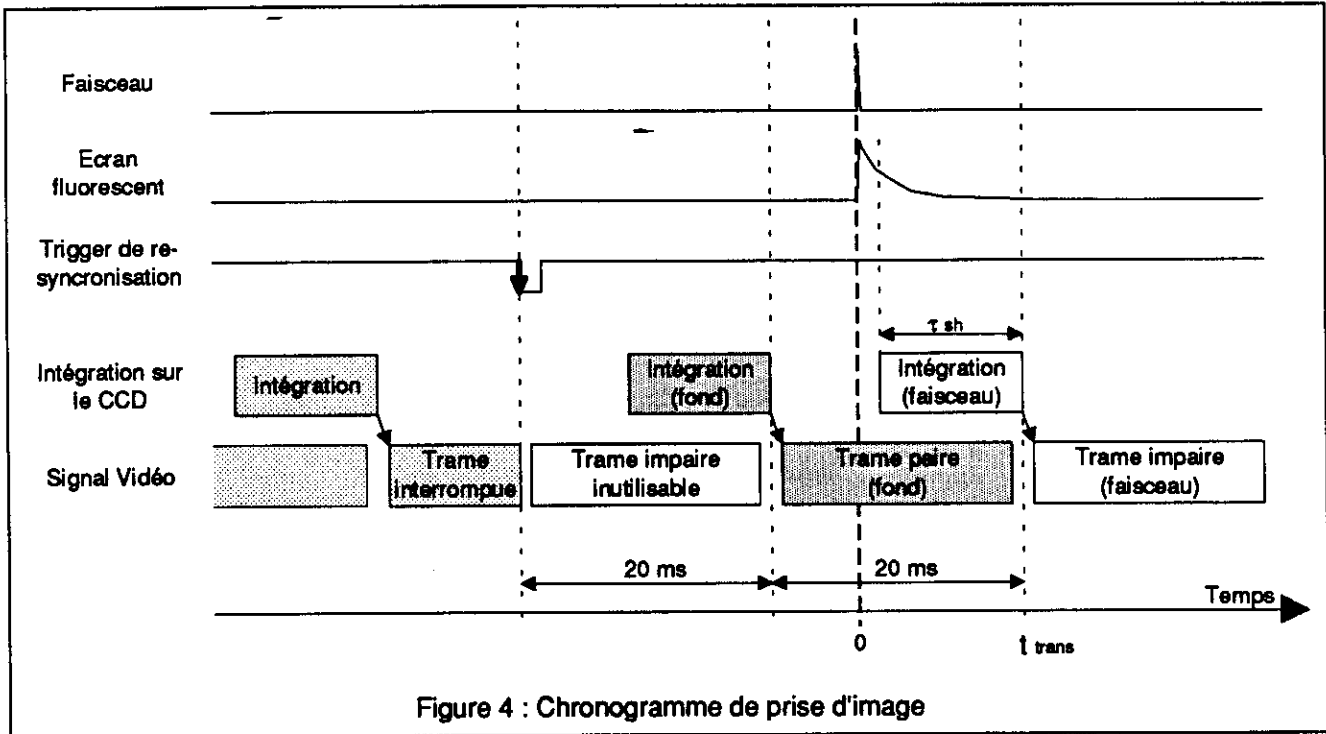


Figure 4 : Chronogramme de prise d'image

### 3.2. Réglages des références du convertisseur analogique numérique

Dans la carte d'acquisition d'images, le signal de luminance est numérisé sur 256 niveaux entre deux tensions de références (Réf- et Réf+). Leurs valeurs par défaut sont respectivement 0 et 0,7 V, mais celles-ci peuvent être réglées sur une échelle de 64 pas entre 0 et 1,2 V. On peut ainsi ajuster la dynamique de numérisation à celle du signal utile.

En pratique, pour régler le niveau Réf- on place la caméra dans l'obscurité de manière à avoir une image noire.

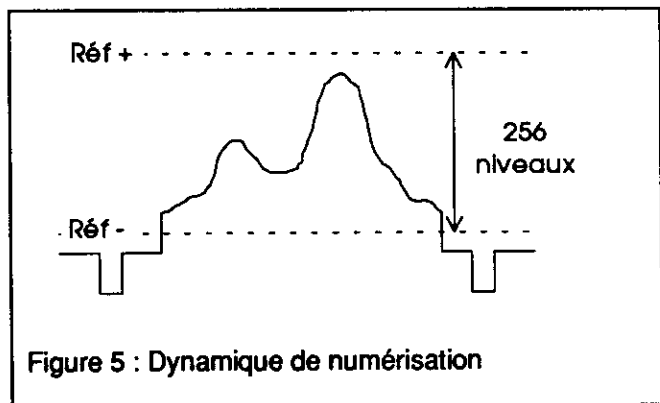


Figure 5 : Dynamique de numérisation

### 3.3. Géométrie d'observation des écrans

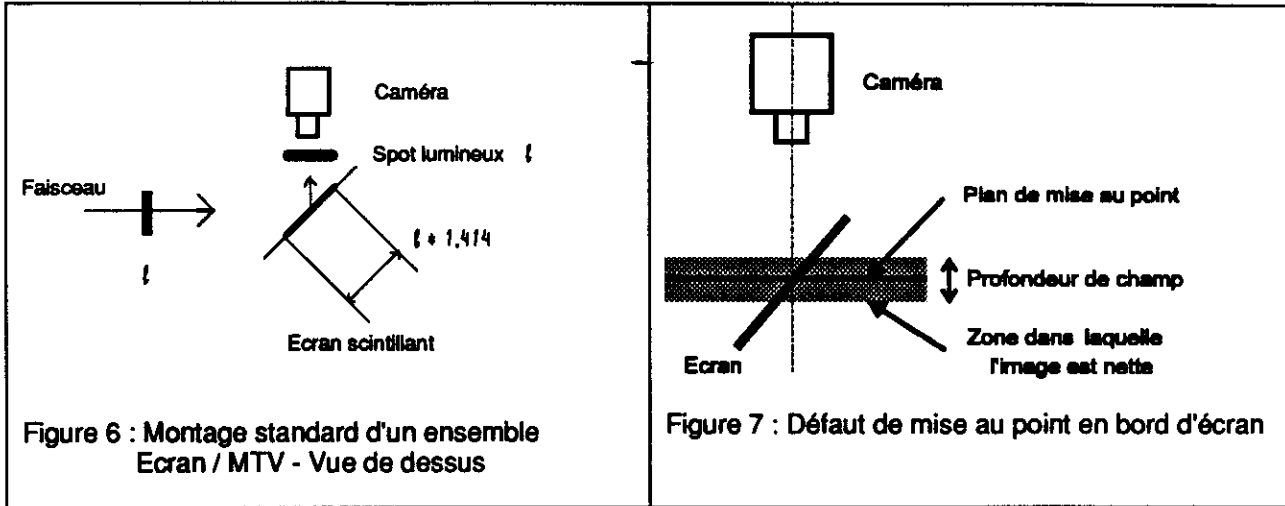
#### 3.3.1. Angle de visée

En règle générale dans les accélérateurs du complexe PS la caméra forme un angle de 90° avec l'axe du faisceau et un angle de 45° avec l'écran scintillant tel que le montre la figure 6.

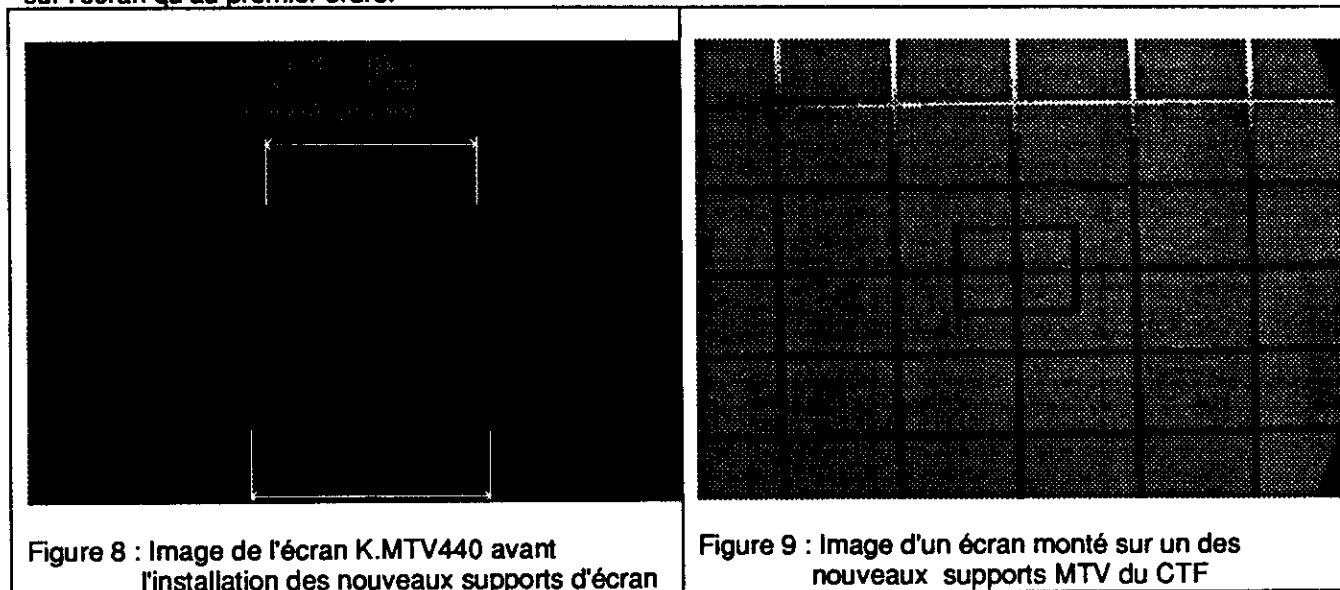
- Avantages: Le faisceau et l'écran scintillant se trouvent en général dans la chambre à vide et la caméra hors vide, cette disposition offre un montage mécanique simple à mettre en oeuvre. La caméra observe

un spot lumineux dont les dimensions sont, à priori, les mêmes que celles du faisceau, car celui-ci subit une double projection comme indiqué sur la figure 6.

