



Les développements sur les détecteurs RICH

Pierre Besson, Philippe Bourgeois

*DAPNIA/SED
91191 Gif/Yvette Cedex*

1. Rappel historique et principe du RICH :

Les photomultiplicateurs ont été utilisés pendant de nombreuses années pour la détection du rayonnement Cherenkov. Il s'agissait d'identifier les particules en choisissant l'indice du milieu radiateur, c'est à dire le seuil en énergie (pour une particule donnée) au-dessus duquel on a émission de lumière Cherenkov [1]. En 1976, J. Séguinot et T. Ypsilantis ont proposé pour la première fois d'utiliser un détecteur gazeux afin de réaliser l'imagerie de l'anneau Cherenkov : le principe du RICH (Ring Imaging Cherenkov) était né [2].

Sur la figure 1 est représenté un type de fonctionnement du RICH où le détecteur gazeux est une chambre proportionnelle multifils (RICH dit rapide). Les photons sont émis dans un radiateur, gazeux, liquide ou solide et sont convertis en électrons par effet photoélectrique grâce à une vapeur photosensible mélangée au gaz multiplicateur (ou porteur) de la chambre à fils (méthane, isobutane..).

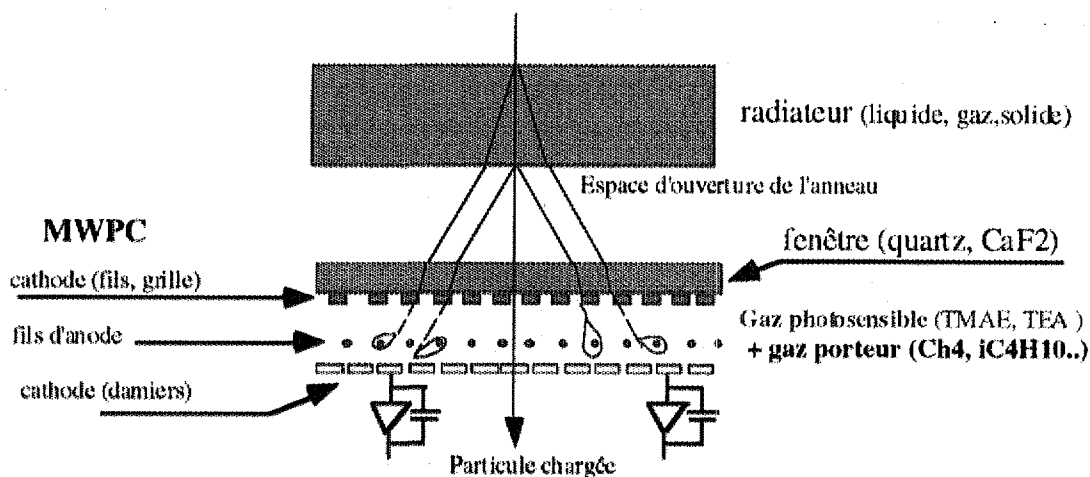


Fig. 1 : Principe du RICH rapide avec un gaz photosensible

Les photoélectrons ainsi produits dérivent vers les fils d'anode où ils sont multipliés avec un gain typique de 10^5 . La lecture électronique des cathodes (damiers) permet une localisation des photons incidents et donc une reconstruction du rayon de l'anneau. L'angle Cherenkov associé est déduit et on atteint la valeur β pour la particule incidente. Connaissant par ailleurs l'impulsion de la particule, on peut calculer sa masse et donc l'identifier.

Les avantages d'un détecteur gazeux par rapport aux photomultiplicateurs sont nombreux comme la possibilité de couvrir une large surface de détection pour un coût moindre ou encore l'insensibilité au champ magnétique. La faisabilité d'un RICH nécessite toutefois l'existence de vapeurs photosensibles avec une efficacité quantique élevée et utilisables facilement dans l'environnement d'un détecteur de physique.

