

201

289

X

physique

DAU/289

T H E S E

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE DE PARIS-SUD
CENTRE D'ORSAY

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

par

Pierre DAUJAT

AUTOMATISATION D'UNE EXPERIENCE PHOTONUCLEAIRE

Soutenu le 15 octobre 1976, devant la Commission d'Examen

Mme	N.	MARTY	Président
MM.	P.	DEBRAINE	Examineurs
	R.	BERGERE	
	R.	JOLY	

T H E S E

PRESENTEE

**A L'UNIVERSITE DE PARIS-SUD
CENTRE D'ORSAY**

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE.

par

Pierre DAUJAT

AUTOMATISATION D'UNE EXPERIENCE PHOTONUCLEAIRE

Soutenu le 15 octobre 1976, devant la Commission d'Examen

Mme	N. MARTY	Président
MM.	P. DEBRAINE	
	R. BERGERE	Examineurs
	R. JOLY	

ST 4 / 3998.

- SOMMAIRE -

CHAPITRE I	- RAPPELS SUR LES SOURCES DE PHOTONS	1
CHAPITRE II	- UTILISATION DE PHOTONS MONOCHROMATIQUES A L'ACCELERATEUR DE 60 MeV DE SACLAY	5
II. 1.	- Production des positons	5
II. 2.	- Production de photons monochromatiques	7
II. 3.	- Détecteur de photoneutrons	9
II. 4.	- Exemple d'utilisation des photons monochromatiques.	14
II. 5.	- Automatisation des expériences γ, n à l'AL 60	16
II. 5. a	- Centrale d'acquisition STDAN	18
II. 5. b	- Calculateur PDP 8 I	19
II. 5. c	- Ensemble de réglage et d'avance automatique de l'optique magnétique SARE	19
II. 6.	- Exemple de visualisation des résultats	22
II. 7.	- Exemple de résultats photonucléaires	23
CHAPITRE III	- GENERALITES SUR L'ETUDE DES REACTIONS PHOTONUCLEAIRES A L'ALS	27
III. 1.	- Création des positons	27
III. 2.	- Etude des sections efficaces photonucléaires au-delà de la résonance géante	28
III. 3.	- Production d'une raie de photons monochromatiques à l'ALS	31
III. 4.	- Dispositif expérimental en salle BE	34
CHAPITRE IV	- MATERIEL STANDARD UTILISE POUR L'AUTOMATI- SATION DES EXPERIENCES	36
	- Introduction	36
IV. 1.	- Qu'est-ce-que CAMAC	37

IV. 1. a	- Normes mécaniques	37
IV. 1. b	- Normes électriques	38
IV. 1. c	- Fonctions normalisées	38
IV. 1. d	- Description du DATAWAY	39
IV. 1. e	- Contrôleur de châssis	40
IV. 1. f	- Organisation du raccordement des châssis	40
IV. 1. f. 1	- Configuration de châssis	40
IV. 1. f. 2	- Configuration de branche	41
IV. 1. g	- Fonctionnement du système	41
IV. 1. h	- Avantages de CAMAC	42
IV. 1. i	- Contrôleur JCPDP8 I	43
IV. 2.	- Les calculateurs	44
IV. 2. a	- Configuration PDP8 I	45
IV. 2. a. 1	- Le matériel	45
IV. 2. a. 2	- Le logiciel	46
IV. 2. a. 3	- Modules CAMAC	47
IV. 2. b	- Configuration PDP8 E	48
IV. 3.	- Couplage de deux calculateurs	49
CHAPITRE V	- CONTROLE DU FAISCEAU DE POSITONS ET AUTOMATISATION	52
V. 1.	- Téléaffichage du courant dans les alimentations de l'optique de transport	53
V. 1. a	- Téléaffichage du courant dans l'optique du tunnel ..	55
V. 1. b	- Téléaffichage du courant dans l'optique de la salle BE	55
V. 2.	- Visualisation du faisceau de positons	56
V. 2. a	- Le visualiseur	57
V. 2. b	- Mécanique du visualiseur	57
V. 2. c	- Module de commande des visualiseurs	58
V. 2. d	- Fonctionnement du module	60

V. 2. e	- Détecteur de position " 0 "	60
V. 2. f	- Chaîne d'amplification et multiplexage des signaux des PM	61
V. 2. g	- Tests avec laser	61
V. 3.	- Mesure du courant de positons	62
V. 4.	- Programmation PDP8 E	64
V. 4. a	- Visualisation de la forme et du centre de gravité du faisceau	65
V. 4. b	- Commande des alimentations des éléments de l'optique magnétique	66
V. 4. c	- Lecture des shunts	66
V. 4. d	- Contrôle des paramètres de l'expérience	67
V. 4. e	- Test du logiciel du programme	67
V. 5.	- Contrôle en cours de fonctionnement	67
V. 5. a	- Le taux de comptage CT	67
V. 5. b	- Le courant de positons $I e^+$	68
V. 5. c	- Les tensions de shunts	68
V. 6.	- Liaison par télévision avec le pupitre de commande	68
CHAPITRE VI	- ACQUISITION DES DONNEES RELATIVES AUX EXPERIENCES NUCLEAIRES A L'ALS	71
VI 1.	- Dispositif de mise en place alternative des cibles d'annihilation	71
VI 2.	- Acquisition des données relatives aux photons ..	74
VI 2. a	- Détecteur principal (NAI 1)	74
VI 2. b	- Détecteurs secondaires	75
VI 3.	- Acquisition des données relatives aux neutrons.	76
VI 3. a	- Le détecteur de photoneutrons	76
VI 3. b	- Programmation PDP8 I	78
VI 4.	- Calculs en ligne	79

VI. 5.	- Déroulement d'une expérience (γ, xn)	84
VI. 6.	- Exemple de résultats obtenus	85
VI. 6. a	- Le faisceau de positons	85
VI. 6. b	- Le faisceau de photons	86
VI. 6. c	- Mesure d'une section efficace photoneutronique ...	90
CONCLUSION	-	93
ANNEXE I	-	
ANNEXE 2	-	

Je tiens d'abord à exprimer toute ma gratitude à Madame N. MARTY, Professeur à la Faculté des Sciences d'Orsay, qui a bien voulu me faire l'honneur de patronner cette thèse, ainsi que Monsieur le Professeur P. DEBRAINE qui a bien voulu faire partie du jury.

Je remercie Monsieur R. JOLY, Chef du Service de la Métrologie et de la Physique Neutroniques Fondamentales dont la bienveillance m'a permis de mener à bien ce travail dans les meilleures conditions.

Que Monsieur R. BERGERE, Chef du groupe des Réactions Photonucléaires trouve ici mes plus chaleureux remerciements; c'est grâce à ses conseils, à ses idées, à sa clairvoyance, que tous les travaux consignés dans ce mémoire ont pu être réalisés.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Monsieur A. VEYSSIERE pour l'aide constante et efficace qu'il m'a fourni dans la réalisation de tous ces dispositifs expérimentaux et dans l'organisation de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à tous mes collègues physiciens et techniciens, Madame de MINIAC, Messieurs H. BEIL, P. CARLOS, J. FAGOT, P. GARGANNE et A. LEPRETRE qui n'ont cessé de m'encourager.

L'automatisation de l'expérience autour de l'AL 60 a pu être poussée très loin grâce au bon fonctionnement de l'accélérateur et j'en remercie Monsieur ROLAND et son équipe. Après de l'ALS les travaux sur les faisceaux de positons et de photons ont été menés à bien grâce à une coopération constante entre notre groupe et le personnel de l'accélérateur; que Monsieur NETTER et tout son service, en particulier Messieurs AUNE et VILA trouvent ici mes sincères remerciements.

Enfin je remercie Madame G. LOIZEAU pour sa gentillesse et son efficacité dans la présentation de ce mémoire.

INTRODUCTION

Le travail exposé dans cette thèse a eu pour but d'automatiser progressivement et de façon aussi complète que possible les expériences photonucléaires d'abord entreprises auprès de l'accélérateur de 60 MeV (AL 60) puis en salle Basse Energie de l'accélérateur de 600 MeV (ALS). Cette automatisation avait pour but d'atteindre plusieurs objectifs :

- 1° - Accélérer l'acquisition des données photonucléaires.
- 2° - Améliorer la reproductibilité des conditions expérimentales d'une expérience à l'autre.
- 3° - Accroître le nombre des paramètres mesurés pour chaque point expérimental, de façon que les fluctuations inévitables, en particulier celles liées au faisceau de positons de l'ALS soient toutes enregistrées simultanément sur ordinateur en ligne. Ceci devait permettre de " rejouer " a posteriori, chaque expérience avec différentes méthodes d'analyse.

Nous nous proposons donc dans ce qui suit, après avoir rappelé les principales sources de photons utilisées et la méthode employée à l'AL 60 pour étudier les réactions γn , de décrire les nouveaux systèmes d'acquisition et d'automatisation des expériences à l'ALS.

CHAPITRE I

RAPPELS SUR LES SOURCES DE PHOTONS

L'investigation des propriétés d'un système de nucléons au moyen de l'interaction électromagnétique est particulièrement intéressante car cette interaction électromagnétique est parfaitement connue. Parmi les expériences de physique nucléaire utilisant cette interaction, on peut citer:

- a) l'excitation coulombienne par le champ électrique de particules lourdes chargées;
- b) la diffusion élastique et inélastique d'électrons par les noyaux;
- c) l'absorption et la diffusion de photons par les noyaux.

Cette dernière voie d'approche a été longtemps limitée par les caractéristiques des sources de photons disponibles.

Historiquement, les premières mises en évidence de photo-désintégration eurent lieu à l'aide des rayonnements gamma provenant de la radioactivité naturelle de quelques éléments, dont la plus connue parce que donnant un photon de relativement grande énergie est celle du thorium C'' (2,62 MeV). Ceci permit quelques études sur les réactions (γ, n) dans le béryllium et le deutérium (seuils respectifs à 1,67 et à 2,22 MeV). (Réf. 1, 2)

Avec l'avènement des Van de Graaff, les physiciens disposèrent, par capture protonique dans certains noyaux convenablement

choisis de sources de photons dont l'énergie pouvait atteindre 20 MeV (cf. tableau I. 1), leur donnant la possibilité d'étudier plusieurs points dans la résonance géante des noyaux lourds et moyens. Malheureusement, ces sources sont de faible intensité, donnent en général des mélanges de raies, et couvrent un domaine d'énergie peu étendu. Néanmoins, elles sont encore utilisées car elles sont facilement mises en oeuvre et permettent d'utiles recoupements en valeur absolue avec les autres méthodes de mesures (réf. 3).

Tableau I. 1.

Elément	Capture protonique		Capture neutronique	
	E_Y (MeV)	E_P (keV)	Eléments	E_Y (MeV)
F	6,14 ; 6,92 ; 7,12	870	Al	7,724
B	4,43 ; 11,7 ; 16,1	300	Ti	6,418 ; 6,759
Li	17,6 ; 14,8	440	Mn	7,058 ; 7,243
^3H	20,3	900	Ni	8,53 ; 8,999
			Cu	7,637 ; 7,914
			Pb	7,368

Une autre source de photons est de plus en plus utilisée autour des réacteurs atomiques : c'est la capture radiative de neutrons thermiques dont l'énergie maximale se situe autour de 9 MeV (cf. tableau I. 1). Pour pallier la fixité en énergie des raies, KNOWLES (réf. 4) a eu l'idée d'utiliser un diffuseur Compton permettant de faire varier l'énergie des photons incidents en fonction de leur angle de diffusion. Malheureusement, le faible rendement des deux phénomènes physiques nécessite un réacteur à haut flux pour donner une

intensité de photons diffusés acceptable.

De toute façon toutes ces méthodes manquent de souplesse (faible intensité, fixité de l'énergie, énergie maximale faible) et, si quelques résultats intéressants sont obtenus grâce à elles, on peut dire que l'investigation systématique des sections efficaces photonucléaires commença le jour où des physiciens (Réf. 5) utilisèrent comme source de photons le rayonnement de freinage (Bremsstrahlung) de particules chargées accélérées dans un béatatron. Une telle source a des avantages immédiats évidents, car elle permet d'obtenir un flux considérable de photons d'énergie variable pouvant atteindre de grandes énergies (100 MeV dans notre exemple). Malheureusement, le spectre émis est continu depuis zéro jusqu'à l'énergie des particules qui lui ont donné naissance, ce qui nécessite un traitement mathématique assez complexe pour parvenir aux résultats définitifs. On a ainsi constaté que des traitements mathématiques différents pour les données expérimentales brutes donnaient des résultats différents pour la section efficace qui est la quantité physique que l'on cherche à déterminer.

On peut néanmoins noter que, lorsque les faisceaux continus d'électrons seront fournis par des accélérateurs de cycle utile voisin de 100%, une méthode d'étiquetage sera possible qui permettra d'identifier dans ce spectre continu l'énergie du photon responsable d'une réaction nucléaire.

Mais seules les sources de photons de Bremsstrahlung avaient été utilisées jusque vers 1960 et n'avaient donné alors que des résultats fragmentaires et parfois contradictoires sur l'absorption des photons par les noyaux. En 1957, C. Tzara a proposé une nouvelle source de photons qui permettait d'obtenir une raie étroite de photons d'énergie continûment variable (réf. 6). Cette raie de photons résulte de l'annihilation en vol de positons (électrons de charge positive) dont l'énergie a pu être bien définie par un sélecteur magnétique. Un tel

Le système fut installé par C. Tzara et son équipe dès 1960 à la sortie de l'accélérateur linéaire de 30 MeV de Saclay puis par S. C. Fultz à l'accélérateur linéaire de Livermore (réf. 7). Ces deux installations ont été depuis régulièrement améliorées, en particulier à Saclay lorsque l'accélérateur linéaire a atteint 45 MeV en 1965, puis 60 MeV en 1969. On peut dire que c'est essentiellement grâce à ces deux installations qu'une étude systématique cohérente de l'absorption des photons par les noyaux dans la région dite de la résonance géante (de 8 à 30 MeV) a pu être faite au cours des dix dernières années. (8, 9, 10)

BIBLIOGRAPHIE - (Chapitre I)

- [1] J. CHADWICK et M. GOLDHABER, *Nature*, 134 (1934) 37
- [2] L. SZILARD et T. A. CHALMERS, *Nature*, 134 (1934) 494
- [3] R. MURST et D. J. DONAHUE, *Nucl. Phys.* A 91 (1967) 23
- [4] J. W. KNOWLES et A. M. KHAN, *American Physical Society* Washington D. C. 24-27
- [5] G. C. BALDWIN et G. S. KLEIBER, *X rays yields curves for γ, n reactions*, *Phys. Rev.* 73 (1948) 11-56
- [6] C. TZARA, "Une méthode de production de photons énergétiques de spectre étroit", *C. R. Académie des Sciences* 245 (1957) 456
- [7] S. C. FULTZ, R. L. BRAMBLETT, B. L. BERMAN, J. T. CALDWELL et M. A. KELLY, "Photoneutron measurement obtained with monochromatic photons", *U. C. R. L.* 70 002
- [8] J. MILLER, C. SCHUHL et C. TZARA, "Mesure des sections efficaces (γ, n) du Cu, Ce, La, Ta, Au, Pb et Bi en valeur absolue", *Nucl. Phys.* 32 (1962) 236
- [9] R. R. HARVEY, J. T. CALDWELL, R. L. BRAMBLETT, S. C. FULTZ, "Photoneutron Cross Sections of $^{206}, ^{207}, ^{208}\text{Pb}$ and ^{209}Bi ", *Phys. Rev.* 136 (1964) B 126
- [10] R. BERGERE, H. BEIL, P. CARLOS et A. VEYSSIERE, *Nucl. Phys.* A 133 (1969) 417
R. BERGERE, H. BEIL et A. VEYSSIERE, *Nucl. Phys.* A 122 (1968) 463

CHAPITRE II

UTILISATION DE PHOTONS MONOCHROMATIQUES A L'ACCELERATEUR LINEAIRE DE 60 MeV DE SACLAY

Ce système de production de photons a fonctionné depuis 1967 et jusqu'au début de 1974 essentiellement pour l'étude des réactions photoneutroniques.

Son principe de fonctionnement est schématisé sur la figure II. 1.

II. 1 - Production de positons -

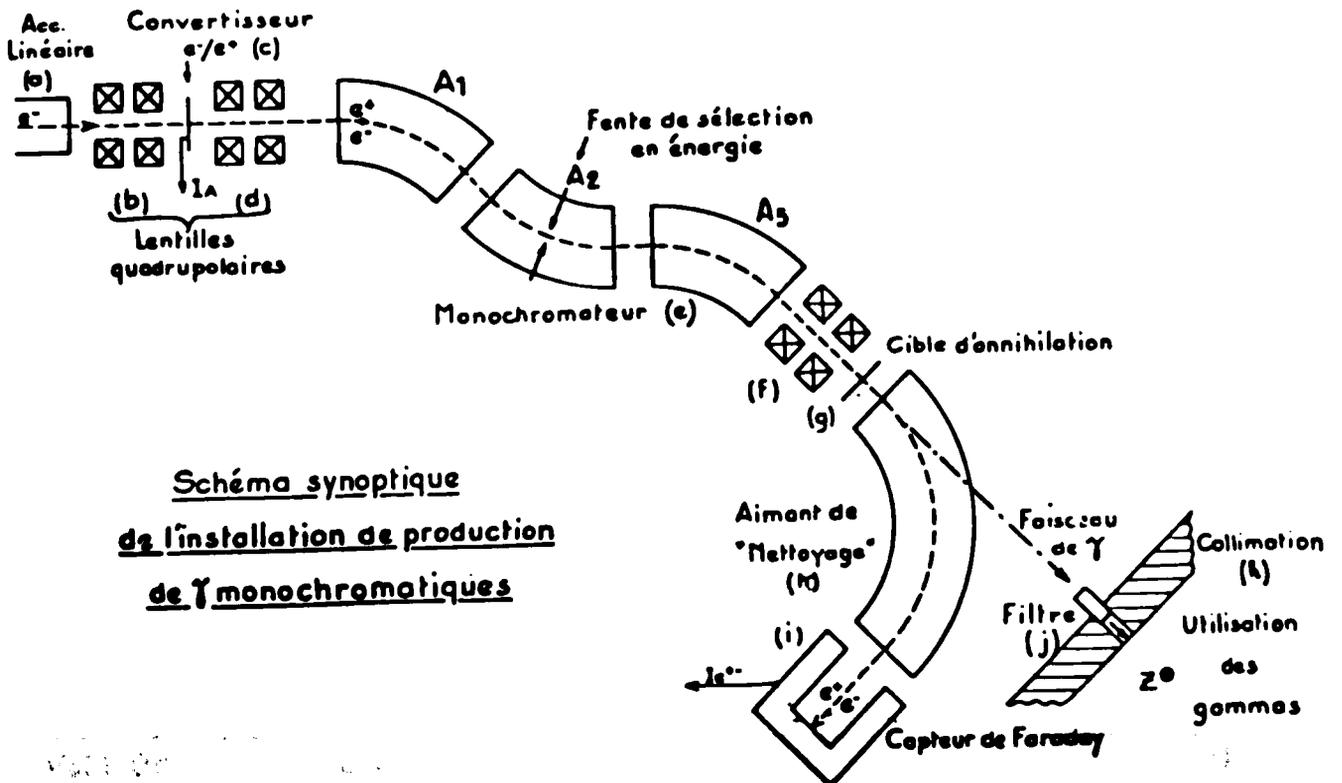


Fig. II. 1

Le faisceau d'électrons primaires de 60 MeV issu de l'accélérateur (a) est focalisé au moyen de lentilles quadrupolaires (b) sur une cible de conversion en or (c) de 3 mm d'épaisseur et de 4 mm de diamètre. Un second ensemble de lentilles quadrupolaires (d) et un triplet magnétique d'analyse (A_1, A_2, A_3) transforment le faisceau d'électrons ou de positons, créés dans la cible d'or, en un faisceau parallèle dont la dispersion en énergie $\Delta E^+ / E^+$ peut varier de 0,5% à 2% grâce à la fente d'analyse F, de largeur variable, située au centre de l'aimant A_2 . Enfin un doublet de quadrupoles (f) assure la convergence du faisceau sur la cible (g) d'annihilation, feuille mince de lithium métallique dont l'épaisseur a été choisie égale à $0,065 \text{ g/cm}^2$ et $0,16 \text{ g/cm}^2$, et dont le diamètre est de 6cm. Les positons ou les électrons qui traversent la cible de lithium sont les uns ou les autres éliminés du faisceau de photons ainsi créé grâce à un aimant de "nettoyage" (h) et sont captés dans un capteur de Faraday (i).

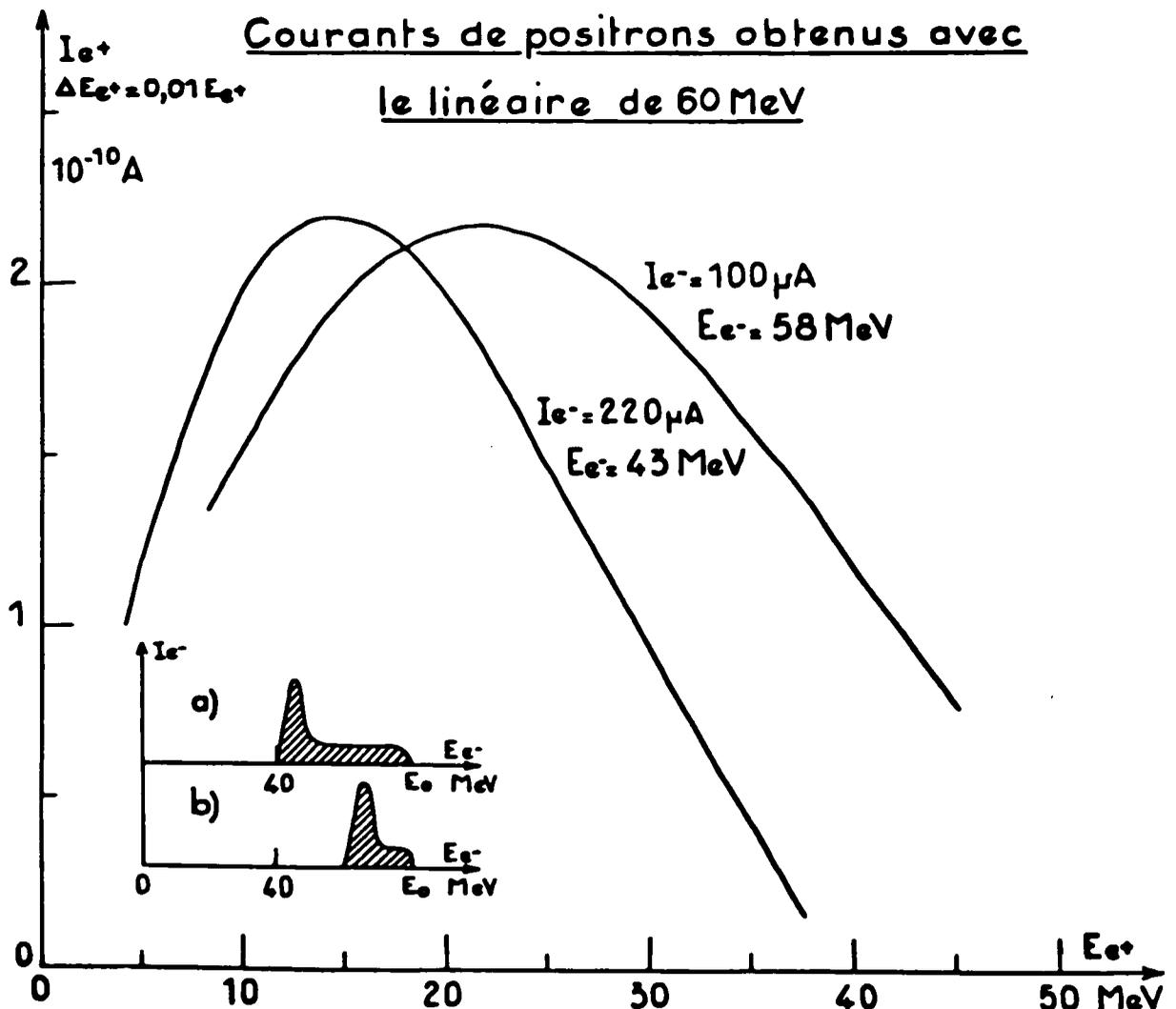


Fig. II. 2

La figure II. 2 montre les courants de positons réellement obtenus à l'accélérateur linéaire pour deux réglages différents : 45 MeV, 220 μ A moyen d'électrons et 58 MeV, 100 μ A moyen. Ces courants de positons ont été mesurés dans une fente d'analyse en énergie de 1%. Un calcul effectué à l'aide des formules de C. Tzara [11] conduit à des valeurs théoriques plus élevées (30%). Mais les électrons n'ont pas tous la même énergie, leur spectre a plutôt l'allure de celle représentée dans les encarts de la figure II.2 Ceci provient du fait que dans une impulsion de 2 μ sec de large les particules de la première partie de l'impulsion (700 ns) ne voient pas le même champ que celles de la seconde partie (1 300 ns). En conséquence l'optique magnétique (b) ne focalise bien sur le convertisseur (c) que les électrons du pic principal, soit 70% environ du courant total accéléré dans l'accélérateur linéaire.

II. 2 - Production de photons monochromatiques -

Par passage dans cette cible de lithium (g) les positons d'énergie cinétique E_0 produisent vers l'avant, autour de l'angle $\vartheta = 0^\circ$, un spectre de photons (figure II. 3a) présentant un pic à l'énergie $(E_0 + 3/2 m_0 c^2)$ et une queue de freinage à basse énergie. Un faisceau d'électrons de même énergie cinétique E_0 et de même intensité produira vers l'avant le même spectre de freinage, représenté sur la figure II.3b. En soustrayant ce deuxième spectre du premier, on obtient donc uniquement la raie quasi monochromatique d'énergie variable $(E_0 + \frac{3}{2} m_0 c^2)$ représenté sur la figure II. 3c.

Le spectre de freinage s'étend en énergie depuis 0 jusqu'à E_0 et devient de plus en plus prépondérant au fur et à mesure que l'énergie E_0 des positons incidents augmente.

