

La collaboration de Chooz est la réunion de collaborations actuellement existantes : Savannah River aux Etats-Unis, Rovno et Krasnoïarsk en Russie, Bugey en France. La poursuite de ce programme avec l'expérience de Perry mènera à l'exploration de masses du neutrino jusqu'à 0,01 eV. En-dessous, seuls les neutrinos issus du Soleil seraient peut-être susceptibles de fournir des indications, d'où l'intérêt témoigné par le groupe au projet HELLAZ pour l'avenir (Cf. section 5, p. 10).

Le groupe de physiciens menant cette expérience au Laboratoire est constitué de : *H. de Kerret, D. Krynn, B. Lefèvre, M. Obolensky, D. Véron et V. Vyrodoz*, ainsi que de nombreux visiteurs russes pour de courtes durées, en partie rémunérés sur le PICS 209 du CNRS, et dont l'activité présente un intérêt vital pour l'expérience.



FR9810214

5 Le projet HELLAZ sur les neutrinos solaires

Depuis 30 ans plusieurs expériences ont mis en évidence un déficit du flux des neutrinos solaires observés par rapport au flux calculé. Elles n'ont fourni cependant que des informations partielles.

L'expérience « HELLAZ » vise à fournir le spectre des ν_{\odot} ainsi que leur corrélation angulaire avec le soleil. Les électrons de recul de la collision $\nu_{\odot} - e$ sont détectés dans une chambre à projection temporelle (TPC) servant de cible. Le choix de l'hélium comme gaz abaisse le seuil en énergie pour les électrons à 100 keV, soit 200 keV pour l'énergie des neutrinos. HELLAZ sera donc sensible aux ν_{pp} , dont le flux ne dépend pratiquement pas du modèle de soleil, ainsi qu'aux neutrinos du ${}^7\text{Be}$.

Pour une bonne résolution en énergie des neutrinos, et notamment une bonne séparation entre neutrinos pp et neutrinos du ${}^7\text{Be}$, on fera une mesure précise de l'angle d'émission de l'électron de recul.

Dans ce but, la TPC fonctionnera en mode « digital », par mesure individuelle dans l'espace de chaque électron formant la trace de l'électron de recul et détermination précise des axes principaux de l'ellipsoïde d'inertie du nuage qu'ils forment au début de cette trace.

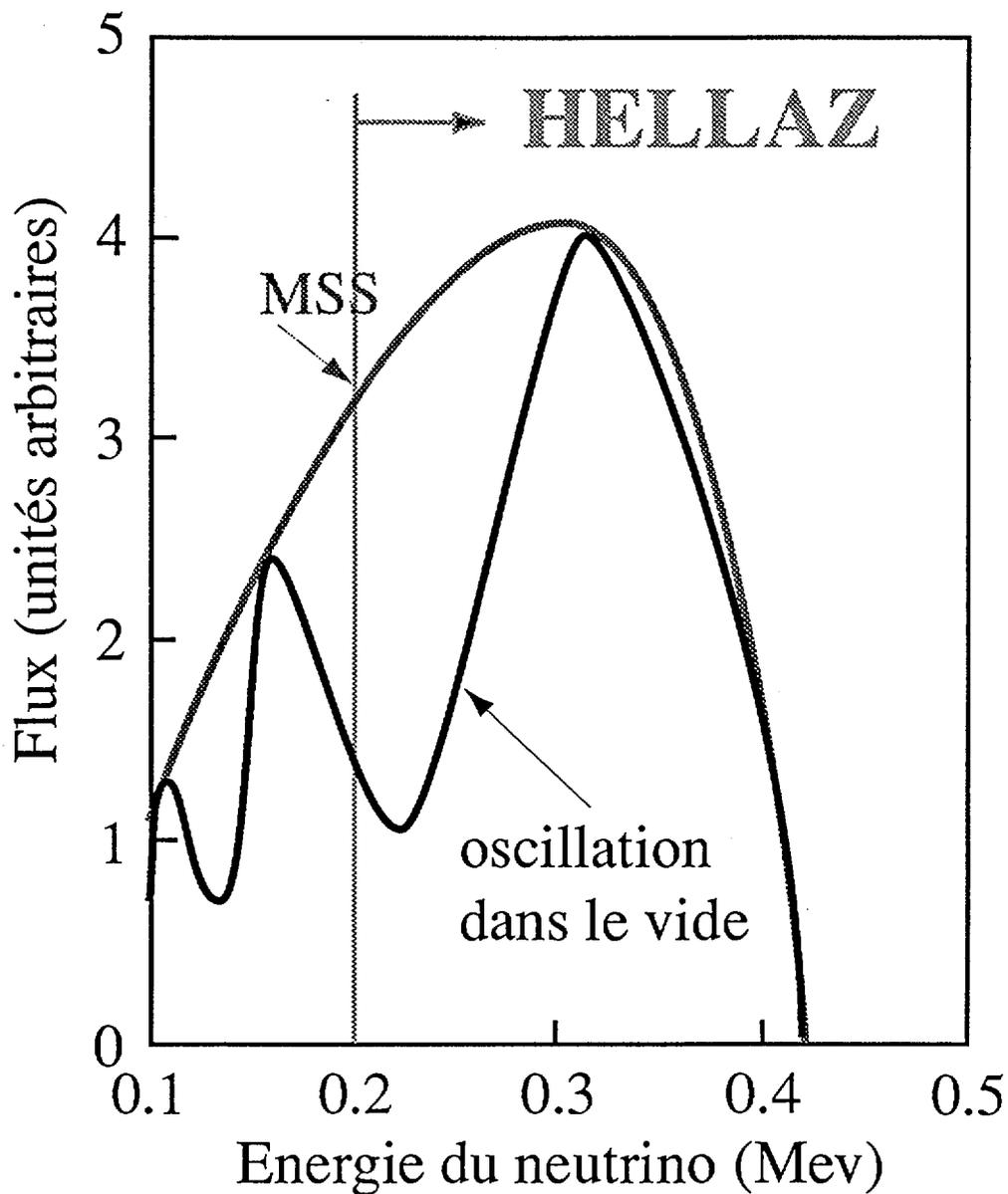
L'erreur de mesure de la direction de l'électron de recul est ainsi assez faible (~ 35 mrad) pour avoir une incertitude sur l'énergie des neutrinos inférieure à 10 %.