2. Les vapeurs photosensibles connues.

Les deux vapeurs photosensibles les plus connues sont le TMAE (Tetrakis diméthyle amino-éthylène) et le TEA (Triéthyle-amine). Les deux vapeurs sont photosensibles dans le domaine Ultra Violet (cf fig.2), ce qui est favorable puisque le rayonnement Cherenkov est d'autant plus intense que la longueur d'onde est faible.

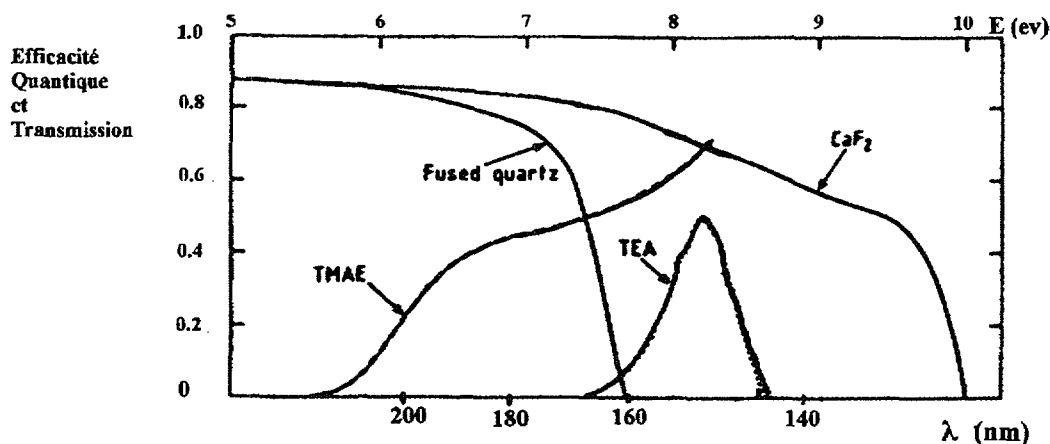


Fig.2 Efficacité Quantique du TEA et du TMAE et transmission des matériaux utilisés comme fenêtre d'entrée.

En contre partie, les fenêtres d'entrées du détecteur doivent être transparentes et on utilise en général du quartz avec le TMAE et un matériau aussi fragile que le CaF₂ (Fluorure de Calcium) avec le TEA. Le TEA et le TMAE sont liquides à 25° C. La pression de vapeur saturante du TEA est élevée, ce qui permet un fonctionnement à température ambiante. En revanche celle du TMAE est faible ce qui oblige à chauffer l'ensemble du détecteur (en général vers 50° C). La réactivité chimique du TMAE avec la plupart des matériaux, constitue également un inconvénient majeur à l'utilisation de cette vapeur. Néanmoins, des détecteurs de grandes surfaces ont été réalisés aussi bien en utilisant le TMAE que le TEA.

Le RICH de DELPHI au CERN [3] et de SLD à SLAC [4] sont aujourd'hui toujours en fonctionnement. Des RICH sont aussi construits pour des applications en astrophysique et sont envoyés dans l'espace [5].

3. Des vapeurs photosensibles aux photocathodes solides.

En 1991, un groupe du CERN [6] a proposé de remplacer le gaz photosensible à l'intérieur de la chambre par une photocathode solide (cf fig.3).

L'efficacité quantique d'une photocathode en CsI (Iodure de Cesium) a été mesurée et estimée à 32 % à 190 nm dans du méthane pur à la pression atmosphérique. Ce résultat était assez inattendu puisque les photocathodes des photomultiplicateurs ne peuvent être efficaces que dans un vide poussé. Dès que ce vide se détériore, les photocathodes se détruisent systématiquement. Outre l'efficacité quantique supérieure même à celle du TMAE, l'intérêt d'une photocathode solide est double: Les photoélectrons sont tous émis dans un même plan et donc tous émis au même instant (pas de fluctuation en temps). L'erreur de parallaxe de localisation des photons Cherenkov est aussi éliminée. La mise en oeuvre d'un détecteur avec une photocathode est enfin attrayante car la fenêtre d'entrée du détecteur peut être supprimée ainsi que le chauffage du détecteur.