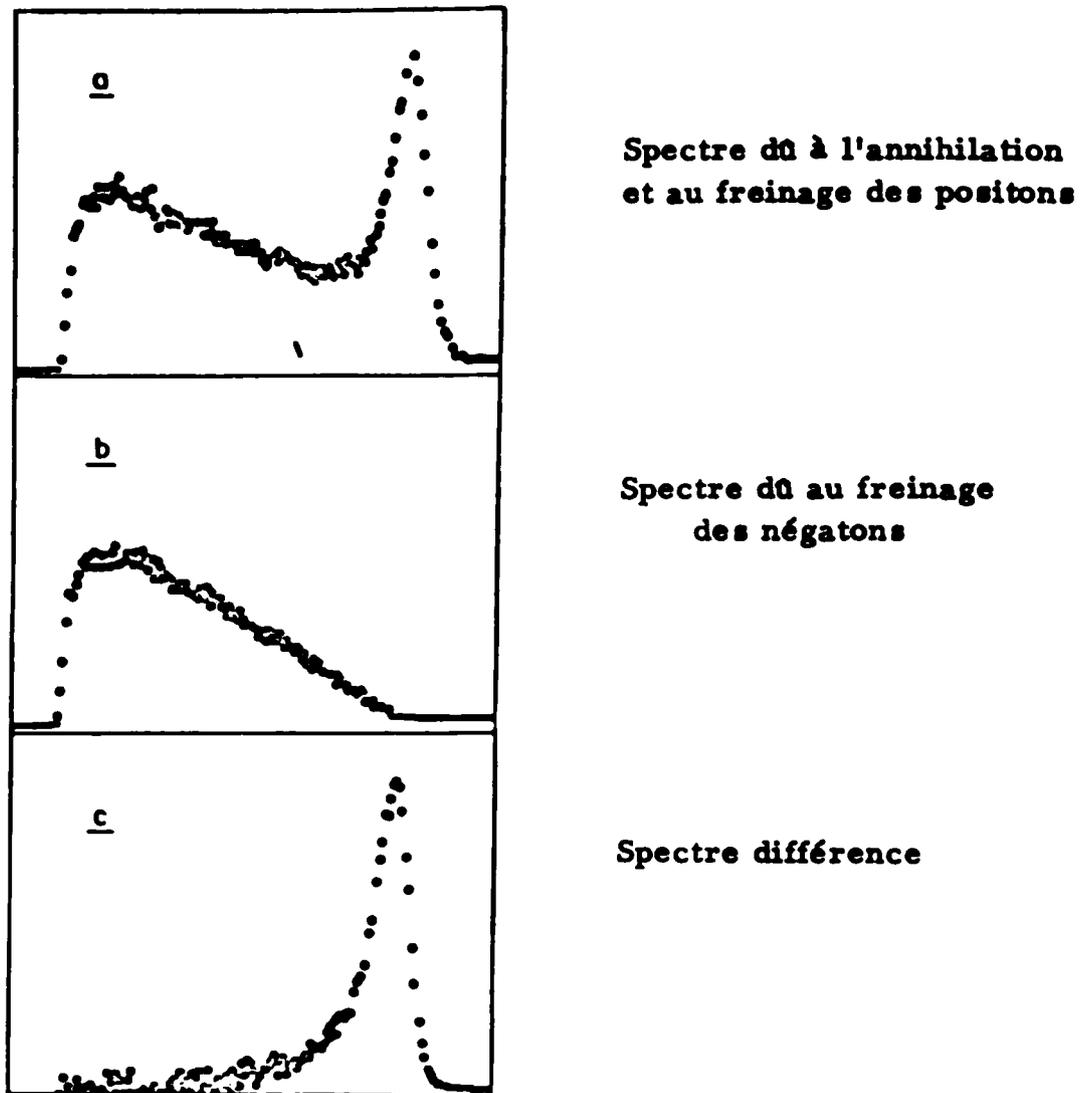


Fig. II. 3

La résolution en énergie de la raie de photons monochromatiques dépend du pouvoir de résolution du monochromateur de positons, de la perte d'énergie des positons dans la cible de lithium avant annihilation et de la largeur intrinsèque due au processus d'annihilation.

Des résultats expérimentaux obtenus on peut conclure que la largeur de la raie de photons monochromatiques est suivant le cas de :

$$-\Delta E_{\gamma} \approx 400 \text{ keV pour } 8 \text{ MeV} < E_{\gamma} < 20 \text{ MeV avec } \frac{\Delta E_0}{E_0} = 0,01$$

et une cible de lithium de $0,16 \text{ g/cm}^2$.

$$-\Delta E_{\gamma} \approx 150 \text{ keV pour } E_{\gamma} = 10 \text{ MeV avec } \frac{\Delta E_0}{E_0} = 0,01$$

et une cible de lithium de $0,065 \text{ g/cm}^2$.

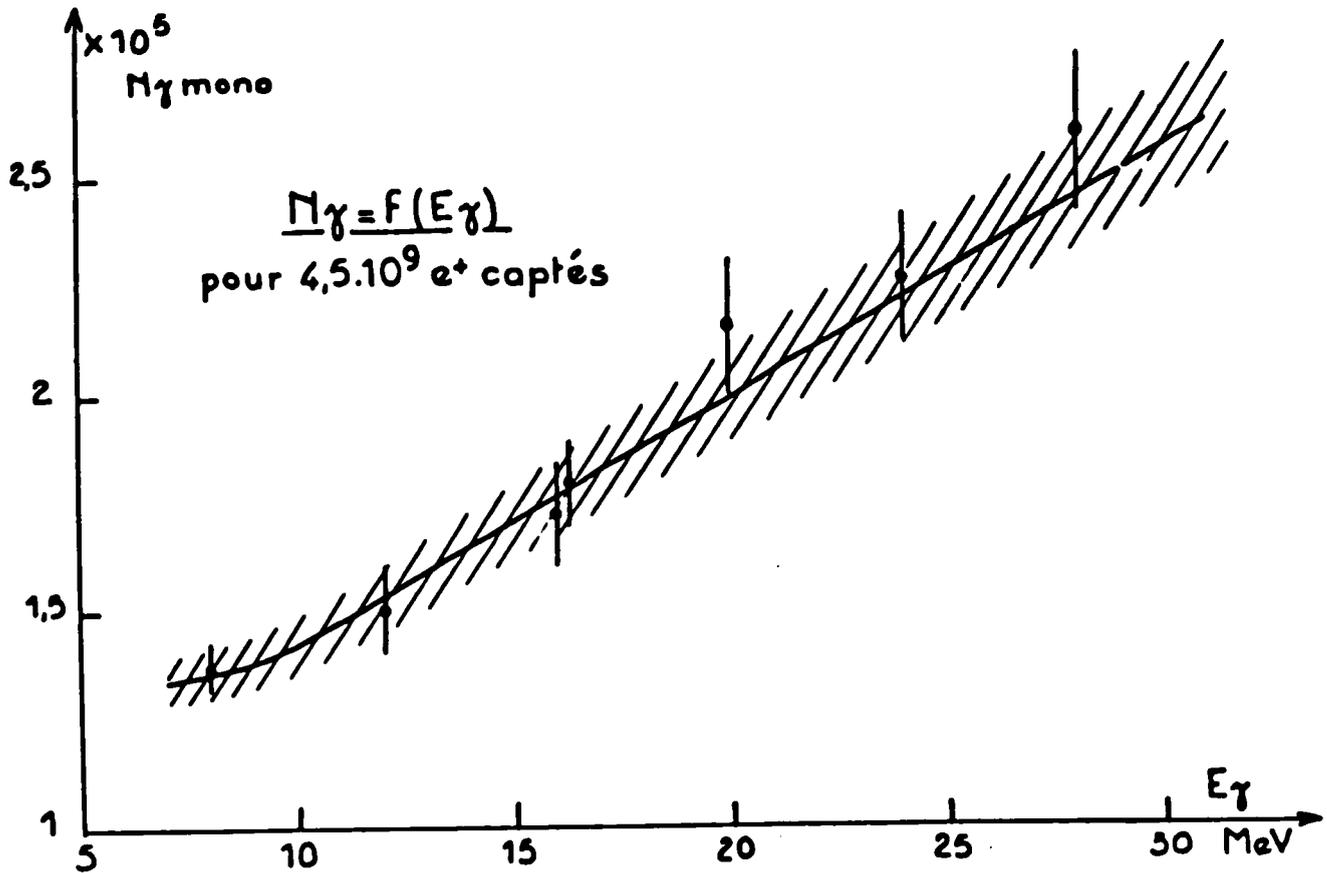


Fig. II. 4

La figure II. 4. donne le nombre de photons monochromatiques en fonction de leur énergie pour un nombre de positons mesurés sur le capteur de Faraday de $0,45 \times 10^{10}$ ($Q = 0,72 \cdot 10^{-9}$ cb) et dans un cône de demi-angle au sommet de 0,01 radian.

Compte tenu du courant de positons pouvant être obtenu à l'AL 60 cela donne par exemple à 20 MeV, $2 \cdot 10^4$ photons monochromatiques par seconde pour $\frac{\Delta E_0}{E_0} = 1\%$.

II. 3- Détecteur de photoneutrons -

Il se compose d'une sphère de un mètre de diamètre remplie de 500 litres de scintillateur organique NE 323 chargé à 0,5% en poids de gadolinium naturel. Un cylindre métallique de 15 cm de diamètre permettant l'introduction des cibles à étudier et le libre passage du faisceau de rayons gamma traverse la sphère de part en part (fig.II. 5). Les parois internes de la sphère et du cylindre sont recouvertes par une peinture blanche à base de TiO_2 assurant une meilleure collection de la lumière émise par les scintillateurs. (réf. 12)

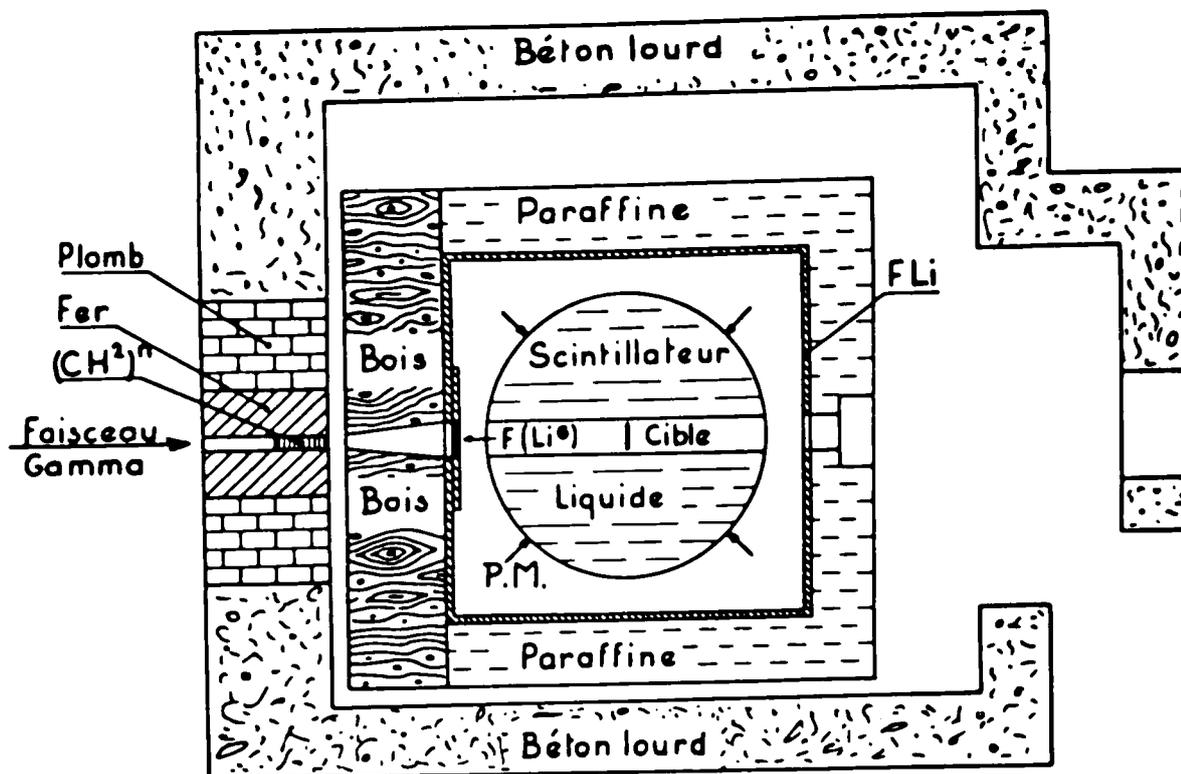


Fig. II. 5
Détecteur de photoneutrons
avec ses protections

A la périphérie du détecteur sont disposés huit photomultiplicateurs du type EMI 9530A à grande surface cathodique (100 cm^2) détectant les scintillations dues aux rayons gamma ou aux protons de recul dans le liquide.

La sortie des photomultiplicateurs attaque un ensemble électronique (fig. II. 8) qui permet, d'une part, grâce à des coïncidences et des anticoincidentes, de rendre maximal le rapport signal/bruit de fond et, d'autre part, grâce à un analyseur d'événements multiples (AEM), de trier les signaux en fonction de leur multiplicité.

Le principe de détection des neutrons est le suivant : un neutron (en général rapide) injecté au centre de la sphère au temps initial t_0 est ralenti par chocs successifs sur les protons du scintillateur jusqu'à ce qu'il arrive à une énergie thermique. Lorsqu'il est suffisamment thermalisé ($< 100 \text{ meV}$), il est capturé par un noyau de gadolinium, lequel se désexcite en émettant une cascade gamma d'énergie moyenne égale à $\approx 8 \text{ MeV}$. C'est cette cascade qui est détectée

par les photomultiplicateurs.

Pour utiliser un tel détecteur, il y a lieu de connaître la distribution en temps $h(t)$ de la probabilité de capture des neutrons et l'efficacité de détection des neutrons (ϵ). La valeur de $h(t)$ peut être obtenue expérimentalement ou théoriquement; elle dépend de la taille du détecteur et de la proportion de gadolinium. La figure II. 6 donne les différents résultats obtenus théoriquement et expérimentalement.

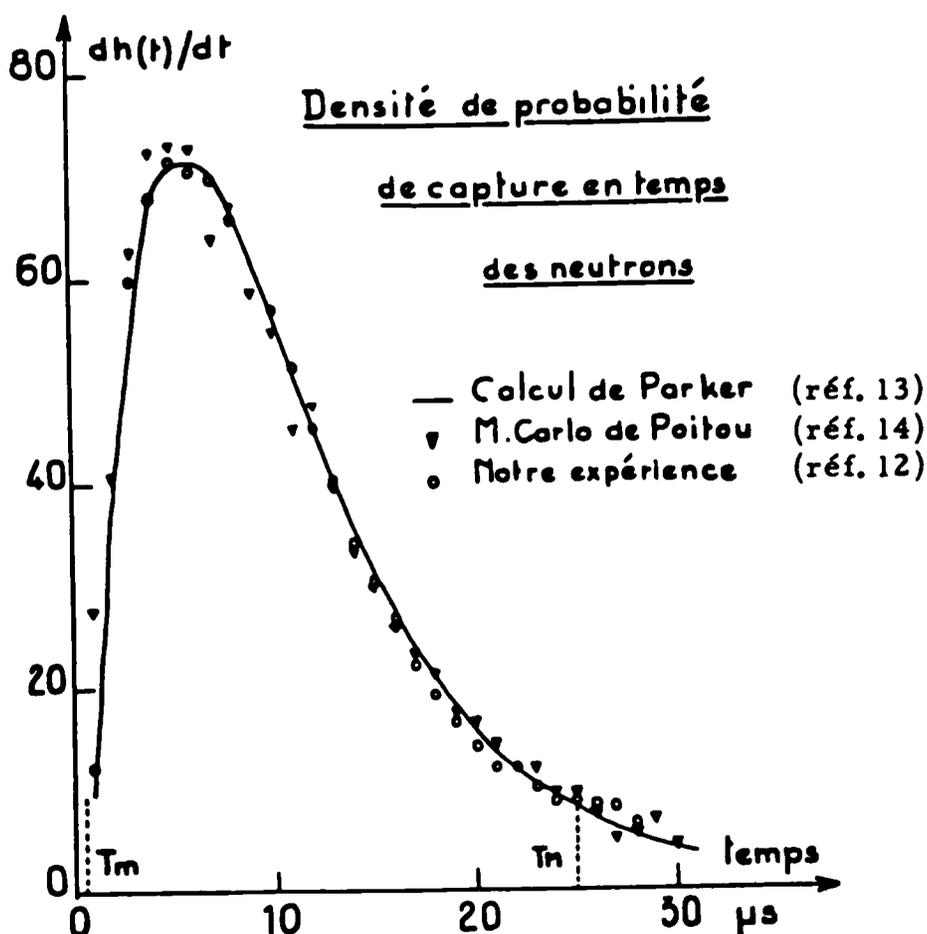


Figure II. 6

Expérimentalement la mesure se fait à l'aide d'une source de neutrons de fission, en l'occurrence une source de ^{252}Cf dont la fission spontanée donne en moyenne 3,784 neutrons par fission, d'énergie moyenne $E_n = 2,17 \text{ MeV}$. Le temps "zéro" correspond à la détection d'un événement fission. La probabilité de capture est

maximale pour un temps $T = 6 \mu\text{s}$ après le temps " zéro " et 97,5% des neutrons sont détectés dans un temps inférieur à $35 \mu\text{s}$ après le même temps " zéro ". Cette distribution en temps de la densité de probabilité de capture est utilisée pour pouvoir mesurer simultanément et séparément les sections efficaces photoneutroniques partielles $\sigma(\gamma, xn)(x = 1, 2, 3, 4)$. En effet dans le cas d'une réaction $\gamma, 2n$ par exemple, bien que les deux neutrons soient émis au même instant, leur capture intervient à des temps différents en raison de l'étalement en temps de la probabilité de capture $h(t)$. Quant à l'efficacité elle est simplement déduite des mesures précédentes par la formule :

$$\epsilon = \frac{\text{nombre total d'impulsions neutroniques}}{3,784 \times \text{nombre de fissions}}$$

Sa valeur est en général comprise entre 40 et 60 %.

Pendant les expériences proprement dites l'enregistrement des impulsions s'effectue suivant une séquence de portes en temps, déclenchée par l'Accélérateur à sa fréquence de répétition; la figure II. 7 en décrit le principe pour un fonctionnement à 500 Hz.

a) Accélérateur



b) Détecteur



c) Electronique "γ, xn"

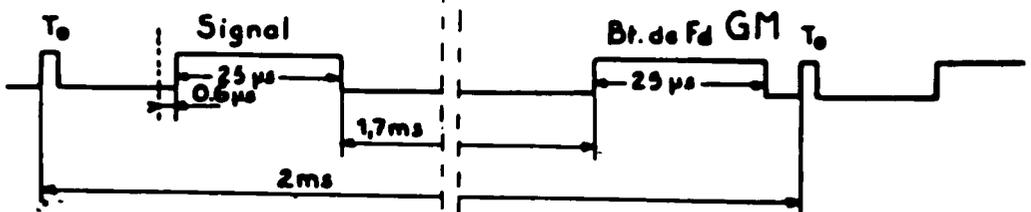


Figure II. 7

Le temps " zéro " t_0 est délivré par l'accélérateur ; $0,6 \mu\text{s}$ après l'impulsion de photons de $2 \mu\text{s}$ de large, une porte de $25 \mu\text{s} = T_M - T_m$ de large permet l'enregistrement des impulsions dues aux photoneutrons et au bruit de fond total ; $1700 \mu\text{s}$ après la fermeture de cette porte, une autre porte T_2 de $25 \mu\text{s}$ est ouverte pendant laquelle sont enregistrées les impulsions dues au bruit de fond électronique et au bruit de fond ambiant (que l'on appelle GM).

Grâce à l'analyseur d'évènements multiples un signal S est envoyé sur une échelle E_x ($x = 0, 1, 2, \dots$) si ce signal correspond à x impulsions lumineuses détectées pendant l'ouverture de la porte en temps (Fig. II. 8).

Schéma synoptique de l'électronique
pour l'expérience (γ, xn)

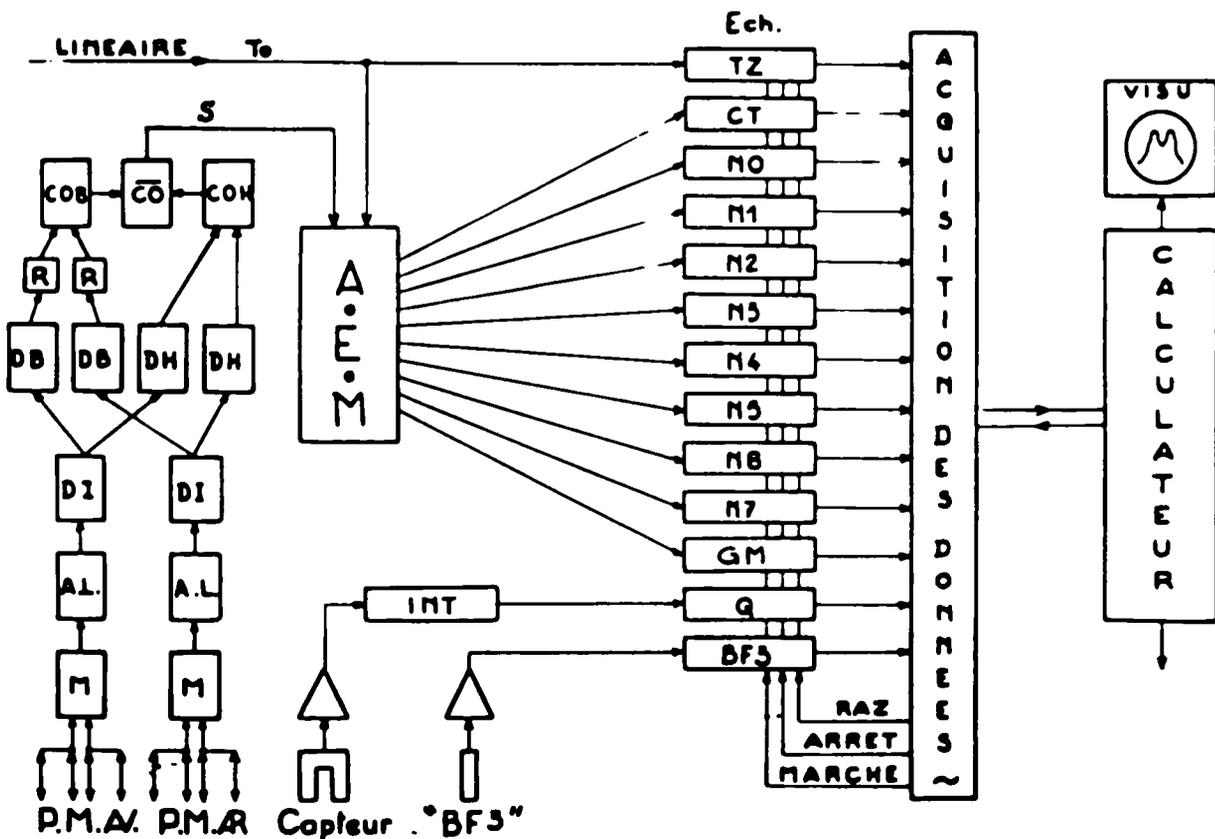


Figure II. 8

Les nombres réels V_x correspondant aux nombres d'événements (γ, xn) ne sont pas directement représentés par les taux de comptage N_x enregistrés sur les différentes échelles. En effet, l'efficacité du détecteur étant inférieure à 1, on détectera dans l'échelle E_x des signaux provenant de réactions (γ, yn) avec $y > x$; d'autre part, il se produit inévitablement des empilements d'impulsions dans une même porte en temps; enfin, il faut tenir compte des divers bruits de fond suivants :

a- GM : représentant le bruit de fond dû au rayonnement radioactif ambiant et au rayonnement cosmique.

b- $k_1 x$ MN1 : représentant le bruit de fond neutronique ambiant déterminé par un détecteur secondaire où k_1 est un facteur de proportionnalité déterminée préalablement à toute expérience.

Les valeurs inconnues V_x sont reliées aux valeurs expérimentales N_x par un système d'équations dont la résolution a été décrite par ailleurs (réf. 15, 16).

Il faut noter que, si l'on appelle $CT = \sum_{i=0}^7 i N_i$ et TZ le nombre de portes pendant le temps d'acquisition de CT impulsions, le rapport CT/TZ doit être inférieur à 0,1 pour pouvoir effectuer valablement les corrections d'empilement par la loi binomiale.

II. 4 - Exemple d'utilisation des photons monochromatiques -

L'étude d'un processus comme la réaction (γ, n) se fait donc en deux temps. En faisant croître régulièrement l'énergie E du faisceau de positons on obtient, pour chaque énergie E_i le rendement $X_p(E_i)$ de photoneutrons (fig. II. 9a) produit par le spectre de photons correspondant (du type fig. II. 3a). En faisant croître ensuite régulièrement l'énergie E du faisceau d'électrons, on obtient pour les mêmes énergies E_i les rendements $X_n(E_i)$ de photoneutrons produits par les spectres de photons de freinage correspondant (du type fig. II. 3b) et représentés sur la (fig. II. 9b). Pour chaque énergie E_i , la section efficace du processus (γ, n) étudié est alors simplement proportionnelle à la différence $X_p(E_i) - X_n(E_i)$ et représentée directement sur

la fig. II, 9c. On voit que l'information " structure de la courbe $\sigma(\gamma, n)$ " en fonction de l'énergie est déjà contenue entièrement dans la courbe $X_p(E_i)$ et sort directement de l'expérience alors que si l'on utilise uniquement des photons de freinage, la courbe finale de la fig. II, 9c ne serait obtenue qu'après un traitement mathématique très compliqué et assez peu fiable des données brutes de la figure II, 9b.

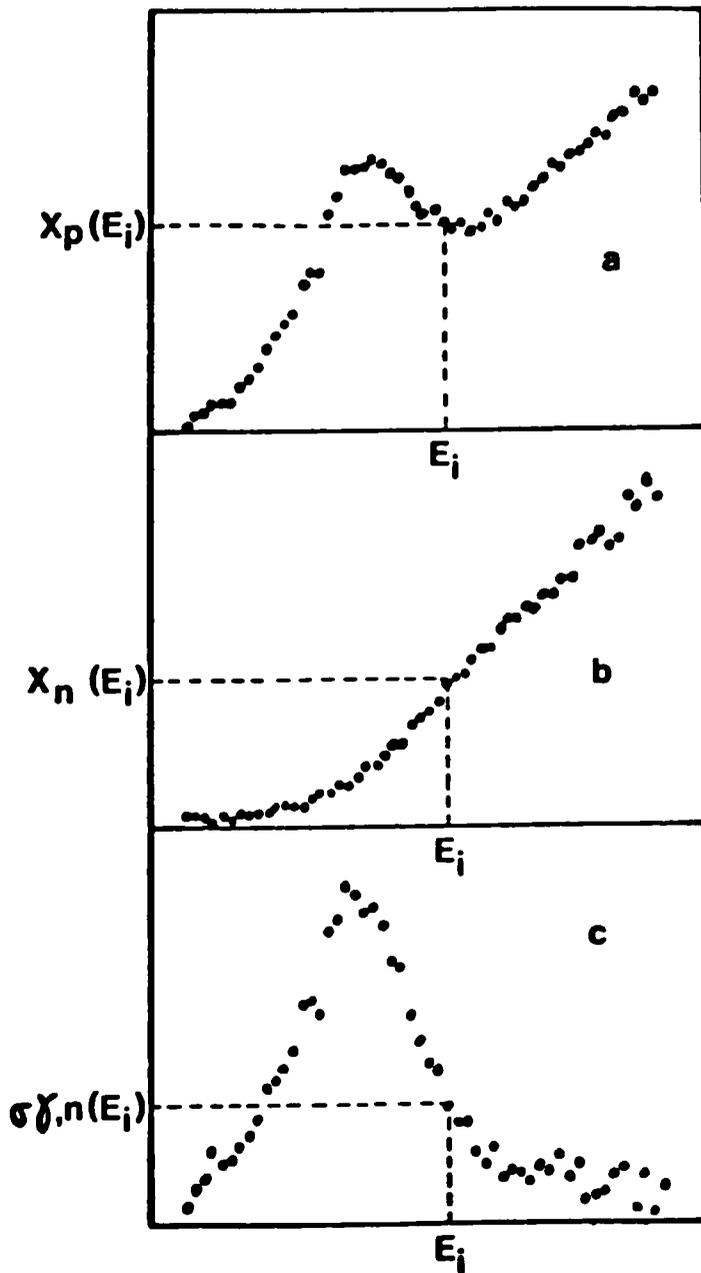


Fig. II. 9

II. 5- Automatisation des expériences γ, n à l'AL 60 -

Cette façon de procéder appelle plusieurs remarques :

1 - En général, la partie intéressante des sections efficaces photonucléaires s'étend depuis 7 MeV jusqu'à 32 MeV, ce qui, compte tenu de notre résolution en énergie (150 à 300 keV) représente 100 points de mesure en positons et autant en négatons, pour chaque corps étudié. A ces 200 points correspondent autant de réglages du monochromateur et autant d'ajustements des lentilles magnétiques.

