

# Développement d'un module de détection xénon liquide dédié à la Tomographie à Emission de Positons pour l'imagerie haute résolution sur petit animal

April 5, 2001

## 1 Programme d'étude :

### 1.1 Objectifs

Ce programme, dont la durée totale serait approximativement de 2 ans, devra déboucher in fine sur

- la construction d'un prototype de petite taille intégrant les fonctionnalités du tomographe final,
- la conception d'un instrument final,
- l'étude d'une solution industrielle de la partie cryogénique de l'instrument.

Ceci implique

- la définition des exigences du corps médical,
- un important travail de simulation des performances instrumentales pouvant être atteintes,
- la caractérisation et la validation des composants mécaniques, optiques et électroniques envisageables,
- des tests permettant de contrôler les prévisions des simulations.

### 1.2 Phase de R&D:

#### 1.2.1 Station de xénon liquide

En partenariat avec la Division des Techniques Avancées d'Air Liquide , l'ISN s'est doté d'une installation de test à xénon liquide (financée par une dotation de la région Rhône-Alpes) qui comprend:

- un cryostat de 80 l, conçu et réalisé à l'ISN,
- une station de cryogénie, conçue et fournie par Air Liquide selon un cahier des charges établi par l'ISN. Cet équipement a pu être acquis grâce à des crédits accordés par la région Rhône-Alpes.

Cette installation a été testée dans un premier temps avec du krypton, nettement moins cher que le xénon, et dans des conditions plus contraignantes, à cause de sa plus basse température d'évaporation (120K au lieu de 165K). Le krypton liquide a pu être transféré du compresseur au cryostat et maintenu à la température désirée pendant quelques heures comme prévu. Le pilotage automatique de la station sera mis en oeuvre dans le mois qui vient.



Figure 1: Station de cryogénie xénon liquide

### 1.2.2 Banc de test de la photonique UV:

L'ISN a acquis une source UV pulsée, filtrée autour de 180 nm pour simuler l'émission UV du xénon. Une optique appropriée permet d'injecter les UV dans une boîte noire (ou dans le cryostat pour les tests à froid), qui contient les détecteurs, par l'intermédiaire d'une fibre optique (quartz). Un système micrométrique permet de balayer précisément la surface des détecteurs. Deux types de détecteur doivent être testés et caractérisés: les photomultiplicateurs (PM) et les photodiodes à avalanche (APD), tous deux présentant une structure telle qu'ils permettent de déterminer la localisation du point d'émission des photons UV. On parle de détecteurs à localisation.

Un PM à anodes croisées et fenêtre en quartz ( $22 \times 22 \text{mm}^2$ ) pouvant fonctionner à basse température (HAMAMATSU R5900-00-C12) [?] a été testé à température ambiante et à 180 nm, afin de déterminer précisément sa résolution spatiale (en X et Y). L'excellent résultat de ce test,  $\text{FWHM} = 0,25 \text{mm}$ , ne peut être que confirmé à basse température, ce qui est prévu pour début avril. Le même type de mesure devra être effectué avec une APD. Pour l'instant, on peut donc dire que ce PM convient pour l'application qui lui est demandée. La solution APD, bien que sans doute plus onéreuse, doit cependant être explorée car elle présente des avantages, en particulier le fait que leur fenêtre d'entrée est sans épaisseur et qu'elles peuvent être noyées directement dans le liquide, d'où une meilleure efficacité.

### 1.2.3 Construction d'un module prototype à xénon liquide

Le TEP prototype de petite taille, qui pourrait être un microTEP destiné à l'observation des petits animaux, sera constitué de 16 modules identiques. Un tel module, de petite taille,

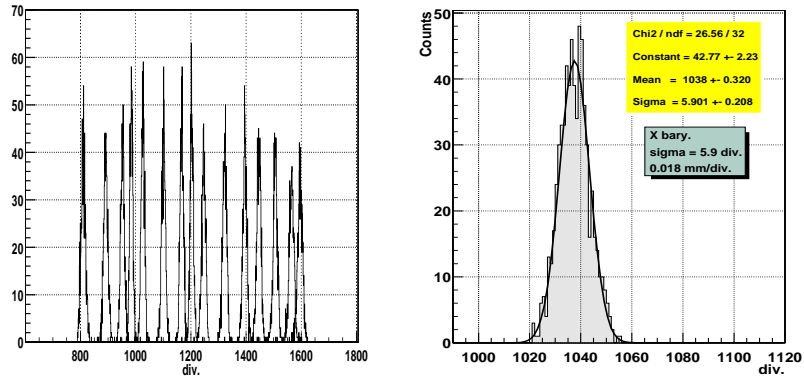


Figure 2: Photomultiplicateur: Séparation des pics de résolution pour un déplacement de la source mm par mm (en X) et résolution sur un pic :  $r_{fwhm} = 0.25mm$