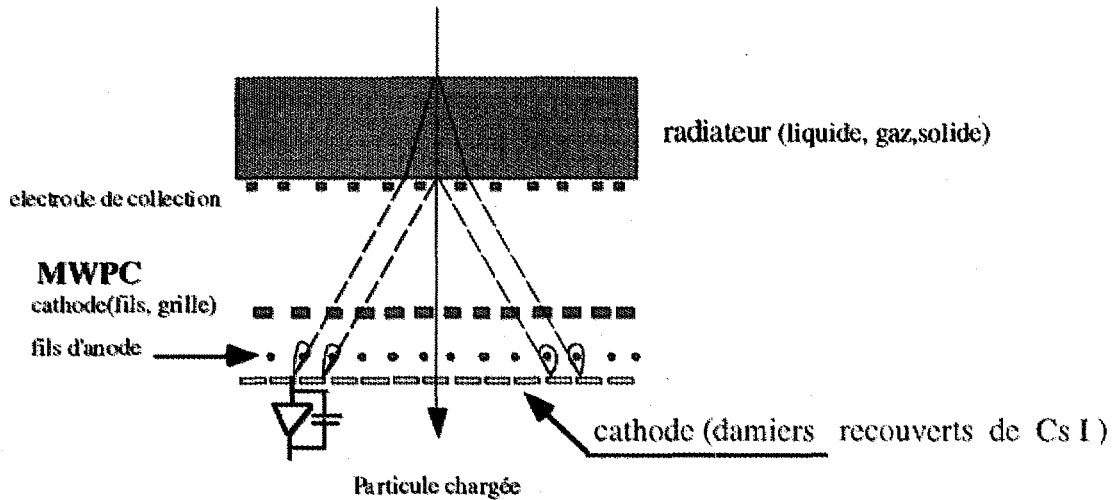


Fig 3 : Principe du RICH rapide avec une photocathode solide.

A Saclay, nous avons donc essayé de reproduire le résultat du CERN ainsi que de nombreux autres laboratoires [7]. Très vite, les résultats publiés sur la valeur de l'efficacité quantique ont montré une divergence importante d'un laboratoire à l'autre, pouvant aller jusqu'à un facteur 3. La difficulté de telles mesures réside dans leur caractère absolu et dans la fiabilité des étalons (photomultiplicateurs ou photodiodes). Notre approche a été d'abord de mesurer cette efficacité quantique avec une illumination par lampe UV [8]. La mesure que nous avons obtenue pour une photocathode déposée sur un substrat de mylar aluminisé est montrée fig.4 (cercles) : on a typiquement 10% à 190 nm.