2 - En plus du grand nombre de réglages, ces mesures représentent une très grande quantité de données à relever, à stocker et à traiter, puisqu'à chaque point sont associés les contenus de neuf échelles et les courants de trois lentilles magnétiques et d'un monochromateur.

3 - Le fait que, pour calculer la section efficace en un point d'énergie donnée, il faille faire deux mesures de rendements puis introduire dans les calculs des résultats provenant d'expériences précédentes, oblige à avoir une reproductibilité parfaite des réglages des différents systèmes de l'optique magnétique.

A ces remarques, nées de la méthode expérimentale, viennent s'en ajouter d'autres, issues de considérations sur la théorie de l'information.

4 - Les bruits de fond n'étant pas négligeables devant le signal, il y a lieu en toute occasion de maintenir le plus élevé possible le rapport signal/bruit de fond : ceci oblige à avoir à chaque instant le maximum de photons incidents, d'où le courant maximum admissible de l'accélérateur linéaire. Si cette condition n'est pas remplie, mieux vaut arrêter les comptages que de diminuer inutilement ce rapport. Ce sera le cas par exemple lorsqu'un des klystrons de l'accélérateur disjonctera.

5 - Nous intéressant aux sections efficaces partielles, il faudra éviter de compter un trop grand nombre de coups par porte " signal " car, du fait des empilements, des signaux d'une certaine multiplicité pourraient être classés dans une multiplicité supérieure. Dans le calcul des sections efficaces, nous avons bien introduit une formule de correction basée sur la loi binomiale, mais cette correction n'est efficace que jusqu'à une probabilité de comptage par porte $< 0,1$. Il y a donc lieu de maintenir le taux de comptage inférieur à 1/10 en baissant le courant de l'accélérateur, mais sans toutefois tomber dans l'inconvénient noté dans la remarque précédente.

6 - Nous intéressant également aux structures fines de la résonance géante, il est nécessaire, pour avoir foi dans les structures trouvées, de refaire plusieurs fois la mesure de la section efficace complète, car, si nous sommes sûrs des erreurs statistiques, il n'en va pas de même des erreurs systématiques dues aux défauts de l'optique.

7 - Enfin, il est impossible, compte tenu des calculs à faire et des réglages à effectuer, de suivre d'une manière efficace chaque point de mesure pour s'assurer que tout se déroule normalement. Or, un incident ou un défaut peut n'apparaître que lors du dépouillement des mesures, c'est-à-dire plusieurs jours après, ce qui est particulièrement grave car toutes les mesures effectuées pendant le temps qui sépare l'apparition du défaut de sa détection est perdu irrémédiablement puisque les heures d'utilisation d'accélérateur sont limitées dans le temps.

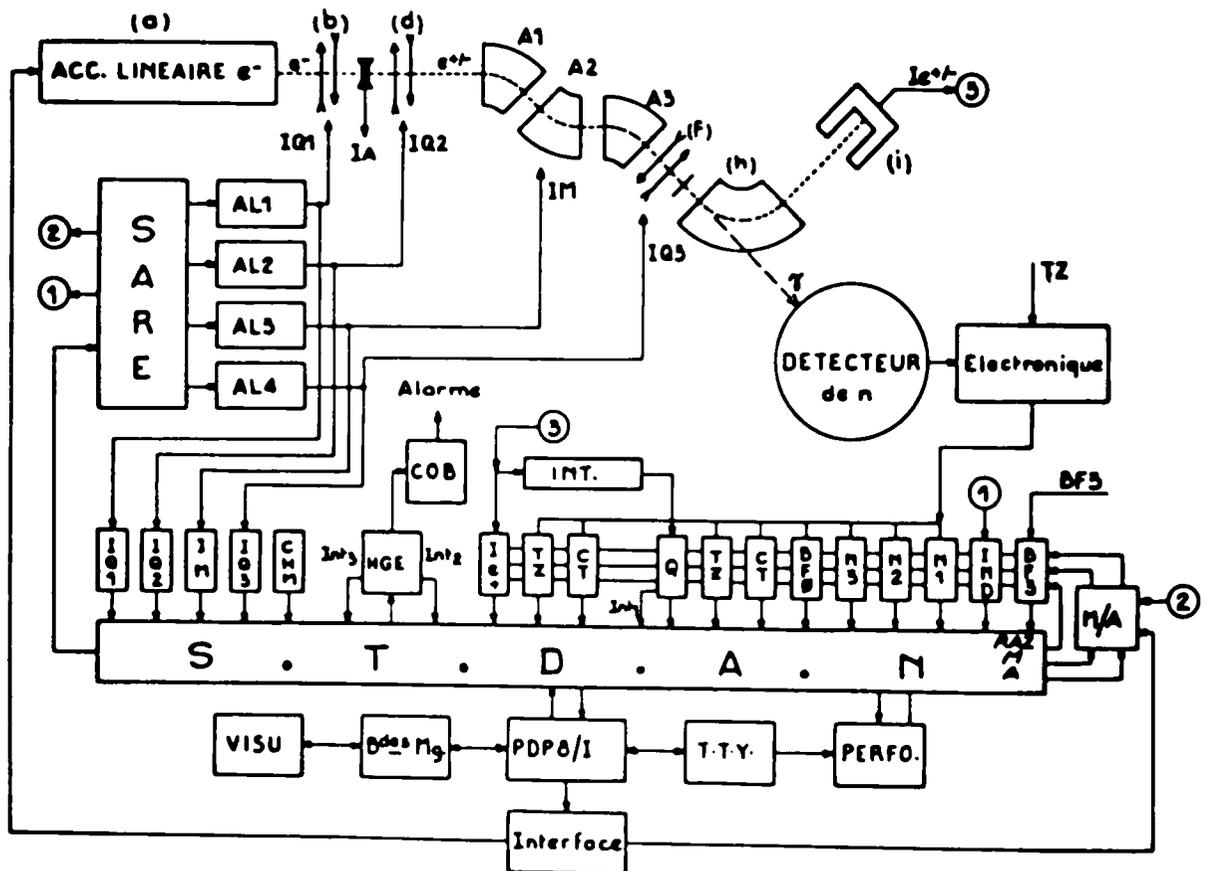
Au vu de toutes ces remarques, le seul moyen pour augmenter d'une part le rapport quantité d'informations vraisemblables sur temps d'utilisation de l'accélérateur et d'autre part pour libérer le physicien de toutes les tâches fastidieuses de réglage, d'ajustage, de résolution d'équations, etc... pour le consacrer uniquement à un travail de décision tel que : arrêter l'expérience, refaire une mesure

de section efficace, examiner de plus près une structure fine, etc...
était de rendre automatique les réglages de l'optique magnétique
(remarques 1, 3, 6), l'acquisition des données (remarque 2), le
contrôle des conditions de l'expérience(remarques 4 et 5) et l'extrac-
tion des sections efficaces à partir des données numériques (remarque 7).

Ce sont les réalisations de ces différentes fonctions regrou-
pées sous l'expression " Dispositif de Gestion " que nous allons décrire
maintenant et qui se composent de 3 parties principales (fig. II. 10)

- Figure II-10 -

Schéma synoptique du dispositif de gestion automatique
de l'expérience γ .xn



II.5. a- Une centrale d'acquisition de données (STDAN), (fig. II. 10)
étudiée et mise au point au Département d'Electronique Générale par
P. Gallice [17]. Cette centrale est organisée autour d'une ligne
" Omnibus " sur laquelle viennent se connecter une unité de commande,

programmable par matrice à diodes, et des interfaces permettant de lire n'importe quel appareil standard C. E. A. (échelle de comptage, blocs mémoire, etc. . .) et de le transcrire sur n'importe quel organe de sortie (machine à écrire, perforatrice de ruban, etc. . .). Le caractère modulaire de l'appareil permet assez facilement de connecter une interface pour un dispositif nouveau. L'unité centrale programmable permet d'avoir plusieurs programmes câblés, sélectionnables par interrupteurs. Enfin, cet appareil peut répondre à quatre niveaux d'interruption non prioritaires, ce qui permet de lui faire exécuter des tâches en fonction de l'origine de l'interruption. Une description spécifique de ce système pour les expériences photonucléaires a fait l'objet de la note CEA n° 1465 (août 1971) qui est résumée en annexe I.

II. 5. b- Un calculateur PDP8/I possédant 8K de mémoire centrale et ayant comme périphériques, outre le télétype, une unité de visualisation et deux dérouleurs de bandes magnétiques non compatibles (DECTape). Le STDAN et le PDP8 sont couplés par une interface bidirectionnelle réalisée au D. E. G. par P. Gallice [18] qui permet de considérer au choix l'un des deux appareils comme périphérique de l'autre.

Enfin, le PDP8 est couplé au reste de l'installation par une ligne de douze relais donnant la possibilité de réagir automatiquement sur les réglages de l'accélérateur (en fait, sur le courant émis par la cathode) et de superviser le déroulement des différentes phases de l'expérience.

II. 5. c- Un ensemble de réglage et d'avance automatique de l'énergie de l'optique magnétique (SARE) (fig. II. 10) . Il est principalement constitué par des générateurs de trains d'impulsions ajustant, par l'intermédiaire de moteurs pas à pas, les différentes alimentations des éléments de l'optique magnétique de façon à sélectionner une énergie donnée E de particules (e^+ ou e^-). Sur un ordre extérieur, le réglage peut être modifié de façon à sélectionner, non plus des particules d'énergie E_0 mais d'énergie $E_0 + \Delta E_0$ le pas de variation ΔE_0 pouvant être choisi à volonté.

Ces trois ensembles sont reliés de façon à pouvoir réaliser cycliquement toutes les opérations nécessaires à la mesure des sections efficaces en fonction de l'énergie des rayons gamma depuis une énergie de départ E_D jusqu'à une énergie finale E_0 et, par pas ΔE_0 . L'ensemble des processus associés a été décrit dans la note CEA n° 1527 (mars 1972) qui est résumée en annexe II.

L'expérience se déroule de la façon indiquée sur le chronogramme de la fig. II. 11.

Séquences en temps de la gestion automatique de l'expérience γ, xn

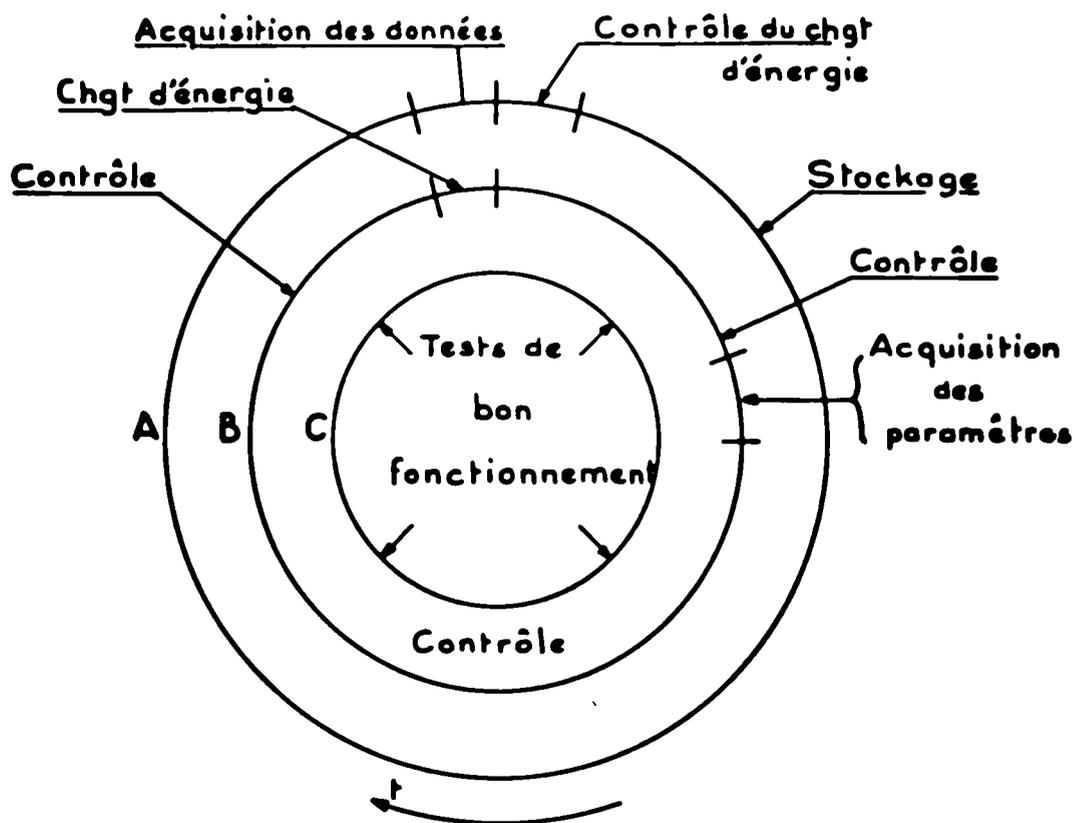


Fig. II. 11

L'optique étant réglée à une énergie E_0 les échelles stockent les informations provenant des différents détecteurs. Pendant le stockage, périodiquement, le calculateur effectue des tests sur les courants d'électrons et de positons et sur les travaux de comptage qui doivent avoir des valeurs fixées à l'avance ; si les tests

montrent que les valeurs de ces paramètres ne tombent pas dans les fourchettes prévues, le calculateur réalise les réglages nécessaires pour les ramener dans les limites indiquées; ou bien, il arrête les comptages et ne les reprend que lorsque tout est redevenu normal. Lorsqu'un nombre donné de positons (ou de négatons) est tombé sur le capteur de Faraday, les comptages sont arrêtés, les échelles sont lues et transcrites dans le calculateur par le STDAN. Le PDP8 effectue alors les calculs de rendement photoneutronique, stocke ces résultats et les sort en clair sur le télécype. Pendant les calculs, le STDAN donne l'ordre au SARE d'augmenter ou non l'énergie de sélection des positons (ou des négatons). Quand le changement d'énergie est réalisé, le SARE envoie une impulsion de fin de travail qui, si le calculateur l'autorise, fait redémarrer les comptages. Un dispositif indépendant de ceux que nous venons de décrire teste leur bon fonctionnement et alerte l'opérateur en cas d'anomalies.

A tout moment, sauf pendant l'acquisition des données, le calculateur peut être interrogé, à partir du télécype, par l'opérateur qui peut lui demander de faire des calculs de sections efficaces, de visualiser les résultats, de sortir la liste des sections efficaces, d'avertir de la fin de l'expérience ou de déclencher une alarme en cas d'anomalie.

Un exemple de visualisation est donné sur la figure II. 12. Pour chaque énergie E_γ on utilise une raie de photons monochromatiques donnée par la fig. II. 12c égale à la différence $N^+ - N^-$ des spectres de photons N^+ (II. 12 a) donnés par un faisceau de positons et N^- (II. 12 b) donnés par un faisceau de négatons de même énergie. Quand on fait varier E_γ , le nombre de photoneutrons produits par des spectres du type 12a est donné par la courbe $XP(E_\gamma)$ de la fig. II. 12d, et le nombre de photoneutrons donnés par les spectres de photons du type de la fig. II. 12b est représenté par la courbe $XN(E_\gamma)$ de la fig. II. 12 e La section efficace $(\gamma, n)(E_\gamma)$ est alors proportionnelle pour chaque énergie au rapport :

$$\frac{XP(E_\gamma) - XN(E_\gamma)}{N^+(E_\gamma) - N^-(E_\gamma)} \quad (\text{fig. II. 12 f})$$

II. 6 - Exemple de visualisation des résultats -

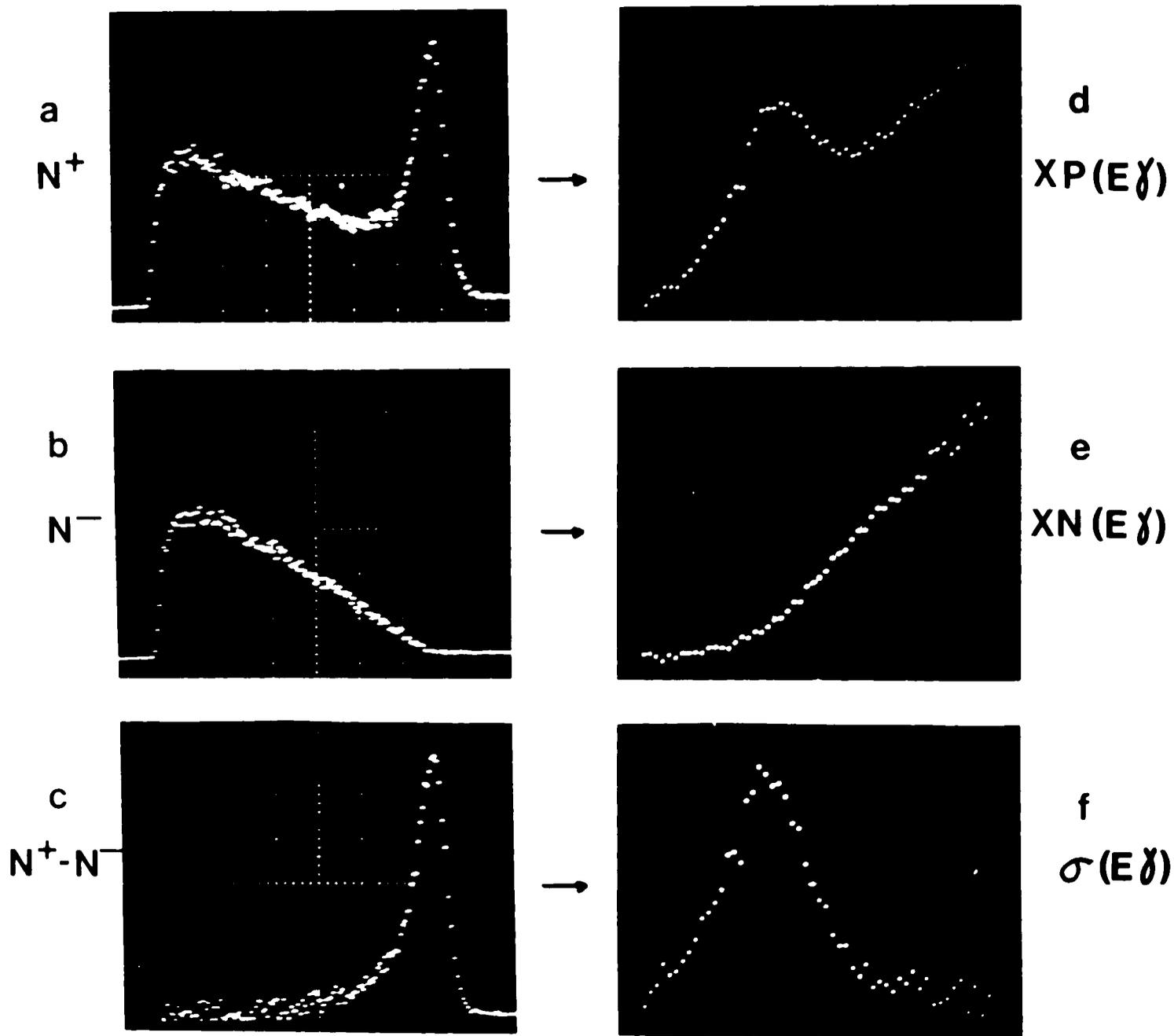


Fig. II. 12

II. 7- Exemples de résultats photonucléaires -

Parmi les exemples les plus typiques des résultats photonucléaires obtenus à l'AL 60 on peut citer :

1° - La mise en évidence dans la section efficace photonucléaire totale du ^{208}Pb (fig. II. 13)

$$\sigma(\gamma, \text{tot}) = \sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, 2n) + \sigma(\gamma, 3n) + \dots$$

d'une structure fine dans la montée de la résonance géante. La mise en évidence de cette structure fine a nécessité plusieurs séquences expérimentales successives dont la cohérence n'était rendue possible que, grâce à la parfaite reproductibilité des réglages, permise par l'automatisation complète de l'appareillage.

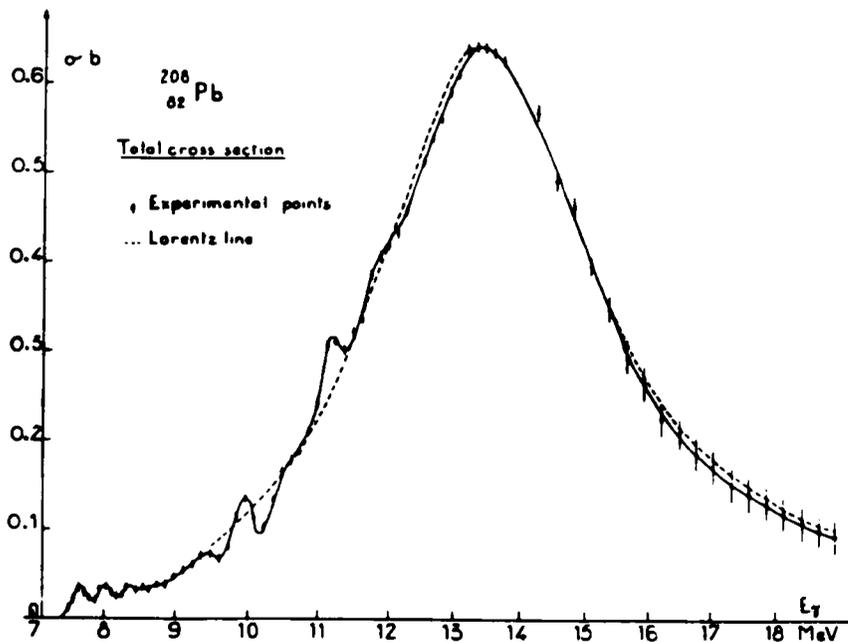


Fig. II. 13

2° - L'étude systématique de la déformation de la résonance géante pour une série d'isotopes qui passent d'un noyau sphérique ^{144}Sm à un noyau à déformation permanente ^{154}Sm . Ces études devaient être menées avec de faibles masses d'isotopes (40 g en moyenne) et le nombre de photoneutrons produits étaient très faibles, mais l'automatisation des réglages permettait une reproductibilité des bruits de fond telle que ces bruits pouvaient être étudiés séparément et soustraits de façon satisfaisante. En outre la mesure simultanée

des voies (γ, n) et $(\gamma, 2n)$ (Fig. II. 14) permettait d'accéder à la section efficace d'absorption :

$$\sigma(\gamma, \text{tot}) \simeq \sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, 2n)$$

dont la déformation continue (Fig. II. 15) a constitué une bonne démonstration du modèle collectif dynamique.

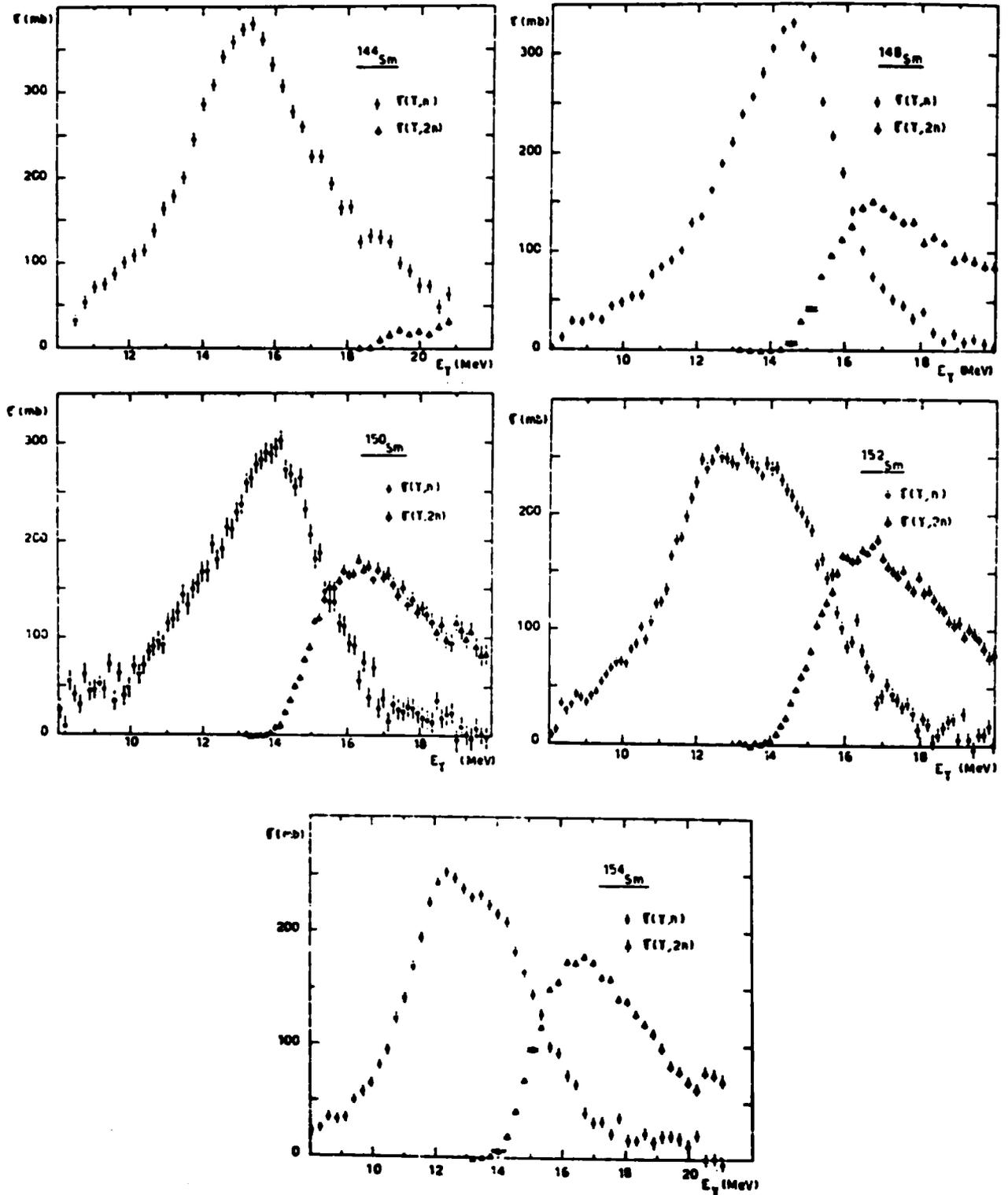


Fig. II. 14

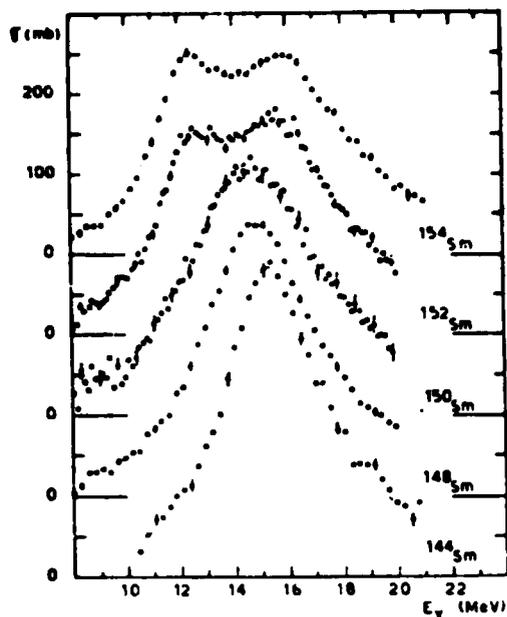


Fig. II. 15

3° - Enfin le cas des noyaux fissiles a fourni un bon exemple de la nécessité de mesurer toutes les voies partielles .

$$(\gamma, n)$$

$$(\gamma, 2n)$$

$$(\gamma, f) + (\gamma, nf)$$

dont seule la somme $\sigma(\gamma, \text{total})$ reproduit le dédoublement de la résonance géante prévu pour les noyaux à déformation permanente comme ^{238}U (Fig. II. 16).