HELLAZ sera capable en outre d'identifier la saveur des neutrinos par la distribution angulaire de la collision $\nu - e$.

Physique avec HELLAZ HELLAZ mesurera avec précision le spectre des neutrinos pp , que l'on pense bien déterminé tant par la luminosité du soleil que par les mesures actuelles d'héliosismologie. Aussi, toute déformation de ce spectre doit être interprétée en termes physiques.

S. Petcov en a calculé la déformation dans le cas d'oscillation dans le vide. La figure jointe montre que la précision d'HELLAZ permet de mesurer cet effet.

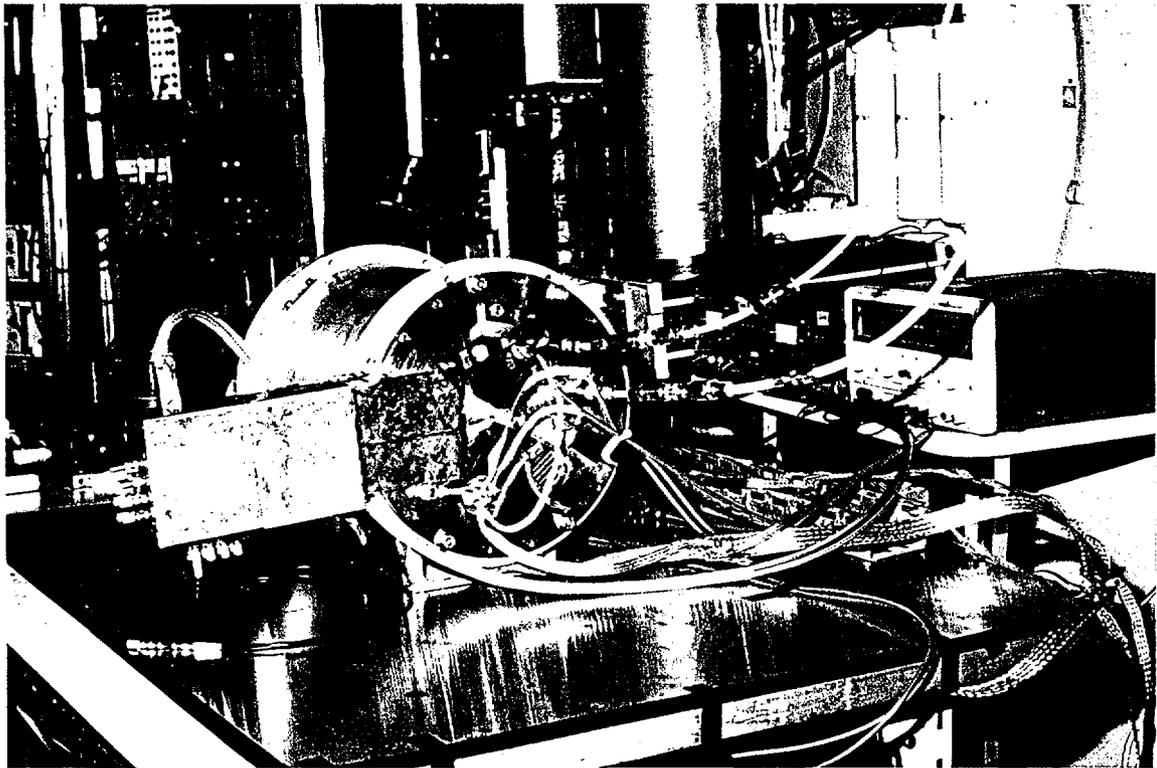
Le projet a été présenté, et favorablement accueilli, en 1995, au Comité Scientifique du Grand Sasso sur les Expériences Futures et au Comité Scientifique du LSM à Paris ; puis au Conseil Scientifique de l'IN2P3 en février 1997