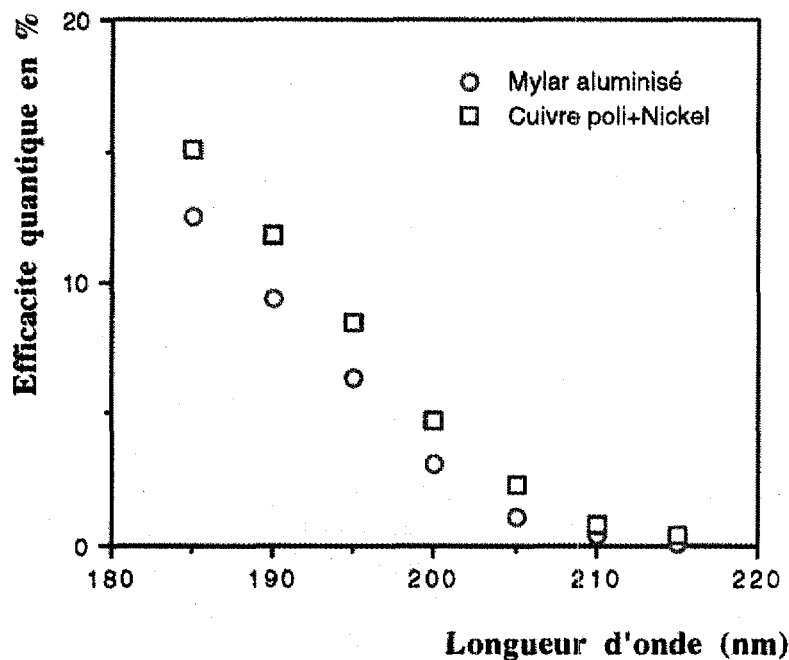


Fig 4: Efficacité quantique de photocathodes CsI (500 nm d'épaisseur) sur deux substrats différents.

Ce résultat est nettement plus faible que la valeur initiale mesurée au CERN mais est néanmoins aujourd'hui en accord avec une majorité d'autres laboratoires. Ce résultat était par ailleurs suffisant pour envisager la construction d'un prototype de RICH afin de réaliser l'imagerie d'anneaux Cherenkov au cours de tests en faisceau à Saturne. Le second élément est la stabilité de l'efficacité quantique dans le temps (cf fig.5) qui ne montre aucune dégradation sur une période de 8 mois.

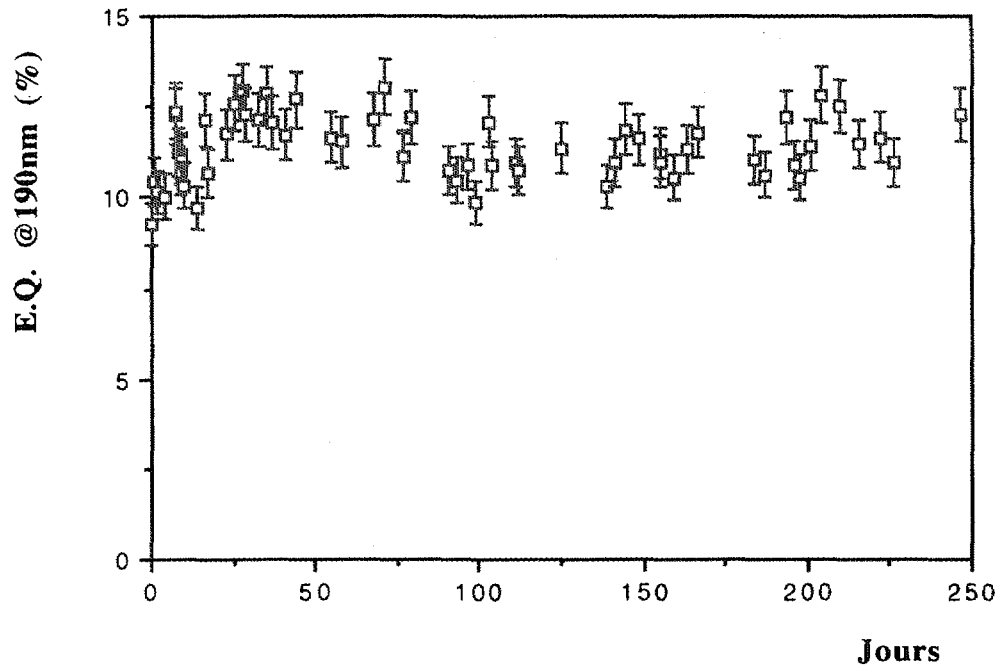


Fig. 5: Etude de vieillissement d'une photocathode évaporée sur un substrat de circuit imprimé nickelé.