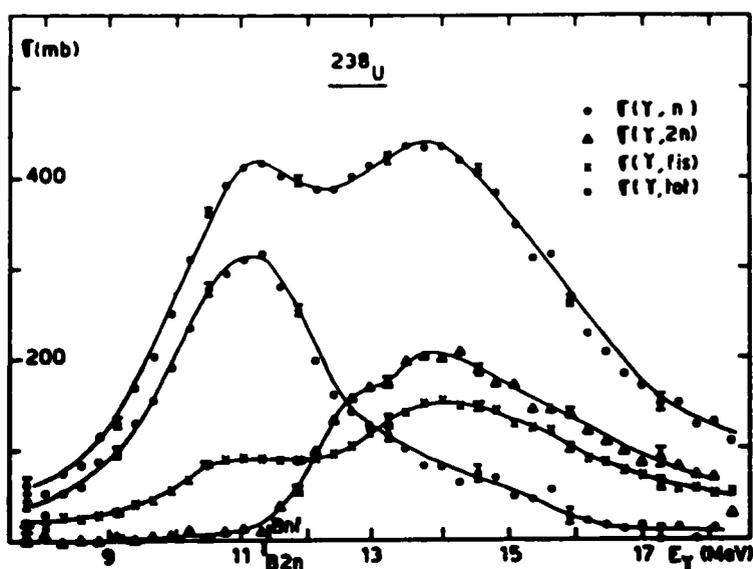


Fig. II. 16

BIBLIOGRAPHIE - (Chapitre 2)

- [11] C. TZARA, " calcul du rendement de conversion e^+/e^- " note interne SPNME du 15. 1. 1952
- [12] H. BEIL, R. BERGERE et A. VEYSSIERE, " Système de détection de photoneutrons utilisant un scintillateur à grandes dimensions permettant l'étude simultanée des réactions (γ, xn) ", N. I. M. 67 (1969) 293-304
- [13] J. B. PARKER, P. FIELDHOUSE, L. R. HARRISON et D. S. MARHER, " Monte Carlo Studies of scintillator efficiencies and scatter corrections for $(n, 2n)$ cross sections measurements", N. I. M. 60 (1968) 7-23
- [14] J. POITOU, H. NIFENECKER et C. SIGNARBIEUX, " Simulation d'expériences sur la fission par la méthode de Monte-Carlo", Note CEA N-1282 (1970)
- [15] P. J. CARLOS - Thèse, Université de PARIS-SUD
- [16] A. VEYSSIERE - Thèse, Université de BORDEAUX
- [17] P. GALLICE - Rapports DEG/EI/R - n° 1948, 2426, 2429
- [18] P. GALLICE - Rapport DEG/EI/R - n° 2646

CHAPITRE III

GENERALITES SUR L'ETUDE DES REACTIONS PHOTONUCLEAIRES

A L'ALS

(Accélérateur Linéaire de 600 MeV)

Bien que ces mesures soient faites avec des faisceaux de photons quasimonochromatiques obtenus, comme à l'AL 60 par annihilation en vol de positons, des différences fondamentales existent entre les conditions de création et d'emploi de ces faisceaux à l'AL 60 et à l'ALS. Ces différences sont résumées ci-dessous :

III. 1- Création des positons (fig. III. 1)

A l'ALS les positons ne sont pas créés en bout d'accélérateur comme à l'AL 60. L'expérimentateur ne dispose donc plus d'un spectre en énergie continu de positons dans lequel il peut sélectionner, par réglage automatique d'une optique magnétique, des positons d'énergie variable (entre 10 et 35 MeV à l'AL 60).

Au contraire l'énergie souhaitée est obtenue en réglant les paramètres de l'accélérateur, de la section 7 (après le convertisseur électrons- positons) jusqu'à la section 12 (avant la déflexion vers la

salle BE d'utilisation . Ces réglages de l'accélérateur sont encore insuffisamment connus et ne pourront être automatisés que dans une deuxième étape. Par contre le réglage du système magnétique de transport des positons depuis la fin de la section 12 de l'accélérateur jusqu'en salle BE peut être automatique (cf. chapitre V).

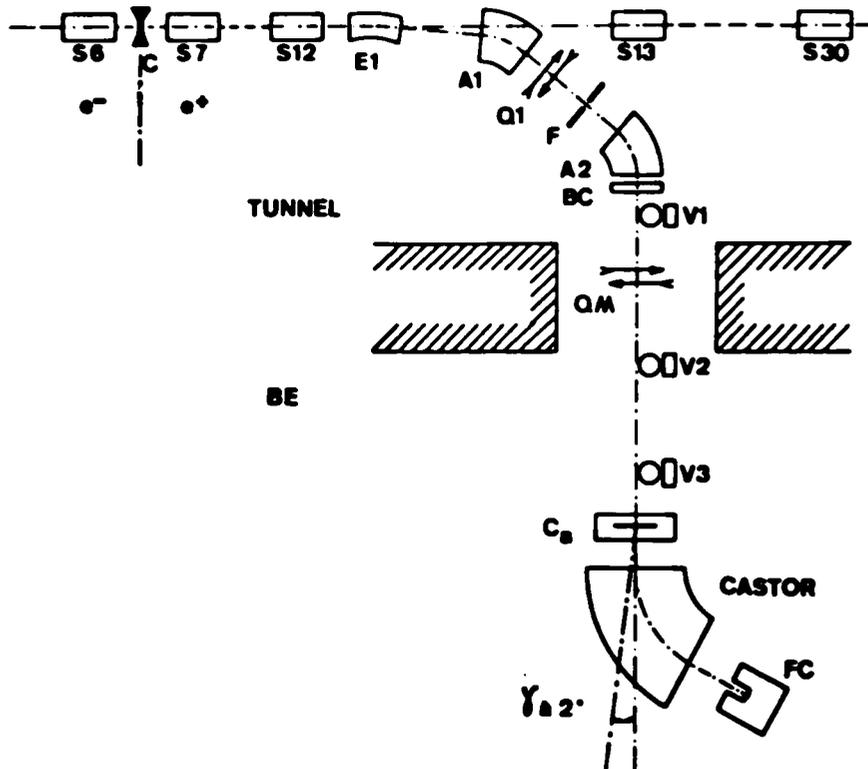


Fig. III. 1.

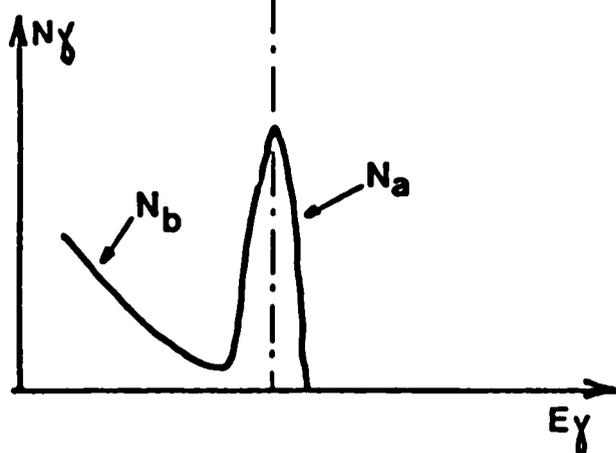
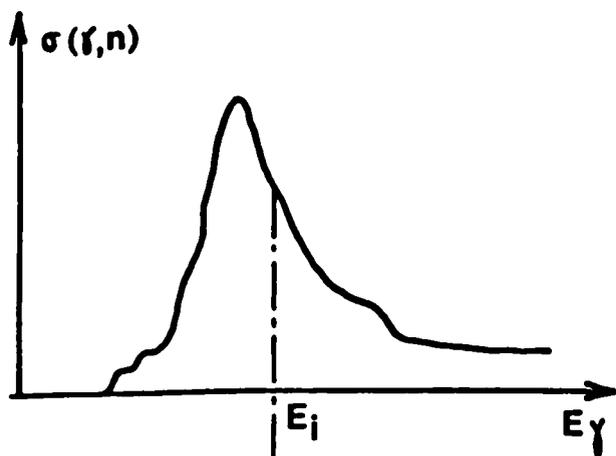
III. 2 - Etude de sections efficaces photonucléaires au-delà de la résonance géante -

Une autre différence fondamentale existe. A l'AL 60 des photons de 20 MeV en moyenne étaient utilisés pour l'étude de la résonance géante et à l'énergie E_i (fig. III. 2) l'information intéressante $N_a \sigma^- (E_i)$ due à l'interaction des photons monochromatiques d'annihilation N_a était de l'ordre de grandeur de la contamination :

$$\int_{\text{Seuil}}^{E_i} N_b (E) \sigma^- (E) dE$$

due à l'action des photons N_b de la queue de bremsstrahlung.

AL60



ALS

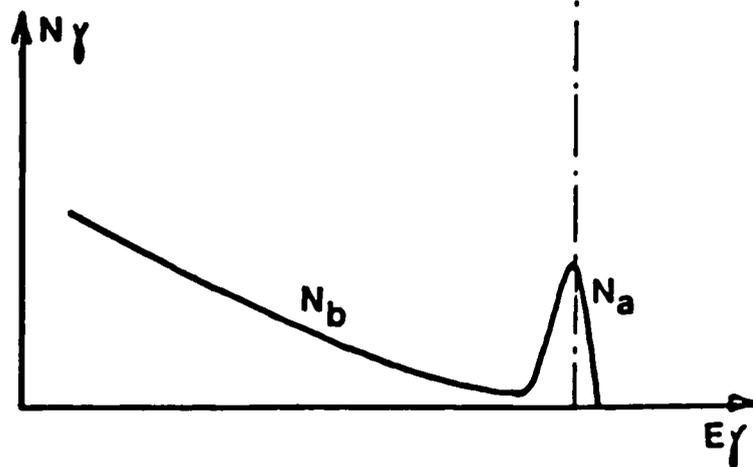
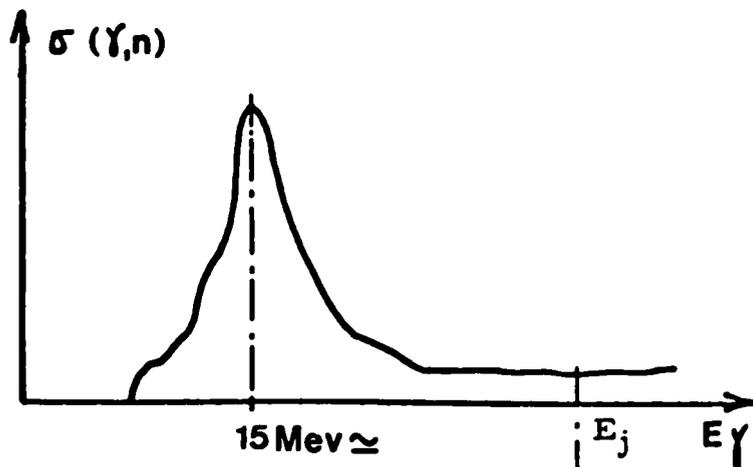


Fig. III. 2.

A l'ALS les mesures photonucléaires sont prévues de 40 à 120 MeV ce qui fait qu'au-delà de la résonance géante le comptage total est :

$$N_a \sigma(E_j) + \int_{\text{seuil}}^{E_j} N_b(E) \sigma(E) dE$$

Il correspondrait à un rapport signal sur bruit très mauvais si l'on n'essayait pas d'accroître au maximum le rapport $\frac{N_a}{N_b}$. Pour cela on a accepté de perdre un peu sur la valeur de N_a pour N_b perdre beaucoup plus sur N_b . On utilise le fait que, si $\theta = 0$ est l'axe d'arrivée des positons sur la cible d'annihilation, la distribution angulaire des photons parasites de bremsstrahlung N_b est beaucoup plus piquée vers l'avant, autour de $\theta = 0$ que la distribution angulaire des photons d'annihilation N_a . Le tableau suivant montre, pour une cible d'annihilation Ca de LiH (2 mm), comment, en sélectionnant les photons à l'angle θ par rapport

à l'axe d'arrivée des positons d'énergie $80 \text{ MeV} \pm 0,5$ varient :

- L'énergie E_a du pic des photons d'annihilation N_a ;
- La largeur ΔE_a du pic d'annihilation ;
- Le nombre de photons d'annihilation N_a (par positon incident) dans un angle solide de 10^{-4} stéradian;
- Le rapport S/B des photons " monochromatiques " N_a aux photons de bremsstrahlung N_b compris entre 15 MeV et 15,5 MeV

θ°	E_a Mev	ΔE_a Mev	$\frac{\Delta E_a}{E_a} \%$	N_a $\times 10^6$	N_b $\times 10^6$	$\frac{S}{B}$	N_a normalisé	S/B normalisé
0	79,9	0,96	1,2	18,00	79	0,23	100	1
0,5	79,7	1,12	1,4	10,41	19	0,54	58	2
1	78,7	2,22	2,8	4,05	2,6	1,56	23	7
1,5	76,7	3,46	4,5	1,72	0,45	3,8	10	17
2	73,7	4,36	5,9	0,87	0,11	7,4	4,5	32

On voit qu'en sélectionnant les photons produits à $\theta = 2^\circ$ on n'obtient certes que 4,5% des photons monochromatiques disponibles autour de $\theta = 0^\circ$ mais avec un rapport S/B amélioré d'un facteur 32.

Malheureusement ce gain sur S/B se paye par une sensibilité très grande du nombre N_a et N_b de photons produits à 2° par rapport aux fluctuations que la direction d'arrivée des positons peut subir en cours d'expérience par rapport à l'axe théorique d'arrivée des positons ($\theta = 0^\circ$)

$$\frac{\Delta N_a}{N_a} \simeq 5\% \text{ pour } \Delta \theta = 1 \text{ mR}$$

$$\frac{\Delta N_b}{N_b} \simeq 12\% \text{ pour } \Delta \theta = 1 \text{ mR}$$

III. 3 - Production d'une raie de photons monochromatiques à l'ALS-

Il est apparu nécessaire d'employer une méthode, pour produire en deux temps une raie de photons monochromatiques, différente de celle utilisée à l'AL 60.

En effet il est impossible d'accélérer de S 6 à S 12 un faisceau d'électrons ayant des caractéristiques d'émittance (et en particulier de direction et de divergence angulaire) identiques à celles d'un faisceau de positons de même énergie.

Même lorsqu'un même nombre de positons et d'électrons traversent la cible d'annihilation, les spectres de photons obtenus (détectés par un cristal NaI de 8" x 10", d'efficacité 100%) montrent des différences imprévisibles dans les queues de Bremsstrahlung $N_b(E)$, (Fig. III. 3a) parce que $\left(\frac{d N_b}{d E}\right)$ varie très vite à $\theta = 2^\circ$.

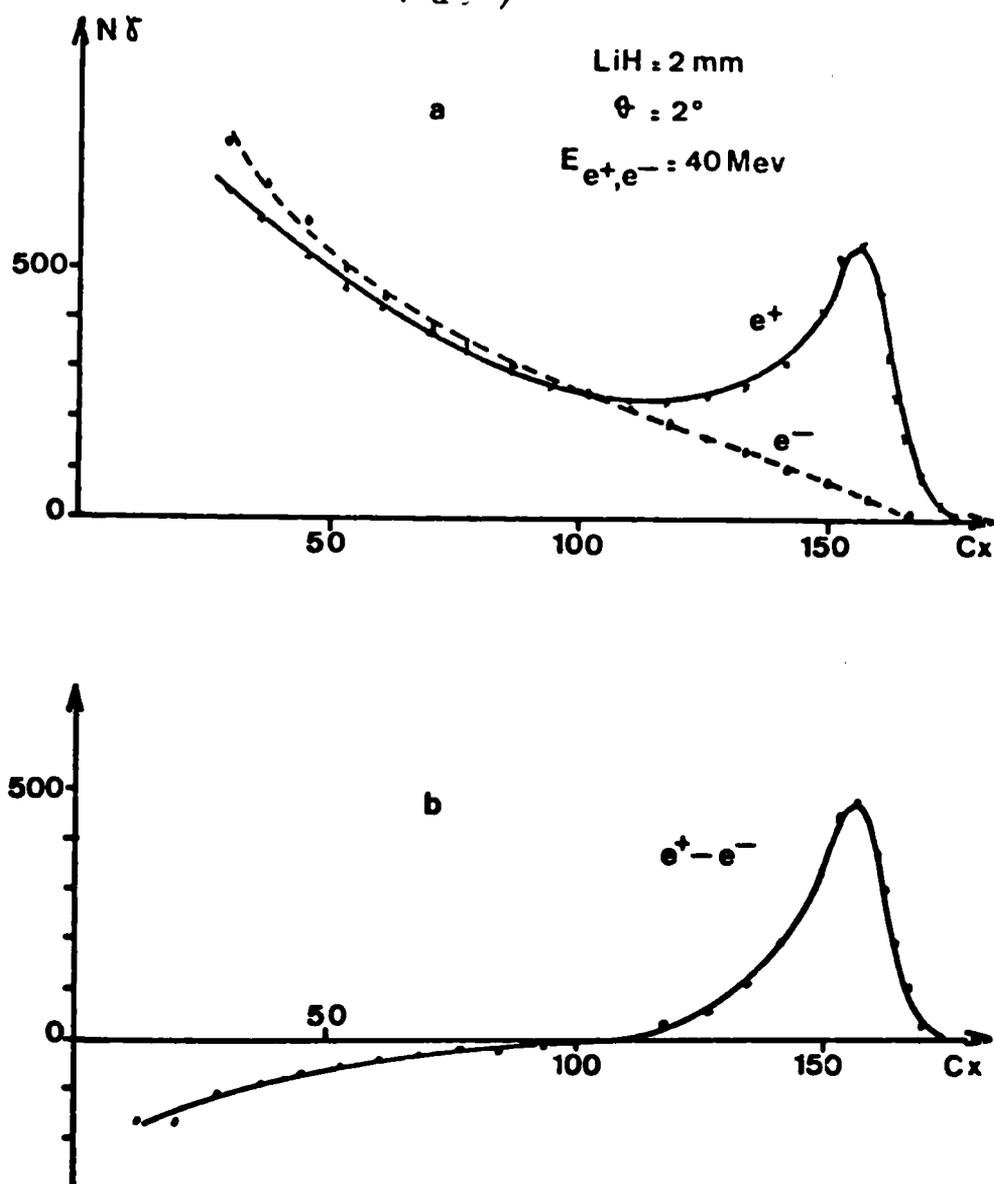


Fig. III. 3

Une soustraction pure et simple des 2 spectres comme à l'AL 60 est donc impossible car elle laisse subsister (Fig. III. 3b) un résidu imprévisible de photons de basse énergie dont l'effet contaminateur est malheureusement considérable car ils se trouvent dans la zone des grandes sections efficaces de la résonance géante.

Afin de résoudre cette difficulté nous avons utilisé la méthode proposée par le groupe d'étude des réactions photonucléaires de B. ZIEGLER à Mayence [19] : celle-ci repose sur l'utilisation d'un seul faisceau de particules, en l'occurrence un faisceau de positons, mais de deux cibles d'annihilation de nombre atomique différent; par exemple Be ($Z = 4$) et Al ($Z = 13$) ou LiH ($Z \neq 2$) et Cu ($Z = 29$). On détermine l'épaisseur de chacune des cibles du couple choisi de manière à disposer du maximum de photons quasimonochromatiques utiles, d'une largeur de raie aussi petite que possible et d'une identité aussi voisine que possible des spectres de bremsstrahlung.

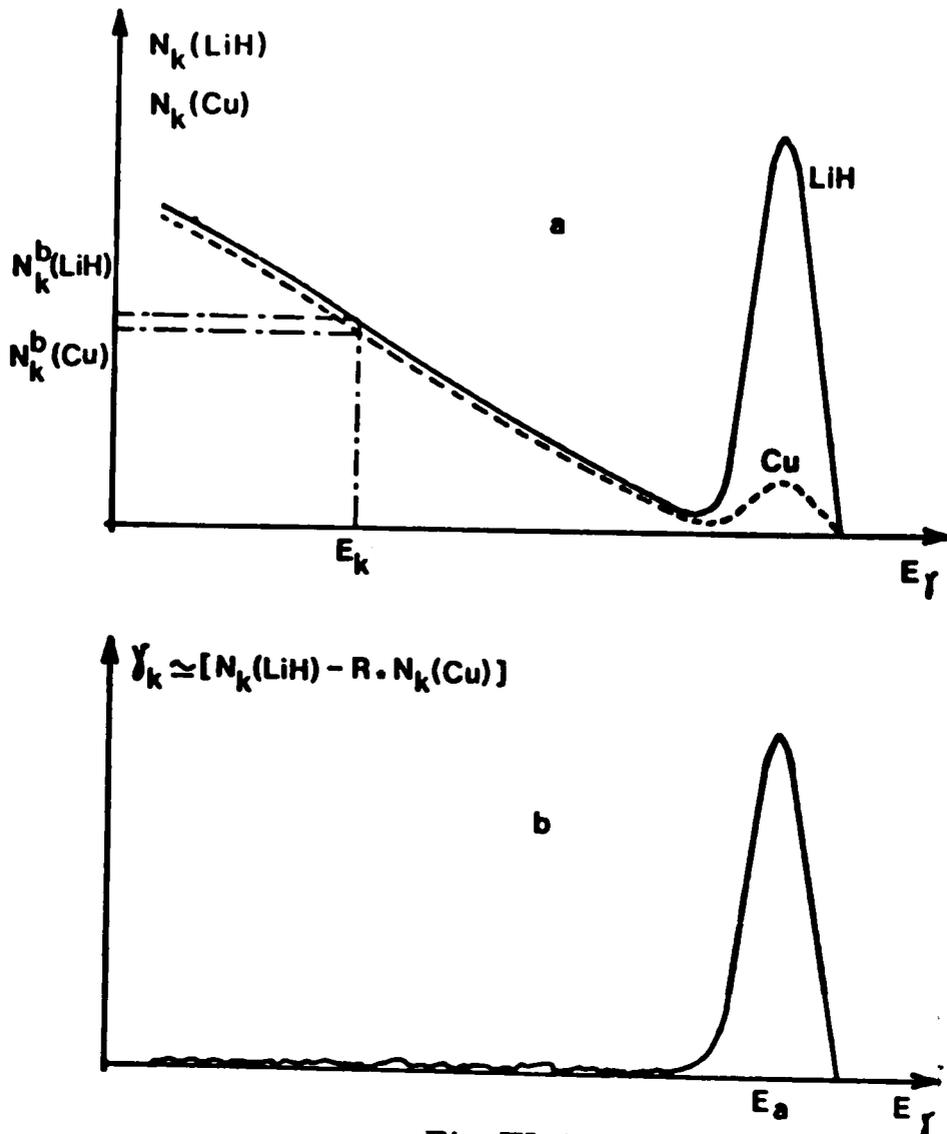


Fig. III. 4

La fig. III. 4 a résume le principe de la méthode dans le cas du couple Li H (2 mm) - Cu (35 μ) utilisé à l'ALS pour lequel le rapport d'affinité défini par (fig. III. 4b.)

$$R = \frac{N_k^b (\text{Li H})}{N_k^b (\text{Cu})}$$

où R est voisin de 1, $N_k^b (\text{Li H})$ et $N_k^b (\text{Cu})$ étant le nombre de photons de bremsstrahlung observés à l'énergie E_K sur les spectres obtenus en Li H et en Cu respectivement. Expérimentalement le rapport $R = \frac{N_k^b (\text{Li H})}{N_k^b (\text{Cu})}$

reste pratiquement constant pour toute énergie E_K dans le spectre de bremsstrahlung car les numéros atomiques du Cu d'une part et de Li et H d'autre part ne sont pas trop différents. On peut alors éliminer l'effet de la queue de bremsstrahlung qui contamine le spectre des photons $N_k^b (\text{Li H})$ et produire une raie quasimonochromatique d'énergie E_a en considérant pour chaque énergie E_k la différence (fig. III. 4b).

$$\gamma_k = N_k (\text{Li H}) - R N_k (\text{Cu})$$

Cependant, alors qu'à l'AL 60 il avait été possible de déterminer en fonction de l'énergie, une fois pour toute le flux de photons utiles correspondant à un nombre de charges e^+ ayant traversé une cible donnée d'annihilation, les fluctuations du faisceau à l'ALS ne permettent pas de reproduire le flux de photons produit à $\theta = 2^\circ$ par un nombre donné de positons à mieux que $\pm 20\%$.

Il est donc apparu nécessaire d'enregistrer simultanément, pour chaque énergie E_γ les spectres de photons et les évènements nucléaires associés à la réaction photonucléaire que l'on étudie. Il est en effet indispensable de connaître les spectres de photons si l'on veut déterminer le rapport d'affinité R et le nombre des photons monochromatiques utiles.

III. 4 - Dispositif expérimental en salle BE -

En utilisant les moyens opérationnels décrits ci-dessus, une première série de mesures photonucléaires a été effectuée en salle BE. Elles visaient à l'étude du processus (γ, n) au-delà de la résonance géante à l'aide du dispositif expérimental décrit ci-dessus et représenté sur la figure III. 5.