- Inconvénient: la distance entre la caméra et l'écran n'est pas la même pour tout l'écran. Cela introduit principalement deux défauts dans l'image:
  - Défaut de mise au point (voir figure 7): L'image n'est rigoureusement au point que dans le plan de mise au point qui est perpendiculaire à l'axe optique de la caméra et dont la distance à la caméra peut être réglée à l'aide de la bague de mise au point. Dès que l'on quitte ce plan, l'image perd de la résolution. En fait, on considère comme nette toute image pour laquelle l'effet du défaut de mise au point est négligeable. Ceci étend la zone de travail et on appelle profondeur de champ l'épaisseur de la zone de l'espace où l'image est nette de part et d'autre du plan de mise au point. Lorsque l'écran est à 45° par rapport à l'axe optique, la zone nette est augmentée jusqu'à une bande de largeur égale à 1.4 fois la profondeur de champ.



- Effet de perspective sur l'image: La taille de l'image d'un objet est inversement proportionnelle à la distance qui le sépare de la caméra. Lorsque l'écran est à 45° par rapport à l'axe optique, toutes les parties de l'écran ne sont pas à la même distance et donc ne sont pas représentées avec le même grandissement dans l'image. Cet effet est particulièrement visible sur l'image d'écran (figure 8): les deux longueurs repérées sont identiques sur l'objet, mais, comme la partie en haut est plus éloignée de la caméra, la longueur dans l'image est plus courte. Cet effet peut aussi s'interpréter en notant que la projection faite par la caméra n'est pas parallèle mais conique. Elle ne peut donc annuler les effets de la première projection du faisceau sur l'écran qu'au premier ordre.





La configuration a du donc être modifiée de manière à ce que la caméra regarde l'écran de face (voir figure 10). Pour obtenir une bonne linéarité des mesures géométriques, une image nette et bien contrastée, nous avons choisi cette configuration bien qu'elle introduise une homothétie d'un rapport  $\sqrt{2}$  de la dimension verticale du faisceau due à la projection sur l'écran à 45°. Une correction des résultats sera donc nécessaire. Une image acquise dans ces conditions est représentée figure 9.

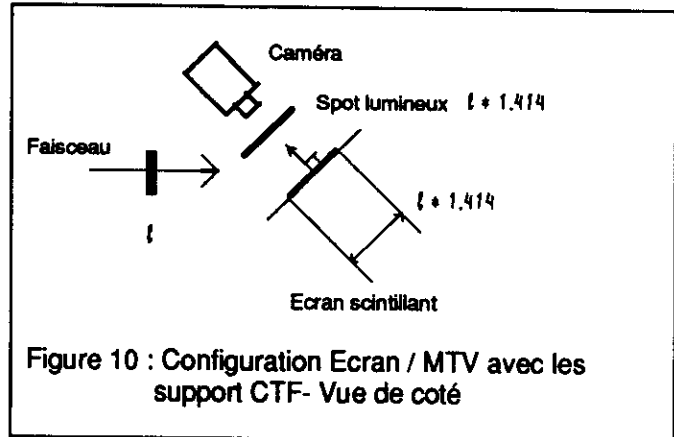


Figure 10 : Configuration Ecran / MTV avec les support CTF- Vue de coté

### 3.3.2. Champ observé

On désire observer un champ de 80 (H) × 60 (V) mm ce qui correspond aux dimensions de l'écran. Pour augmenter la résolution, on se réserve la possibilité de restreindre le champs à 33 (H) × 25 (V) mm grâce à la distance Objectif / Ecran réglable entre 10 cm et 20 cm.

Nota : Pour que l'objectif livré avec la caméra, donne un champ de vision assez petit il faut dérégler la monture C de celle-ci afin d'éloigner l'objectif du détecteur. Dans cette configuration, l'objectif ne travaille pas dans les conditions pour lesquelles sa combinaison optique a été optimisée. Après essai, la dégradation de la netteté de l'image qui en résulte forcément, a pu être considérée comme négligeable. Les autres solutions qui ont été envisagées sont l'utilisation d'une bague à ajouter à l'objectif, ou le changement pour un objectif de macrophotographie. La première a été rejetée car les bagues sur le marché ne se montent pas de manière correcte sur l'objectif, la seconde serait un gros investissement, car les modèles existants sont des zooms qui, de plus, sont encombrants.

### 3.4. Géométrie d'observation directe

Cette configuration n'est possible que pour un faisceau laser. Dans ce cas le faisceau frappe perpendiculairement le détecteur de la caméra sans objectif. Pour ne pas endommager le détecteur et avoir un signal non saturé, il faut que le faisceau laser soit fortement atténué en utilisant des réflexions vitreuses (face arrière de miroirs haute réflectivité en verre BK7) pour faire le chemin jusqu'à la caméra et en y insérant des atténuateurs. La surface qui analyse le faisceau est alors strictement la partie du détecteur CCD dont le signal est numérisé. Celle-ci est de 4 x 6 mm pour la caméra utilisée.

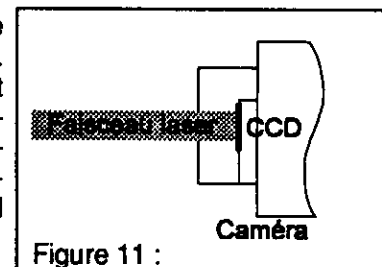


Figure 11 :

Néanmoins un faisceau plus étendu peut être analysé en utilisant une lentille de focalisation. Dans ce cas, il faudra vérifier que la lentille donne bien une image qui pourra être considérée comme celle du faisceau simplement réduite. Ceci n'est pas évident, car le faisceau laser est cohérent et souvent non-gaussien. Il n'obéit donc ni à l'optique géométrique classique ni à celle des faisceaux gaussiens.

## 4. Description du matériel de base

### 4.1. Ecrans

Nous avons utilisé ceux déjà existants, qui servent à la surveillance des faisceaux.

#### 4.1.1. Ecran du laboratoire de photoémission

Initialement, l'écran scintillant était prévu pour fonctionner avec des faisceaux d'électrons peu intenses (quelques  $10^8$  particules) et à des faibles énergies cinétiques (de 10 à 80 keV). Il s'agit d'un écran phosphore type P20 de chez ITL (GB) que nous avons choisi de mettre sous vide et sous une incidence de 45° par rapport aux particules. Ses principales caractéristiques sont:

- Composition : (ZnCd)S:Ag;
- pic d'émission à 540 nm (couleur vert/jaune);

- efficacité spectrale : 30 lumens / watt de faisceau d'électrons, pour une largeur spectrale d'environ 100 nm;
- persistance : 200  $\mu$ s pour décroître jusqu'à 10 % de la luminance à  $t = 0$ .
- L'écran est recouvert, côté électrons, d'une couche de 200 nm d'aluminium, transparente aux électrons, mais réfléchissante aux rayons U.V. du laser. Ainsi, l'écran ne scintille que sous l'effet des électrons.
- L'écran ne comporte pas de grille de mesure.
- Il est compatible avec l'ultra vide et étuvable à 300 °C

La production de faisceaux d'électrons plus intenses ( $\geq 10^{10}$  particules), autorise l'utilisation d'écrans standards en alumine [4].

#### 4.1.2. Ecrans pour le CTF

Les écrans pour le CTF sont ceux en céramique rouges, couramment utilisés au Cern, et décrits dans la référence [4]:

- Composition: céramique d'alumine dopée avec  $\theta$ .5% de sesquioxide de chrome.
- persistance: 3 ms pour décroître à 1/e de la luminance à  $t = 0$ .

