

Photocathodes en iodure de césium utilisées à fort courant

G. Suberlucq

ABSTRACT

Dans le cadre des études sur les collisionneurs linéaires, le CLIC Test Facility du CERN utilise des photocathodes en iodure de césium, éclairées par laser, comme source d'électrons. L'objet de la présente note, est de résumer les propriétés de ces cathodes utilisées à fort courant et de rapporter les mesures réalisées au laboratoire de photoémission. On trouvera plus particulièrement l'influence de l'énergie et de la longueur d'onde de l'impulsion du rayonnement laser, ainsi que l'effet de champs électriques intenses à la surface de la photocathode.

Note présentée aux Journées d'Etude sur la Photoémission
à Fort Courant, 22-23 avril 1992,
Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand (F)

Genève, mai 1992

Photocathodes en iodure de césium utilisées à fort courant

Résumé

Dans le cadre des études sur les collisionneurs linéaires, le CLIC Test Facility du CERN utilise des photocathodes en iodure de césium, éclairées par laser, comme source d'électrons. L'objet de la présente note, est de résumer les propriétés de ces cathodes utilisées à fort courant et de rapporter les mesures réalisées au laboratoire de photo-émission. On trouvera plus particulièrement l'influence de l'énergie et de la longueur d'onde de l'impulsion du rayonnement laser, ainsi que l'effet de champs électriques intenses à la surface de la photocathode.

Note présentée aux Journées d'Etude sur la Photo-émission à Fort Courant, 22--23 Avril 1992, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand (F)

Table des matières

Résumé	i
Chapitre 1: Introduction	1
Chapitre 2: Propriétés photo-émissives du CsI	1
2.1 Rappel de quelques définitions	1
2.2 Choix du type de photocathode	2
2.3 Transmission des UV dans l'air	3
Chapitre 3: Propriétés physico-chimiques du CsI	4
Chapitre 4: Préparation des photocathodes	4
4.1 Préparation du substrat	4
4.2 Dépôt de l'iodure de césium	5
Chapitre 5: Test des photocathodes	7
5.1 Conditions des tests	7
5.1.1 Paramètres des lasers	7
5.1.2 Paramètres du canon à électrons	8
5.1.3 Paramètres de la ligne de mesure :	8
5.2 Mesure de la charge en fonction de l'énergie du laser	9
5.3 Mesure de l'efficacité quantique	10
5.4 Effet de la polarisation de la lumière	12
5.5 Mesure de la durée de vie	13
5.6 Résistance des cathodes aux champs électriques	14
Chapitre 6: Conclusion	15
Chapitre 7: Remerciements	15

1. Introduction

Le laboratoire de Photo-émission a pour but d'étudier la photo-émission à fort courant et impulsions brèves et de fournir des photocathodes adaptées aux besoins du CLIC Test Facility (CTF) [1]. La figure 4 à la page 7 montre un schéma de l'ensemble des installations utilisées ; ces diverses parties sont décrites dans la référence [2].

Les photocathodes alcalines comprennent deux grandes familles : les antimoniures d'alcalins et les halogènes d'alcalins. La première famille comporte les cathodes du type Cs_3Sb , K_3Sb , $(\text{Cs})\text{Na}_2\text{KSb}$ et constitue la plus grande partie des cathodes utilisées dans les photomultiplicateurs (P1, P11, P20 etc.). Elles sont surtout utilisées du domaine du visible au proche UV. Elles doivent être conservées sous ultra-vide et dans notre application, leur durée de vie n'est que de quelques heures. La seconde famille comporte des cathodes du type tellurides de césium ou rubidium, des iodures de césium ou rubidium et des bromures de césium ou potassium. Elles sont surtout utilisées dans l'UV et l'UV lointain. Certaines d'entre-elles peuvent être exposées à l'air libre.

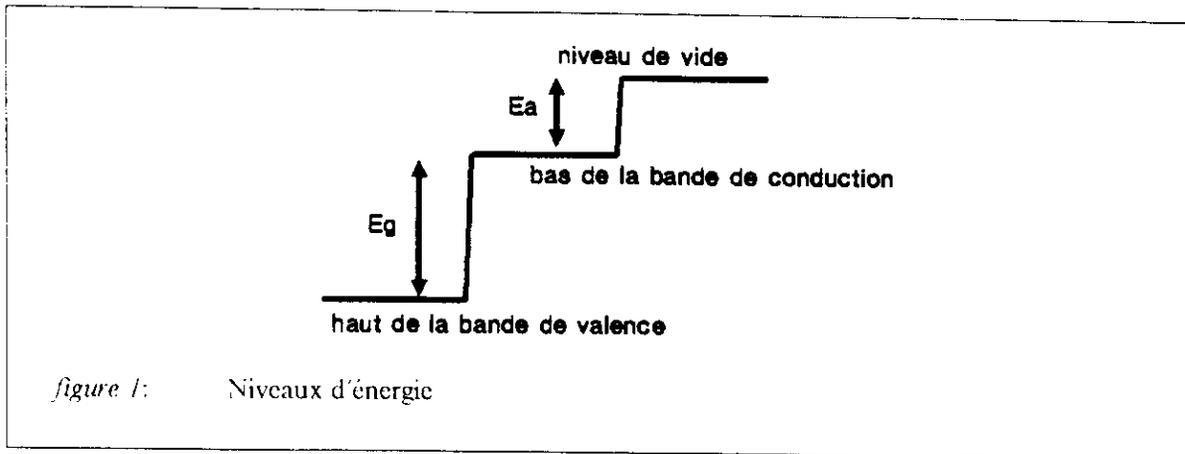
Pour l'instant, nous ne pouvons pas transférer, sous vide, des cathodes, de la chambre de préparation au canon RF du CTF. Ceci impose de n'utiliser ni les antimoniures d'alcalins ni les tellurides d'alcalins. Nous avons choisi l'iodure de césium car il conserve ses propriétés photo-émisives après un bref passage à l'air libre [3]. Il présente cependant l'inconvénient de n'avoir des bons rendements qu'à des longueurs d'ondes inférieures à environ 200 nm. Cette note présente les résultats que nous avons obtenus avec les photocathodes testées au laboratoire de photo-émission. Les résultats obtenus dans le CTF et présentés dans les notes référencées [4], [5], [6], et [7], ne seront que brièvement rappelés.

2. Propriétés photo-émisives du CsI

2.1 Rappel de quelques définitions

Les cathodes alcalines sont habituellement assimilées à des semi-conducteurs car la hauteur de la bande interdite E_g (voir figure 1 à la page 2 et définitions ci-dessous) est en général comprise entre 1 et 2 eV. Les halogènes d'alcalins ont une hauteur de bande interdite variant de 4 à 6 eV et sont plutôt assimilables à des isolants [8]. Dans ce modèle où $E_g \gg E_a$, il n'y a quasiment pas de "electron-electron scattering" et la profondeur d'extraction n'est limitée que par l'interaction des électrons excités avec la maille. Le libre parcours moyen des électrons dans le milieu est compris entre 20 et 100 nm [9], [10]; on peut donc considérer que l'on a affaire à une émission de volume schématisée sur la figure 1 à la page 2.

E_g	saut d'énergie entre le niveau de la bande de valence (peuplée) et le niveau de la bande de conduction (vide). Ce saut qualifie le seuil de photoconductivité
E_a	saut d'énergie entre le niveau de la bande de conduction et le niveau de vide, il représente l'affinité électronique.
$(E_g + E_a)$	seuil de photo-émission
QE	efficacité quantique : rapport du nombre d'électrons émis par la cathode sur le nombre de photons incidents.