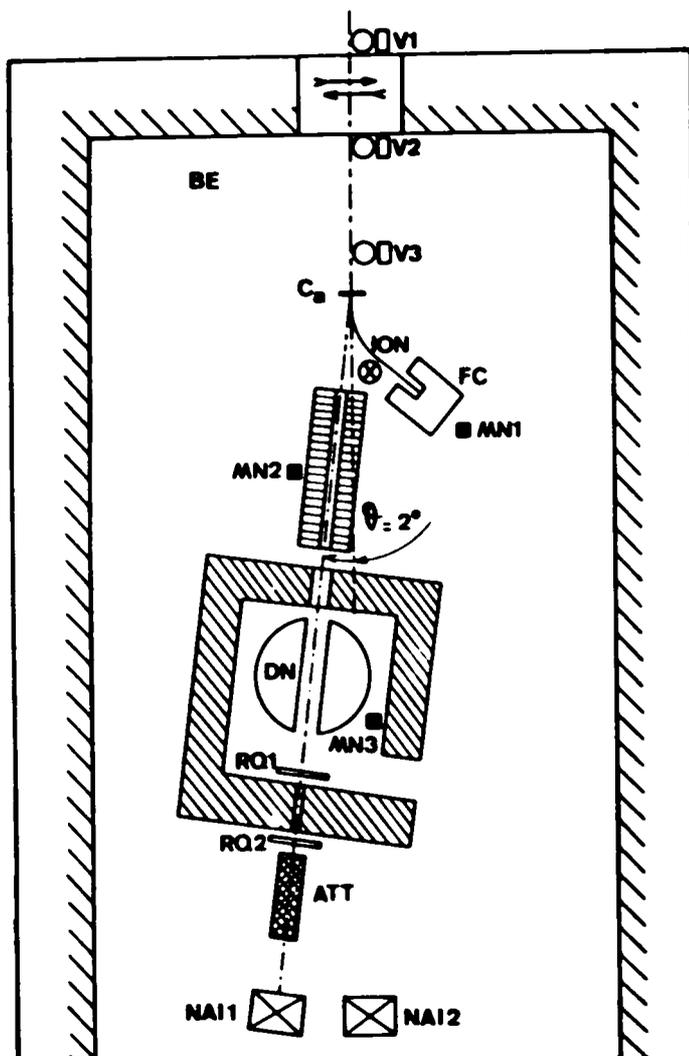


Fig. III. 5

La deuxième partie du travail présenté dans cette thèse a eu pour objet de mettre au point les différents systèmes de mesure schématisés sur cette figure et d'assurer le traitement en ligne par ordinateur des informations qu'ils fournissent. On peut classer en 3 groupes ces moyens de mesure :

a - Mesure des caractéristiques du faisceau de positons à l'aide des visualiseurs V1, V2 et V3 et du capteur de Faraday FC (cf. Chapitre V).

b - Mesure des signaux photoneutroniques par le détecteur de neutrons (DN) décrit au chapitre II et des bruits de fond neutroniques par les détecteurs MN1, MN2 et MN3 (cf. Chapitre VI).

c - Mesure des caractéristiques des spectres de photons à l'aide du scintillateur NAI 1 et des scintillateurs plastiques RQ1 et RQ2.

. Evaluations des bruits photoniques par un second scintillateur NAI 2 et une chambre d'ionisation ION.

BIBLIOGRAPHIE - (Chapitre III)

- [19] B. ZIEGLER - Max Planck Institute de Mayence - Communication privée .

CHAPITRE IV

MATERIEL STANDARD UTILISE POUR L'AUTOMATISATION DES EXPERIENCES

INTRODUCTION -

Nous nous proposons dans ce chapitre de décrire les types de matériels utilisés en rappelant leur destination, leurs caractéristiques et leur interconnexion, de façon à ne nous préoccuper dans les chapitres suivants, que de leur utilisation avec les matériels étudiés et mis au point pour la gestion de l'expérience.

Instruits, par nos travaux précédents effectués à l'accélérateur linéaire de 60 MeV de Saclay, sur l'évolution que peut avoir une expérience de physique, nous avons choisi lors de l'aménagement de la salle BE de l'ALS un matériel modulaire, classique, largement utilisé, aussi bien en ce qui concerne les calculateurs que l'électronique de contrôle et d'acquisition associée. Ainsi des modifications ou des mises en place de nouveaux matériels de détection ou de contrôle peuvent être réalisés en peu de temps et à moindre frais.

Pour les calculateurs notre choix s'est porté sur des " mini " fabriqués par DIGITAL EQUIPMENT (PDP 8) qui bien qu'évoluant au cours du temps sur le plan technique restent toujours compatibles entre eux et auxquels peuvent être adjoint un grand nombre de périphériques peu onéreux.

Comme standard d'électronique nous avons choisi le CAMAC qui est utilisé par à peu près tous les grands laboratoires du monde (CERN, BATAVIA, SLAC, etc...) et auquel s'intéressent beaucoup de firmes, mettant à la disposition des utilisateurs un grand nombre de modules.

IV. 1- QU'EST-CE QUE CAMAC ?

Le CAMAC est un standard électronique qui permet d'interfacier très simplement une expérience de physique ou un système industriel à un ordinateur.

Les règles " CAMAC " concernent les spécifications mécaniques, électriques (signaux d'entrée sortie et les alimentations) ainsi que celles de la logique de communication avec l'extérieur et le cadencement en temps des signaux associés. Ceci permet d'assurer la compatibilité entre les unités développées par différents laboratoires ou fabricants. Un logiciel de haut niveau (IML) a également été normalisé et peut être utilisé pour la programmation du système. [20,21]

De l'ordre de 500 modules différents ont déjà été étudiés et peuvent satisfaire la majeure partie des besoins des utilisateurs.

IV. 1.a - Normes mécaniques - (fig. IV. 1)

Le châssis de 19 pouces de 6U de hauteur comportant 25 stations au pas de 17,6 mm possède dans le fond un bus appelé " DATAWAY " qui permet de relier chaque module par l'intermédiaire de connecteurs à 86 points.

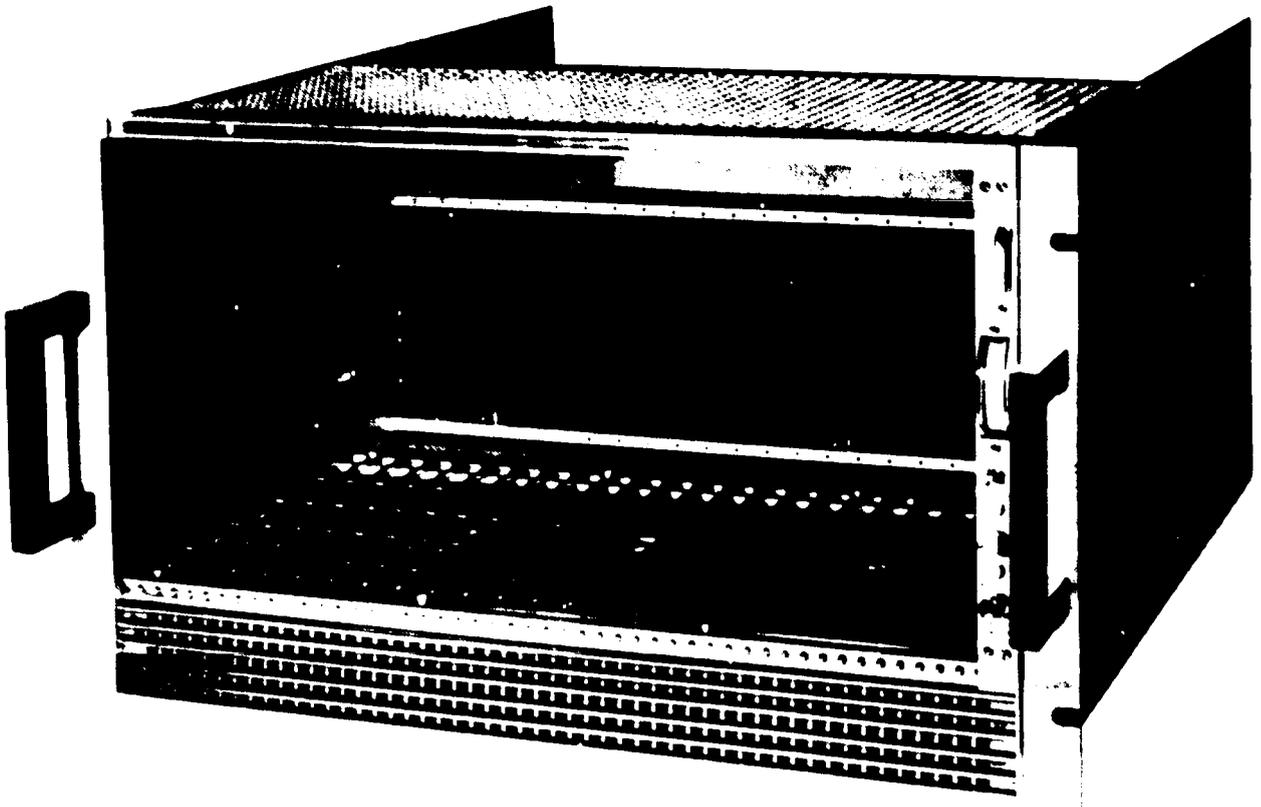


Fig. IV. 1

IV. 1b- Normes électriques -

Les tensions d'alimentation + et - 6 volts et + et - 24 volts ont été retenues. Certains châssis sont parfois équipés de + et - 12 volts pour recevoir éventuellement des modules NIM. On utilise la logique négative " 1 " = 0V, " 0 " = + 2,4 à + 5 V.

La vitesse d'échange des informations sur le " DATAWAY " est de 1 MHz.

IV. 1c - Fonctions normalisées -

32 fonctions ont été retenues. 16 sont en réserve et 16 ont été affectées :

- 4 fonctions de lecture.
- 4 fonctions d'écriture.
- 4 fonctions de tests.
- 4 fonctions de marche et d'arrêts.

Elles sont dénommées F. 0 à F. 31.

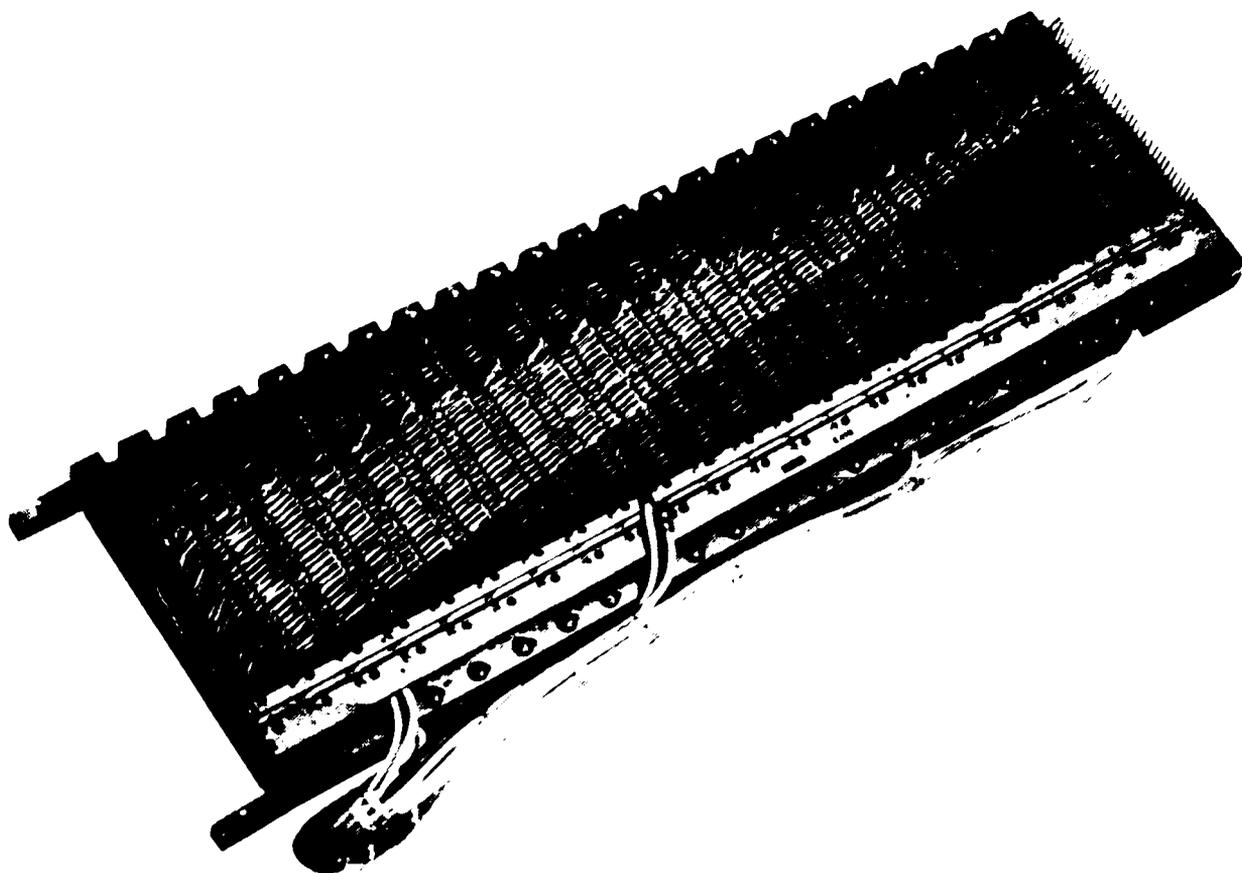


Fig. IV. 2

IV. 1. d- Description du DATAWAY (fig. IV. 2)

Le BUS est organisé de la manière suivante :

- 6 lignes d'alimentation + et - 6, + et - 24, + et - 12.
- 2 lignes de 0 volt (masse).
- 24 lignes d'écritures W1 à W24.
- 24 lignes de lectures R1 à R24.
- 4 lignes d'adressage A1, A2, A4, A8 .
- 5 lignes de fonctions F1, F2, F4, F8, F16.
- 1 ligne d'occupation B.
- 1 ligne de réponse à un test Q .
- 1 ligne de réponse à une fonction X.
- 1 ligne d'inhibition I.
- 1 ligne de remise à zéro C.
- 1 ligne d'initilisation Z.
- 2 lignes d'échantillonnage S1 et S2.

Chaque station est reliée au connecteur le plus à droite par un fil N qui permet l'adressage du module et par un fil L qui permet au module d'appeler le contrôleur de châssis.

IV. le - Le contrôleur de châssis -

Le contrôleur de châssis, en général 2/25, est " enfiché " dans la station la plus à droite du châssis. Il reçoit du calculateur le mot de commande appelé C N A F (C = N° de châssis, N = N° du module, A = adresse dans le module, F = fonction à exécuter dans le module). La longueur de ce mot est de 17 bits (C = 3, N = 5, A = 4, F = 5).

Le C et le N sont décodés dans le contrôleur.

Le A et le F sont transmis directement au module qui en assure le décodage.

Le contrôleur est constitué en gros de :

- 1 décodeur des N.
- 1 décodeur des C.
- 1 registre tampon de 24 bits pour l'écriture.
- 1 registre tampon de 24 bits pour la lecture.
- 1 générateur de signaux de services, par exemple S1 et S2.
- 1 registre de configuration des appels.

IV. 1f- Organisation du raccordement des châssis (fig. IV. 3)

Deux organisations sont possibles qui répondent à des critères différents (nombre de châssis et distance entre ces châssis).

IV. 1. f 1 - Configuration de châssis : (fig. IV. 3a). Les châssis sont reliés au calculateur par un contrôleur spécialisé dont l'organisation dépend du calculateur. La distance entre le calculateur et les châssis ne peut excéder 15 mètres à cause de la synchronisation des signaux d'échantillonnage du calculateur.

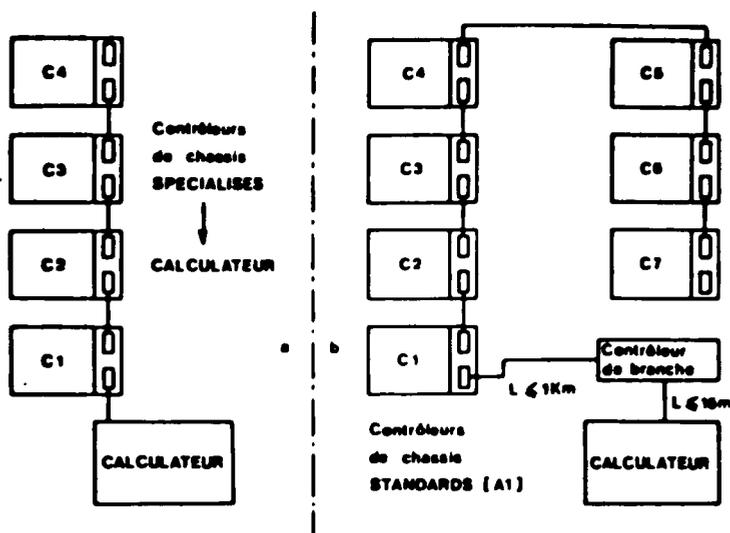


Fig. IV. 3.

IV. 1. f. 2 - Configuration de branche (fig IV. 3b). Les châssis sont reliés au calculateur par un contrôleur de branche via un contrôleur de châssis. Les contrôleurs de châssis, dans ce cas, sont de type standard (A1). Seule l'organisation du contrôleur de branche dépend du calculateur.

Avec un contrôleur de branche on peut contrôler 7 châssis. La distance entre les châssis peut atteindre 1 Km. Les signaux de synchronisation étant générés par le contrôleur de branche.

A partir de 2 châssis la configuration de branche est financièrement rentable car un contrôleur de branche ne coûte pas plus cher qu'un contrôleur de châssis spécialisé et dans le cas d'une éventuelle extension le coût sera considérablement réduit ainsi que le délai d'approvisionnement de contrôleur de châssis standard (A1).

IV. 1g - Fonctionnement du système -

- Cas d'une lecture : Le CNAF réalise la lecture du registre du module et le mémorise dans le contrôleur. Ce registre est ensuite lu par le calculateur.

- Cas d'une écriture : Le calculateur envoie les données à écrire dans le registre du contrôleur et le CNAF réalise l'écriture dans le registre concerné du module.

- Cas d'un appel : Le module émet un signal sur sa ligne L qui est transmis au calculateur par le contrôleur. Le calculateur interprète cet appel en venant lire le registre de configuration des appels. Le flip flop de chaque module relié à la ligne L d'appel est appelé LAM.

- Cas d'un test : Le calculateur transmet un C N A F au contrôleur correspondant à un test sur un élément d'un module. Si le test est positif, un signal sur la ligne Q l'indique au calculateur.

- Cas d'une mise en marche ou d'un arrêt : Le calculateur envoie simplement un C N A F au contrôleur qui le transmet au tiroir. Le calculateur n'attend rien en retour.

IV. 1.h - Avantages de CAMAC -

Le CAMAC est un système modulaire où il est très facile de remplacer un module en panne, d'ajouter un ou plusieurs modules. Toutes les connexions avec le calculateur étant réalisées, le nombre des liaisons sera limité à l'amenée des signaux.

Il suffira alors de développer le logiciel correspondant à la commande des modules. Les fonctions étant normalisées, les programmes seront très simples.

Parmi les modules développés on peut citer :

- Des codeurs de charges, de tensions, d'amplitude d'impulsions, de temps. Un ou plusieurs éléments peuvent être groupés dans le même module (Ex. 12 codeurs de charges dans 1/25).

- Des échelles de comptages (12 voies, 24 bits, 100 MHz dans 1/25).

- Des registres d'entrées-sorties (jusqu'à 256 bits).

- Des commandes de moteur pas à pas.

- Des commandes d'alimentations, de triacs, surveillance de niveaux, etc...

IV. 1.i - Contrôleur JCPDP8 I -

Ainsi que nous l'avons vu (f), il est possible de choisir deux types de raccordement au calculateur. Nous avons retenu le type de la configuration de châssis. Le contrôleur spécialisé JCPDP8 I a alors été développé par les S E S [22].

Le format d'une instruction CAMAC est de 16 bits et le format des informations est de 24 bits (lecture ou écriture). Ces formats ne sont pas compatibles immédiatement avec celui du calculateur et de plus ils varient avec la longueur du mot information. C'est pourquoi le fonctionnement du contrôleur sera différent selon le type d'instruction CAMAC à effectuer, celles-ci nécessitant 2 3 ou 4 instructions d'entrée-sorties calculateur (IOT).

Il y a donc 5 types de fonctions :

- Ordre, test / 2 IOT
- Ecriture 12 bits / 3 IOT
- Lecture 12 bits / 3 IOT
- Ecriture 24 bits / 4 IOT
- Lecture 24 bits / 4 IOT

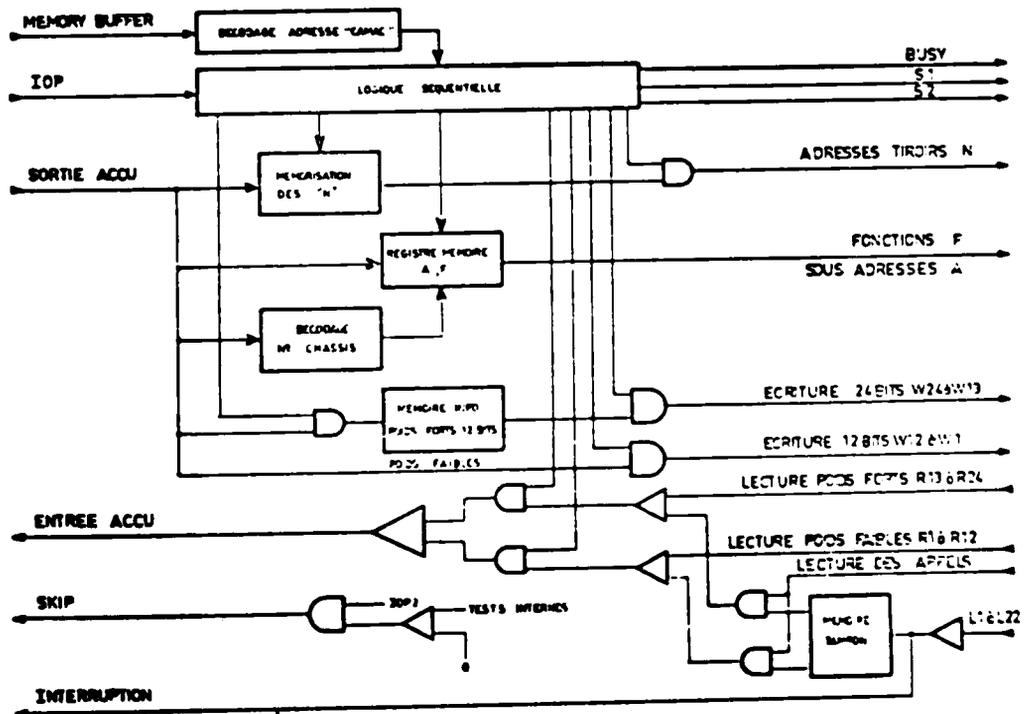


Fig. IV. 4

Pour réaliser des divers types de fonctionnement, le module contrôleur dispose de : (fig.IV. 4).

a) Mémoires tampon permettant de mémoriser :

- Les 5 bits d'adresse " N "
- Les 4 bits de sous-adresse " A "
- Les 5 bits de fonction " F "
- Les 12 bits d'information poids forts (13 à 24)

b) Circuits logiques séquentiels permettant de traiter convenablement les différentes instructions CAMAC.

On peut bien sûr réaliser soi-même des modules spécifiques, mais ils devront répondre à la norme, pour éventuellement être utilisés sur n'importe quelle installation CAMAC.

IV.2 - LES CALCULATEURS -

Ils sont au nombre de trois : deux (PDP8 I et PDP8 E) sont à demeure réservés pour le contrôle et l'acquisition des données de l'expérience (γ , x_n) et de ce fait couplés, et un (PDP8 E) banalisé pour la mise au point de certains éléments constitutifs des expériences en cours ou à venir.

Ces trois calculateurs sont équipés d'un minimum de périphériques permettant leur utilisation indépendante et pratique. Ainsi ils possèdent des dérouleurs de " DECTAPE " supportant le système classique " OS8 " permettant des manipulations aisées et la possibilité de corriger les programmes in situ. Le classique téléimprimeur TTY est remplacé par une console alphanumérique beaucoup plus souple dans son emploi (graphique possible) et d'une utilisation plus agréable.

Tous comportent une interface CAMAC (contrôleur de châssis) fabriquée au SES à Saclay et comme les programmes sont écrits de telle façon qu'ils puissent s'exécuter sur n'importe quel calculateur, on possède trois unités complètement compatibles. Ainsi un module CAMAC peut être testé sur un calculateur, tandis qu'un programme peut être développé sur un second et qu'une révision peut intervenir sur le troisième.

Pour le développement des programmes et le traitement hors ligne des données, nous avons spécialisé la configuration construite autour du PDP8 I en y adjoignant en plus des périphériques communs aux trois unités, d'autres destinés à faciliter ces travaux. Nous donnerons en détail les caractéristiques de cette unité, les autres ne diffèrent que par leurs périphériques et la nature des modules CAMAC que nous rappellerons pour mémoire.

IV. 2. a - Configuration PDP8 I (fig. IV. 5)

En dehors des périodes de manipulation cette configuration est utilisée d'une part comme nous l'avons vu, au développement des programmes, et d'autre part au traitement des données enregistrées pendant l'expérience. Pendant les expériences, cette unité est entièrement consacrée à l'acquisition, au traitement et au stockage des données provenant des détecteurs nucléaires.

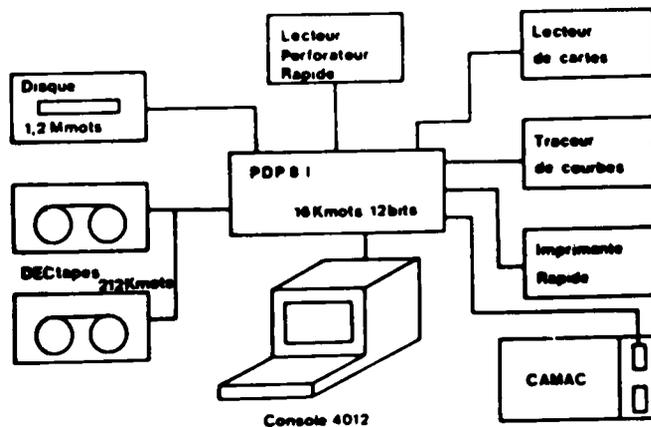


Fig. IV. 5

IV. 2. a. 1- Le matériel

Cette unité mise en place autour d'un ordinateur PDP8 I comprend 16 Kmots de 12 bits d'unité centrale, une extension arithmétique, une horloge temps réel et une ligne d'interruption . Elle est en outre équipée des périphériques suivants :

- 1 disque amovible RK8 E de 1,2 Mmots sur lequel réside le système, les programmes nécessaires au développement et les programmes utilisateurs.

- 2 unités de bandes magnétiques non compatibles type DECTAPE d'une capacité de 212 Kmots destinées à recevoir les données expérimentales et pouvant ainsi supporter un système en cas de défaillance du disque.

- 1 console alphanumérique type TEKTRONIX 4 010 qui, outre sa fonction T T Y, peut être utilisée en terminal graphique.

- 1 imprimante rapide.

- 1 lecteur de cartes perforées utilisé pour le développement.

- 1 lecteur perforateur rapide.