L'efficacité de ces écrans varie peu avec la température (moins de 10% de décroissance entre 20 et 200°C)

## 4.2. Spécifications des caméras

### 4.2.1. Caméras pour les écrans

Elles sont utilisées pour filmer les écrans scintillants. Nous utilisons des caméras type MICAM VHR de DIGITAL VISION TECHNOLOGIE - (FRANCE). Les performances sont données dans [5]

- Caméra C.C.D noir et blanc 1/2 pouce, zone utile de 6.41 (H)  $\times$  4.89 (V) mm.
- Résolution du C.C.D : 752 (H)  $\times$  582 (V) pixels actifs de 8.6  $\mu$ m  $\times$  8.3  $\mu$ m.
- Sortie Vidéo composite au standard C.C.I.R Européen (625 lignes, 50 Hz, entrelacées 2/1).
- Re-synchronisation externe de l'image de la caméra sur un signal électrique (front descendant niveau TTL), dans un temps  $\leq$  à 1  $\mu$ s.
- Shutter électronique, programmable, temps d'intégration du CCD: 20 ms, 8 ms, 4 ms, 2 ms, 1 ms, 500  $\mu$ s, 250  $\mu$ s et 100  $\mu$ s.
- Objectif optique à monture C.
- Contrôle automatique de gain débrayable et ajustable manuellement.
- Gamma de 0.45 ou 1.0.
- Alimentation externe 12V / DC.
- Prix : Caméra 8550 FF + Alimentation ( $\sim$ 220V AC/12V DC): 390 FF (Sans Objectif).
- Nombre d'exemplaires: un au laboratoire, cinq au CTF plus un de réserve.

### 4.2.2. Caméra pour le faisceau laser

C'est une caméra du type 4710 CCIR de COHU ( U.S.A.). Elle est utilisée pour filmer directement le faisceau du laser.

- Caméra C.C.D noir et blanc 1/2 pouce (6.4  $\times$  4.8 mm) à transfert de trame.
- Résolution du C.C.D : 699 (H)  $\times$  576 (V) pixels actifs de 9.2  $\mu$ m  $\times$  8.4  $\mu$ m.
- Sortie Vidéo composite au standard C.C.I.R Européen (625 lignes, 50 Hz, entrelacées 2/1).
- Monture C.
- Contrôle automatique de gain et de niveau de noir débrayables et ajustables manuellement.
- Gamma de 0.5 ou 1.0.
- Alimentation externe 12V / DC.
- Prix : 2118 FS (Sans Objectif).
- Un seul exemplaire partagé entre le laboratoire et CTF.

La fenêtre en verre protégeant le CCD a été remplacée par une fenêtre en quartz pour rendre la caméra sensible dans l'ultraviolet.

### 4.2.3. Support de caméra

Comme nous l'avons vu, l'angle de visée conditionne la qualité de l'image numérisée. Des supports ont été développés, plus particulièrement pour le CTF, pour permettre à la fois le support des caméras en opération et leur calibration sur banc de test. Ce support est modulaire et peut être facilement démonté sans modifier les réglages optiques, ce pour des tests en laboratoire et/ou un échange standard. Un couvercle peut venir s'adapter dessus pour isoler la caméra de la lumière ambiante. Il existe d'autres possibilités de réglage:

- Réglage latéral du support par rapport à l'axe du faisceau, course de 10 mm

- Réglage vertical de l'ensemble Caméra / Ecran par rapport à l'axe du faisceau, course de 10 cm.



L'écran scintillant est bloqué par une vis faisant pression, une marge de 5 mm permet d'insérer d'autres éléments de différentes épaisseurs (mire de résolution, etc.) dans le cas de l'utilisation en banc de test.

### 4.3. Spécifications de la carte d'imagerie numérique

Cette carte, compatible PC, assure les fonctions d'acquisition et de numérisation d'images vidéo en temps réel. Elle permet de réaliser des traitements d'images tels que filtrage, comparaison d'images, extraction de contours ou calcul d'histogrammes. Elle permet de plus, la visualisation de l'image et d'un plan graphique en gérant jusqu'à 16.8 millions de couleurs.

- Type CYCLOPE 2 de DIGITAL VISION.
- Résolution de l'image: 512 (H) × 512 (V) pixels par 256 niveaux de gris (8 bits).
- Standard vidéo: C.C.I.R Européen (Norme RS330) ou N.T.S.C Américain (Norme RS170).
- 4 Entrées vidéo possibles, multiplexées.
- Numérisation par flash ADC 8 bits  $\pm$  1 LSB, échantillonnage à 10 ou 15 MHz.
- Référence du niveau vidéo de numérisation programmable par DAC 6 bits.
- Mémorisation d'une image numérisée dans la carte.
- Mémorisation de plus de 32 images dans la mémoire EMS du PC.
- Synchronisation sur trigger externe de la capture d'image avec un jitter maximum de 1 trame (de 0 à 20 ms).
- Look Up Table (L.U.T.) d'entrée de 256 octets.
- Acquisition / Visualisation temps réel.
- Sortie vidéo temps réel en pseudo-couleurs aux normes R.G.B.
- Palette couleur de 3 L.U.T. rouge verte et bleue de 256 octets.
- Un Plan graphique incrustable.
- Une entrée digitale type TTL (Trigger).
- Une sortie digitale type TTL.
- Bus interface de type PC/XT (Fonctionne aussi sur les PC modèle 386 et 486).
- Prix : 13500 FF.

### 4.4. Logiciels utilisés avec la carte de numérisation d'image

- CYCLOPE, programme conversationnel pour l'acquisition et le traitement des images. Ce programme de base, fourni avec la carte, permet la saisie d'image, la gestion du plan graphique, des LUT et de la palette. Il permet le traitement des images par convolutions (Laplacien, débruiteur, moyennneur, Prewitt, etc.), par analyse (histogramme, profils, comparaison, etc.), la gestion du disque pour la sauvegarde des données, ainsi que divers utilitaires. Il comprend en plus trois bibliothèques: Assembleur, TURBO-PASCAL, C Microsoft
- ESILAB (DESI-NOVELEC), est un programme interactif de traitement d'images qui utilise le système CYCLOPE, matériel et logiciel. Ce logiciel comprend plusieurs parties :
  - UTIL : gère les fichiers, l'impression des images et la réalisation de macros.
  - ACQI : gestion et sélection de la caméra, des paramètres de numérisation et acquisition de l'image.
  - LUT : manipulation des tables de transcodage des niveaux de gris et de la pseudo-couleur.
  - ANALYSE : diverses fonctions d'analyse fine des niveaux de gris : zoom, histogrammes, profils.
  - OPERATEURS : opérations arithmétiques et logiques sur les images, gestion du buffer d'image.
  - TRAITEMENTS : opération de voisinage sur les pixels, "amélioration" des images, convolutions, filtrage, FFT.
  - MORPHOLOGIE : morphologie mathématique pour le nettoyage des images, binérisation, érosion.
  - MESURES : étalonnage dimensionnel, calcul de barycentre et études morphologiques (granulométrie par exemple).
  - CUSTOM : développements spéciaux et appel de programmes externes.
  - PRIX : 8000 FF

### 4.5. Matériel d'interconnexion et de contrôle

Pour intégrer le matériel d'imagerie dans l'environnement du laboratoire de photocathode et du CTF, nous avons développé deux modules décrits ci-dessous:

- Un module de connectique, purement passif: il centralise les différents signaux et les délivre sur un câble unique à la carte d'imagerie. Ce câble contient quatre entrées vidéo analogiques (1V sur 75 Ohms), une entrée Trigger (TTL), une sortie logique (TTL) et une connexion entre le module et la carte de numérisation.

- Un module de timing qui permet de gérer les signaux de déclenchement de la carte d'acquisition, la re-synchronisation de la caméra, ainsi que son shutter électronique. Il peut recevoir 3 types de trigger différents sélectionnables manuellement : Impulsion blocking standard PS (20V / 2 $\mu$ S), impulsion TTL, impulsion spéciale laser (15V / 50 Ohms). Deux sorties identiques de trigger sont disponibles délivrant une impulsion calibrée de niveau TTL d'une durée de 500  $\mu$ S. Chaque sortie peut piloter une liaison longue distance: Une sortie est disponible pour la caméra, une autre pour la carte d'imagerie. Ce module peut aussi commander à distance le shutter électronique de la caméra permettant le réglage du temps d'intégration du CCD. Le contrôle est soit local avec trois interrupteurs, soit à distance par le PC en codant trois sorties logiques. Il est possible de choisir un parmi les 8 temps d'intégration.