Pour le CsI, A.H. Sommer donne [8] $E_g = 6.3$ eV et $E_a = 0.1$ eV soit un seuil de photo-émission de 6.4 eV. Pour extraire des électrons, les photons devraient donc avoir une énergie supérieure à $(E_g + E_a)$ soit une longueur d'onde inférieure à $\lambda = \frac{h \times c}{E_g + E_a} \approx 194$ nm. On notera la grande valeur de $\frac{E_g}{E_a}$ qui permet de supposer une grande efficacité quantique et une moindre sensibilité aux polluants, du seuil de photo-émission, que les semi-conducteurs classiques.

Ce modèle simplifié d'un semi-conducteur intrinsèque suppose qu'il n'y a pas de contaminant et donc qu'il n'y a pas d'état possible dans la bande interdite ce qui n'est évidemment jamais le cas. Bien que ce soit surtout le seuil de photoconduction qui soit influencé par ces contaminants, le seuil de photo-émission pourra s'en trouver affecté. De même des polluants à porteurs majoritaires courbent les bandes d'énergie par déplétion et réduisent la hauteur apparente de E_a , ce qui modifie aussi le seuil de photo-émission. Pour garantir des cathodes ayant des caractéristiques reproductibles, nous nous sommes attachés à utiliser les produits les plus purs possibles et à travailler dans de bonnes conditions de propreté.

2.2 Choix du type de photocathode

Seuls les halogènes d'alcalins à stœchiométrie 1/1 sont susceptibles de maintenir, voire d'améliorer, leurs propriétés photo-émissives à l'air libre. Notamment le CsBr et le RbI ont leur seuil de photo-émission diminué d'environ 1 eV [3]. Cependant, A.H. Sommer, E.A. Taft et H.R. Philipp [3], [11] ont montré que le matériau le plus stable avec le plus bas seuil de photo-émission était le CsI. On trouvera sur la figure 2 à la page 3 le rendement quantique de différentes cathodes en CsI mais pour des courants extraits très faibles (au maximum quelques mA).

Les cathodes semi-transparentes, utilisées notamment dans les photo-détecteurs, sont moins efficaces que les cathodes opaques et en particulier aux longueurs d'onde inférieures à 200 nm, jusqu'à un facteur 10 à 190 nm pour une cathode en iodure de césium [15]. Les cathodes ci-dessus étaient soumises à des champs électriques en général inférieurs à 100 kV/m.

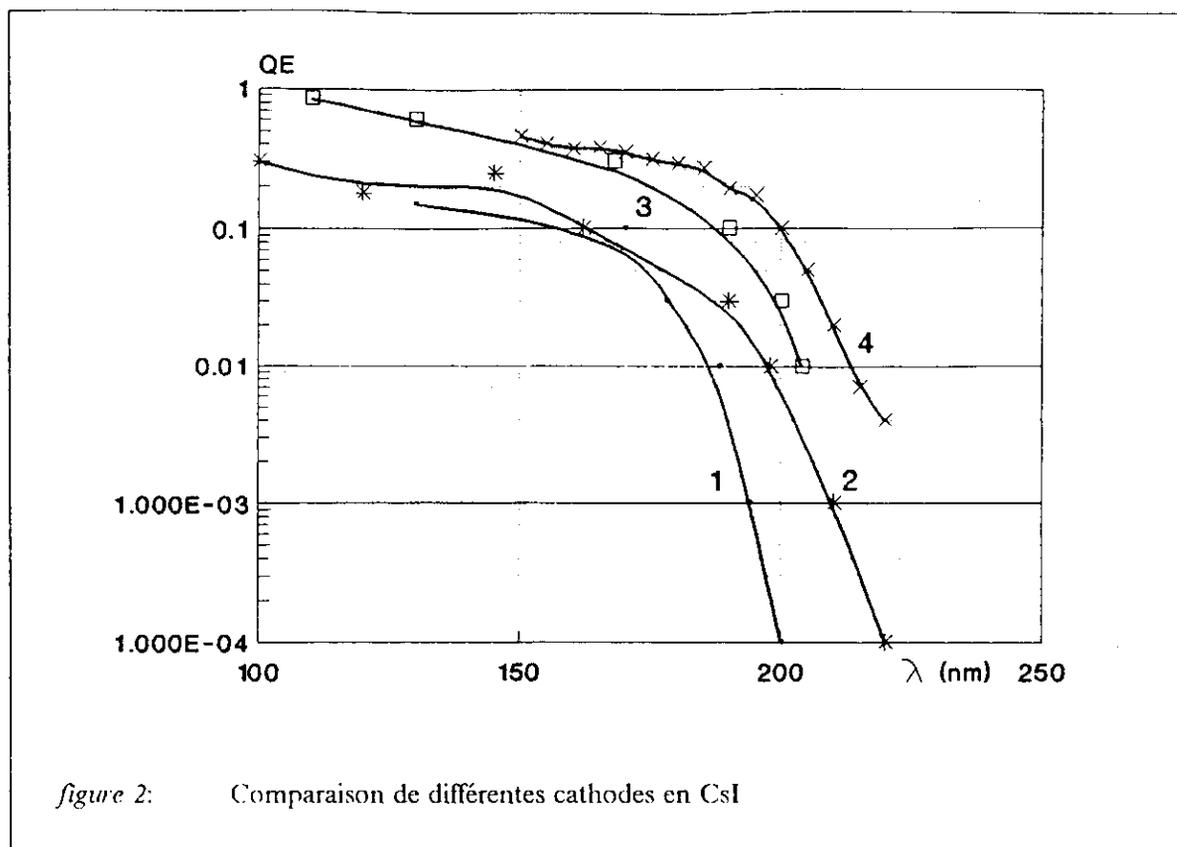


figure 2: Comparaison de différentes cathodes en CsI

- Courbe 1** cathode semi-transparente, voir référence [11]
Courbe 2 cathode opaque, 350 nm de CsI, voir référence [12]
Courbe 3 cathode opaque, sur un mince film d'aluminium, 1000 nm de CsI, voir référence [13]
Courbe 4 cathode opaque, 500 nm de CsI sur 100 nm d'Al, dans du méthane, voir référence [14]

2.3 Transmission des UV dans l'air

La transmission d'une onde lumineuse dans un milieu suit, en première approximation, la relation suivante : $I = I_0 \times e^{-kcl}$ avec,

- I** intensité lumineuse après le parcours l
 I_0 intensité lumineuse de la source
k coefficient d'absorption, fonction du milieu et de λ
c concentration du milieu absorbant
l longueur du parcours dans le milieu absorbant en cm

Le chemin optique est d'environ 10 m dans le CTF et 3 m au laboratoire des photocathodes. Si l'on considère une atmosphère ambiante avec 20% d'oxygène ($c=0.2$) et 60% d'humidité relative – 60% de 17.3g/m^3 de vapeur d'eau dans 1.2kg/m^3 d'air à 20°C – ($c=0.009$) il parvient sur la cathode, environ 35% au CTF et 72% au laboratoire à 195 nm. Il reste moins de 1% de la lumière incidente en dessous de 186 nm. Si l'on veut utiliser des longueurs d'onde dans cette région il faudra mettre les chemins optiques sous vide ou sous argon. Nous avons vérifié qu'à 193 nm l'atténuation dans l'air ambiant était fortement dépendante du degré hygrométrique de l'air. Par contre à 209 ou 213 nm, l'atténuation est négligeable dans nos applications.