- 1 traceur de courbes.

IV.2.a-2- Le logiciel -

Au point de vue logiciel, l'ensemble est géré par un système " OS8 " qui permet tous les transferts de programmes de périphériques à périphériques ainsi que l'enchaînement de certaines tâches (par exemple : compilation + assemblage + changement + exécution) mais ne peut réaliser de temps réel ce qui, compte tenu de la taille et des destinations du calculateur, se comprend facilement. Ce système peut gérer un nombre plus ou moins grand de périphériques et de programmes et si on le retrouve sur les trois unités, il est adapté sur chacune d'elles aux périphériques existants et aux programmes utilisés.

Les différents langages pouvant être facilement utilisés par ce type de calculateur et gérés par le système, sont :

- Le langage machine (PAL) : Ce langage qui permet une utilisation maximum de la machine se heurte pour les gros programmes à une complexité et un manque de souplesse difficilement surmontable, pour un utilisateur ne faisant pas d'informatique à plein temps.

- Le FORTRAN II : Ce langage qui offre toutes les possibilités du FORTRAN II de machine plus grosse est utilisé pour les petits calculs en ligne ou hors ligne, mais sa lenteur excessive le fait rejeter pour l'acquisition des données.

- Le SABR : C'est un langage intermédiaire entre le PAL et le FORTRAN qui permet tout en utilisant les instructions machine de se libérer des contraintes du PAL et de bénéficier de la bibliothèque FORTRAN.

En outre grâce au système auquel il peut avoir accès, des échanges automatiques de programmes peuvent avoir lieu.

Des langages plus élaborés peuvent être utilisés, mais vu la petite taille des Unités Centrales, leur emploi est peu commode (FORTRAN IV, BASIC).

IV.2. a. 3 - Modules CAMAC : Les modules CAMAC utilisés sur cette unité sont :

- 9013 destiné au couplage des deux calculateurs. [23]

- JEP 30 échelle précompte qui enregistrera le [24]

nombre de particules tombant sur le capteur de Faraday.

- 2 LRS 2551 chaque module comprend 12 échelles [25]

de 24 bits 100 MHz destinés aux comptages.

- 9004 atténuateur dB/dB. [26]

- JCAN 40 codeur d'amplitude. [27]

- JRE 10 registre d'entrée [28]

- JCP 10 commande de moteur pas à pas. [29]

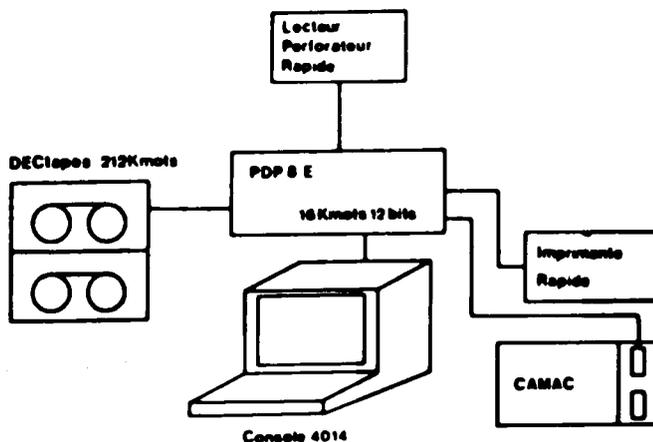


Fig. IV. 6.

IV. 3 - COUPLAGE DE DEUX CALCULATEURS - (fig. IV.7)

Pour réaliser ce couplage, nous avons équipé chacun des châssis CAMAC des calculateurs d'un module " émetteur-récepteur " 24 bits fabriqué par la firme Nuclear Entreprise et commercialisé sous le sigle 9013. Une légère modification de ces modules a dû être entreprise, car ils ne possédaient pas de signal de synchronisation nécessaire à un échange correct de données. Ce signal est généré en ajoutant simplement un double multivibrateur monostable (SN 74123) et est sorti sur une des broches inemployée du connecteur.

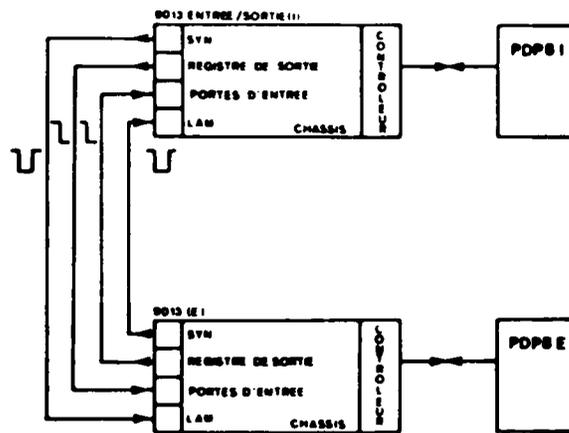


Fig. IV.7

La fonction CAMAC F. 16 qui charge le registre de sortie, entraîne le basculement du premier monostable qui, lors de son retour à la position de repos déclenche le second, générateur du signal de synchronisation proprement dit.

Le temps de basculement du premier monostable assure un chargement correct du registre de sortie. Alors que les données apparaissent comme des niveaux dans le registre, le signal de synchronisation doit être une impulsion pour éviter que le LAM récepteur ne se maintienne après lecture.

La connexion entre les deux modules 9013 s'effectue au moyen d'un câble à 52 fils (2 x 24 pour les données, 2 x 1 pour les signaux de synchronisation et 2 x 1 pour les terres). Le registre de sortie et le signal de synchronisation sont connectés respectivement au registre d'entrée et au LAM de l'autre module et vice versa.

Le transfert d'un mot va alors s'effectuer de la façon suivante (fig. IV.8) : le calculateur émetteur charge le mot à transmettre dans le registre du 9013 grâce à la fonction F 16. Après chargement un signal de synchronisation est émis causant une interruption par l'intermédiaire du LAM dans le calculateur récepteur.

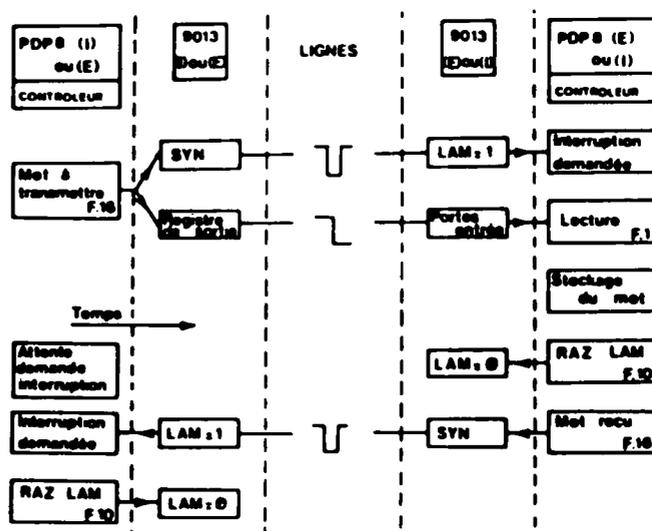


Fig. IV. 8

Celui-ci alors, lit le registre récepteur du 9013 associé par la fonction F 1, remet le LAM à zéro et émet un signal de synchronisation en chargeant à son tour une donnée fictive par F 16. Ce signal de synchronisation est compris par le calculateur émetteur comme un signal d'acceptation.

Lorsque l'on transfère un bloc on augmentera la fiabilité de la transmission en envoyant des données supplémentaires comme " fin de bloc ", " début de bloc ", " parité " etc... Dans ces conditions on arrive à des vitesses de transfert de l'ordre de 10 à 50 Kmots/ seconde, largement suffisantes pour nos applications.

BIBLIOGRAPHIE - (Chapitre IV)

- [20] Normes EUR 4100 concernant le **CHASSIS**
- [21] Normes EUR 4600 concernant la **BRANCHE**
- [22] **SES/ESG/EG/R-3214/MM/CHD du 20.2.1973**
- [23] Notice NE-9013
- [24] Notice SIS-JEP 30
- [25] Notice LECROY 2551
- [26] Notice NE 9004
- [27] Notice SIS JCAN 40
- [28] Notice SIS JRE 10
- [29] Notice SIS JCP 10
- [30] Notice SEN 2025
- [31] Notice NE 9002
- [32] Notice NE 7013
- [33] Notice SIS JHQ 10
- [34] Notice KS - 3158
- [35] Notice SIS Centrale de mesure

CHAPITRE V

CONTROLE DU FAISCEAU DE POSITONS ET AUTOMATISATION

Cette automatisation et le contrôle en ligne du faisceau sont nécessaires pour les raisons évoquées au chapitre III.

En résumé on retiendra que :

- L'énergie des positons doit être parfaitement reproductible.
- La position du faisceau de positons arrivant sur la cible d'annihilation doit être rigoureusement définie et stable.

En outre, il est nécessaire de mesurer avec précision le courant des positons.

Pour répondre à ces exigences, nous avons développé :

- un téléaffichage du courant dans les alimentations des éléments magnétiques de l'optique de transport du faisceau. Ceci présente l'avantage d'une reproductibilité parfaite des courants (suffisante pour notre cas) et de plus, vu la rapidité de réglage, de permettre une analyse aisée du spectre en énergie du faisceau de positons.

- un système de visualisation sensible à un faisceau dont l'intensité moyenne peut varier de 10^{-11} à 10^{-7} ampères et qui permet d'obtenir les coordonnées X et Y du centre de gravité du faisceau et l'encombrement de celui-ci sous forme numérique.

- une chaîne de mesure du courant comprenant : un capteur de Faraday, un détecteur de faible courant et un convertisseur tension fréquence permettant d'intégrer facilement les charges.

V.1- TELEAFFICHAGE DU COURANT DANS LES ALIMENTATIONS DE L'OPTIQUE DE TRANSPORT -

Le système de transport des positons depuis la sortie de la section S12 de l'accélérateur est composé de : (fig. V. 1)

- un aimant E1 défléchissant le faisceau de 5° .

- un aimant A1 défléchissant le faisceau de $42,5^\circ$.

- un doublet quadrupolaire Q1 focalisant le faisceau sur la fente d'analyse en énergie.

- un aimant A2 défléchissant le faisceau de $42,5^\circ$ pour l'amener dans l'axe $\theta = 0$ de la salle de Basse Energie BE.

- une bobine de correction BC, montée sur l'aimant A2 pour corriger les déviations dues aux imperfections de l'ensemble A1 - A2.

- un doublet quadrupolaire QM pour amener un faisceau parallèle sur la cible d'annihilation.

- un aimant de balayage " Castor " qui nettoie le faisceau de photons des positons n'ayant pas subi d'interaction dans la cible d'annihilation A.

- un capteur de faraday FC pour la mesure du courant de positons.

La situation géographique des éléments de l'optique de transport du faisceau est telle, qu'elle est prise en charge par deux groupes différents : la partie située dans le tunnel de l'accélérateur (E 1. A 1 - A 2. Q 1. B C) est prise en charge par l'ALS, et la partie située dans BE (Q M - C A S T O R) est à la charge de notre groupe. Nous avons dû développer deux systèmes de téléaffichage.

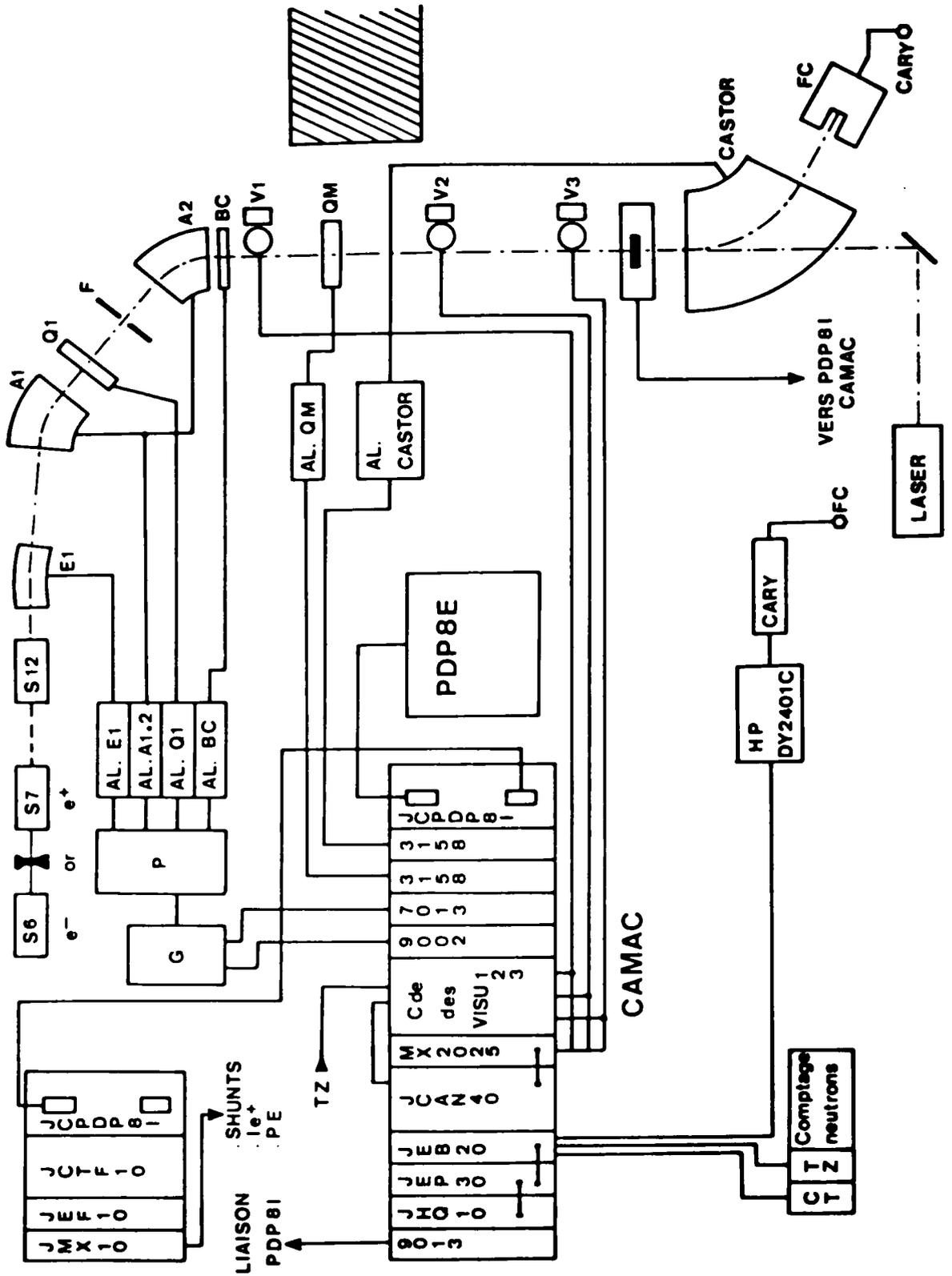


Fig. V. 1

V. 1.a - Téléaffichage du courant de l'optique dans le tunnel (fig. 2a)

Le dispositif de téléaffichage de ces alimentations a été développé autour de convertisseurs Digitaux Analogiques (DAC) par le groupe d'électronique de M. PHUNG à l'ALS (P). Il est situé à proximité des alimentations et peut être commandé soit manuellement soit par ordinateur.

Il s'agissait pour notre groupe de commander ces DAC à partir du ordinateur PDP8 E. Pour cela une interface a été développée par M. GRIMONT aux SES (G). Cette interface, proche du dispositif de téléaffichage, est constituée de registre à 12 bits commandant les DAC et des signaux de synchronisation pour mener à bien les chargements. Cette interface est connectée à un module CAMAC 9002 décrit au chapitre (Configuration PDP8 E) situé dans le châssis CAMAC en salle de commande BE. Un module 7013 (Configuration PDP8 E) est également utilisé pour tester les accusés de réception émis par l'interface.

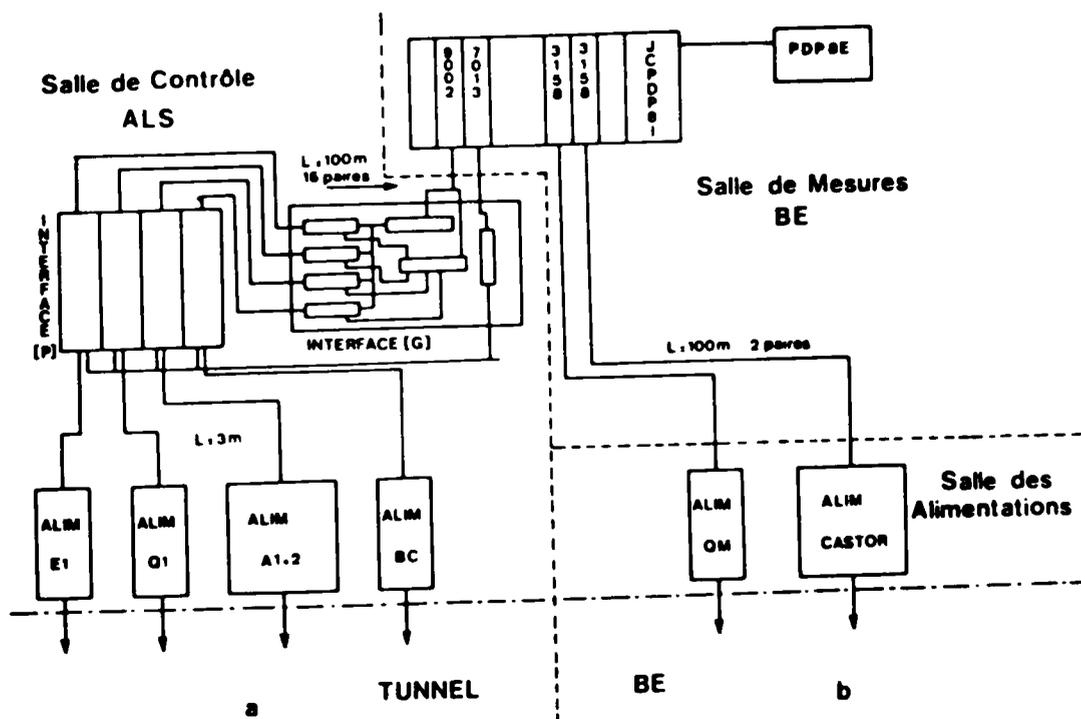


Fig. V. 2.

V. 1.b - Téléaffichage du courant de l'optique de la salle BE (fig. 2b)

Un système plus simple a été choisi. Il consiste à utiliser des modules CAMAC commercialisés par la Société KINETICSYSTEM

(module DAC 3158 de 12 bits). Ces modules délivrent une tension de référence qui remplace la tension de référence à commande manuelle de l'alimentation. Ces convertisseurs sont situés à 60 mètres de l'alimentation et la tension de référence est véhiculée par une paire torsadée et blindée.

Le module 3158 permet de plus, de mettre l'alimentation en marche et de l'arrêter. Il comporte en outre les portes nécessaires à tester l'état de 8 sécurités.

V. 2 - VISUALISATION DU FAISCEAU DE POSITONS -

La position et l'encombrement du faisceau ayant une grande importance, il est nécessaire de mesurer ces deux paramètres avec précision. IL est également très utile pour l'analyse des résultats expérimentaux de mesurer le maximum de paramètres pour effectuer des corrélations. Dans ce but nous avons étudié et mis au point un système de visualisation.

Ce système est automatique. Il nécessite environ 10 secondes (dû au temps de calcul) pour visualiser sur l'écran de la console du PDP8 E la position et l'encombrement du faisceau en un point de sa trajectoire et pour enregistrer les paramètres correspondants.

Pour mesurer la divergence et la position du faisceau par rapport à l'axe théorique nous avons disposé deux visualiseurs (V2 et V3) (fig.V. 1) distants de deux mètres sur le trajet du faisceau sur lequel ne se trouve aucun élément magnétique. On peut mesurer ainsi les coordonnées des centres de gravité G2, G3 du faisceau respectivement au droit des visualiseurs V2 et V3. Le calculateur détermine alors l'angle que fait la fibre moyenne du faisceau G2, G3 avec l'axe théorique.

Un troisième visualiseur (V1) a été installé à la sortie de l'aimant A2 pour mesurer la position du faisceau à l'entrée de la salle BE qui permet lorsque QM n'est pas alimenté de mesurer les émittances du faisceau dans les plans vertical et horizontal.

V. 2. a - Le visualiseur -

Bien que de nombreux systèmes de visualisation existent auprès d'accélérateurs nous avons dû étudier et mettre au point un système fonctionnant avec la faible intensité du courant de positons ($10 \text{ nA} > I > 10^{-12} \text{ A}$). L'utilisation de photomultiplicateur associé à des scintillateurs plastiques de faibles dimensions a permis de résoudre cette difficulté. [réf. 37-38]

Deux baguettes de scintillateur plastique sont disposées orthogonalement entre elles et à la direction du faisceau, dans l'enceinte à vide.

Ces baguettes effectuent une rotation par seconde, au cours de laquelle elles coupent par deux fois le faisceau.

Le signal lumineux émis par le scintillateur est vu par un tube photomultiplicateur (PM) qui donne un signal électrique proportionnel au courant du faisceau. A chaque impulsion du faisceau (2000/sec) on recueille sur l'anode du PM un signal qui est analysé en amplitude et stocké en mémoire du ordinateur.

A partir de ces données on calcule le centre de gravité et l'encombrement du faisceau.

Nous allons voir maintenant en détails les différentes parties constituant un visualiseur.

V. 2. b - Mécanique du visualiseur : (fig. V. 3.) Une baguette de scintillateur plastique (NE 102) carrée de 3 mm de côté (a) est reliée à un guide de lumière courbé (b) qui conduit la lumière sur le PM XP III0 (c) à travers une fenêtre en quartz (d). Le scintillateur est entraîné dans son mouvement de rotation par une manivelle (e) associée à un aimant permanent. Tout cet ensemble monté dans le corps du visualiseur est sous vide, et constitue la partie mobile du visualiseur. Un moteur pas à pas (f) utilisant un couplage magnétique à travers la paroi de la boîte à vide fait tourner la partie mobile.

Ce couplage magnétique permet une réalisation plus facile de la boîte à vide et l'étanchéité n'est pas altérée par une transmission mécanique classique à joint torique.

Sur l'axe du moteur est placé un disque (g) avec une fente de 0,5 mm donnant la position "0" du moteur, donc du scintillateur qui est alors hors du faisceau. Cette fente autorise le passage de la lumière émise par une diode LED vers un phototransistor (PM).

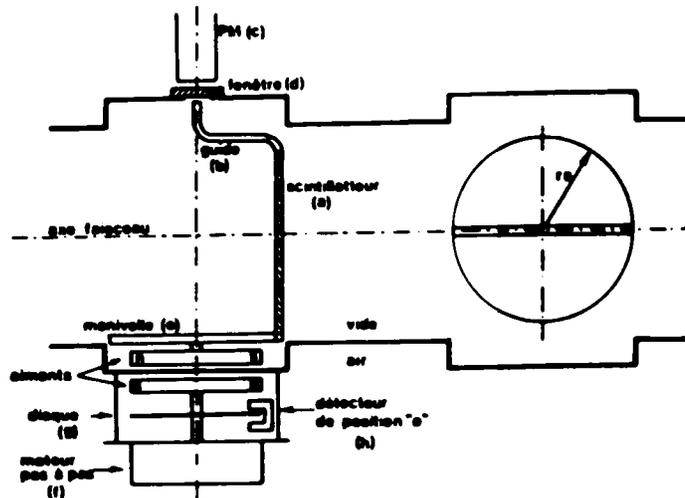


Fig. V. 3

L'électronique de commande du moteur pas à pas, la logique de traitement du signal du phototransistor et la commande de la diode électroluminescente sont fixés sur le corps du visualiseur.

Pour obtenir l'information X et Y nous avons disposé deux ensembles identiques à 90° et distants de 15 cm.

V. 2.c- Module de commande des visualiseurs: (fig. V. 4). Nous avons vu que trois visualiseurs étaient nécessaires pour mener à bien les mesures. Nous avons développé un module de commande pouvant piloter ces trois ensembles. Ce module qui a été réalisé en CAMAC dans deux unités permet :

- de faire tourner séquentiellement les six moteurs de 1 tour soit 48 pas.
- de vérifier leur position de "0".
- d'autoriser le codage des impulsions provenant des PM.

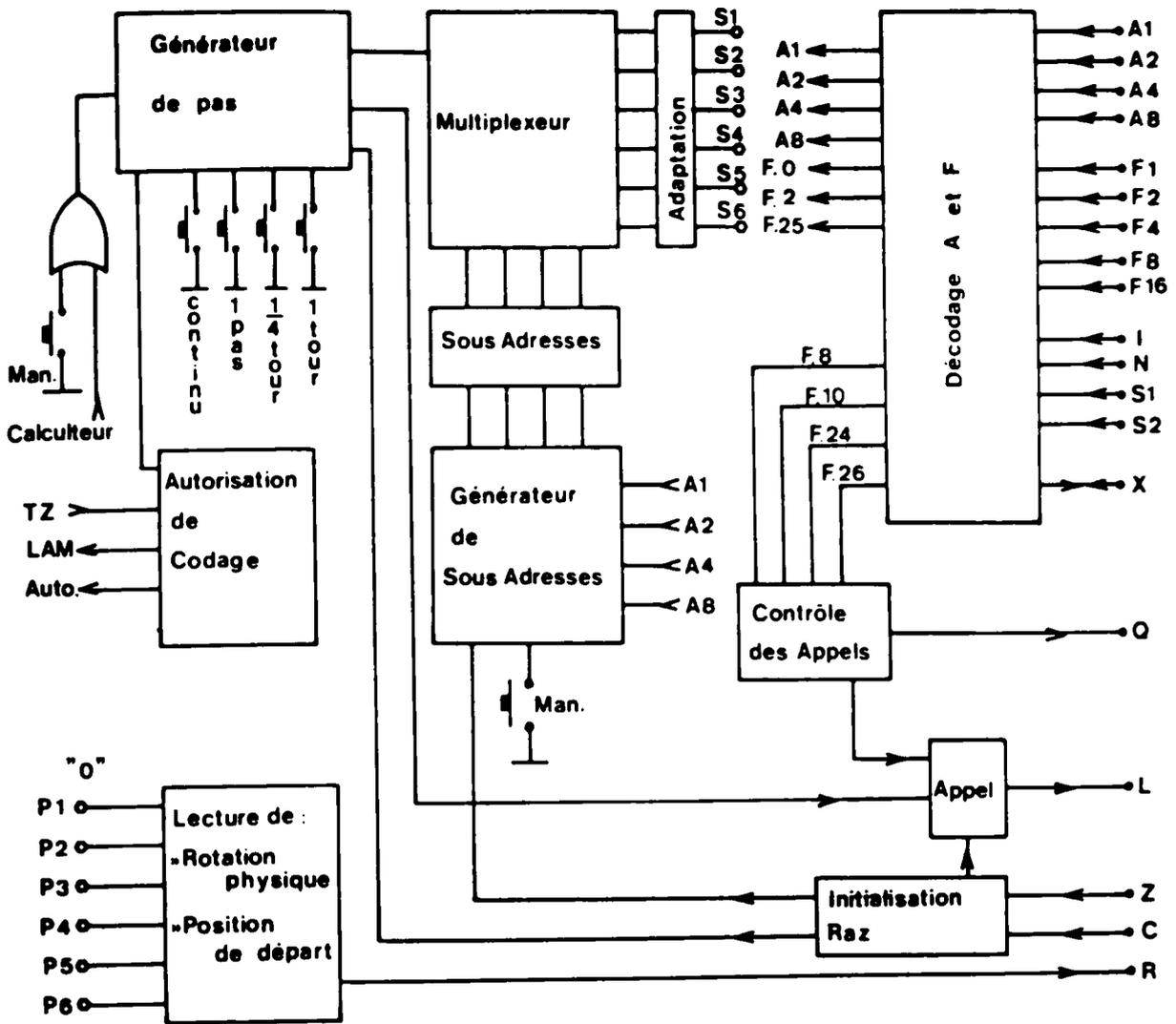


Fig. V. 4

Les signaux de commande des moteurs pas à pas et les signaux de positions "0" sont véhiculés par des paires torsadées (120 Ω).