4. Le prototype de RICH construit à Saclay :

Cette étude a été menée dans le cadre de l'expérience BaBar à SLAC pour laquelle l'objectif est de séparer Pions/Kaons jusqu'à 4 GeV/c. Dans cette gamme d'énergie, on utilise un radiateur liquide (moins chromatique qu'un solide) et la résolution angulaire mesurée doit être excellente (de l'ordre de 7 mrad par photon Cherenkov).

Le prototype a été construit en utilisant la technique développée au CERN dans le cadre de la collaboration RD26 (cf fig.6). Le radiateur Cherenkov est constitué d'une cellule de Fréon liquide (C_6F_{14}) scellée. La couche mince de CsI est déposée par évaporation sous vide sur un plan de damiers ($8 \times 8 \text{ mm}^2$) réalisés en circuit imprimé dont la surface est cuivrée. La lecture des damiers est réalisée grâce à une électronique analogique multiplexée (Amplex).

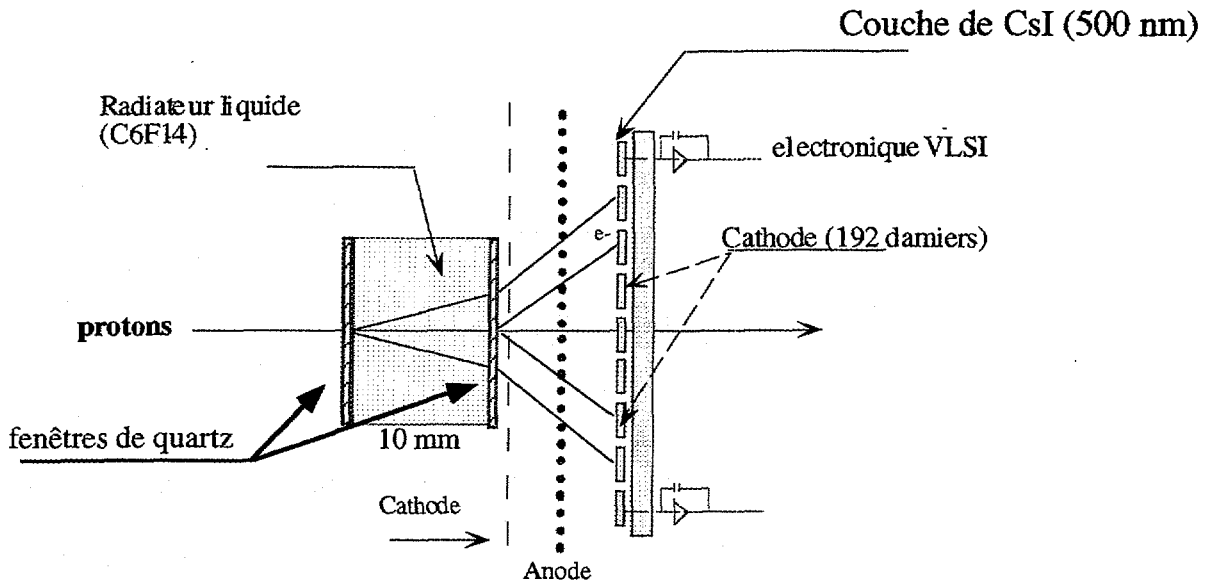


Fig. 6: Prototypé de RICH construit à Saclay.

Le premier *anneau* observé à *Saturne* est montré fig.7 (il s'agit évidemment d'une superposition d'événements !) [9].