3. Propriétés physico-chimiques du CsI

Les propriétés rapportées ci-dessous se réfèrent au matériau cristallin [18]. Celles du matériau amorphe, déposé en couches minces, peuvent être sensiblement différentes.

table 1: Propriétés du CsI

Physiques	
Densité	4.51
Point de fusion	621°C
Chaleur massique	201 J.kg ⁻¹ .°K ⁻¹ à 20°C
Conductivité thermique	0.13 W.m ⁻¹ .°K ⁻¹
Dilatation linéique	50×10 ⁻⁶ .°C ⁻¹ de 25 à 50°C
Dureté Knoop	20 (mou)
Module de Young	5.3 GPa
Limite apparente d'élasticité	5.58 MPa
Constante diélectrique	5.65 à 1 MHz
Chimiques	
Solubilité	44g dans 100g d'eau à 0°C
Masse molaire	259.83 g/mol
Structure	cubique type CsCl sans clivage
Optiques	
Bande de transmission	0.25 à 55 μm
Indice de réfraction	1.8064 à 0.5 μm
Transmission dans l'UV	≤ 10% à 220 nm

De plus les scintillateurs en CsI présentent une très bonne stabilité mécanique et une assez bonne résistance aux radiations : la scintillation du CsI dopé au thalium baisse de 52% après une irradiation à 550 Gy [19]. Le CsI pur est réputé plus résistant aux radiations que le CsI(II) [20].

4. Préparation des photocathodes

4.1 Préparation du substrat

Nous avons utilisé deux types de substrat : l'un en acier inoxydable de qualité 316LN, l'autre en cuivre de qualité ETP. Dans les deux cas les surfaces ont subi un polissage type haute-tension puis un dégraissage dans un bain chaud de lessive avec ultra-sons, rinçage eau dure et eau désionisée. Un étuvage sous vide à 500°C pendant au moins deux heures complète le traitement.

Le dépôt des anciennes cathodes est enlevé par abrasion avec de l'oxyde de cérium en poudre de $2.5 \mu\text{m}$ sur un feutre. Le rinçage se fait dans un bain d'hexane puris.

4.2 Dépôt de l'iodure de césium

Les dépôts sont effectués par A. Braem et D. Carminati de la division PPF et la procédure d'évaporation est décrite dans la référence [17].

Pour améliorer la tenue du CsI sur le substrat et pour éviter d'éventuels contaminants provenant de ce dernier, une couche intermédiaire d'aluminium est déposée préalablement au dépôt du CsI. Ces deux opérations sont effectuées dans la même enceinte à vide pour éviter l'oxydation et la pollution de l'aluminium.

Les principaux paramètres de l'évaporation sont rappelés ci-dessous :

1. juste avant l'introduction dans l'enceinte d'évaporation, le substrat est à nouveau nettoyé, puis séché à l'azote sec. Avant évaporation la pression dans l'enceinte est d'environ 10^{-7} mbar
2. dépôt d'aluminium :
 - a. dépôt à partir d'un fil d'aluminium, pureté 99.999% Balzers No BD 481 534-T
 - b. courant de chauffage ≈ 60 A
 - c. diamètre du dépôt : 8 mm
 - d. épaisseur déposée : $100 \text{ nm} \pm 7 \text{ nm}$
 - e. vitesse d'évaporation : 2 nm/s
 - f. pression pendant l'évaporation $\leq 2 \times 10^{-6}$ mbar
3. dépôt de CsI :
 - a. dépôt de CsI en poudre, pureté 99.5% Merck No 2861, (voir la composition dans la table 2 à la page 6) à partir d'une nacelle en molybdène
 - b. courant de chauffage ≈ 83 A
 - c. diamètre du dépôt : 8 mm
 - d. épaisseur déposée : $350 \text{ nm} \pm 7 \text{ nm}$
 - e. vitesse d'évaporation : 5 nm/s
 - f. pression pendant l'évaporation $\leq 2 \times 10^{-6}$ mbar
4. après évaporation la photocathode est transportée à l'air libre dans une autre enceinte pour y être étuvée sous une pression d'environ 10^{-8} mbar, à 150°C , pendant deux jours.

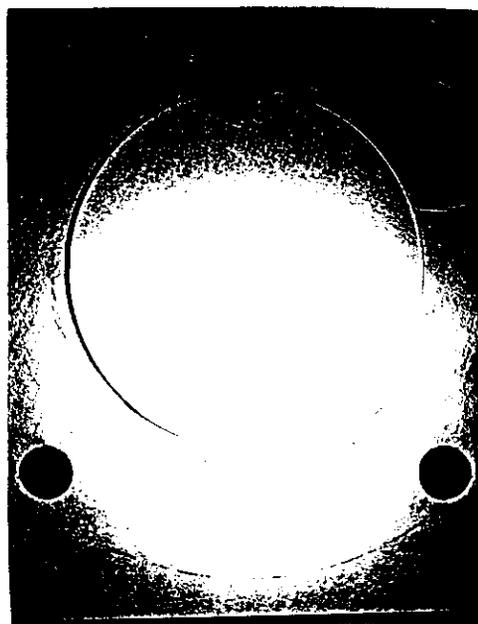
Après fabrication, les photocathodes sont conservées dans des dessiccateurs à une pression comprise entre 10^{-2} et 1 mbar (le système de pompage comporte un piège à vapeur d'huile). L'exposition à l'air libre est réduite au temps de transfert lors des différentes phases de la fabrication et à l'installation dans le canon DC ou RF; soit moins de 2 heures.

La figure 3a à la page suivante, représente un dépôt normal de CsI grossi 7 fois, tandis que la figure 3b montre un dépôt de CsI, grossi 11 fois, probablement pollué par de la vapeur d'eau. La couronne extérieure montre une croissance de cristaux en forme de dendrites. Sur cette dernière figure la tâche noire centrale correspond à un trou d'alignement du laser.

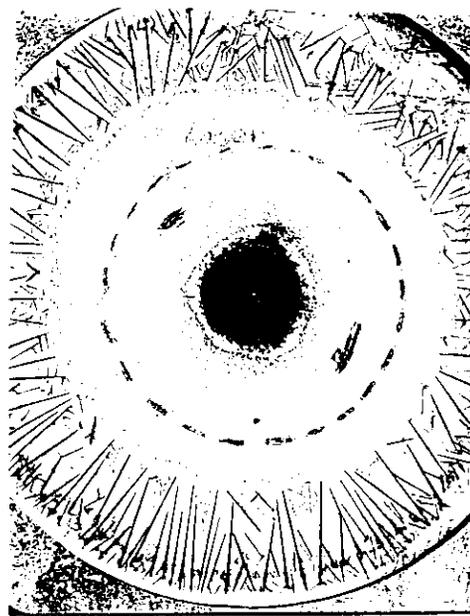
table 2: Composition du CsI

CsI	min	99.5	%		max		
Sulfate (SO ₄)	max	5.0	ppm	Aluminium (Al)	max	0.01	ppm
Barium (Ba)	max	5.0	ppm	Plomb (Pb)	max	0.01	ppm
Bore (B)	max	0.05	ppm	Calcium (Ca)	max	0.05	ppm
Fer (Fe)	max	0.01	ppm	Potassium (K)	max	5.0	ppm
Cobalt (Co)	max	0.005	ppm	Cuivre (Cu)	max	0.01	ppm
Lithium (Li)	max	0.4	ppm	Magnésium (Mg)	max	0.05	ppm
Manganèse (Mn)	max	0.01	ppm	Sodium (Na)	max	5.0	ppm
Nickel (Ni)	max	0.01	ppm	Rubidium (Rb)	max	10.0	ppm
Strontium (Sr)	max	0.05	ppm	Thalium (Tl)	max	0.01	ppm
Zinc (Zn)	max	0.01	ppm				

Le reste est constitué essentiellement d'eau.