Le module peut être commandé soit manuellement soit par calculateur. La commande par calculateur est prioritaire et inhibe la commande manuelle. Par cette dernière il est possible de faire :

- une rotation sur le moteur sélectionné.
- un pas sur le moteur sélectionné pour la remise éventuelle au point "0".
- 12 pas sur le moteur sélectionné pour mettre le scintillateur dans le faisceau et permettre ainsi de voir les signaux sur un oscilloscope pour régler les gains des PM.

- une rotation continue pour afficher sur un oscilloscope avec un balayage lent, les lobes correspondants à l'enveloppe du faisceau (fig. V. 5)

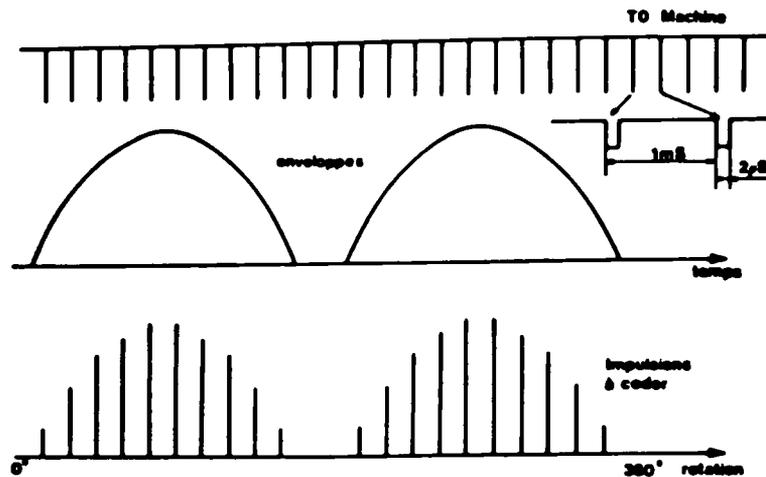


Fig. V. 5

V. 2. d - Fonctionnement du module (fig. V. 4) : Le calculateur peut lire la position " 0 " d'un moteur quelconque à l'aide de la sous-adresse. Il peut le faire tourner de un tour, soit 48 pas à l'exclusion de toute autre combinaison. Après la rotation du moteur, le module de commande émet un appel vers le calculateur pour indiquer que le moteur adressé a bien tourné physiquement.

Pendant la rotation du moteur, le module autorise le codage des impulsions provenant des PM.

V. 2. e - Détecteur de position " 0 " (fig. V. 6-7) : Nous avons vu (Mécanique du visualiseur) qu'un disque avec une fente et une diode LED avec un phototransistor permettaient de repérer la position " 0 ". Ceci est obtenu avec un composant General Electric HI3BI. Le phototransistor est suivi d'un amplificateur opérationnel μA 741 monté en trigger de Schmitt avec un seuil de déclenchement suffisamment haut et un faible cycle d'hystérésis pour obtenir une bonne fiabilité. L'amplificateur opérationnel est suivi d'un transistor pour réaliser l'adaptation au niveau TTL avec une basse impédance nécessaire au transport du signal par une paire torsadée.

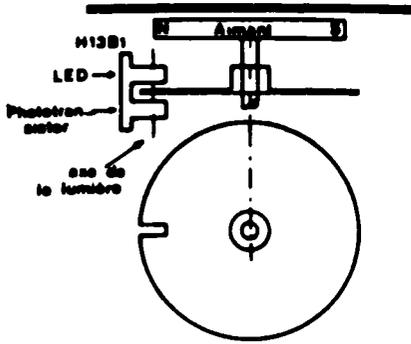


Fig. V. 6

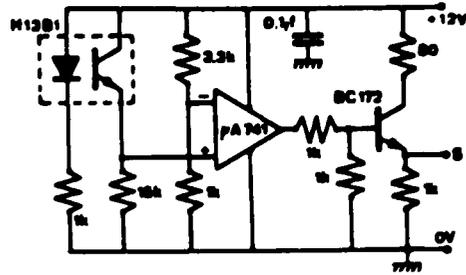


Fig. V. 7

V. 2. f - Chaîne d'amplification et multiplexage des signaux des PM:

Nous utilisons des amplificateurs rudimentaires composés d'un circuit opérationnel SN 72702 avec une constante de temps à l'entrée pour réaliser l'intégration du signal et l'adapter au codeur JCAN 40. Ces amplificateurs permettent d'adapter les gains des PM, car la ligne de distribution de haute tension est commune à tous.

Les sorties des amplificateurs sont envoyées sur un multiplexeur MX 2025, ce qui permet de n'utiliser qu'un seul codeur JCAN 40. Le multiplexeur est positionné avant la mise en rotation sur la voie correspondante X ou Y des visualiseurs V1, V2 ou V3.

V. 2. g - Tests avec laser : La baguette du scintillateur du visualiseur étant transparente à une lumière incidente il nous a paru opportun de tester le bon fonctionnement des visualiseurs en utilisant un laser de faible puissance qui simule le faisceau.

La lumière du laser LA est pulsée à 500 Hz et la largeur des impulsions lumineuses est de $5 \mu s$.

On peut faire varier la position du faisceau laser et ainsi tester la réponse de tous les éléments de la chaîne.

Un petit inconvénient cependant, les lasers " bon marché " émettant dans le rouge et la photocathode des PM n'étant pas très sensible à ces longueurs d'onde, il faut augmenter la haute tension pour recueillir un signal suffisant.

V.3 - MESURE DU COURANT DE POSITONS -

Après la cible d'annihilation où sont créés les photons monochromatiques, on trouve en plus de ceux-ci, toutes les particules qui n'ont pas subi d'interaction avec la cible et qu'il est bon d'éliminer de façon à avoir un faisceau " propre " de photons. Cette élimination est réalisée simplement en plaçant derrière la cible, un aimant qui dirige les particules chargées vers un capteur. On va profiter de ce capteur pour mesurer le nombre de particules ainsi déviées car leur nombre étant proportionnel aux photons produits on pourra avoir accès à des normalisations.

Malheureusement, le faisceau dévié, représentant la majeure partie de l'énergie des particules incidentes dans la salle d'expérience, sera une source importante de bruit de fond lors de son arrêt dans le capteur. Il y a donc lieu d'étudier l'ensemble " Aimant de balayage + capteur " avec beaucoup de soins pour diminuer au maximum cette source de bruit de fond, d'autant plus que le faisceau ayant traversé une cible relativement épaisse possède une divergence angulaire non négligeable.

Les critères auxquels doit répondre l'ensemble de captation et de mesure du faisceau de particules peuvent être analysés rapidement ci-dessous :

- mesure de courant de positons relativistes (énergie comprise entre 5 et 150 MeV) au minimum de l'ordre de 10^{-12} ampère avec une précision de l'ordre du pour cent.
- intégration de ces courants, pour connaître le nombre de particules ayant traversé la cible, sur une durée de plusieurs heures.
- réponse constante en fonction du temps pour pouvoir établir des recoupements d'une expérience à l'autre.
- étalonnage rapide.
- émission minimum de particules (neutrons et photons) vues comme des bruits de fond par les détecteurs.
- fragilité nulle : l'ensemble devant cohabiter avec des blindages de plomb et de béton.

Sans entrer dans les détails de calculs qui peuvent être trouvés par ailleurs [39] nous pouvons donner qualitativement les raisons qui ont guidé le choix des différents éléments constitutifs du capteur et de la chaîne de mesure (fig. V. 8).

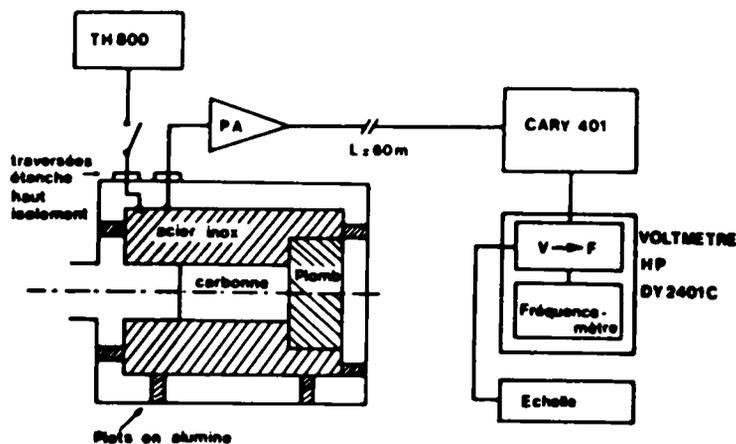


Fig. V. 8

Le coeur du capteur sera constitué par du carbone qui procure les avantages suivants :

- Les particules perdent leur énergie surtout par collision ce qui minimise la production de photons de bremsstrahlung car ceux-ci par réaction (γ, n) donnent des neutrons parasites et par production de paires risquent de fausser la mesure du courant si un des deux éléments de la paire s'échappait.

- Faible émission secondaire, encore réduite par la création d'un puits qui ferme notablement l'angle solide.

- Faible section efficace (γ, n).

- Matériau peu cher, facilement usinable.

Après le coeur de graphite un bloc de plomb suffisamment épais pour arrêter les photons produits malgré tout dans le graphite et pour empêchement un trop grand nombre de paires de s'échapper.

Le bloc " graphite + plomb " est inséré dans un manchon cylindrique réalisé en acier inoxydable suffisamment dense pour arrêter les photons latéraux mais plus facilement usinable que le plomb et donnant un ensemble mécanique plus robuste.

Tout cet ensemble est placé à l'intérieur d'une enceinte métallique qui protège le coeur du capteur des parasites électromagnétiques toujours nombreux autour d'un accélérateur linéaire et permet de faire un très bon vide évitant toute ionisation parasite qui fausserait la mesure du courant. L'isolement entre le coeur et l'enveloppe du capteur est réalisé au moyen de plots en alumine qui assurent des résistances supérieures à $10^{13} \Omega$ nécessaires à la mesure des faibles courants.

Les dimensions transverses sont assez importantes pour pouvoir raccorder le capteur sur un tube de grand diamètre (qui vient de l'aimant balai) de façon à éviter au maximum les sources de bruit de fond produites chaque fois que le faisceau " lèche " les parois du tube à vide.

Le signal est sorti à travers l'enveloppe métallique par une traversée étanche en verre et est dirigé vers le préamplificateur de l'appareil de mesure. Celui-ci est un CARY 401 à relai vibrant dont la gamme de mesure en courant va de 10^{-15} à $3 \cdot 10^{-7}$ ampère. Une source de courant étalon (TH 800) permet de contrôler périodiquement la justesse de l'appareil.

L'intégration du courant est réalisée au moyen d'un voltmètre digital HEWLETT PACKARD DY 2401 C et d'une échelle de comptage. En effet le voltmètre est en réalité composé de deux éléments : un convertisseur tension fréquence et un fréquencemètre pour la lecture de la tension instantanée. Le signal (une fréquence) provenant du convertisseur a été sorti et envoyé sur l'échelle de comptage ce qui permet l'intégration du signal provenant du capteur, donc du nombre de charges.

V.4 - PROGRAMMATION PDP8 E (fig. V.9)-

Le programme permettant le contrôle et le réglage des paramètres des faisceaux de e^+ et de e^- " CONTROL " est écrit en mode conversationnel avec déroulement séquentiel des tâches. Ce programme est entièrement résident en mémoire vive et occupe à peu près

12 Kmots en tenant compte de la bibliothèque et de la partie résidente du système de gestion.

```
C CHOIX DES PARAMETRES A CONTROLER
U1.U2.U3.CDG.ESSAI.TTV.SMUNT.CHEK.CONTRO.(1-OUI)      (QUESTION?)
111101100 (REPONSE) VISUALISATION AUTOMATIQUE
000000011 (REPONSE) CONTROLE AUTOMATIQUE
A LANCEMENT AUTOMATIQUE D'UN CONTROLE OU DE LA VISUALISATION
M DEMANDE COMMANDE DES ALIMENTATIONS
M/A LES ALIMENTATIONS SONT ELLES PRETES? OUI=1
M/B INITIALISATION A L'ENERGIE E0
M/C INCREMENTATION DE DELTA E
M/E REGLAGE SEPRE DE DC
M/F INVERSION DE DC
M/D REMISE A ZERO DES ALIMENTATIONS
B REGLAGE DU SEUIL DES VISUS
E ET F EXAMEN DES TABLES DES VISUALISEURS
H REGLAGE DES FOURCHETTES DES PARAMETRES A CONTROLER
I REGLAGE DU DELAI ENTRE CHAQUE EXAMEN
L LECTURE DES TENSIONS DE SHUNTS
```

Fig. V. 9

L'opérateur peut choisir en tapant simplement une lettre sur le clavier, soit une tâche bien définie (réglage d'un seuil, lecture de shunts etc. . . .), soit un enchaînement automatique de tâches répétées ou non dans le temps à une fréquence fixée par lui-même. Le choix des tâches dans l'enchaînement automatique se fait en répondant par 0 (non) ou par 1 (oui) à un questionnaire énumérant toutes les tâches susceptibles d'être traitées séquentiellement. Enfin le calculateur peut être ou non couplé à l'autre calculateur PDP8 1 sur simple décision de l'opérateur.

Nous allons rapidement passer en revue tous les travaux pouvant être effectués par ce programme qui grosso modo correspondent à des sous-programmes :

V. 4. a- Visualisation de la forme et du centre de gravité du faisceau en un, deux ou trois points du transport. Pour chaque point qui, comme nous l'avons vu, comporte un balayage horizontal (H) et un balayage vertical (V) du faisceau par les scintillateurs, on aura les sous-tâches suivantes :

- Vérification de la position zéro du scintillateur H.

- Aiguillage du multiplexeur MX 2025.

- Mise en marche du codeur d'amplitude JCAN 40.

- Lancement du moteur H.

- Attente d'un appel qui peut provenir soit du codeur, soit du module de commande des visualiseurs annonçant la fin de la rotation. Dans le premier cas l'information venant du codeur est stockée en mémoire pour être exploitée ultérieurement et dans le second cas on recommence le même processus pour le scintillateur V. A la fin de la nouvelle séquence le programme calcule à partir des informations stockées au cours des deux rotations la position et le centre de gravité du faisceau. Ce calcul est assez long car il faut transformer le repère polaire dans lequel sont stockées les données en repère cartésien nécessaire à la visualisation sur la console.

Ces indications sont alors tracées sur la console de visualisation où sont représentés le dessin de la boîte à vide à l'endroit considéré et un réticule.

Evidemment de nombreux tests logiques sont utilisés au cours du déroulement de ces séquences et leur vérification permet soit de poursuivre les tâches quand tout est correct, soit de les suspendre quand un défaut apparaît. Dans ce cas un message d'erreur est sorti sur la console.

V. 4. b - Commandes des alimentations des éléments de l'optique magnétique -(fig. V. 9)

La commande se fait simplement en tapant sur le clavier après une lettre de code la valeur désirée de l'énergie exprimée en MeV. Le programme commande alors successivement les alimentations de la partie " TUNNEL " par les modules 9002 et 7013 et celles de la partie "BE" par les modules KS 3158.

V. 4. c - Lecture des shunts des alimentations fournissant la puissance aux éléments magnétiques du transport de faisceau. Ceci se traduit par :

- mise en route de la centrale de mesure.
- aiguillage du multiplexeur sur la position p.
- lecture + RAZ.
- élaboration de l'information pour la rendre compatible avec le format des variables du programme.
- nouvel aiguillage du multiplexeur, sur la position p + 1.
- etc.....

V. 4. d- Contrôle des paramètres de l'expérience -

Ce sous-programme a deux entrées : la première à partir du clavier de la console permettant d'entrer les valeurs des fourchettes dans lesquelles les valeurs des différents paramètres à contrôler devront se situer; la seconde automatique contrôlant effectivement les valeurs de ces paramètres lues sur des échelles de comptage ou des shunts. Lorsque les valeurs instantanées des paramètres tombent en dehors des fourchettes assignées, un message apparait sur la console et si les deux calculateurs sont couplés, un dialogue a lieu, sinon rien ne se passe. Ce programme ne réagit pas automatiquement sur les réglages en cas de dépassement des fourchettes.

V. 4. e- Enfin pour tester le logiciel du programme, un sous-programme spécial de test qui emplis les tables avec des valeurs fictives.

V. 5- CONTROLE EN COURS DE FONCTIONNEMENT -

Pour que les expériences se déroulent dans de bonnes conditions, il est nécessaire de contrôler certains paramètres de façon a pouvoir réagir en conséquence. Ces contrôles portent sur :

V. 5. a - Le taux de comptage CT venant du détecteur de photo-neutrons et représentant le nombre total d'impulsions comptées (signal + bruit) dans une porte de 25 μ sec située à 1,6 μ sec après la bouffée de photons (cf chapitre II). En réalité le contrôle vise surtout à limiter le nombre d'empilement, c'est-à-dire le nombre

d'impulsion par porte , au-delà duquel les formules de corrections deviennent inopérantes. Si TZ représente le nombre de portes, on considère comme satisfaisant la condition $CT/TZ < 1/10$. On ajoute une autre condition $CT/TZ > 1/1000$ signifiant la présence du faisceau de photons

V. 5. b - Le courant de positons Ie^+ venant du capteur de Faraday. On contrôle que ce courant est supérieur à une certaine valeur IMIN de façon à mesurer un rapport signal/bruit de fond tolérable. On ajoute une condition $Ie^+ < IMAX$ pour détecter un mauvais fonctionnement possible.

V. 5. c - Les tensions de shunt. A partir de l'énergie demandée, les courants des différents composants de l'optique magnétique sont calculés et comparés aux tensions de shunt lues par le contrôle de mesure. Une tolérance de $\pm 1\%$ est admise.

Les mesures des paramètres CT, TZ et Ie^+ sont faites par comptages pendant 10 secondes sur 3 échelles (JEB 20) situées dans le châssis CAMAC du PDP8 E (Ces 3 grandeurs faisant partie normalement des données acquises par le PDP8 I). Les comptages sont démarrés et arrêtés par l'intermédiaire d'une échelle précompte JEP 30.

V. 6 - LIAISON PAR TELEVISION AVEC LE PUPITRE DE COMMANDE -

Les informations fournies par les visualiseurs sont stockées dans la mémoire du calculateur, ainsi que celles concernant la mesure du courant. En plus de l'utilisation de ces données par les physiciens, elles sont également utilisées pour la conduite de l'accélérateur et surtout le réglage.

Les visualiseurs sont à ce moment là mis en analyse automatique et au choix, peuvent à des périodes déterminées, par exemple toutes les 10 secondes, donner la position du faisceau sur la console 4014 du PDP8 E. L'acquisition des données est stoppée pendant la rotation des visualiseurs.

Nous avons pour ces besoins utilisé la télévision industrielle. Une caméra regarde l'écran de la console et le récepteur est situé à 100 mètres de là au pupitre de commande de l'accélérateur. Il en est de même pour la mesure du courant en utilisant une deuxième chaîne de télévision.

Ce moyen relativement peu coûteux et de mise en oeuvre très rapide s'est révélé indispensable pour le réglage du faisceau de positons de l'accélérateur linéaire.

Pour clore ce paragraphe nous montrons sur la figure V. 10 un exemple de tâches accomplies par le calculateur. On y voit la représentation de l'encombrement et du centre de gravité du faisceau aux trois points du transport munis de système de visualisation. En haut à gauche figurent : l'énergie, les valeurs liées à la position et au centre de gravité du faisceau, les valeurs des shunts des alimentations des éléments de l'optique et la valeur de la tension donnée par une pile étalon qui nous fournit ainsi un test de fonctionnement correct de la centrale de mesures. La déviation angulaire moyenne du faisceau par rapport à l'axe théorique calculé à partir des paramètres fournis par les visualiseurs V2 et V3 apparait également sur l'écran, ainsi que les calculs de l'émittence du faisceau $\Delta \text{TOT}^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$.

```

ENERGIE• 50.00 MEV

DIMENSIONS DU FAISCEAU:
XRINI• -12 MM XRANI• 11 MM YRINI• -14 MM YRANI• 20 MM
XCDG1• -0.5 MM YCDG1• 2.8 MM
XRIN2• -16 MM XRAN2• 13 MM YRIN2• -13 MM YRAN2• 18 MM
XCDG2• -1.3 MM YCDG2• 3.0 MM
XRIN3• -23 MM XRAN3• 20 MM YRIN3• -21 MM YRAN3• 26 MM
XCDG3• -0.5 MM YCDG3• 4.1 MM

LECTURE DES TENSIONS DE SHUNT:
E1• -451 01• 373 BC• -50 A1• 417
04• 0 A40• 680 FC• -39 PE• 1017

DEVIATIONS ANGULAIRES:
DELTA X • 0.386 MR
DELTA Y • 0.428 MR
DELTA TOT• 0.638 MR

EMITTANCE DU FAISCEAU:
EPSX• 39.2 MM.MR ZLOX• 1350. MM TETAH• 4.1 MR ZHO• 9.8 MR
EPSY• 82.8 MM.MR ZLOY• 2072. MM TETAH• 5.8 MR ZYO• 16.0 MR
    
```

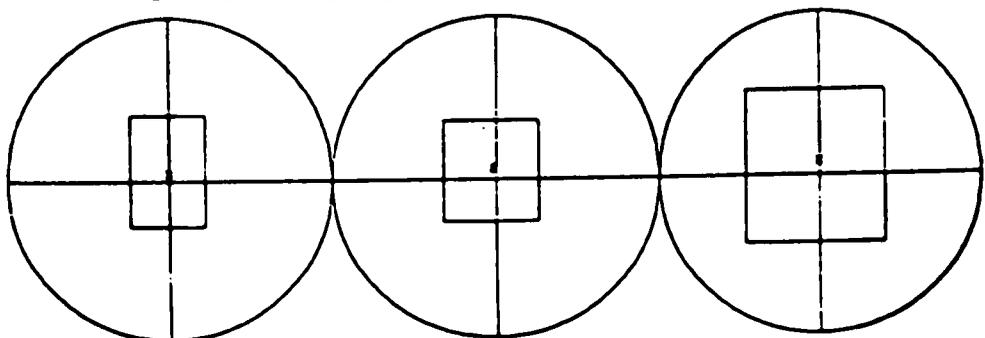


Fig. V. 10

BIBLIOGRAPHIE - (Chapitre V)

- [37] G. BERNARD, H. BROU, G. FIAT et RAFFIN - NT/ACC/
65.04, CEN-Grenoble
- [38] V. KNEISSEL et G. KUHL - Nucl. Instr. and Meth. 87 (1970) 77
- [39] A. VEYSSIERE, Etude et réalisation d'une " coupe de Faraday ",
CEA R 3276 (1967)

CHAPITRE VI

ACQUISITION DES DONNEES RELATIVES AUX EXPERIENCES NUCLEAIRES A L'ALS

Comme nous l'avons vu au chapitre III il est nécessaire, vu la non reproductibilité des conditions dans lesquelles les faisceaux de positons et de négatons sont obtenus, d'utiliser pour chaque point en énergie un couple de cibles de nombre atomique Z différent. Nous allons donc dans ce qui suit, décrire tout d'abord le dispositif étudié et mis au point pour effectuer les changements de cibles, puis les systèmes d'acquisitions des données nucléaires.

VI.1 - DISPOSITIF DE MISE EN PLACE ALTERNATIVE DES CIBLES D'ANNIHILATION -

Dans le but de changer les cibles le plus aisément possible nous avons étudié (fig.VI.1) un ensemble commandé à distance,

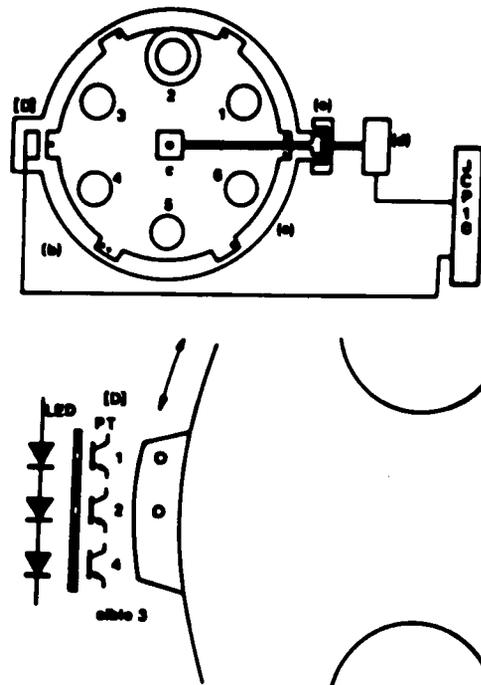


Fig. VI. 1

consistant principalement en une roue portant 6 alésages destinés à recevoir les cibles. Le chiffre six a été préféré à deux car on peut ainsi utiliser des couples de cibles différents et choisir celui qui s'adapte le mieux aux conditions expérimentales. Cette roue (b) est bien entendu située dans une boîte à vide (a) et actionnée par une "roue tangente-vis sans fin" (c), elle-même entraînée par un moteur pas à pas (d) situé hors de l'enceinte à vide. La transmission du mouvement à travers la boîte à vide est assurée au moyen d'un coupleur magnétique (e). L'utilisation du couple roue tangente-vis sans fin, permet tout en assurant une réduction du mouvement de 1/60 de bloquer après mouvement la roue dans la position désirée qui, sans cela, vu la différence de poids des cibles tournerait jusqu'à une position de plus grande stabilité. La commande du moteur pas à pas est réalisée à partir d'un module CAMAC JCP 10 (fig. VI. 2). Pour être sûr de la mise en place de la cible choisie, un dispositif de repérage a été installé : il consiste en un triple système optique " LED-phototransistor " placé à l'intérieur de la boîte à vide, dont les liaisons optiques peuvent être interrompues par un masque porté par la roue.

Ainsi aux 6 cibles sont associés 6 masques différents qui donneront 6 combinaisons différentes de niveaux sur les sorties des phototransistors rassemblées en un registre de 3 bits. Ce registre sera lu par le calculateur via le module de commande JCP 10. Sur les 8 chiffres possibles de ce registre les cibles sont repérées de 1 à 6, car "0" et "7" indiquant respectivement la présence d'une pièce métallique pleine ou l'absence de tout masque, pourraient créer des ambiguïtés de repérage. La longueur utile des masques (distance sur laquelle le numéro de cible apparaît correctement dans la registre de sortie) est de quelques millimètres, ce qui est largement suffisant, les cibles étant nettement plus grandes que le faisceau ($\varnothing = 90 \text{ mm}$).