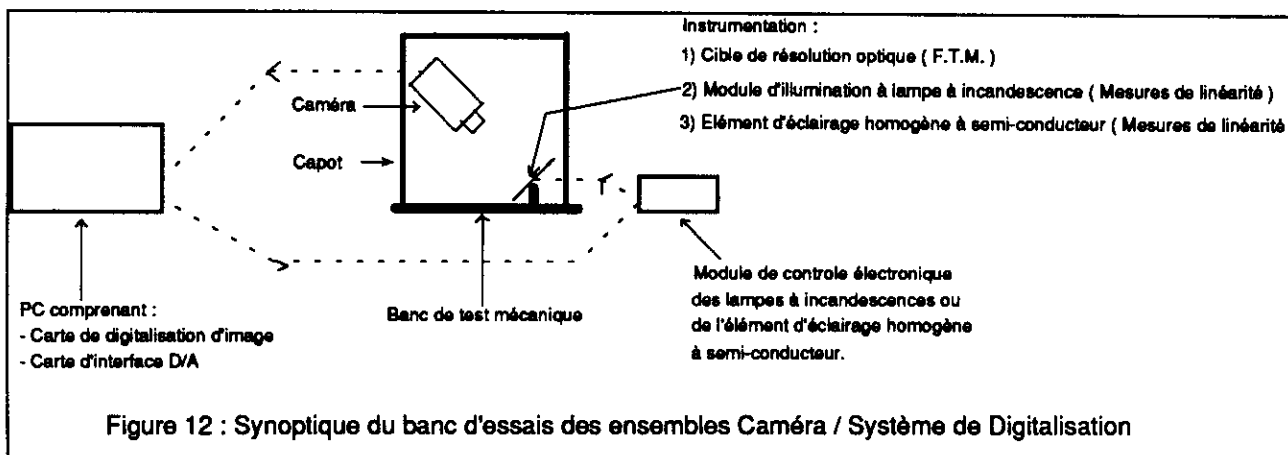
#### 4.6. Configuration de travail

- Une caméra C.C.D type MICAM VHR ou 4710 CCIR de COHU
- Une carte d'imagerie type CYCLOPE 2 avec le logiciel ESILAB
- Un ordinateur de type PC et compatible Olivetti M380 (Minimum requis)
- Une carte Ethernet ETHER-EXPRESS 16 pour connexion au réseau bureautique PC de la Division P.S.
- Le système d'exploitation monotache MS-DOS V5.00
- Le Langage C de Microsoft (Quick C V2.00) pour la programmation des applications
- Le logiciel générateur d'écran HIGH SCREEN 5 de PC SOFT pour la gestion et la réalisation de l'interface utilisateur
- Un module de connexion et un module de timing.

### 5. Le banc de test

Pour réaliser les mesures destinées à connaître les performances et les limites du système d'acquisition d'images, un banc d'essai Caméra / Système de numérisation a été développé. Comme la résolution du système varie suivant la configuration adoptée (longueur des câbles, filtre anti-repliement, réglage de l'objectif...) Il faut pouvoir le caractériser dans la configuration d'utilisation. Ce banc permet de mesurer le bruit, la linéarité, la dimension et la position des pixels (étalonnage spatial et distorsion), ainsi que la résolution de l'image. Il est constitué de :

- le système complet d'acquisition et de traitement d'images
- un support mécanique des écrans MTV pour le C.T.F
- Un capot de protection optiquement étanche à la lumière ambiante
- Un module mécanique support de lampes à incandescence
- Un module électronique de commande des lampes à incandescences
- Une mire de résolution
- Un panneau LED fournissant un éclairage uniforme et homogène sur 27  $\times$  17 mm.
- Une carte d'interface digitale / analogique pour le contrôle par ordinateur (PC)



#### 5.1. Illumination par lampes à incandescence

Deux lampes à incandescence sont contenues dans un support mécanique qui peut être positionné à la place de l'écran scintillant. Elles réalisent une émission de lumière contrôlée, l'ensemble du boîtier est étanche à la lumière (voir figure 12). Plusieurs diaphragmes et un diffuseur de lumière permettent de contrôler les dimensions et l'homogénéité de la lumière. Une couleur antireflet noire a été adoptée pour le boîtier.

Un module d'alimentation en courant continu des lampes à incandescences permet de faire varier l'intensité lumineuse, sans risque de battement avec le 50 Hz de la caméra ou de la carte de numérisation. De plus il

est possible de choisir toutes les combinaisons d'allumage ou d'extinction des lampes. L'ensemble du processus est commandable à travers un PC.

## 5.2. Illumination par panneau lumineux LED

Cet élément à base de semi-conducteur est directement disponible dans le commerce. Il génère sur une surface de 27(H) × 17(V) mm une lumière homogène à la longueur d'onde de 660 nm (rouge). Le constructeur garanti une uniformité de 5% sur la surface d'émission. Cet élément peut être alimenté en régime continu ou en régime pulsé ce qui présente l'avantage de ce rapprocher des conditions réelles d'émissions fugitives de la lumière issue d'un faisceau. L'émission dans le rouge va permettre de quantifier les erreurs de chromaticité qui influenceront notre résolution spatiale. Ce module est directement exploitable par l'alimentation pilotable à distance du module électronique de commande des lampes à incandescence.

## 5.3. La mire de résolution

La mire de résolution est un élément d'optique qui va servir d'étalon pour définir la qualité de la mesure (voir figure 14). C'est un élément acheté dans le commerce. Cette mire se présente sous forme d'une plaque dans laquelle sont gravées plusieurs ensembles de barres verticales et horizontales. La taille des barres varie de 2 mm à 100  $\mu$ m. C'est la précision de la gravure des traits qui permet d'en faire un étalon. Pour atteindre cette précision, la gravure est obtenue par un dépôt sous vide de chrome sur un substrat de verre. La taille du substrat de 101(H) × 82(V) × 2(E) mm autorise le montage direct de la mire dans le support des écrans scintillants.

## 6. Précision de l'image numérisée

A chaque pixel de l'image numérisée correspond un niveau de gris sur une échelle allant de 0 à 255. Celui-ci devra pouvoir être interprété, au point correspondant au pixel, comme une densité de particules, pour un faisceau de celles-ci, ou une densité d'énergie, pour un faisceau laser. Avant toute interprétation, il faut caractériser globalement la chaîne d'imagerie pour savoir avec quelle précision on fait la mesure. On peut déterminer trois types de précision: la précision d'intensité sur le niveau de luminance numérisée, la précision sur les mesures de dimensions et enfin la résolution de l'image.

### 6.1. Précision sur le niveau de luminance

L'image comprend la tache créée par le faisceau étudié mais celle-ci s'ajoute toujours sur un fond plus ou moins uniforme. La première opération du traitement sera donc de soustraire une image de fond. Cette précaution prise, il ne reste que l'information désirée.

L'intérêt principal d'une image étant de donner une répartition spatiale, on se contentera d'unité arbitraire pour l'intensité. Il faut alors avoir une estimation du bruit sur un pixel et s'assurer de la linéarité de l'échelle.

- **Bruit** : il est mesuré par l'écart quadratique moyen des niveaux de gris des pixels dans une zone uniforme d'une image. Cette valeur brute reflète la combinaison des diverses sources de bruit électroniques et de la différence de sensibilité d'un pixel à l'autre. Cette mesure correspond bien au bruit lors d'une acquisition mono-coup.

Ce test a été réalisé avec une caméra MICAM reliée au PC par un câble court. Le bruit dans l'image est alors de 1.1 niveaux de gris rms dans l'obscurité, et de 1.7 niveaux de gris rms pour un éclairage moyen de 200 niveaux de gris, uniformément réparti sur le CCD. Un bon ajustement gaussien des histogrammes a pu être fait, ce qui donne une interprétation simple des valeurs rms.

- **Linéarité** : Dans ce qui suit on suppose que la non-linéarité de l'écran scintillant est d'effet négligeable devant celle introduite par le système d'acquisition et de traitement des images [4].

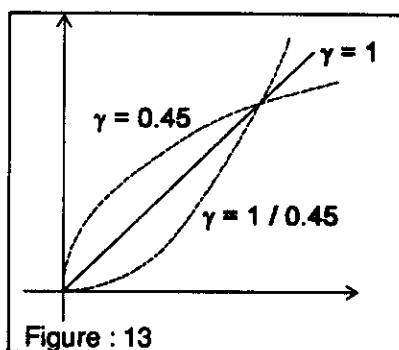
Le réglage de la carte de numérisation permet d'avoir toute la dynamique de l'image numérisée entre 0 et 255 (voir paragraphe 3.2). Dans ce réglage, le niveau de fond est fixé à une faible valeur  $n_0$ . Cette valeur connue, et si la chaîne d'imagerie est bien linéaire,  $n - n_0$  est proportionnel à la luminance en ce point de l'image.

Pour mesurer la linéarité d'un détecteur optique, il faut l'éclairer avec des signaux d'intensités connues au moins en unité arbitraire. L'idéal serait de disposer d'une source variable linéairement, mais celle-ci n'existe pas. Pour étalonner une source quelconque, il faudrait disposer d'un deuxième détecteur, qui lui, serait linéaire. Une possibilité serait d'utiliser une source stable et une série d'atténuateurs, ou un atténuateur variable, connus. Nous nous sommes attachés à minimiser l'accumulation des erreurs, aussi nous avons éliminé cette solution en raison de l'imprécision sur les atténuateurs optiques, des réflexions multiples difficiles à contrôler, notamment lors de la superposition d'atténuateurs, ainsi que de l'effet des montures. Nous avons préféré utiliser une méthode dans laquelle il n'y a aucune pièce mobile dans l'espace optiquement étanche dans lequel sont placés les sources lumineuses et la caméra (voir figure 12). Cette méthode utilise deux ampoules basse tension, illuminant la scène vue par la caméra et dont les

interrupteurs sont placés à l'extérieur de l'enceinte. Pour la mesure, on prend une image de fond dans l'obscurité (niveau  $n_0$ ), puis celles pour chaque ampoule individuellement ( $n_1$  et  $n_2$ ), puis pour les deux ampoules allumées ( $n_{12}$ ). Le rapport  $R = (n_{12} - n_0) / (n_1 + n_2 - 2 n_0)$ , permet de détecter un possible défaut de linéarité. Les ampoules sont placées de manière à ce que leurs éclairissements soient proches l'un de l'autre. Le réglage de l'alimentation stabilisée permet de faire varier globalement les éclairissements afin de tester la linéarité sur différents domaines.