X 7 0 1 2 3 4 5 mm
a

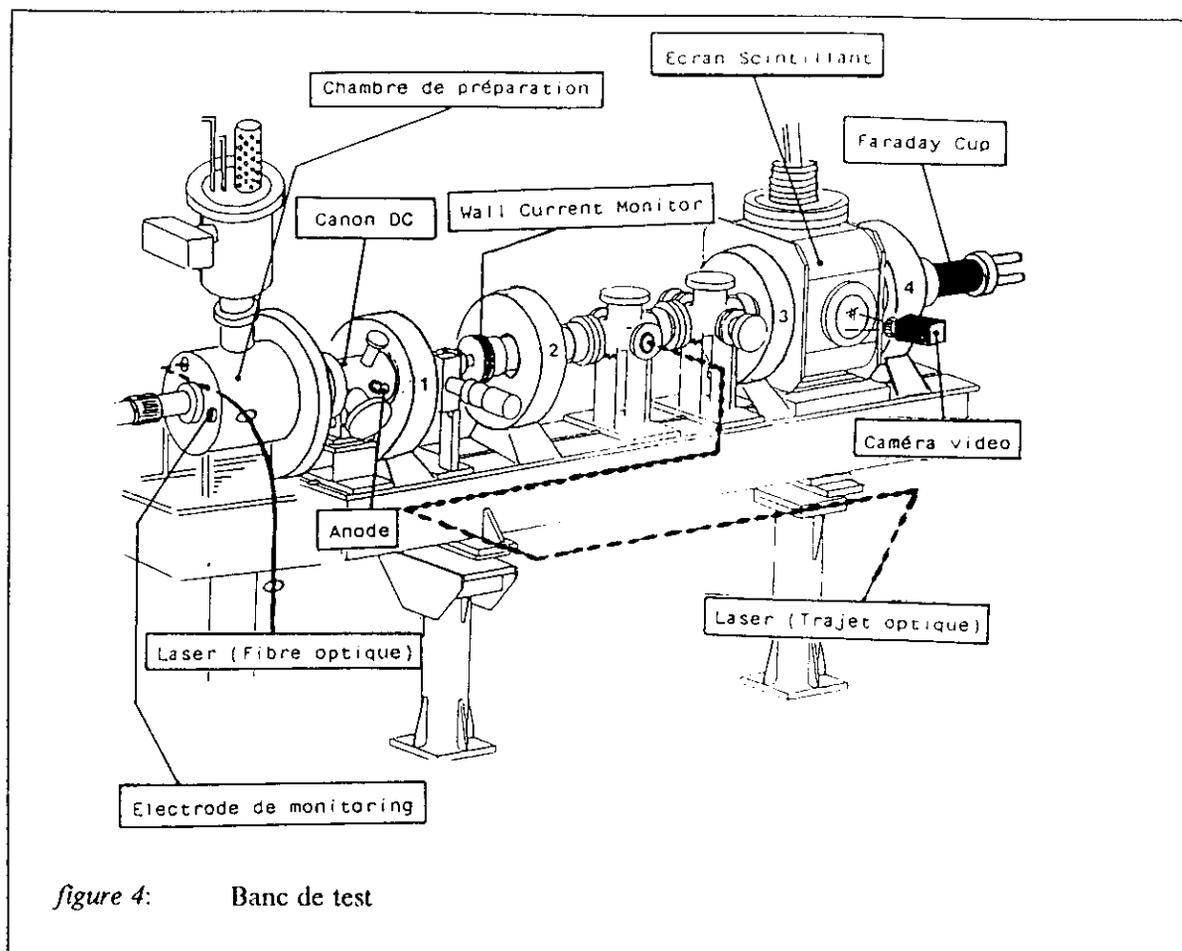


X 11 0 1 2 3 mm
b

figure 3: Dépôt de CsI sur deux cathodes pour CTI

5. Test des photocathodes

La figure 4 présente l'installation qui permet de tester les photocathodes. Les premiers essais avec une cathode en CsI ont été réalisés avec la quatrième harmonique d'un laser YAG (266 nm) et les résultats sont présentés dans la référence [2].



5.1 Conditions des tests

Ces cathodes n'étant pas fabriquées sur place, la chambre de préparation est désaccouplée du canon DC et la photocathode est directement installée dans le canon, sous un flux d'azote sec.

5.1.1 Paramètres des lasers

1. *Laser Nd:YAG*
 - taux de répétition : de 2.5 Hz à 10 Hz
 - largeur de l'impulsion à mi-hauteur: 6 ns
 - surface du faisceau : environ 0.4 cm²
 - $\lambda = 266 \text{ nm}$; $W \leq 1.2 \text{ mJ}$ sur la cathode

- $\lambda = 213 \text{ nm}$; $W \leq 0.028 \text{ mJ}$ sur la cathode
2. *Laser excimère XeCl*
- laser type Xénon-Chlore
 - taux de répétition : 2.5 Hz
 - largeur de l'impulsion à mi-hauteur : 15 ns
 - surface du faisceau : $0.1 \text{ cm}^2 \leq S \leq 0.6 \text{ cm}^2$
 - $\lambda = 308 \text{ nm}$; $W \leq 2 \text{ mJ}$ sur la cathode
3. *Laser excimère ArF*
- laser type Fluorure d'argon
 - taux de répétition 1 Hz
 - largeur de l'impulsion à mi-hauteur : 15 ns
 - surface du faisceau : 2.2 cm² réduite à : $0.78 \text{ mm}^2 \leq S \leq 28 \text{ mm}^2$
 - $\lambda = 193 \text{ nm}$
 - $W \leq 0.1 \text{ mJ}$ sur la cathode avec une partie du chemin optique sous azote sec
4. *Mesure de l'énergie*
- L'énergie de la lumière qui arrive sur la cathode est mesurée avec un joulemètre *Laser precision corp.* modèle RJ-7610 et une sonde pyro-électrique RJP-735.
- gamme d'énergie : 20 μJ à 1 J pleine échelle
 - surface sensible : 1 cm² avec une uniformité de $\pm 5\%$
 - largeur d'impulsion : < 1 ns à 1 ms
 - réponse spectrale : + 0.5%, - 4% de 0.25 à 16 μm
 - incertitude sur la calibration : $\pm 5\%$ de la lecture, $\pm 0.1\%$ de la gamme

Nota : Les spécifications du joulemètre que nous avons utilisées ne donnent la précision de la mesure ni pour 213 nm, ni pour 193 nm. Nous avons calibré la mesure de l'énergie, à 213nm contre un joulemètre *Molelectron* type J3 qui est spécifié jusqu'à 200 nm et un pyromètre *Gentec* modèle ED-200. Cependant l'étalonnage n'a pu être réalisé sur la gamme de mesure et nous avons donc supposé que la calibration restait valide sur toutes les gammes.

Une calibration par un laboratoire spécialisée sera réalisée pour ces deux longueurs d'onde.

5.1.2 Paramètres du canon à électrons

- tension d'accélération : de 70 kV à 80 kV continue
- distance anode-cathode : 10 mm
- $\gamma = 1.137$; $\beta = 0.476$ à 70 kV
- pervéance du canon : 0.6 $\mu\text{perv.}$ pour un faisceau de 4 mm de diamètre
- densité maximale de courant : 90 A/cm² à 70 kV
- temps de vol cathode-anode : 127 ps à 70 keV
- courant de noir : 2 μA à 70 kV
- pression dans l'enceinte : $\approx 5 \times 10^{-10}$ mbar sans haute-tension, de 5×10^{-9} à 2×10^{-8} mbar selon la valeur de la haute tension et la formation du canon.

5.1.3 Paramètres de la ligne de mesure :

- les courants dans les 4 solénoïdes sont ajustés pour permettre de transporter au moins 95% du faisceau jusqu'à la coupe de Faraday et pour I_{max} inférieur à 7 A

- le faisceau d'électrons est mesuré à la sortie du canon, à 310 mm de la cathode, avec un "Wall Current Monitor" dont la résistance de transfert est de $4.60 \times (1 \pm 0.05) \Omega$. La charge est mesurée en intégrant le signal du WCM avec une constante de temps de $0.594 \mu\text{s}$ [21]
- la charge est aussi mesurée à l'aide d'une coupe de Faraday décrite dans [22] qui présente une capacité de $94 \pm 2 \text{ pF}$ pour une impulsion de courant de 15 ns à mi-hauteur. Les mesures de charges réalisées avec le WCM ou la coupe de Faraday, se recourent à mieux que 5%.
- un écran scintillant permet un contrôle qualitatif de la focalisation du faisceau d'électrons.