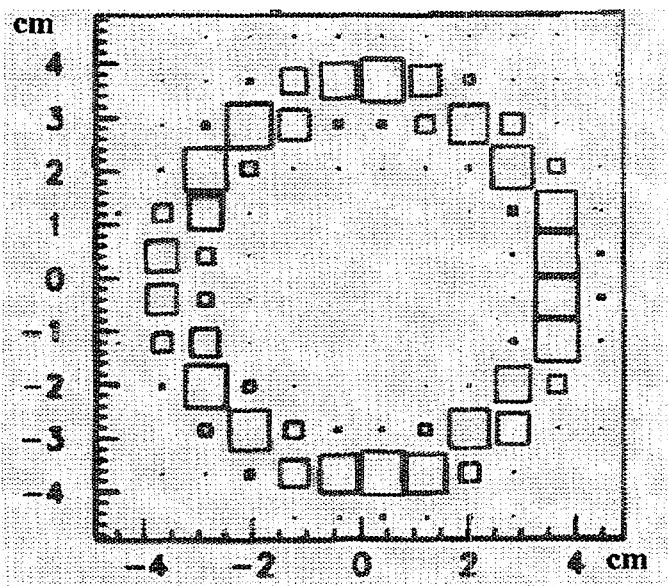


Fig.7: Anneau Cherenkov détecté avec des particules à incidence nulle (plusieurs milliers d'événements superposés). Le centre de chaque carré matérialise le centre de chaque damier du plan de cathode ; la surface du carré est proportionnelle à l'amplitude détectée.

Le nombre de photoélectrons détectés par événement est en fait le paramètre crucial qui permettra de reconstituer sans ambiguïté l'anneau. Ce nombre de photoélectrons n'a jamais été supérieur à 10 pour des particules à $\beta=1$ à incidence nulle alors que la simulation Monte-Carlo basée sur l'efficacité quantique mesurée avec la lampe UV (cf fig.4 cercles) prédisait plutôt 16 à 17 photoélectrons [9]. La différence a été comprise grâce à des photographies prises au microscope électronique à balayage (cf fig 8.a et 8.b). Lorsque le CsI est déposé sur un substrat lisse en surface (tel que le mylar aluminisé) les grains de CsI ont une taille homogène de l'ordre du micron et l'efficacité quantique est élevée (typiquement 10 % à 190 nm). Sur un substrat qui présente des rayures ou des aspérités en surface (tel que le cuivre du circuit imprimé), les grains sont plus petits et l'efficacité quantique est plus faible (typiquement 5 % à 190 nm). Malheureusement la réalisation de plans de damiers nécessite une technique de gravure qui n'existe actuellement que sur des substrats de circuit imprimé. Le défi technologique consiste donc maintenant à construire des circuits imprimés en cuivre avec un état de surface parfait. Ceci a déjà été réalisé par polissage chimique du cuivre et recouvrement par une couche de nickel. Les premiers résultats ont montré une efficacité quantique satisfaisante avec la mesure lampe à Saclay (cf fig.4 carrés). Un test en faisceau a également été réalisé au CERN sur un RICH de $30 \times 30 \text{ cm}^2$, ce test a montré que l'on détectait 14 photoélectrons par anneau [10].

Ce résultat, certes très encourageant, est survenu trop tardivement pour le détecteur d'identification de particules de BaBar et une autre technologie que le RICH a été finalement choisie [11].

La technique du RICH avec une photocathode solide sera néanmoins utilisée pour l'expérience ALICE (expérience d'ions lourds auprès du LHC) [12], pour l'expérience HADES à GSI et éventuellement pour l'expérience HERA B à Hambourg où le choix entre le TMAE et le CsI est imminent [13].

5. Conclusions :

La technique du RICH a connu ces dernières années des progrès importants tant du point de vue du fonctionnement des grands détecteurs que dans le domaine des recherches et développement (en particulier sur les photocathodes solides). Il ne reste pas moins que cette technique souffre d'une réputation souvent négative car considérée trop compliquée ou trop risquée à mettre en oeuvre dans l'environnement d'un détecteur de physique. Les performances aujourd'hui atteintes en laboratoire sur les photocathodes CsI évaporées sur un substrat adéquat nous conduisent cependant à penser que le RICH sera un détecteur très performant et souvent utilisé dans les futures expériences de Physique ou d'Astrophysique.