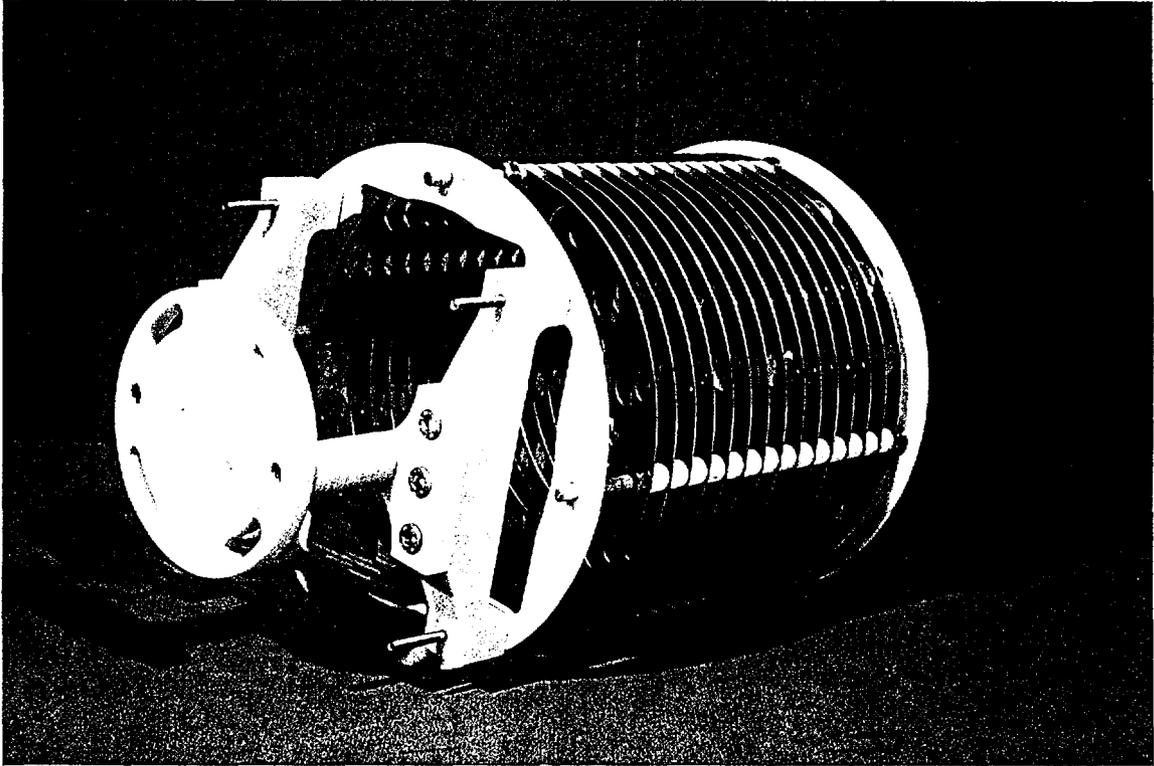
$$\Delta m^2 = 5.6 \cdot 10^{-12} \text{ eV}^2, \quad \sin^2 2\theta = 1$$