5.2 Mesure de la charge en fonction de l'énergie du laser

Lorsque l'énergie du photon est inférieure à $E_g + E_a$, il ne devrait pas y avoir de photo-émission. On observe cependant une émission qui peut provenir soit de polluants inclus dans la photocathode (dans notre cas on peut avoir jusqu'à 0.5% d'impuretés dont 20 ppm de métaux alcalins à bas travail de sortie), soit d'un processus d'émission multiphotonique. Ce dernier phénomène est notamment rapporté dans les références [23] et [24] et a été étudié pour la photo-émission de surface dans les métaux. L'ordre multiphotonique est donné par $n = \text{partie entière de } \left(\frac{\phi_s}{h\nu} + 1 \right)$ avec $\phi_s =$ travail de sortie du métal et $h\nu$ énergie du photon. En photo-émission de *surface* la mesure de la pente de la charge émise en fonction de l'énergie du laser, représentée en coordonnées Log-Log, donne l'ordre n . La figure 5 à la page 10, montre la charge émise en fonction de l'énergie du laser à différentes longueurs d'onde pour des cathodes testées au laboratoire de Photo-émission, au CTF et au laboratoire "Brookhaven National Laboratory" [25].

Les caractéristiques des cathodes et les conditions de test des mesures rapportées sur la figure 5 à la page 10 sont résumées ci-dessous :

- BNL 266 nm** cathode de 800 nm de CsI sur un substrat de cuivre poli optiquement, éclairée par l'harmonique 4 d'un laser Nd:YAG, délivrant des impulsions de 20ps à mi-hauteur. La tension d'accélération était de 8 kV et le champ électrique de 8 MV/m [25].
- BNL 213 nm** même cathode éclairée par l'harmonique 5 du même laser. Une mesure par auto-corrélation du faisceau d'électrons a d'une part confirmé la non linéarité entre l'énergie du laser et la charge émise et d'autre part montré que la durée de l'impulsion d'électrons était environ la même que celle des photons. A partir de 2 nC on observe la saturation du canon [25].
- CTF 213 nm** cathode de 350 nm de CsI sur 100 nm d'Al sur un substrat de cuivre, éclairée par l'harmonique 5 d'un laser Nd:YAG, délivrant des impulsions de 6 ns à mi-hauteur. Elle était installée dans un canon RF 3 GHz, soumise à un champ RF de 73 MV/m. La mesure de la charge émise par la cathode a été calculée en considérant que seulement 113° de la phase RF sur les 360 produisaient la charge mesurée à environ 1 m après la sortie du canon [7]; ceci afin de comparer les résultats avec ceux obtenus dans les canons DC.
- Labo 213 nm** cathode de 350 nm de CsI sur 100 nm d'Al sur un substrat de cuivre, éclairée par la même source qu'au CTF. Elle est installée dans le canon DC et polarisée par -80 kV soit un champ électrique de 8 MV/m.
- Labo 193 nm** cathode de 700 nm de CsI sur 100 nm d'Al sur un substrat de cuivre, éclairée par un laser excimère ArF délivrant des impulsions de 15 ns à mi-hauteur et testée dans les mêmes conditions que ci-dessus. Une autre cathode faite avec 350 nm de CsI a

montré des caractéristiques analogues.

Labo 266 nm cathode de 350 nm de CsI sur 100nm d'Al, sur un substrat d'acier inox, éclairée par l'harmonique 4 d'un laser Nd:YAG, délivrant des impulsions de 6 ns à mi-hauteur. Elle était polarisée par -70 kV, soit un champ électrique de 7 MV/m.

Labo 308 nm même cathode que précédemment, testée dans les mêmes conditions, mais éclairée par un laser excimère XeCl, délivrant des impulsions de 15 ns à mi-hauteur.

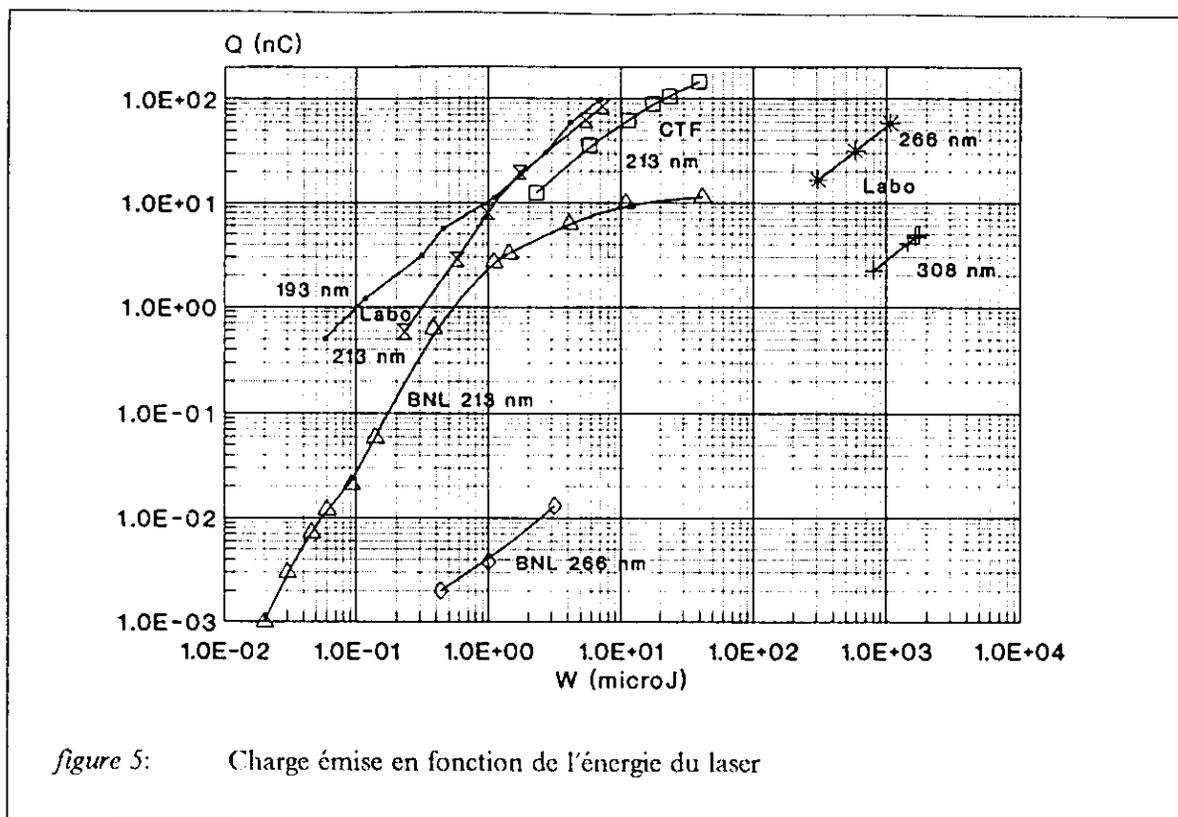


figure 5: Charge émise en fonction de l'énergie du laser

Ce graphique semble montrer que le comportement des cathodes isolantes, avec une photo-émission de volume, est plus complexe que le processus d'émission multiphotonique dans les métaux. En effet si l'on admet $E_a + E_g = 6.4$ eV (voir paragraphe 2.1); $n = 2$ pour $\lambda \geq 194$ nm, on devrait observer une pente de 2 à 266 et 308 nm; ce qui n'est pas le cas. De plus, à 213nm la mesure réalisée au laboratoire de Photo-émission, fait apparaître un changement de pente à partir de 15 nC, sans que l'on puisse l'imputer à une saturation du canon.