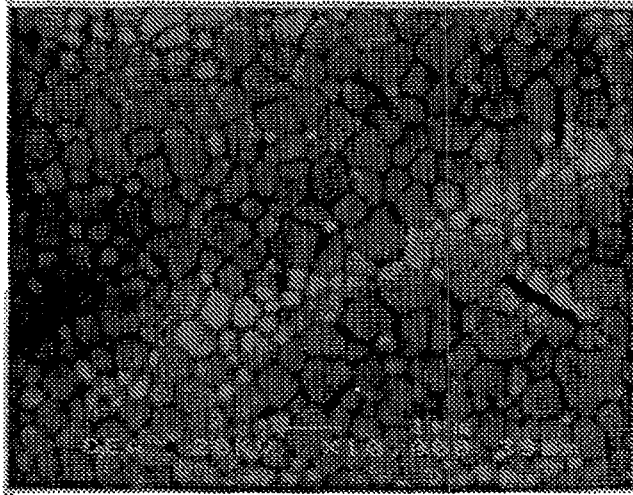


Fig. 8.a: Photographie au microscope électronique à balayage d'une photocathode CsI (500 nm) évaporée sur un substrat lisse (mylar aluminisé)

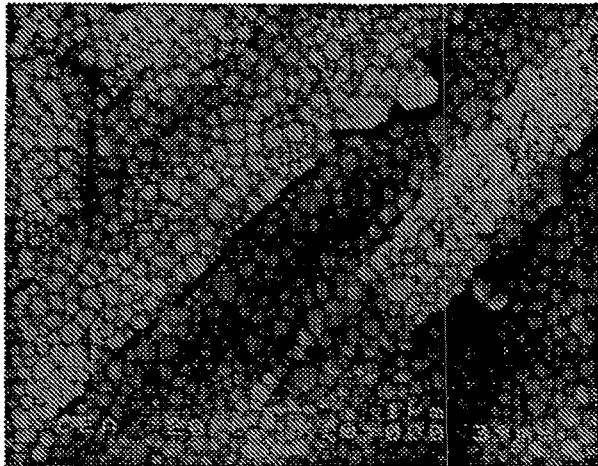


Fig. 8.b: Photographie au microscope électronique à balayage d'une photocathode CsI (500 nm) évaporée

Références:

[1] Voir par exemple:

I.A. Getting, Phys Rev.71 (1947) 123

J.V Jelley, Proc. Phys. Soc. A64 (1951) 82

R.L Mather, Phys Rev. 84 (1951) 181

[2] J. Séguinot and T. Ypsilantis, Nucl. Instrum. Methods 142 (1977) 377

[3] W. Adam et al, Nucl. Instrum. Methods A367 (1995) 233

[4] K. Abe et al, Nucl. Instrum. Methods A343 (1994) 74

[5] "performance of the CAPRICE RICH detector during the 1994 balloon flight", M. Suffert et al, submitted to Nuclear Instruments and Methods.

[6] J. Seguinot et al., Nucl. Instr.and.Meth. A297 (1990) 133.

[7] Voir par exemple:

A. Breskin et al., Nucl. Instr.and.Meth. A310 (1991) 57.

S. Kwan et al., preprint Fermilab Pub 91:98 May 1991.

B. Hoeneisen et al., Nucl. Instr.and.Meth. A302 (1991) 447.

[8] R.Aleksan et al, Nucl. Instrum. Methods A340 (1994) 293

[9] Thèse A. Amadon, Université Paris Sud, Juin 95,

" Etude de faisabilité d'un détecteur Fast Rich proposé pour l'identification des particules à l'usine à B de SLAC.

[10] F. Piuz et al, Nucl. Instrum. Methods A367 (1995) 332.

[11] P. Coyle et al, Nucl. Instrum. Methods A343 (1994) 292

[12] A. Di Mauro et al, Nucl. Instrum. Methods A343 (1994) 322

[13] P. Krizan et al, Nucl. Instrum. Methods A367 (1995) 257