Cette méthode a été utilisée avec une caméra MICAM, reliée au PC par un câble court. Les niveaux moyens sont déterminés sur plus de 1500 pixels pour réduire le bruit. Le processus est linéaire à la précision de mesure près qui est de  $\pm 1\%$ , jusqu'à un éclairissement  $n_{12} = 150$ . Pour un éclairissement  $n_{12} = 240$ , on observe une saturation de 5 % ( $R=0.95$ ). Les valeurs des tensions de référence de numérisation haute et basse utilisées au moment de la mesure (réf+ = 200, réf- = 8), ainsi que l'éclairissement  $n_{12} = 240$  correspondent à un signal de luminance de 0,88 V. Ceci est bien au dessus du standard CCIR dans lequel le signal de luminance est limité à 0,7 V, tension qui correspond à un niveau de gris de 140 dans notre mesure.

Après ces mesures, on peut considérer que le défaut de linéarité du système d'acquisition d'images est négligeable pour une utilisation respectant le standard vidéo.



ATTENTION: Pour que la caméra ait bien une réponse quasi-linéaire, il faut que son réglage de  $\gamma$  soit à 1 et non à 0.45. La position 0.45 donne un signal de vidéo proportionnel à  $E^{0.45}$  (où  $E$  est l'éclairissement) pour compenser la courbe de réponse des moniteurs qui a une non linéarité dans le sens inverse ( $\gamma \approx 1/0.45$ ).

## 6.2. Etalonnages des dimensions de l'image

- Lorsque l'image numérisée est celle d'un objet plan (écran scintillant ou mire de résolution), ses dimensions dépendent du grandissement apporté par l'objectif et donc varie avec la distance caméra-objet ainsi qu'avec le réglage de mise au point. Il faut donc que l'objet observé comprenne au moins un élément de dimensions connues qui permettra l'étalonnage de toute l'image. Pour la mire, les dimensions de tous les éléments sont connues par construction; pour les écrans scintillants on y fixera une mire en papier portant des carrés de dimension connue.

Comme les pixels ne sont pas carrés, l'étalonnage doit être fait indépendamment dans le sens horizontal et dans le sens vertical. Dans une direction, un élément de dimension  $L_{\text{et}}$  donne une image de  $p_{\text{et}} \pm \Delta p_{\text{et}}$  pixels. La taille réelle d'un objet donnant une image de  $p_{\text{obj}} \pm \Delta p_{\text{obj}}$  pixels est alors

$$L_{\text{obj}} = \frac{L_{\text{et}}}{p_{\text{et}} \pm \Delta p_{\text{et}}} (p_{\text{obj}} \pm \Delta p_{\text{obj}}). \text{ Les précisions } \Delta p_{\text{et}} \text{ et } \Delta p_{\text{obj}} \text{ ne seront pas forcément égales car la pre-}$$

mière correspondra à une ou plusieurs mesures sur des objets bien contrastés, alors que la seconde sera estimée d'après la résolution de l'image dont la méthode de mesure et un premier essai sont décrits plus loin.

Cet étalonnage devra être complété par une mesure de la distorsion, qui est la variation du grandissement avec la distance au centre de l'image. Cette aberration, introduite par l'objectif, a pour effet de déformer une grille. Une mire spécifique, à poser sur l'écran, sera développée à cet effet.

- Lorsque le faisceau laser frappe directement le détecteur, la taille du pixel numérisé peut être calculée à partir de celle du détecteur et de la fréquence de numérisation. Une autre méthode, expérimentale, a été essayée. Elle consiste à placer une corde à piano (fil d'acier de diamètre connu) dans le faisceau et à mesurer la largeur de son ombre. La précision de l'étalonnage est limitée par le fait que par phénomène d'interférences l'ombre n'a pas des bords nets mais est constituée de franges. Elle demeure néanmoins une des seules possibles si une lentille est placée juste avant le détecteur pour réduire la taille du faisceau.



### 6.3. Résolution de l'image

La résolution de l'image est bien sûr limitée par celle de ses pixels et on ne pourra jamais voir de détails plus petits qu'un pixel. Elle peut, néanmoins, être bien moins bonne car chaque composant de la chaîne d'imagerie transporte l'image mais la détériore aussi. C'est dans le cas de l'observation d'un écran que l'on sera capable de mesurer la résolution et d'agir sur le réglage de l'objectif (diaphragme et mise au point), sur la longueur des câbles et d'introduire sur ceux-ci des filtres électroniques tels qu'un "anti-repliement de spectre" pour qu'elle soit aussi proche que possible de celle des pixels. Le même câblage sera alors utilisé dans le cas d'une chaîne sans écran.

Pour ce qui est de la méthode de mesure, la dégradation de la résolution d'une image par un système linéaire est couramment spécifiée par sa Fonction de Transfert de Modulation spatiale (FTM). Pour une image constituée de franges dont l'éclairement varie de façon sinusoïdale, la FTM donne le coefficient de transmission de la modulation en fonction de la fréquence spatiale  $\nu$  (inverse du pas) des franges. Une mesure directe de la FTM demanderait une mire périodique dont la luminance varierait de façon sinusoïdale entre les zones claires et les zones sombres. Ce genre de mire est difficilement réalisable et on utilise souvent des mires de barres (largeur = espacement) horizontales et verticales. Une telle mire de résolution, constituée d'une lame de verre portant des séries de traits horizontaux et verticaux de pas variable, est représentée sur la figure 14. Les séries de large pas auront un bon contraste dans l'image, mais celui-ci diminuera au fur et à mesure que l'on passera à des barres de pas plus fins jusqu'à ce que l'on ne puisse plus distinguer les traits. La courbe du contraste des traits dans l'image en fonction de l'inverse de leur pas, dite Fonction de Transfert de Contraste (FTC), caractérise aussi la résolution avec laquelle les images sont transmises à travers la chaîne.

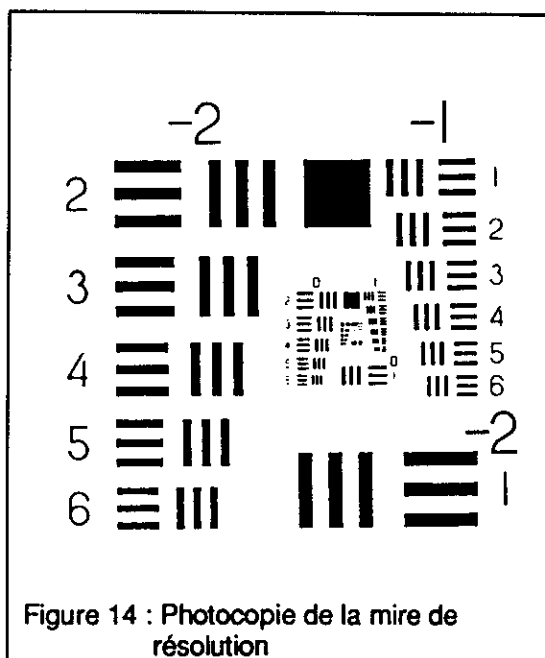


Figure 14 : Photocopie de la mire de résolution

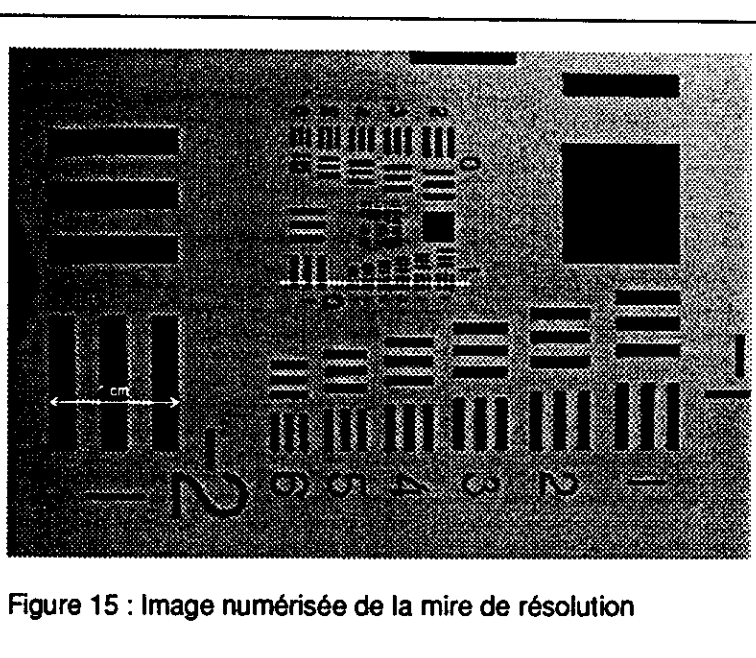


Figure 15 : Image numérisée de la mire de résolution

Dans la mire les barres de même largeur et de même sens sont inscrites par trois dans des carrés. Les carrés forment des séries de 6 paires (vertical, horizontal) dans lesquelles le pas varie de manière géométrique. Le pas est divisé par 2 lorsque l'on passe d'une série à la série suivante et par  $2^{1/6}$  lorsque l'on passe d'un carré au suivant dans la même série. La série 0 correspond à 1 paire de traits (un noir plus un blanc) par mm, donc pour un carré  $N_c$  dans une série  $N_s$ , le nombre de paires de traits par mm est  $2^{N_s+(N_c-1)/6}$ . Nous repérerons les carrés par leur couple  $(N_s, N_c)$ .