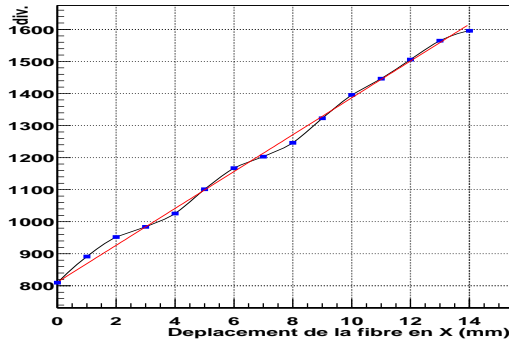


Figure 3: Photomultiplicateur: Evaluation de la linéarité sur la localisation. La variation sur la localisation peut aller jusqu'à  $r_1 = 0.35mm$ . Résolution totale :  $r_1 \oplus r_{fwhm} = 0.43mm$

peut être fabriqué suivant le type de détecteur qui lui sera associé. Par exemple, pour le photomultiplicateur décrit plus haut, la section utile serait de  $20 \times 20 \text{ mm}^2$ , et sa longueur de 50 mm. La localisation transversale, c'est-à-dire, coordonnées x et y, serait assurée par une partition en  $10 \times 10$  cellules élémentaires, de section  $2 \times 2 \text{ mm}^2$ , chacune de ces cellules étant facilement reconnue par le photomultiplicateur. La coordonnée axiale z, dite profondeur d'interaction, peut être déterminée de façon analogique, si on équipe le module d'un PM à chacune de ses extrémités, et en comparant les deux réponses. Ceci suppose que chaque cellule se comporte comme un guide de lumière (UV) de très bonne qualité, avec une réflectivité proche de 85% dans l'UV, ce qui n'est pas trivial. Cette matrice de 100 cellules est en cours de développement, avec le concours de services spécialisés du CERN. Pour une efficacité maximale, le module, rempli de xénon liquide, doit contenir un minimum de matière et les parois des cellules ne devrait guère dépasser 1/10ème de mm.

#### 1.2.4 Électronique de lecture et d'acquisition

Les caractéristiques principales visées pour l'électronique de lecture des solutions PM ou APD sont :

- **rapidité** : le xénon possède un temps de fluorescence extrêmement court et il s'agit de prolonger cet avantage jusqu'au niveau de l'électronique qui est à développer.
- **compacité et faible consommation** :
  - une partie de l'électronique va être à "froid" : l'étage d'amplification et de sélection,
  - une autre partie peut être à "chaud" : l'étage de codification et traitement du signal placé à température ambiante.

Mécaniquement cela signifie la présence de "passages chaud-froid" dans lesquels vont transiter des câbles. Le nombre de ces passages doit être calculé de manière optimale. L'usage de liens optiques numériques en remplacement de câbles cuivre pourrait être envisagé, ce qui permettrait d'allier à la fois rapidité et compacité. Les circuits qui sont à développer et qui sont illustrés par la figure 4 sont des circuits intégrés (ASIC). La lecture des signaux se ferait PM par PM ou APD par APD (si l'option "matrice d'APD" était choisie).

Les ASIC sont au nombre de deux :

- un ASIC à température cryogénique, il comprend :
  - un préamplificateur à bas bruit,
  - un "shaper" (filtre de type CR-RC<sup>2</sup>) qui délivre 2 signaux, une voie en énergie (transite par un intégrateur) une voie en temps (transite par un DFC). Un système comparable a déjà été conçu et testé pour l'expérience AMS en physique des hautes énergies [?], à l'ISN.
  - le comparateur d'amplitude du DFC commande l'intégrateur, la remise à zéro est automatique.
- un ASIC à température ambiante : un codeur de temps multi-voies.