5.3 Mesure de l'efficacité quantique

La figure 6 à la page 11 représente la variation de l'efficacité quantique en fonction de l'énergie du laser. Pour une même énergie et à une même longueur d'onde, la dispersion d'une cathode à l'autre est d'environ $\pm 30\%$. Nous n'avons pas observé de variation plus importante de QE lorsque l'on passe d'un dépôt de CsI de 350 à 700 nm. Sur la courbe 5 (BNL - 213 nm), on remarque l'effet de la charge d'espace à partir de 2 nC extraits, soit une énergie du laser d'environ 1 μ J.

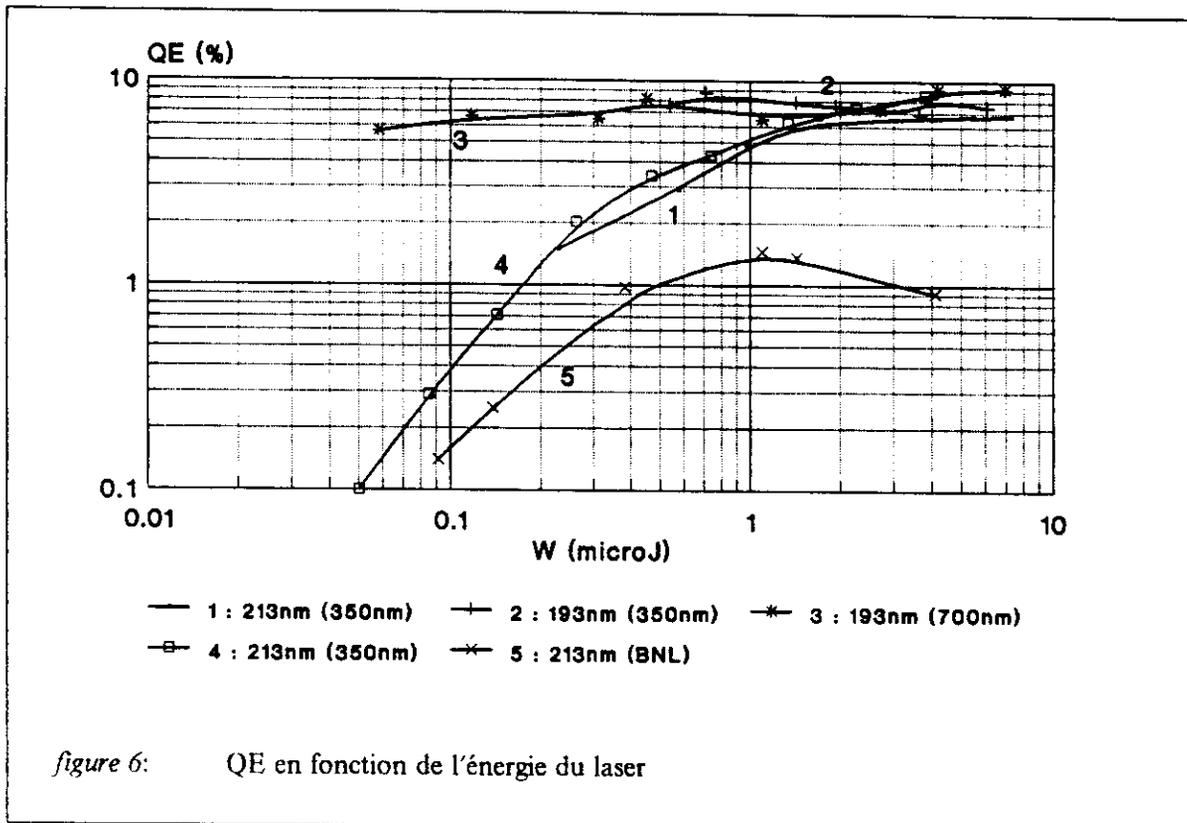
Nota : Les mesures d'énergies du laser à 193 et 213 nm ne sont pas calibrées.

$$QE = \frac{\text{Nombre electrons}}{\text{Nombre photons}}$$

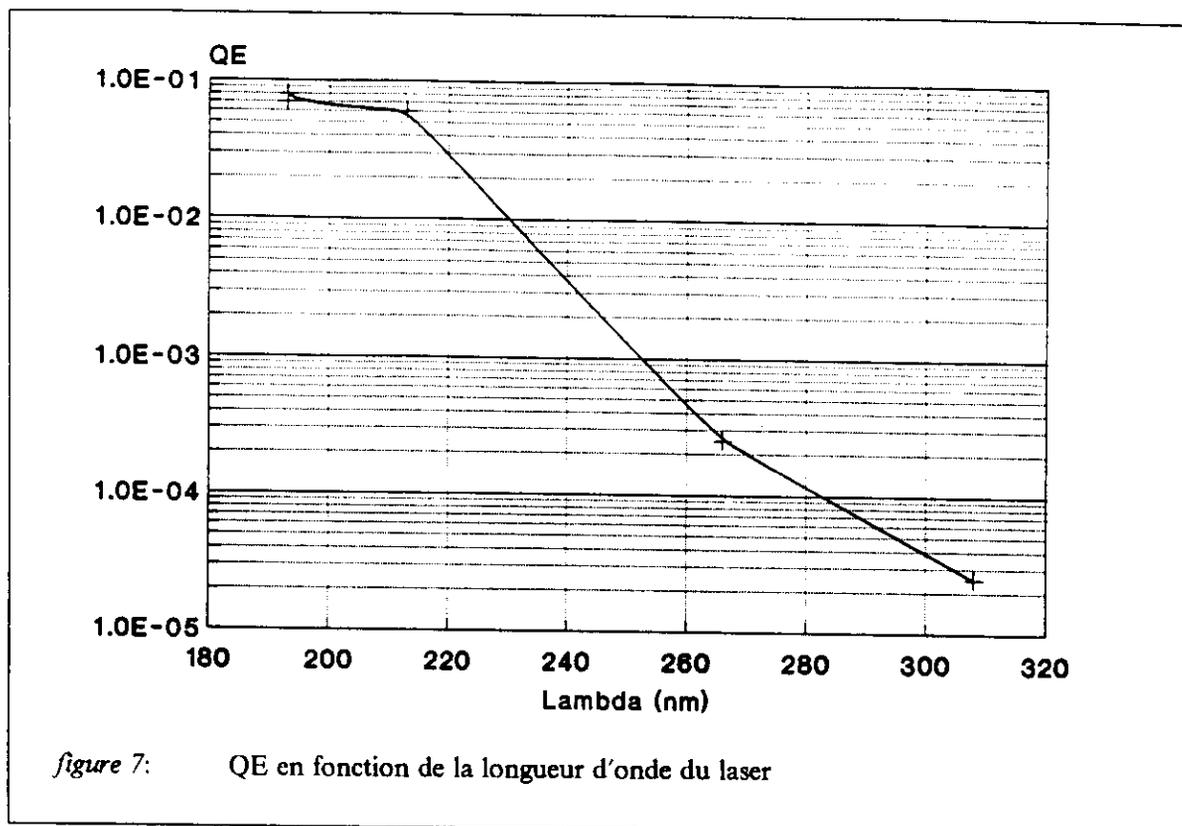
$$\text{Nombre electrons} = 6.25 \times 10^9 \times Q_{(nC)}$$

$$\text{Nombre photons} = 5 \times 10^9 \times W_{(\mu J)} \times \lambda_{(nm)}$$

$$QE [\%] = 125 \times \frac{Q_{(nC)}}{W_{(\mu J)} \times \lambda_{(nm)}}$$



La mesure de QE en fonction de la longueur d'onde a été réalisée à une énergie telle, qu'elle ne soit pas, ou peu, fonction de l'énergie du laser ($W \geq 2 \mu J$). La table 3 et la figure 7, à la page suivante, rapportent ces mesures.