Un premier essai a été fait avec une caméra MICAM. L'image obtenue est donnée figure 15. Pour pouvoir ramener les fréquences des carrés, qui sont connus en paires de traits par mm, à des pixels, il est nécessaire d'étalonner l'image. Le carré  $(-2, 1)$ , qui mesure exactement 1 cm de côté sur la mire, fait  $90 \pm 1$  pixels horizontalement et  $133,5 \pm 1$  pixels verticalement dans l'image. La précision  $\pm 1$  pixel sur ces mesures est celle avec laquelle sont repérées les largeurs à mi-hauteur des crêteaux que donnent les barres dans les profils à travers l'image. La taille des pixels rapportés à la mire est donc de  $111,1 \pm 1,2 \mu\text{m}$  sur  $74,9 \pm 0,6 \mu\text{m}$ .

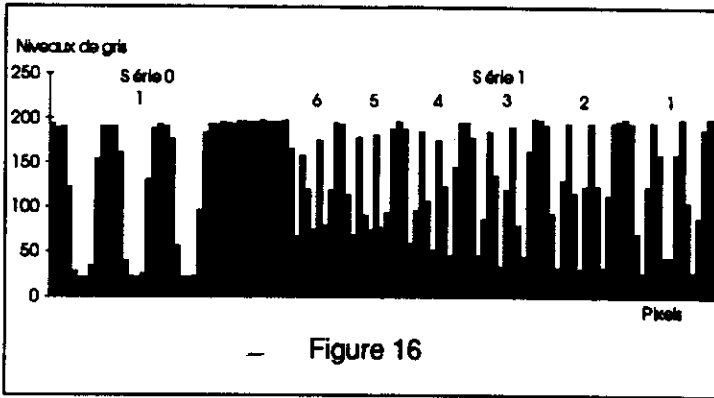


Figure 16

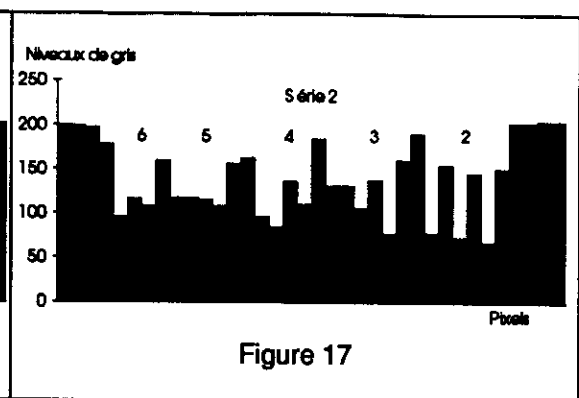


Figure 17

Deux profils horizontaux ont été pris dans cette image; ils sont indiqués par des traits blancs sur la figure 15. Le trait inférieur traverse, de gauche à droite, le carré (0,1) puis les carrés (1,6) à (1,1); le profil correspondant est présenté sur la figure 16. Le trait supérieur traverse les carrés (2,6) à (2,2); le profil correspondant est donné figure 17. Sur le premier profil, on voit que dans la série 0, le contraste est bon pour le carré 1 et qu'il diminue dans la série 1. Sur le profil correspondant à la série 2, seul le carré (2,2) conserve encore 3 alternances blanc-noir. Ce dernier a une fréquence spatiale de  $2^{2+1/6} = 4.49$  paires de traits par mm, soit un objet de  $111 \mu\text{m}$ , donc à un pixel. On peut considérer que les carrés jusqu'au (1,2) sont imagés sans baisse notable de contraste. On peut donc estimer la résolution horizontale à 2.24 paires de traits par mm, ce qui correspond à 2 pixels.

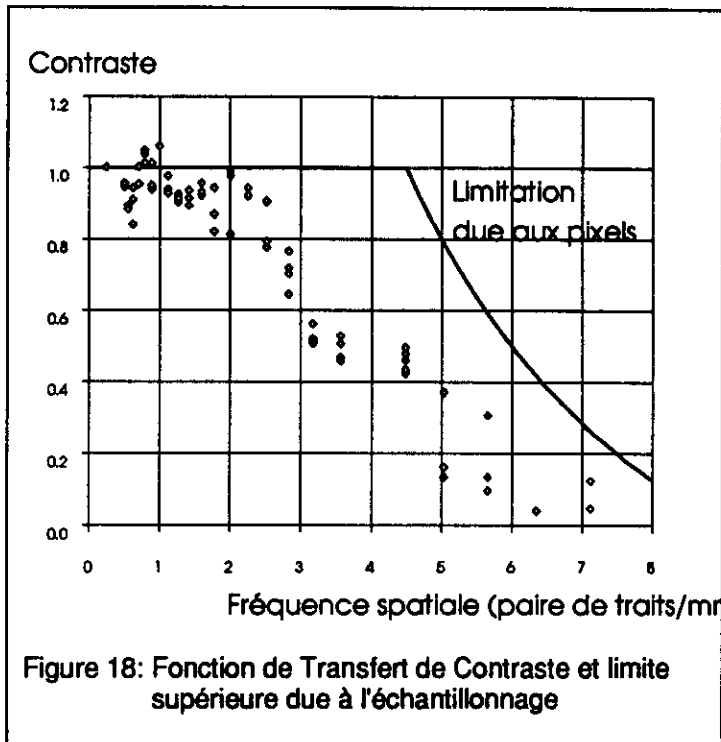


Figure 18: Fonction de Transfert de Contraste et limite supérieure due à l'échantillonnage

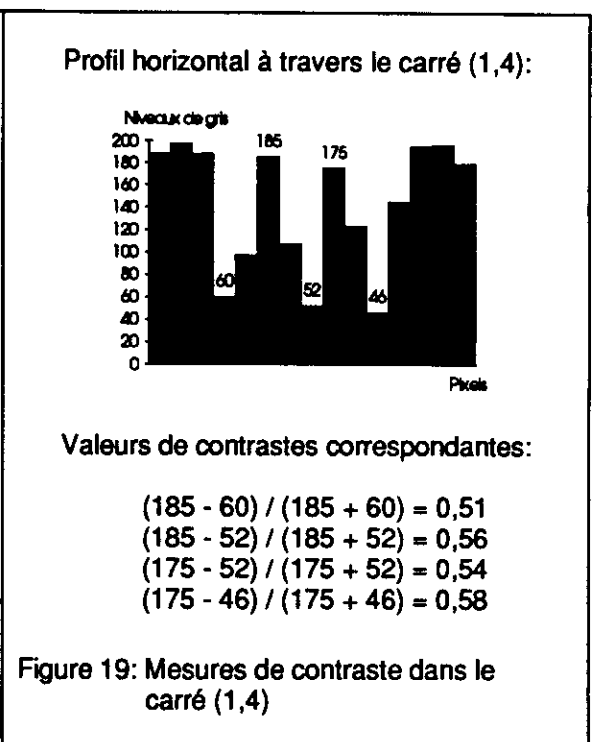


Figure 19: Mesures de contraste dans le carré (1,4)

Toujours dans le sens horizontal, les profils à travers toutes les séries permettent de faire une mesure de FTC. Sur la figure 18 sont représentés les résultats des mesures de contraste  $((\text{max} - \text{min}) / (\text{max} + \text{min}))$  ainsi que la courbe de contraste maximum possible si celui-ci n'était limité que par la taille des pixels. Chaque profil à travers un carré correspond à une fréquence spatiale et peut donner plusieurs valeurs de contraste. En effet, celui-ci n'est pas toujours le même pour les trois barres. Il dépend du phasage des barres par rapport à la grille des pixels. A titre d'exemple, les mesures de contraste pour le carré (1,4), dont la fréquence spatiale est  $2^{1+4/6} = 3.17$  paires de traits par mm, sont données figure 19.

Outre ce phénomène dû à l'échantillonnage de l'image, des défauts dans l'éclairage de la mire introduisent une dispersion supplémentaire des résultats, et c'est ce qui explique les quelques valeurs de contraste supérieures à 1.

Malgré ces limites, la figure 18 montre que les fréquences en dessous de 3,5 paires de traits par mm apparaissent avec un contraste supérieur à 1/2, valeur limite qui est à comparer à celle de 6 paires de traits par mm, uniquement due aux pixels. Cette mesure indique que la baisse de contraste est due autant au traitement du signal qu'à la taille des pixels. Cependant, les performances de l'ensemble de la chaîne d'acqui-



sition d'images restent bonnes. Elle confirme aussi la limite de résolution horizontale de 2 pixels telle qu'estimée plus haut.