Ref. : Krastev et Petcov,
 Phys. Rev. D53 (1996)1665

Spectre neutrino p-p avec (oscillation dans le vide)
 et sans (MSS) déformations



Enceinte de tests pour la chambre
proportionnelle



Electrodes de dérivation

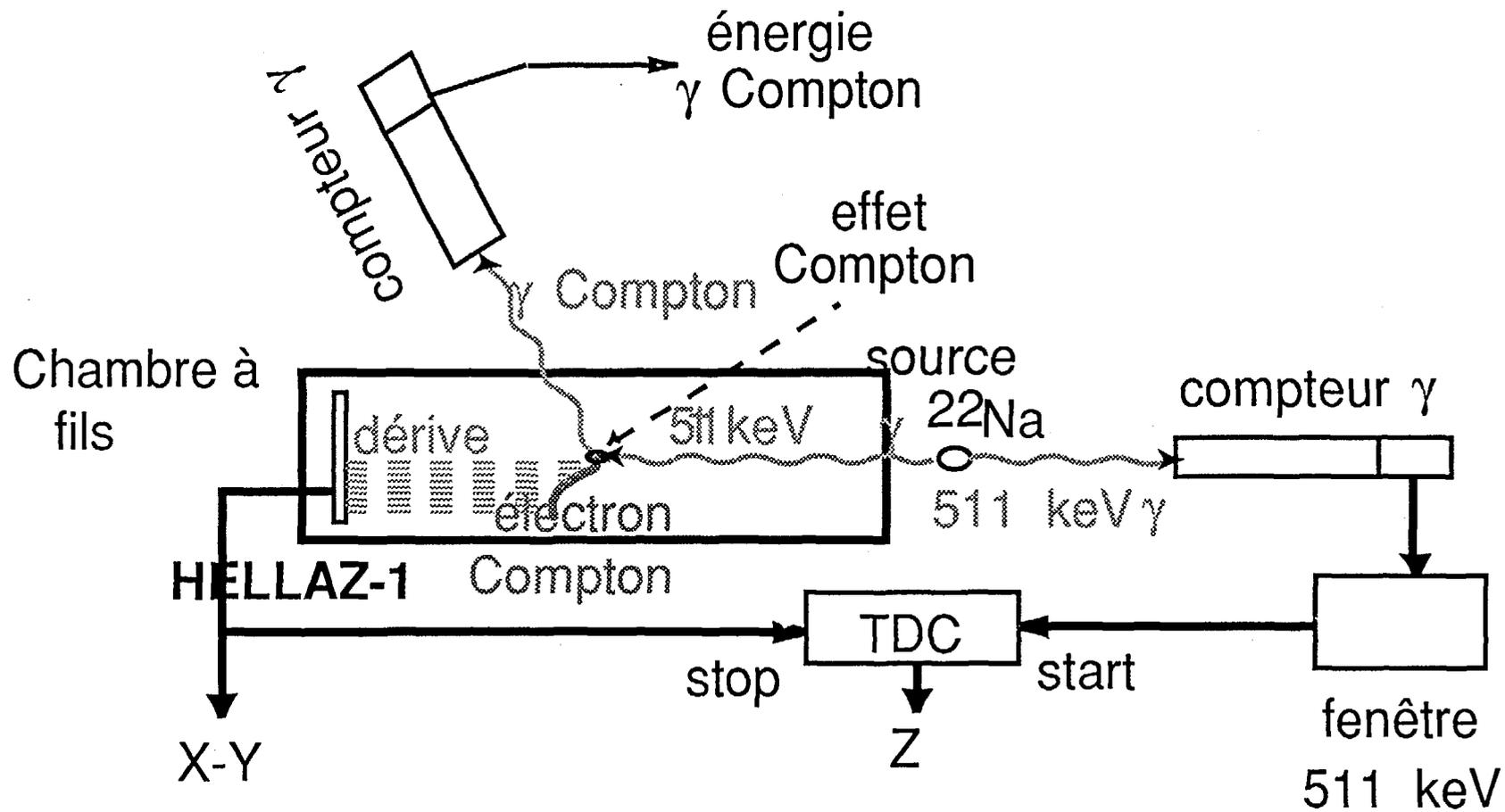
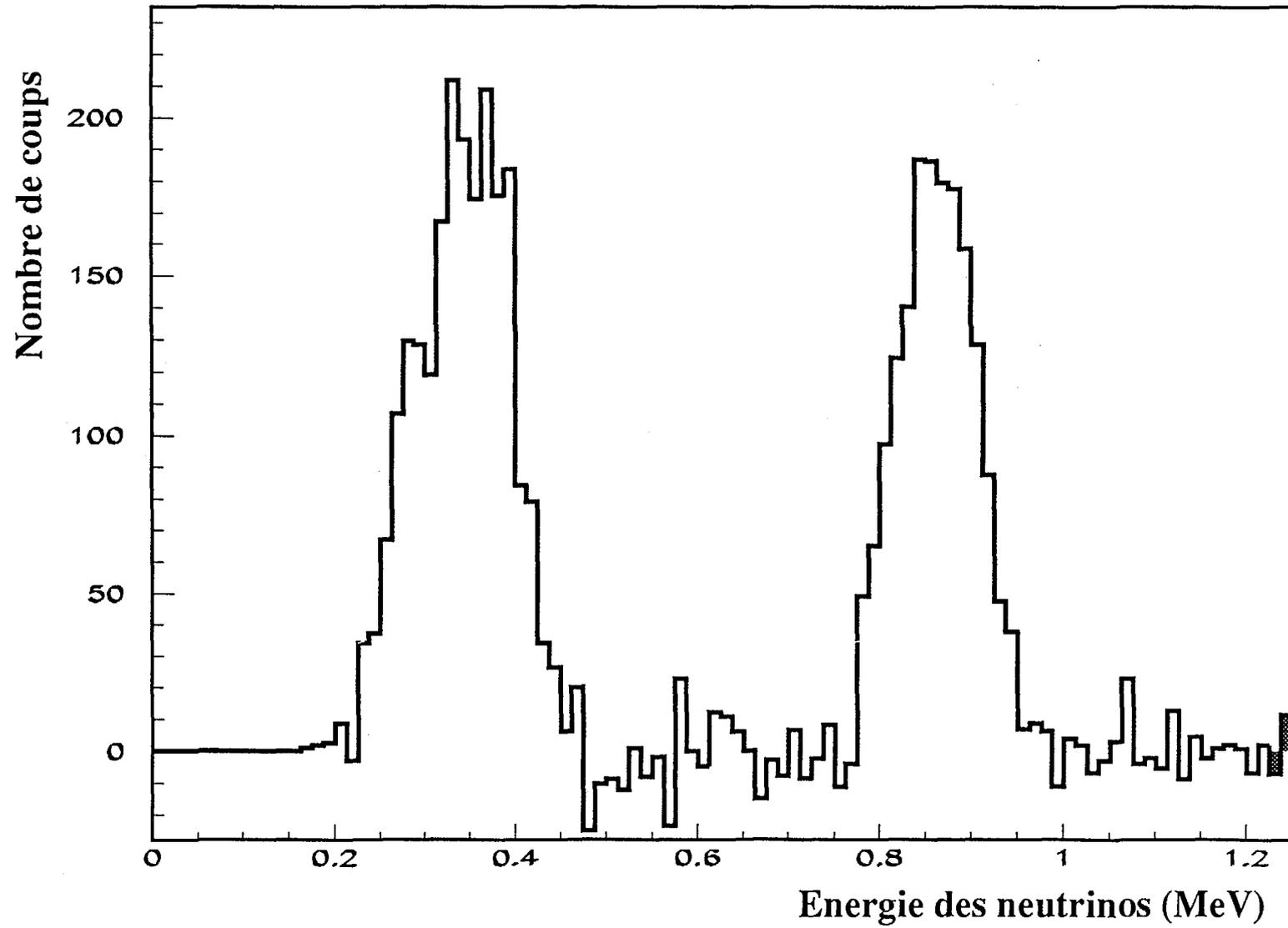
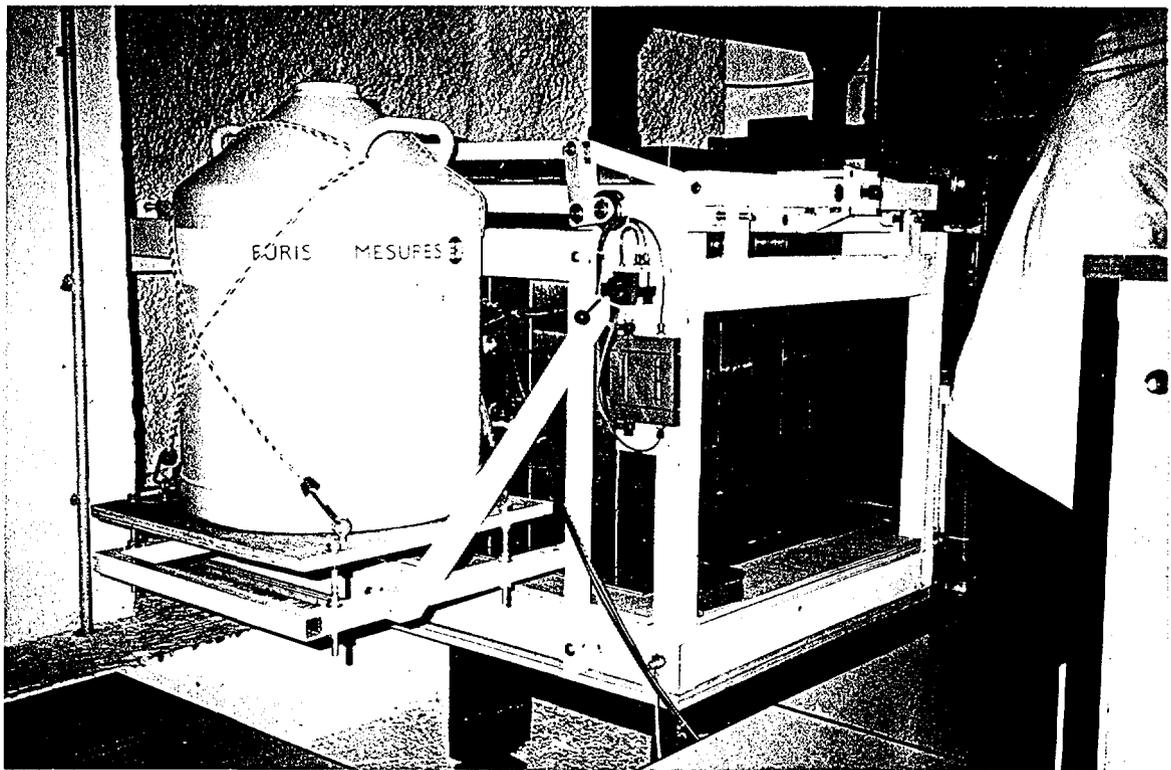