On remarque que l'on ne gagne plus beaucoup en efficacité quantique en dessous de 213 nm.

table 3: Efficacité quantique en fonction de la longueur d'onde

λ (nm)	193	213	266	308
$h\nu$ (eV)	6.44	5.83	4.67	4.03
QE CsI	7.5×10^{-2}	6.0×10^{-2}	2.5×10^{-4}	2.5×10^{-5}

5.4 Effet de la polarisation de la lumière

Dans notre banc de test, la photocathode est éclairée sous une incidence quasi normale. Nous avons vérifié qu'une variation continue de la polarisation de la lumière de "p" à "s", à 213 nm, avec une lame à retard $\lambda/2$, n'introduisait pas de modification notable dans le comportement de la photocathode.

5.5 Mesure de la durée de vie

Pour la cathode No 15, testée au laboratoire, la mesure de la durée de vie a été réalisée à la charge maximale, sans saturation du canon, qu'il était possible d'amener jusqu'à la coupe de Faraday, soit $Q_{\max} = 150$ nC pour $\lambda = 213$ nm et un diamètre d'environ 6 mm du faisceau laser. Le champ électrique était de 8 MV/m et la pression d'environ 4×10^{-8} mbar.

Pour la cathode du CTF No 10, la mesure de la durée de vie a été réalisée lors du run No 4 [6]. La pression mesurée aussi près que possible de la cavité RF était de l'ordre de quelques 10^{-10} mbar, le champ électrique de 70 MV/m à une fréquence de 2998.54 MHz, pendant 2.5 μ s et 10 fois par seconde. La quantité de mouvement à la sortie du canon était $\beta = 3.43$ MeV/c, pour une charge maximale, estimée, de 36.5 nC.

On remarquera, sur la figure 8 à la page 14, la similitude de comportement de la photocathode, au laboratoire de photo-émission avec un champ électrique de 8 MV/m et au CTF avec un champ d'environ 70 MV/m.

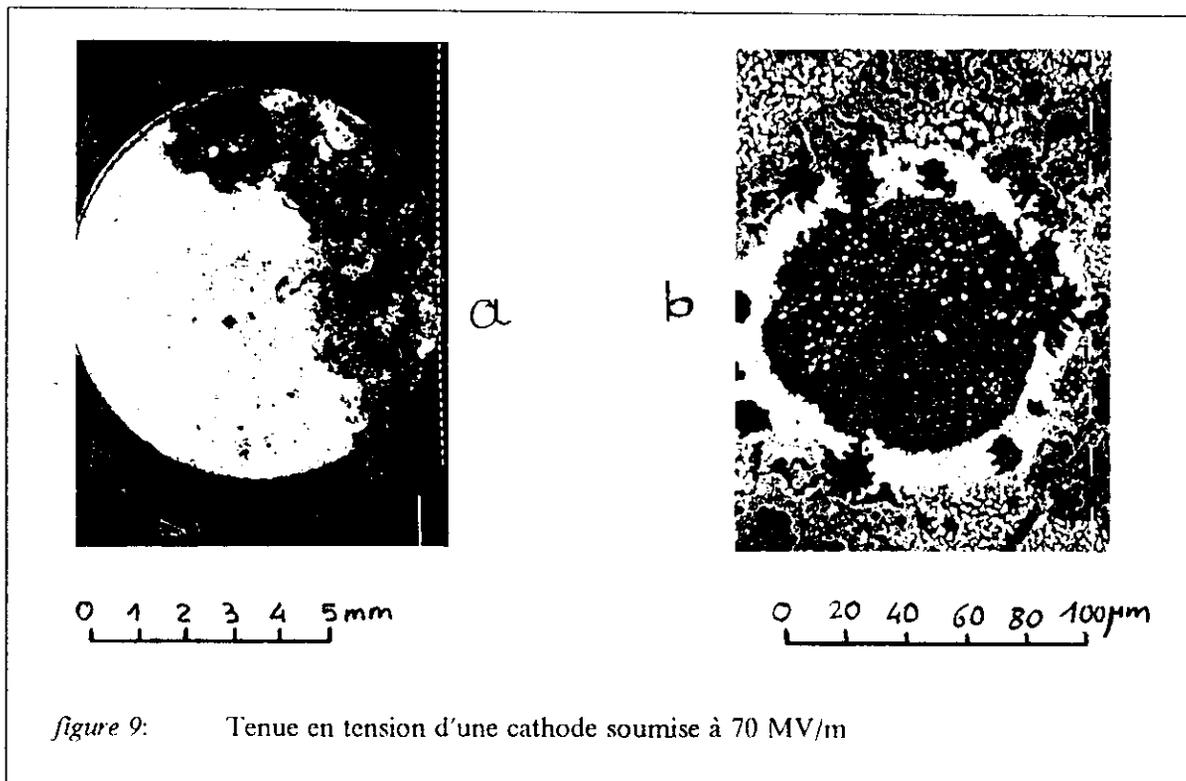
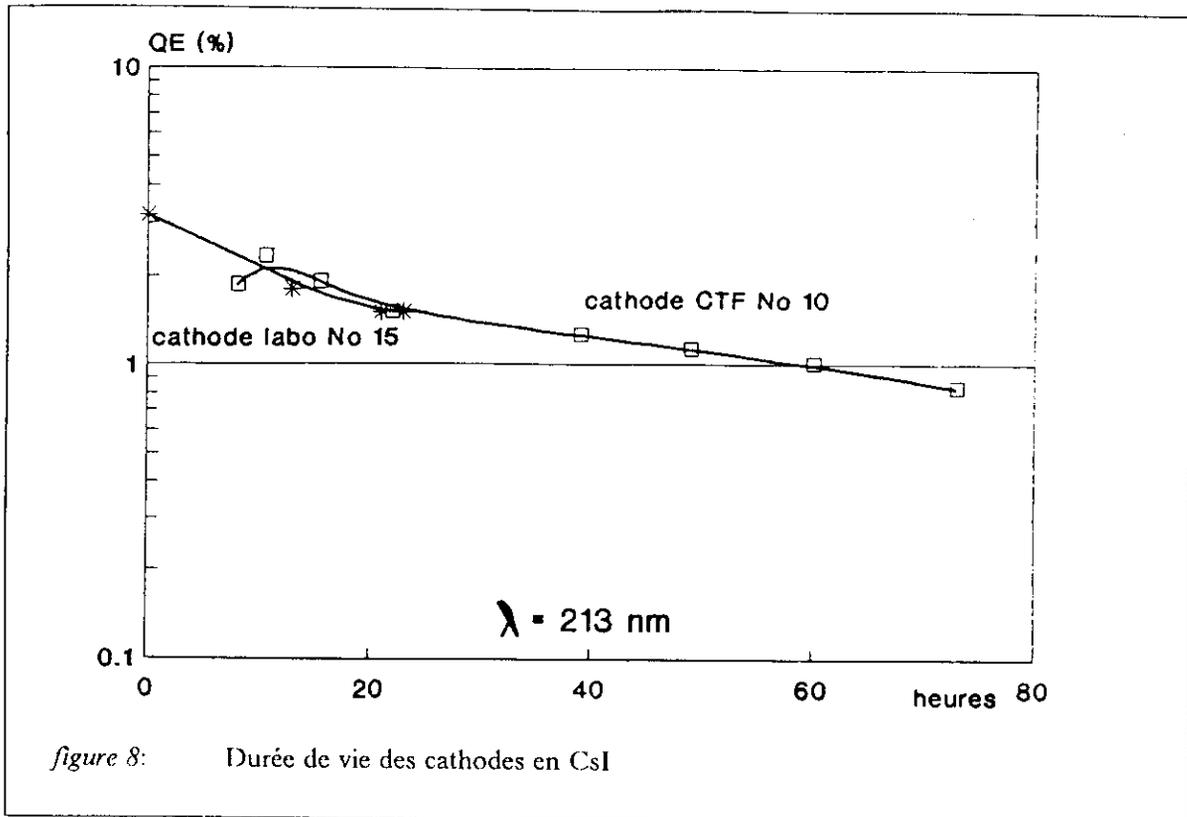
5.6 Résistance des cathodes aux champs électriques

Il a été montré que les champs électriques élevés, jusqu'à une dizaine de MV/m, améliorent l'efficacité de la photocathode [15], [16]. Par exemple J.A. Cochrane et R.F. Thumwood ont mesuré une augmentation de QE d'un facteur 3 avec un champ électrique de 7.2 MV/m, sur une cathode S-20 à 900 nm. Par contre C.I. Coleman n'obtient qu'une amélioration de 20 à 30% avec une cathode en Cs₂Te dans un champ de 3.85 MV/m à 200nm. Tous les auteurs rapportent une très bonne tenue des couches jusqu'à des champs de l'ordre de 10 MV/m. Au delà on ne peut prédire l'effet des champs intenses, en particulier sur la durée de vie.