Pour des images fugitives de faisceau, il ne faut prendre en compte qu'une seule trame. Verticalement, ceci a pour conséquence de diviser par deux la résolution: les pixels sont deux fois plus haut (149  $\mu\text{m}$ ) pour conserver le rapport hauteur sur largeur de l'image. Un agrandissement de l'image correspondante (voir figure 20) montre que le dernier carré dans lequel les barres sont visibles est le (1,6), mais on n'a un bon contraste que pour le (1,1) qui correspond à des détails de 250  $\mu\text{m}$  ce qui correspond à 1.68 pixels. On retrouve une valeur proche de deux pixels.

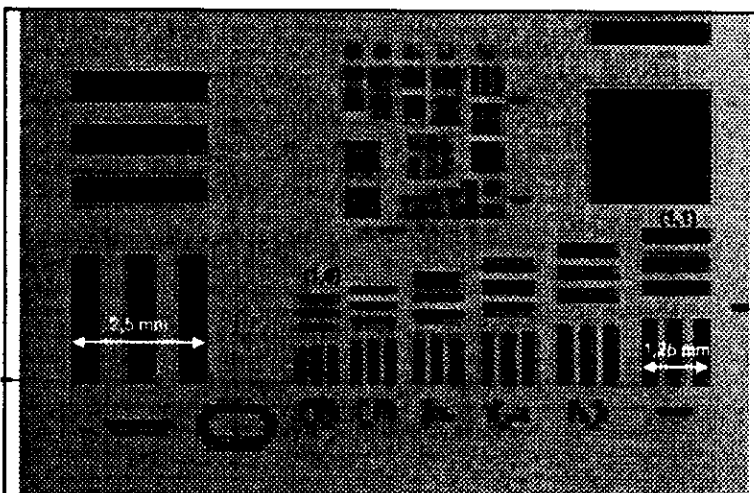


figure 20 : Centre de l'image numérisée (trame paire seule) agrandie 4 fois

En conclusion de ce premier essai, on peut dire que, dans les conditions des tests, les détails les plus fins exploitables dans une image ont une taille de deux fois celle des pixels. Pour les mesures de dimension dans l'image ceci donne une incertitude de  $\pm 4$  pixels.

#### 6.4. Précision des mesures

Suite aux différents tests les précisions des mesures sur l'image d'un faisceau tombant sur un écran peuvent être estimées à:

- Niveau de luminance:  $\pm 1$  % principalement dû au bruit,
- Mesures dimensionnelles:

La taille des pixels, rapportée au niveau de l'écran, dépend de la distance caméra-écran et du réglage de mise au point. Un étalonnage vertical et horizontal doit être fait pour chaque caméra une fois installée. Dans le cas de la mire cet étalonnage a été fait à environ  $\pm 1\%$  près.

D'après l'estimation de la résolution des images, les mesures de distances dans celle-ci se font à  $\pm 4$  pixels. Pour un champ moyen de  $50 \times 37$  mm, et en ne prenant en compte qu'une seule trame, les pixels ramenés à l'écran font  $98 \times 144$   $\mu\text{m}$ . Si l'on tient compte de plus du facteur de projection de  $\sqrt{2}$ , on a finalement une incertitude au niveau du faisceau de  $\pm 400$   $\mu\text{m}$  dans toutes les directions.

Ces estimations de la précision sont basées sur des conditions de test où la caméra était reliée au PC par un câble court et doivent être refaites en condition réelles pour garantir les résultats. Néanmoins, on peut considérer quelles sont typiques des performances du système.

#### 7. Premières mesures sur faisceau d'électrons

Des acquisitions d'images ont été faites sur la caméra MTV 510, qui se trouve à l'extrémité du drive beam du CTF. La caméra Digital Vision est sur un support tel que décrit au paragraphe 3.3.3. Une mire en papier avec une zone permettant le réglage de mise au point (traits de 0,5 mm tous les millimètres) et une autre d'étalonnage géométrique (carrés de 1 cm de côté) est fixée sur l'écran scintillant utilisé du côté sans quadrillage.

## 7.1. Etalonnage géométrique

L'image de l'écran alors qu'il y a de la lumière dans le CTF, permet son étalonnage. Les carrés, qui font 1 cm de côté sur l'écran scintillant, font  $63 \pm 1$  pixels horizontalement et  $92 \pm 1$  pixels verticalement. Ceci donne une taille de pixel de  $159 \pm 3 \mu\text{m} \times 109 \pm 1 \mu\text{m}$ .

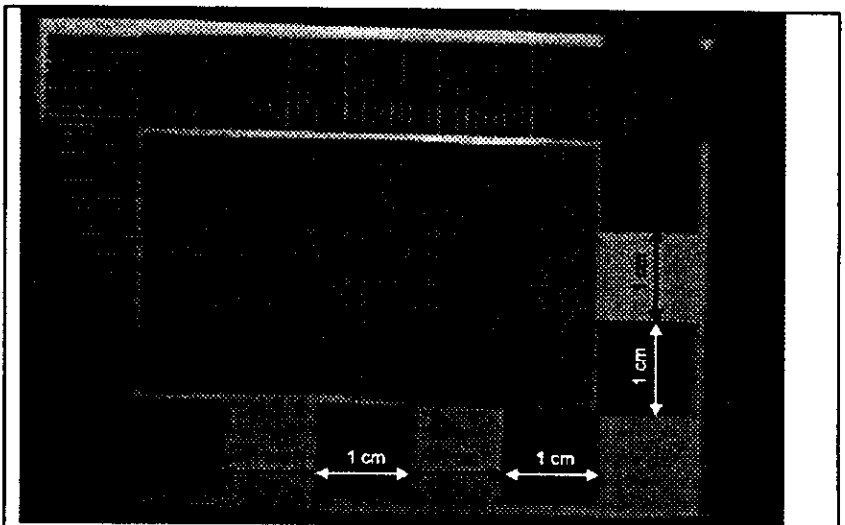


Figure 21 : Image de l'écran scintillant avec mire pour le réglage de mise au point et l'étalonnage géométrique.

## 7.2. Profil de faisceau

Sur l'image prise, dont seule la trame impressionnée a été conservée, les profils intégrés verticaux et horizontaux ont été tracés à l'aide d'un programme spécialement développé à cet effet. Sur la figure 22, la position du barycentre telle que calculée à l'aide d'ESILAB a ensuite été reportée. Les dimensions indiquées sont celles dans un plan perpendiculaire à l'axe du faisceau, c'est à dire en tenant compte du facteur de projection ( $1/\sqrt{2}$ ) selon l'axe vertical. La figure 23 montre, en perspective, la distribution des électrons.

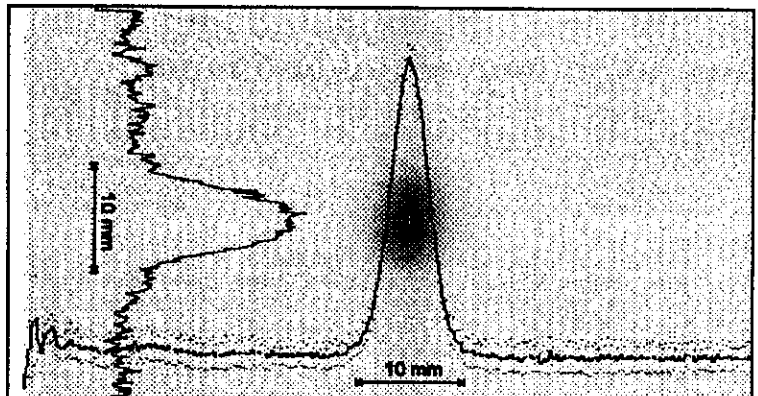


Figure 22 : Image transversale du faisceau d'électrons au CTF avec profils intégrés et barycentre.

Représentation en perspective :