Schéma de création de traces contrôlées
dans HELLAZ-1



Spectre d'un an après soustraction d'un
bruit de fond de 10 000 coups par jour



Château à bas bruit de fond pour la caractérisation
des matériaux dans l'expérience HELLAZ

Le programme de travail comporte un certain nombre d'étapes :

Nom	Vol.	But - lieu
- HELLAZ 0:	0,5l	Propriétés fondamentales des gaz et des chambres - CERN)
- HELLAZ 1:	5l	Tests de la reconstruction d'une trace - Collège de France
- HELLAZ 2:	2 m ³	Résolution des problèmes de longue dérive (absorption des électrons) et de grande surface de chambre (rapidité) - Collège de France.
- HELLAZ proto:	40 m ³	Test à grande échelle - souterrain.
- HELLAZ final:	2000 m ³	Mesure du spectre des ν_{\odot} - Gran Sasso

HELLAZ 1, programme de R & D Le mode digital implique des contraintes sévères sur le dispositif: faible vitesse de dérive, pour la détection individuelle des électrons, et faible diffusion multiple, afin de ne pas modifier la forme du nuage. HELLAZ 0 a montré que l'hélium est le meilleur compromis.

La chambre de détection doit avoir un pas fin (~ 1 mm), et une bonne résolution temporelle (~ 20 ns).

Pour essayer l'ensemble de dérive, deux chambres multifils proportionnelles classiques, mais très poussées, ont été conçues, réalisées et testées à part au Laboratoire: séparation entre fils de 1 mm, séparation entre anode et cathode de 0.8 mm, surface de 10×10 cm². Elles ont permis de comparer deux types de préamplificateurs de signaux sur une platine spécialement développée au Laboratoire.

La chambre à dérive a été dessinée en vue de garantir un minimum de contamination en oxygène dans le gaz.

L'ensemble, HELLAZ 1, est maintenant opérationnel. Nous calibrons l'appareil par éjection optique d'électrons uniques d'une photocathode en tête de la dérive.