Nous avons confirmé cette bonne tenue des couches de CsI pour des épaisseurs de 350 nm déposées sur 100 nm d'Al. Ces cathodes ont supporté des champs électriques continus de 9 MV/m. La plupart des claquages sont intervenus lors de la formation du canon. Lorsqu'il a été possible d'introduire la cathode sous vide (à partir de la chambre de préparation), après formation du canon, nous n'avons plus observé de claquages et de détériorations des couches. Par contre, la couche de 700 nm n'a pas montré la même résistance, après quelques heures de fonctionnement, nous avons observé des claquages à 80 kV, puis un très important courant d'obscurité tel qu'il a fallu démonter et nettoyer le canon. La photocathode n'a pas été détruite pour autant, après remontage elle a présenté les mêmes caractéristiques, mais toujours avec de nombreux claquages à partir de 80 kV.

Au CTF, on ne peut, pour l'instant, introduire la photocathode sous vide. Celle-ci est donc en place pendant la formation RF et subit des claquages que l'on peut voir sur la figure 9a à la page 14. Sur la figure 9b on reconnaît un cratère creusé par un amorçage, sa profondeur est de l'ordre du micron. L'analyse AUGER a montré que la partie sombre était constituée de cuivre et d'aluminium, tandis que la couronne blanche se composait d'iodure de césium. Les cathodes utilisées ont supporté des champs électriques RF jusqu'à 73 MV/m.

Après 75 heures de fonctionnement, un essai d'augmentation du champ électrique a produit de nombreux claquages, une destruction partielle de la couche de CsI (voir figure 9b), mais aussi une augmentation de l'efficacité quantique ! On trouvera dans la référence [6] la description complète des mesures réalisées.



6. Conclusion

Malgré leur haut seuil de photo-émission, les photocathodes en iodure de césium présentent des propriétés très intéressantes pour nos applications à impulsions courtes et fort courant. Il reste encore à vérifier la tenue à un champ radio-fréquence de 100 MV/m et à extraire des courants de l'ordre du kA. Nous avons cependant constaté que la photo-émission de volume dans un isolant ne se comportait pas comme la photo-émission des surfaces métalliques et il reste donc à vérifier que le temps de relaxation nécessaire pour produire et extraire les électrons de la cathode reste petit devant les 7 ps de durée de l'impulsion du futur synchro-laser.

Enfin, si ces cathodes sont de construction aisée, transportables à l'air libre et très robustes elles obligent, malheureusement, à travailler dans une région de l'ultra-violet où il est difficile d'obtenir une optique adaptée à nos besoins et une bonne stabilité de l'énergie contenue dans l'impulsion du laser.

7. Remerciements

Je souhaiterais plus particulièrement remercier MM T. Tsang (BNL) pour la communication de son expérience avec des cathodes en CsI et son aimable autorisation d'utiliser ses résultats; A. Braem et D. Carminati pour la fabrication des cathodes et leur collaboration dans nos travaux, M. Würgeï pour l'installation et l'opération des équipements; J. Durand pour la réalisation de l'électronique et des capteurs d'électrons; E. Chevally pour la partie logiciel; K. Geissler et S. Hutchins pour les lasers ainsi que l'optique qui leur est associée; JHB. Madsen pour les études des photocathodes dans le CTF.

Références

1. Y. Baconnier et al. *The CERN Linear Collider Test Facility CLIC Note 119 – CERN/PS 90-55 (I.P) September 1990*
2. Y. Baconnier et al. *CLIC STUDIES – The DC test bench for laser driven photo-emissive cathodes CLIC Note 116 – CERN/PS 90-24 (LP) August 1990*
3. A.H. Sommer, *UV sensitive photoemitters*, RCA Review, mars 1977
4. JHB. Madsen, *Notes on Run 2 – 1991 in the CTF (31/05 – 11/06)*, PS/LP Note 91-34 du 7 Août 1991
5. JHB. Madsen, *Summary notes of the CLIC meeting 4–9–91*, PS–I.P–Min. 91-50, 11 septembre 1990
6. JHB. Madsen, *Notes on run 4 – 1991 in CTF (25 oct. – 8 nov.)*, PS/LP Note 91-45, 21/11/91
7. JHB. Madsen, *Notes on run 5 – 1991 in CTF (6 – 20 dec)*, PS/LP Note 92-1, 08/01/92
8. A.H. Sommer, *Photoemissive materials*, R.E. Krieger Publishing Company Huntington New York; éditions réactualisée de 1980
9. C. Ghosh, *Photoemissive materials*, Physics of thin films vol. 12, Academic Press, 1982
10. P.J. Vernier, *Review on photoemission*, Proceeding of the Bendor Workshop, Short Pulse High Current Cathodes, June 1990, Editions Frontières
11. E.A. Taft and H.R. Philipp, *Photoelectric emission from the valence band of some alkali halides*, J. Phys. Chem. Solids, vol. 3 p1 (1957)
15. C.I. Coleman, *Imaging detectors for the ultraviolet*, Appl. Optics, vol. 20 No 21 novembre 1977
12. C. Martin and S. Bowyer, *Quantum efficiency of opaque CsI photocathodes with channel electron multiplier arrays in the extreme and far ultraviolet*, App. Optics vol. 21 No 23 décembre 1982
13. G.R. Carruthers, *Mesh-based semitransparent photocathodes*, Applied Optics vol 14 No 7, July 1975
14. J. Séguinot et al., *Reflective UV photocathodes with gas-phase electron extraction : solid, liquid and adsorbed thin films*, Nucl. Instr. and Meth. in Physics Research A297 (1990) pp 133–147
16. J.A. Cochrane and R.F. Thumwood, *The effects of high electric fields on photocathodes*, English Electric Valve Co Ltd, Chelmsford, Essex
17. D. Carminati, A. Braem, *Procédure de fabrication des photocathodes en iodure de césium PPE/TA1-TFG Note 91-2*, 30 octobre 1991
18. BDII, *Crystran, monocrystal for optics*, BDII Advanced Materials Division, January 1990
19. M. Kobayashi & S. Sukuragi, *Radiation damage in CsI(Tl)*, NIM A254, 275 – 1987
20. BDII, *Scintillation, crystals and detectors*, BDII Advanced Materials Division, March 1990
21. J. Durand, *Utilisation du Wall Current Monitor au Laboratoire de Photoémission PS-I.P.*, PS/LP Note 91-10, Février 1991
22. Y. Pellégrina, *Coupe de Faraday*, PS/LP Note 89-20, Août 1989
23. Cs. Toth and al. *High brightness electron beam production by laser induced various order multi-photon photoeffect of gold*, Proceedings of the Bendor Workshop Short pulse high current cathodes, June 18-22, 1990 éditions Frontières France
24. T. Tsang and al. *Photoemission using femtosecond laser pulses*, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973
25. T. Tsang, *Communication privée du 10 juillet 1991*, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973