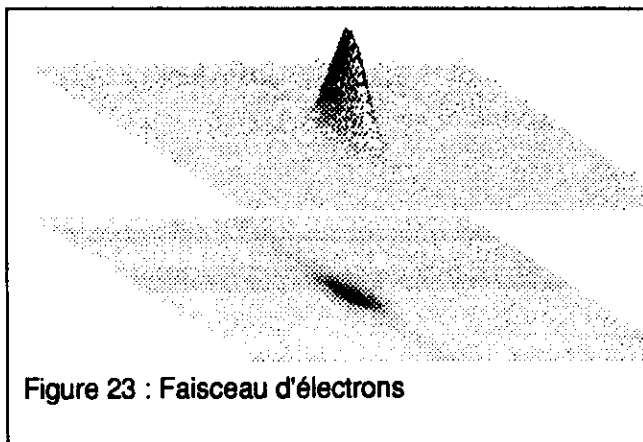


Figure 23 : Faisceau d'électrons

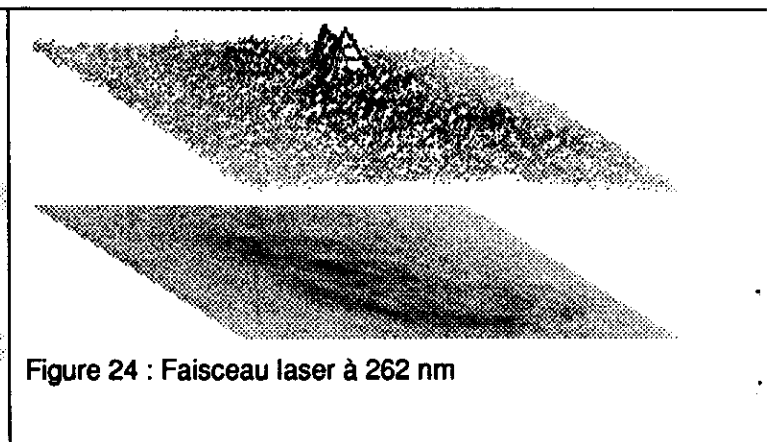


Figure 24 : Faisceau laser à 262 nm

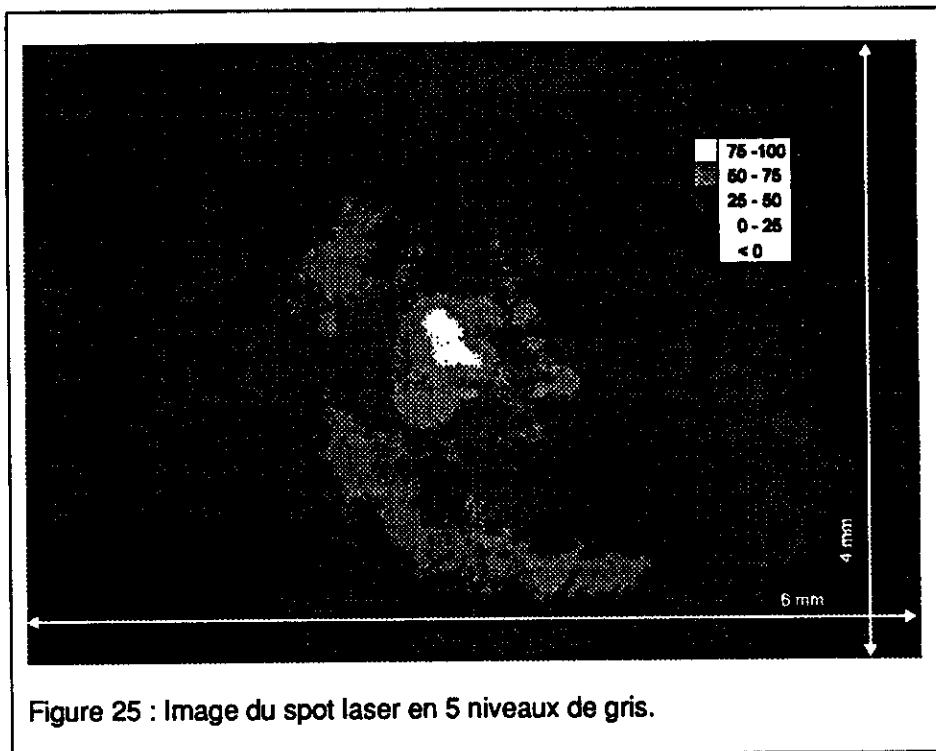
## 8. Premières mesures sur faisceau laser

L'acquisition et le traitement d'une série d'images du faisceau U.V. (262 nm) à la sortie du laser du CTF ont été réalisés dans la configuration décrite au paragraphe 3.4. L'atténuation totale de ce faisceau était de l'ordre de  $10^6$ .

Les profils moyens, ou la représentation en perspective ne permettent pas une visualisation compréhensible de la distribution de l'éclairement lorsque celle-ci est fortement inhomogène (voir figure 24). C'était le cas pour la distribution d'énergie du laser au moment où elle a été mesurée. Pour pouvoir quand même l'apprécier, un programme permet de représenter l'intensité lumineuse sur seulement cinq niveaux de gris. Quatre niveaux sont calculés entre la valeur du fond de l'image et le maximum de luminance de manière à faire apparaître à la frontière des zones correspondantes, les périmètres à 1/4, 1/2 et 3/4 de la valeur maximale. Le cinquième niveau, ici le noir, est réservé aux valeurs négatives par rapport au niveau de luminance fixé de la trame de fond. Dans l'image traitée on n'a aucun pixel noir ce qui indique que la trame impressionnée avait toujours un niveau de luminance supérieure à celle de fond.

Pour le développement des capteurs de position CLIC il a été demandé d'estimer le jitter moyen du laser en position. Pour cela il s'est avéré nécessaire de travailler sur des séries d'images. A cet effet des programmes spécifiques, écrits en C ont dû être développés:

- Le programme CAPTURE utilise des routines du logiciel ESILAB. Il permet l'acquisition et la sauvegarde automatique sur disque (format TIFF) d'une série d'images dont le nombre est choisi par l'utilisateur. Le temps de sauvegarde ne permet pas pour l'instant l'acquisition d'images successives à 10 Hz.
- Le programme IMAGED4 traite automatiquement les séries d'images (une trame impressionnée et une trame de fond) acquises par CAPTURE. Il fait les opérations suivantes:
  - chargement des images telles que sauvées par CAPTURE,
  - calcul des valeur moyennes des deux trames pour détecter celle qui est impressionnée,
  - soustraction de la trame de fond à la trame impressionnée pour avoir l'image de la tache,
  - calcul du maximum de l'image de la tache,
  - application d'une LUT en escalier (5 marches entre 0 et 100% de l'éclairement dans l'image),
  - sauvegarde de l'image au format TIFF.



## 9. Conclusion

Les premières évaluations de ce système d'acquisition et de traitement d'images nous indiquent que les spécifications de départ sont remplies, pour autant que quelques précautions soient prises, comme l'angle de visée de la caméra, le contrôle de la linéarité de celle-ci, ou la qualité de la liaison vidéo entre la caméra et la carte de numérisation. Par comparaison aux spécifications de départ (voir § 2), il vient:

- On peut visualiser les images comme sur un moniteur classique, mais en acceptant un facteur d'échelle de  $\sqrt{2}$  sur un des deux axes.
- Sous réserve que la récurrence du signal à filmer soit constante, on peut acquérir une image lorsque l'écran scintillant reçoit le faisceau. Cette limitation est due au fait que la première trame est perdue, et donc le déclenchement doit se faire sur l'impulsion précédent celle à mesurer.
- On peut sauvegarder les images pour les traiter après coup.
- Il est possible de soustraire l'image ambiante, lorsque le faisceau est absent, afin de ne conserver que l'image du faisceau d'électrons ou de photons. Il suffit de retrancher la première trame à la seconde.
- L'intensité lumineuse, exprimée en unité arbitraire, est mesurée avec une linéarité de  $\pm 1 \%$ , bien meilleure que celle spécifiée.
- Les coordonnées  $X, Y$  sont mesurées avec une précision de l'ordre de  $\pm 1 \%$  et une résolution de 0.2 mm.
- Les programmes permettent de calculer le barycentre de l'image, ainsi que les profils des distributions.
- Pour l'instant les caméras ne semblent pas souffrir du niveau de radiations au CTF, des mesures sont en cours.

La conversion des pixels en signal vidéo, par la caméra, permet de transporter facilement l'image jusqu'à la carte de traitement. Par contre cela se fait au détriment de la résolution - double conversion N/A, puis A/N, perte d'une trame en raison du balayage entrelacé - ainsi que de la maîtrise du cadencement - déclenchement sur l'impulsion précédente.

Des mesures plus précises, ainsi qu'un meilleur contrôle du cadencement et de l'obturateur électronique sont possibles en utilisant un équipement d'acquisition et de traitement d'images qui ne passe pas par la génération d'un signal vidéo. Ces équipements sont en général beaucoup plus onéreux et moins souple d'emploi.

Le système que nous avons testé convient bien pour de l'expérimentation. Par contre il se prête mal à l'automatisation des mesures, car d'une part le traitement de l'image n'est pas dissocié de l'acquisition (pour le matériel comme pour le logiciel), et d'autre part les logiciels ne permettent pas une sélection automatique des profils à analyser.

## Références

- [1] Y. Baconnier, R. Bossart, K.K. Geissler, J.C. Godot, K. Hubner, H. Kugler, J.H.B. Madsen, A.J. Riche, J. Strode, G. Suberluq, " *The CERN Linear Collider Test Facility (CTF)*", CERN/PS 92-49 (LP)
- [2] R.B. Feldman and A.H. Lumpkin, " *Development in on-line, electron-beam emittance measurements using optical-transition radiation techniques*", Los Alamos, NM 87545, USA, in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A296 (1990) 193-198
- [3] P. Besson, " *Traitement et Analyse d'Images Vidéo pour la mesure de l'émittance transverse d'un faisceau d'électrons*", CEA/DAM Centre de Bruyères Le Chatel PTN-790/89 F
- [4] C.D. Johnson, " *The development and use of alumina ceramic fluorescent screens*", CERN/PS/ 90-12 (AR), 18 July 1990
- [5] Association des Exploitants d'Equipements de Mesure, de Régulation et d'Automatisme, " *Procés verbal d'évaluation d'une caméra vidéo de DIGITAL VISION type MICAM HRS*", réalisé au LABORATOIRE NATIONAL D'ESSAIS (FRANCE)

## Bibliographie

- [a] A. MARION, *Introduction aux techniques de traitement d'images*, éditions EYROLLES 1987
- [b] M. Coster, J. L. Chermant *Precis d'analyse d'images*, Presses du C.N.R.S, 1989