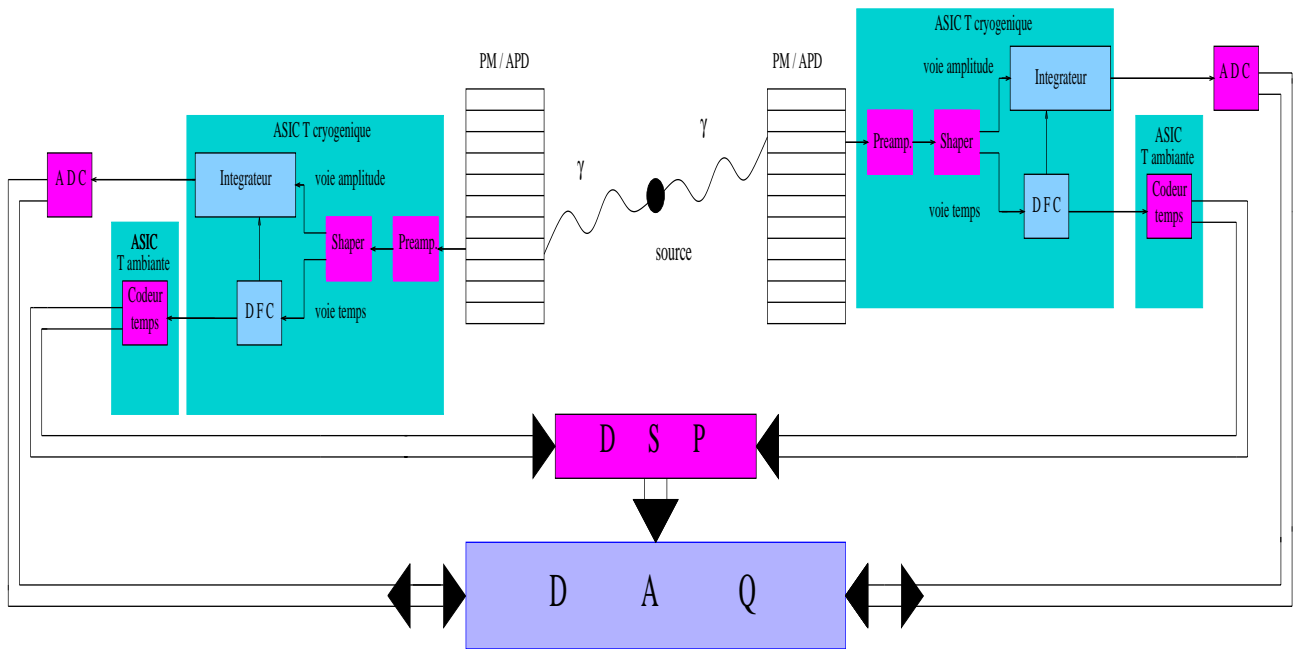


Figure 4: Traitement du signal des PM/APD.

Le but recherché dans la conception de ces ASICs est de rendre optimum le rapport performance / consommation.

Les mots en sortie du codeur de temps doivent avoir “l’adresse du détecteur” + l’information “temps”. Le DSP va utiliser cette double information pour valider un événement et commander la conversion de l’ADC. Les résultats de l’ADC sont ensuite transmis au DAQ.

De par sa participation au programme de R&D sur les instruments du LHC, l’ISN a acquis de précieuses compétences dans le domaine de l’électronique cryogénique et rapide. Ceci sera mis à profit pour concevoir, réaliser et tester l’électronique du tomographe dont la partie frontale pourrait être amenée à fonctionner à basse température.

### 1.2.5 Mesure des performances instrumentales:

L’une des étapes cruciales de ce projet est la mesure des performances instrumentales pouvant être atteintes dans un tomographe à xénon liquide. Ceci comprend:

- la mesure du rendement lumineux à 511 keV à l’aide d’une source  $\beta^+$  de  $^{22}\text{Na}$  (vérification de travaux antérieurs publiés);
- la mesure de la résolution en énergie;
- la mesure de la résolution en temps;
- la mesure de la résolution en localisation.

Les résultats obtenus seront comparés aux prédictions de calculs de type Monte-Carlo.