L'étape suivante sera la création dans HELLAZ 1 de traces contrôlées par diffusion Compton d'un photons d'annihilation d'une source de ²²Na. Dès que la dérive sera complètement testée, nous remplacerons la chambre multifils proportionnelle par une chambre à microgap (15 μ m entre anode et cathode), permettant d'atteindre les 20 ns nécessaires.

Nous envisageons trois types de chambres à microgap ayant un gain de 10^5 à 10^6 , nécessaire pour détecter l'électron unique: microgap classique associée à des amplificateurs d'électrons GEM (testée avec succès dans HELLAZ 0 au CERN), microgap à fils développée à Strasbourg et micromegas développée à Saclay

Ce gain important nécessite un blindage électromagnétique particulièrement soigné. Le Laboratoire a réalisé notamment des connecteurs de traversée au moyen de circuits imprimés à quatre couches.

Enfin, nous avons équipé une salle propre de 7×7 m², de 4 m de haut, blindée sur les six côtés et équipée d'une grande hotte mobile et d'une potence de levage. Trois usines à gaz permettront d'utiliser des mélanges spécifiques jusqu'à des pressions de dix bars sur trois postes différents.

Simulation Monte-Carlo Deux programmes de simulation sont utilisés. Le premier simule la création et la dérive des électrons d'ionisation d'une trace. L'examen du nuage après dérive permet d'appréhender le comportement du système. Les fichiers de sortie de ce programme servent aussi de point de départ au programme d'analyse.

Le deuxième traite de la soustraction du bruit de fond radioactif spécifique à HELLAZ par extraction de la composante diurne : le bruit de fond est constant et fixe par rapport à l'appareillage, alors que le soleil tourne dans ce repère. Cette méthode, profitant de l'excellente cinématique, est extrêmement puissante : la figure jointe montre le spectre pp et ${}^7\text{Be}$ avec une résolution de 5 % (12 événements ν_{\odot} par jour) extrait d'un fond typique uranium-thorium (10 000 événements par jour, soit 10^4 fois les impuretés d'une expérience de deuxième génération comme Borexino).

Bruit de fond radioactif Il faudra cependant construire HELLAZ avec des matériaux sélectionnés à bas bruit radioactif. Nous avons installé au LSM un banc à germanium ultra-pur (photo) pour mesurer la radioactivité des composants. D'autre part, nous étudions au Laboratoire la possibilité de mettre en œuvre un banc de concentration, extraction et mesure du taux de radon dans une enceinte. Cette mesure permettra de calibrer la radio-pureté des matériaux.

Proposition HELLAZ 2 La conception du prototype HELLAZ 2, étape suivant HELLAZ 1 a débuté. Ce sera une TPC d'environ 2 m de longueur de dérive (pour étudier l'absorption des électrons) et de surface de détection environ 1 m^2 (pour étudier les problèmes de rapidité des grandes chambres).

Les composants seront déjà sélectionnés pour leur radio-pureté, mais HELLAZ 2 sera le meilleur sélecteur de matériaux pour le prototype suivant. La proposition est en cours d'écriture.

Le programme HELLAZ représente une activité majeure du Laboratoire. Il a fait l'objet de discussions avec des théoriciens (*G. Fiorentini*, INFN et *S. Petcov*, SISSA) et de nombreux contacts sont établis avec nos collaborateurs américains et italiens.

Il implique au Laboratoire les physiciens suivants : *A. de Bellefon*, *J. Dolbeau*, *S. Ferron*, *N. Gagliardi*, *P. Gorodetzky*, *T. Patzak*, *J. Schneps*, *J. Séguinot*, *R. Sené*, *C. Tao*, *G. Tristram* et *T. Ypsilantis*.



FR9810215

6 Instrumentation¹

6.1 Le détecteur à photons HPD

Le Détecteur Hybride de Photons (HPD) est maintenant en production dans le cadre des essais de la collaboration LHC-B (Cf. section 6.2, p. 13). Ces détecteurs très rapides et sensibles (95 % d'efficacité et précision en temps de 1 ns pour un électron unique) pourront être utilisés dans beaucoup d'autres applications : expérience d'oscillation sur longue distance (Cf. section 6.3, p. 13), et peut-être Hellaz (Cf. section 5, p. 10).

¹. Ces développements ne s'inscrivent pas directement parmi les programmes du Laboratoire, et sont faits dans le cadre des recherches personnelles de *J. Séguinot* et *T. Ypsilantis*.