Pour la commande de la mise en place d'une cible, l'opérateur après avoir frappé une lettre code sur le clavier de la console indiquera le numéro de la cible choisie en réponse à la question posée par le calculateur. A partir du numéro de la cible alors en place et de celui désiré par l'opérateur, le programme cherchera la rotation la plus rapide pour parvenir d'une position à l'autre et enverra au module de commande le nombre d'impulsions et le sens de rotation nécessaires au moteur pas à pas pour réaliser ce changement. Les numéros 0 et 7 sont utilisés au réglage de la position des masques envoyant n impulsions (correspondant à n pas sur le moteur) soit dans un sens soit dans l'autre. On a ainsi le code de commande suivant :

- 0 - n pas dans le sens trigonométrique.
- 1 - Cible LiH 2 mm.
- 2 - Cible Cu 35 μ .
- 3 - Pas de cible.
- 4 - Cible Cu 50 μ .
- 5 - Cible LiH 3 mm.
- 6 - Cible Al 2000 μ .
- 7 - n pas dans le sens horaire.

VI.2 - ACQUISITION DES DONNEES RELATIVES AUX PHOTONS (fig. III. V et VI.2)

VI.2.a - Détecteur principal (NA 11)

Comme nous l'avons vu au chapitre III, la grande variation du nombre de photons créés par les cibles d'annihilation avec l'angle d'incidence du faisceau de positons nous oblige à contrôler en permanence le nombre et la forme du spectre des photons tombant sur la cible à étudier. On réalise ce contrôle en plaçant assez loin derrière cette cible et dans l'axe à 2° un cristal de NaI (NA11) de $8'' \times 12''$ dont l'efficacité de détection pour des photons d'énergie de 100 MeV est voisine de 1. Ainsi pour chaque point en énergie et pour chacune des deux cibles d'annihilation on disposera du spectre de photons ayant provoqué les réactions nucléaires, l'absorption et la dégradation des photons dans la cible étant très faibles.

Malheureusement les taux de comptage donnés par le détecteur de neutrons et par le cristal étant tout à fait différents (le cristal compte environ 1000 fois plus), il est nécessaire, d'atténuer le faisceau de photons, pour rester dans des limites raisonnables d'empilement d'impulsions, dû au caractère pulsé du faisceau (1 coup/40 impulsions).

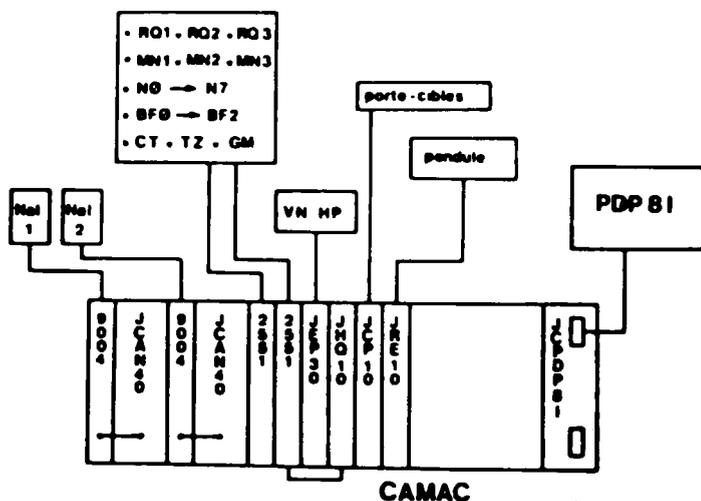


Fig. VI.2

Cette atténuation est réalisée de deux façons en plaçant sur le trajet des photons :

- Une collimation percée d'un trou de $\varnothing = 2$ cm qui donne un facteur d'atténuation d'à peu près 16 et qui définissant un faisceau de photons de dimensions nettement inférieures à celles du cristal va permettre d'obtenir un spectre " propre ". Evidemment cette atténuation va dépendre quelque peu du centrage et de l'émittance du faisceau, mais d'une part, ceux-ci sont contrôlés à la source et d'autre part des raquettes de scintillateur ont été mises en place pour essayer d'évaluer cette atténuation (cf. Raquettes de scintillateur).

- Un cylindre de graphite de 1,25 m de long qui va donner une atténuation à peu près constante et égale à 50 dans la plage en énergie comprise entre 25 et 100 MeV.

La combinaison de ces deux procédés donne donc une atténuation finale de 800 à peu près constante entre 25 et 100 MeV ce qui permet de minimiser les erreurs dues à une légère variation d'énergie et de ne pas déformer les spectres des photons utilisés. En-dessous de 25 MeV l'atténuation électronique croit très rapidement ce qui a pour effet bénéfique de protéger le cristal Na.I de la très grande quantité de photons de faible énergie créés par le processus de freinage.

Au point de vue électronique le système est tout à fait classique (PM + amplificateur) : les impulsions provenant du PM sont codées par le codeur analogique digital JCAN 40 (fig. VI. 2) puis envoyées au calculateur qui fait office de bloc mémoire. Le fonctionnement du JCAN 40 n'est autorisé que pendant la présence du faisceau. Un atténuateur réglable CAMAC 9004 situé dans la chaîne d'électronique et commandé par le calculateur peut permettre de placer le pic d'annihilation toujours dans le même canal quelle que soit l'énergie à laquelle on travaille.

VI. 2. b- Détecteurs secondaires -

Rappelons que plusieurs détecteurs de photons ont été ajoutés soit pour aider aux réglages (chambre d'ionisation) soit pour mesurer le bruit de fond (2^{ème} cristal NaI) soit pour avoir accès à certaines caractéristiques du faisceau de photons (raquettes de scintillateur).
Décrivons rapidement l'implantation et le rôle de ces détecteurs.

- Raquettes de scintillateurs (RQ1 , RQ2) : Elles sont disposées de part et d'autre de la collimation $\varnothing = 2$ cm placée sur le trajet des photons entre le détecteur de neutrons et le cristal principal NAI 1. Ces raquettes ont été mises en place pour avoir accès à l'atténuation de la collimation (cf. paragraphe précédent), mais pour obtenir des mesures crédibles toute une étude reste à faire (convertisseur γ, e^- , coïncidences, etc....)

- Chambre d'ionisation (ION) : Elle est placée derrière l'aimant de balayage et sert surtout à s'assurer du bon réglage du faisceau de positons. En effet le plus léger " lèchage " de la boîte à vide par le faisceau s'accompagne d'une émission considérable de photons qui sont immédiatement détectés par la chambre. C'est une chambre de trois litres remplie d'air suivie d'une électronique standard qui aboutit à un comptage sur une échelle.

- Deuxième cristal de NaI (NAI 2) : Il est placé à côté du détecteur principal (NAI 1) mais en dehors du faisceau de photons de façon à mesurer le spectre de bruit de fond ambiant.

VI. 3 - ACQUISITION DES DONNEES RELATIVES AUX NEUTRONS (fig. III. 5 et VI. 2)

VI. 3. a - Le détecteur de photoneutrons précédemment décrit (chapitre II) conduit à la mise en place de 10 échelles pour les comptages concernant le signal proprement dit et de 4 échelles pour ceux concernant les bruits de fond intrinsèques. Rappelons que dans les échelles " Signal " sont comptés :

- TZ (Le nombre total de bouffées d'électrons).
- CT (Le nombre total de coups détectés).
- N \varnothing à N7 (Les diverses multiplicités liées à ces signaux).

Et dans les échelles " Bruit de fond " :

- GM (le nombre total de coups comptés dans la seconde porte).
- BF \varnothing à BF2 (les diverses multiplicités liées à ces signaux).

Si les taux de comptage GM représentent le bruit de fond ambiant (la majeure partie provenant de la radioactivité naturelle et des rayons cosmiques), il existe un autre bruit de fond dû à la présence du faisceau de positons dans la salle d'expérience, d'autant plus important qu'il est produit par la presque totalité de l'énergie du faisceau tombant dans le capteur. Parmi les particules alors produites, seuls les neutrons nous intéressent car ils sont susceptibles d'être captés par le détecteur de photoneutrons. Pour en tenir compte nous avons disposé trois compteurs à BF3 entourés de polyéthylène. Ces compteurs sont disposés aux points clés dans la salle d'expérience : à côté du détecteur, sous le capteur et près de la collimation définissant les dimensions et l'angle du faisceau de photons. L'électronique de ces détecteurs est classique (Haute Tension, amplificateur discriminateur) et les taux de comptage sont enregistrés dans trois échelles MN1, MN2, MN3.

Au début de l'expérience (cible nucléaire enlevée) les rapports k_i du taux de comptage du détecteur de photoneutrons et de chacun des trois BF3(MN_i) sont mesurés à différentes énergies :

$$- k_i (E) = (CT - GM) / MN_i$$

Ainsi pendant l'expérience proprement dite on pourra avoir accès à la quantité de bruit de fond venant par cette voie et déterminer les comptages vrais :

$$- NT_i = CT - GM - k_i MN_i$$

Expérimentalement, on a trouvé que les k_i variaient linéairement en fonction de l'énergie ce qui permet pour les calculs d'introduire simplement les coefficients des droites obtenues par régression linéaire.

Tous les paramètres énumérés ci-dessus sont comptés dans deux modules LRS 2551 comprenant chacun 12 échelles de 24 bits 100 MHz.

VI. 3. b - Programmation PDP8 I -

Comme pour le PDP8 E le programme d'acquisition et de traitement des données " FONUC " est écrit en mode conversationnel avec déroulement séquentiel des tâches. Le programme est entièrement résident en mémoire vive (16 Kmots) mais un accès rapide au disque est prévu de façon à pouvoir appeler facilement des programmes de calculs nécessaires à certains contrôles. D'autre part, un échange d'information est possible avec les bandes magnétiques pour enregistrer ou appeler des données.

De même en tapant une lettre au clavier de la console l'opérateur peut choisir une tâche particulière ou un enchaînement de tâches prédéterminées par réponse à un questionnaire:

- A/ ARRET DES COMPTAGES SANS RAZ.
- B/ ENREGISTREMENT SUR BANDE MAGNETIQUE.
- C/ CHOIX ECH.SPECT.INTERC. (QUESTION?).
 - 010 /ACQUISITION SPECT. (REPONSE).
 - 100 /ACQUISITION ECH. (REPONSE).
 - 111 /ACQUISITION + INTERC. (REPONSE).
- D/ DEMARRAGE ACQUISITION AVEC RAZ.
- E/ SORTIE DES RESULTATS SUR CONSOLE.
- F/ LECTURE DU NUMERO DE CIBLE.
- G/ SORTIE DES RESULTATS SUR IMPRIMANTE.
- H/ ARRET DEFINITIF ACQUISITION.
- J/ LECTURE BANDE MAGNETIQUE.
- K/ MISE EN PLACE D'UNE CIBLE.
- L/ GRANDISSEMENT D'UN SPECTRE.
- M/ SOMMATION DE CANAUX.
- N/ SOUSTRACTION DE DEUX SPECTRES.
- O/ RECHERCHE NUMERO CANAL PIC.
- Q/ TEST DU PROGRAMME.
- R/ CALCUL NEUTRONS.
- S/ CALCUL GAMMAS.
- U/ NOMBRE DE VOLTS*SECONDE.
- W/ RETOUR AU SYSTEME.

Fig. VI. 3

Enfin le couplage avec le calculateur PDP8 E est laissé au choix de l'opérateur.

Contrairement au programme CONTROL la majeure partie du programme FONUC est consacrée au traitement en ligne et au stockage des données, l'acquisition se limitant aux tâches suivantes :

- Lecture des échelles de comptage LRS 2551 après un pré-compte affiché dans une échelle (JEP 30) et représentant la quantité de charges tombées sur le capteur.

- Lecture d'un codeur d'amplitude JCAN 40 et mémorisation.

- Lecture d'une horloge.

- Dialogue avec le PDP8 E.

Après le stockage des données celles-ci sont à la demande :

- Enregistrées sur bande magnétique.

- Sorties sur imprimante rapide (fig. VI. 5).

- Sorties sur console alphanumérique avec traçage de spectres et repérage de points grâce à un réticule (fig. VI. 4).

- Traitées à l'aide de sous-programmes de calculs auxquels nous allons consacrer quelques mots dans le paragraphe suivant :

```
NUMERO DE MANIP= 22
NUMERO DE CIBLE= 1
ENERGIE= 50 00 NEU
Y112= 3-127611 SH 53M 51S11
PFEC= 150 011-SEC
TE= 3761556. CT= 468191. GM= 6383. NG= 3311106
N1= 433417. N2= 17025. N3= 241. N4= 3
N5= 0. N6= 0. N7= 0. M11= 341873
M12= 362570. M13= 2756. R01= 0. F02= 0.
F03= 0. EFO= 3755477. EF1= 6059. SEC= 3762
GEL= 30199. EM+= 0. M42= 0. ION= 0
```

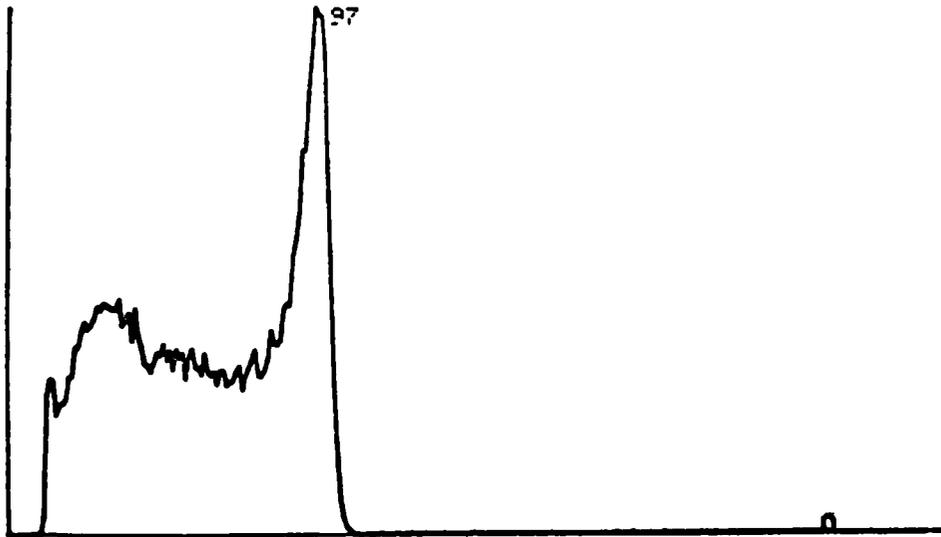


Fig. VI. 4

VI. 4 - CALCULS EN LIGNE -

Les sous-programmes de traitement faisant normalement partie du programme FONUC permettent grâce aux données venant d'être acquises, ou aux données stockées sur bande magnétique, d'obtenir

divers paramètres de comptage comme le nombre de neutrons provenant de réaction (γ, xn) grâce aux comptages bruts venant du détecteur à neutrons et les différents bruits de fond issus des détecteurs secondaires.

MANIP OXYGENE
 NUMERO DE MANIP= 787
 NUMERO DE CIBLE= 1
 ENERGIE= 74.00 MEV
 19/11/1975 4H 45M 48S**
 PREC= 50.0V-SEC
 TZ= 2247336. CT= 43483. GM= 4148. NO= 2205018.
 N1= 41382. N2= 1015. N3= 17. N4= 0.
 N5= 0. N6= 0. N7= 0. MN1= 4891756.
 MN2= 1645147. MN3= 3059. RQ1= 290334. RQ2= 212698.
 SEC= 1124. BF0= 2242604. BF1= 4056. BF2= 45.
 BFS= 0. BA+= 1057. NA2= 20029. ION= 310373.

VISU NO 1:

-102 -12 -28 63 -58 19

VISU NO 2:

-48 15 -29 120 -23 45

VISU NO 3:

-16 9 0 90 -3 48

VLE1= 636 VLQ1= -557 VLBC= -15 VLA1= -626

VLQM= 365 VLA4= 982 VLFC= 42 VLPE= 1017

0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	602.	664.	633.	594.	622.
653.	628.	704.	664.	689.	718.	705.	741.
786.	797.	766.	785.	762.	765.	741.	795.
742.	760.	775.	762.	764.	708.	694.	647.
635.	636.	554.	586.	533.	551.	579.	632.
584.	574.	561.	593.	525.	551.	572.	526.
542.	546.	531.	501.	513.	507.	494.	465.
476.	468.	454.	429.	447.	445.	408.	431.
432.	417.	449.	404.	395.	397.	395.	362.
375.	354.	362.	372.	376.	330.	318.	340.
354.	350.	325.	363.	339.	355.	361.	321.
336.	337.	329.	343.	341.	360.	319.	383.
308.	342.	341.	378.	362.	372.	391.	408.
397.	379.	431.	432.	475.	445.	492.	502.
544.	530.	631.	652.	703.	770.	806.	873.
940.	1033.	1093.	1238.	1246.	1278.	1242.	1242.
1281.	1109.	909.	731.	557.	423.	317.	219.
161.	118.	92.	85.	46.	48.	32.	22.
26.	15.	16.	5.	8.	8.	8.	5.
12.	10.	4.	4.	5.	10.	4.	5.
7.	3.	5.	5.	3.	4.	1.	5.
1.	4.	6.	1.	3.	10.	5.	9.
1.	2.	2.	4.	5.	6.	4.	6.

FITPAGE PAR Y=AX
 1 63 28 90
 PENTE 0.78948

Fig. VI.5

Un traitement plus élaboré permet d'avoir accès au paramètre fondamental qu'est le nombre de photons monochromatiques qui ont effectivement traversé la cible sur laquelle on étudie les réactions (γ, xn).

Tous les calculs de Monte-Carlo disponibles ont montré que la (40, 41) réponse d'un grand cristal de Na I à une raie rigoureusement monochromatique de photons pouvait être représentée par la figure type VI. 6 a. Jusqu'à présent seule la partie à haute énergie a pu être confirmée par des expériences, aussi à basse énergie prend-on cette forme comme la plus probable bien que dans certains cas on utilise une queue de hauteur constante.

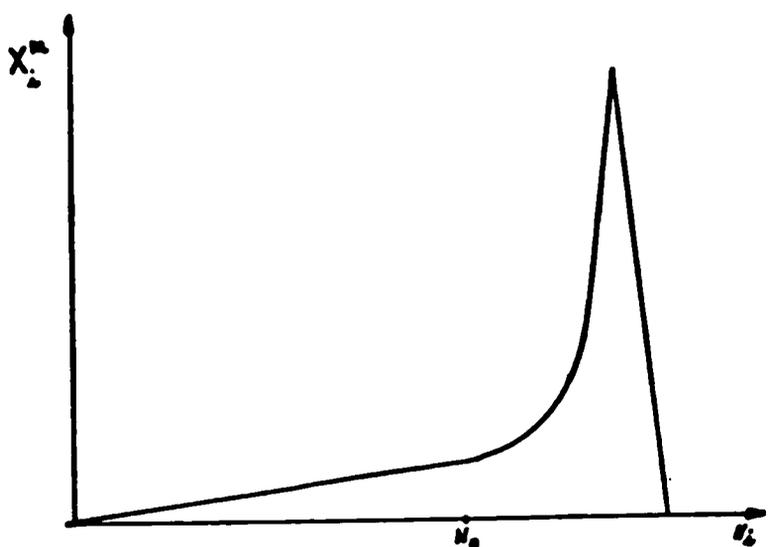


Fig. VI. 6 a

On voit alors que si le spectre des photons donné par les positons traversant une cible de Z élevé (Cu) peut-être assimilé à un spectre de bremsstrahlung pratiquement pur (Fig. VI. 6 b).

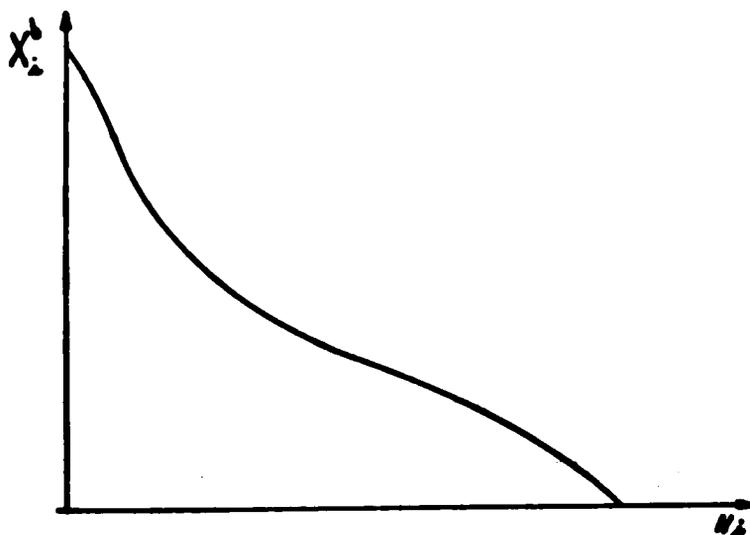


Fig. VI. b

Le spectre global donné par les positons traversant la cible de LiH est la somme d'un spectre type X_i^m (Ni) et d'un spectre type X_i^b (Ni). Pour ce dernier spectre on doit avoir pour chaque canal la proportionnalité :

$$\left[X_i^b \text{ (Ni)} \right]_{\text{LiH}} = A \left[X_i^b \text{ (Ni)} \right]_{\text{Cu}}$$

A partir des spectres de photons enregistrés par le cristal NaI dans le cas d'une cible de LiH et d'une cible de Cu, le calculateur permet, en portant en abscisses et en ordonnées respectivement le contenu des canaux situés en-dessous du pic monochromatique d'annihilation ($N_i \leq N_0$) d'obtenir par régression linéaire les coefficients A et B de l'équation :

$$\left[X_i \text{ (Ni)} \right]_{\text{LiH}} = A \left[X_i \text{ (Ni)} \right]_{\text{Cu}} + B$$

Si donc on appelle G Li et G Cu respectivement le nombre total des photons obtenus avec la cible de LiH et celle de Cu de photons monochromatiques vus par le cristal NaI au cours de la séquence utilisant la cible de LiH était :

$$G_{\text{Li}} - A G_{\text{Cu}} = \sum_i X_i^m \text{ (Ni)}$$

Les figures VI. 7 a et VI. 7 b montrent clairement que dans le cas $\theta = 2^\circ$ ($E_+ = 50$ MeV) la contribution des photons de freinage X_i^b est suffisamment grande pour que le coefficient B puisse être négligé. Par contre si $\theta = 5^\circ$ la contribution des photons de freinage est fortement diminuée par rapport au nombre de photons monochromatiques et le coefficient B ne peut plus être négligé (Fig. VI. 7b).

Le spectre de photons monochromatiques résultant de la soustraction des spectres obtenus avec les cibles de LiH (Fig. VI. 8a) et Cu (Fig. VI. 8b) apparait sur la figure VI. 8c. Evidemment la partie située au niveau des photons de bremsstrahlung est due à la réponse du cristal à une raie monochromatique et sur notre représentation elle dépend de la formule de soustraction employée. Mais nous nous arrangeons toujours en choisissant convenablement les paramètres expérimentaux pour que cette partie soit faible devant le pic proprement dit.

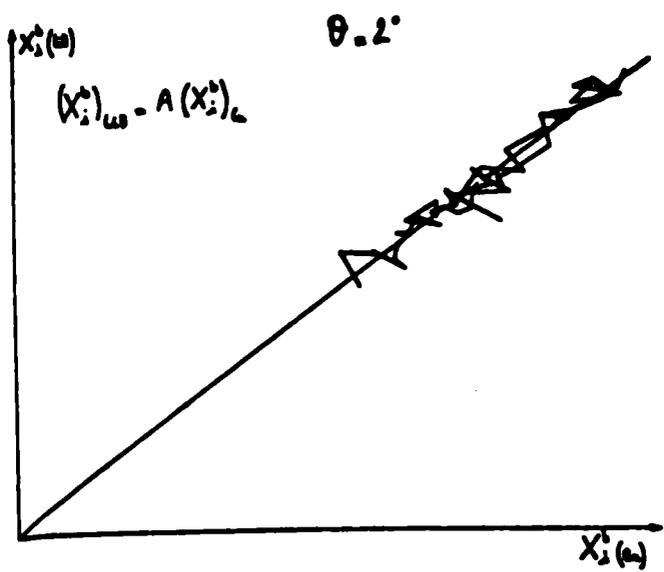


Fig. VI. 7a

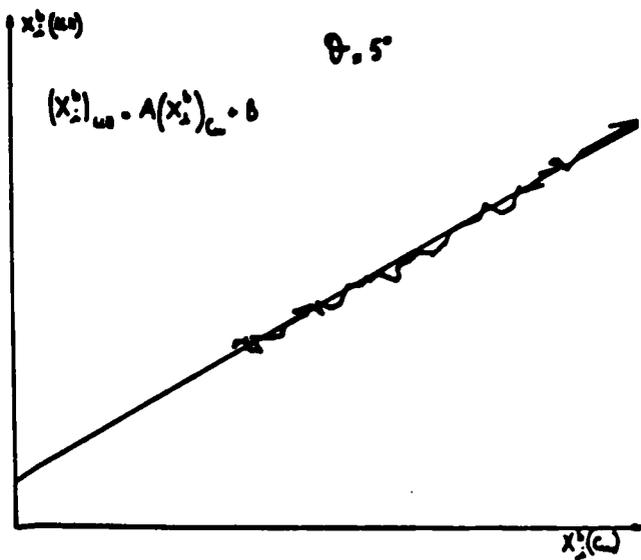


Fig. VI. 7b

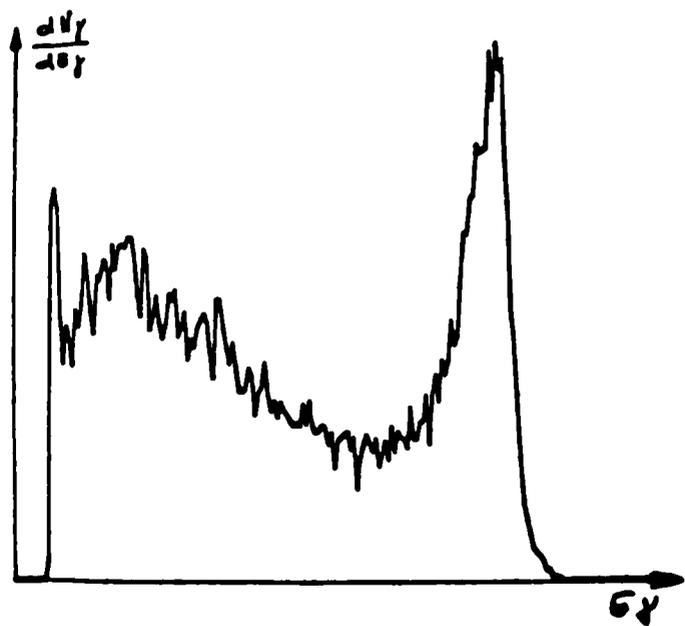


Fig. 8a

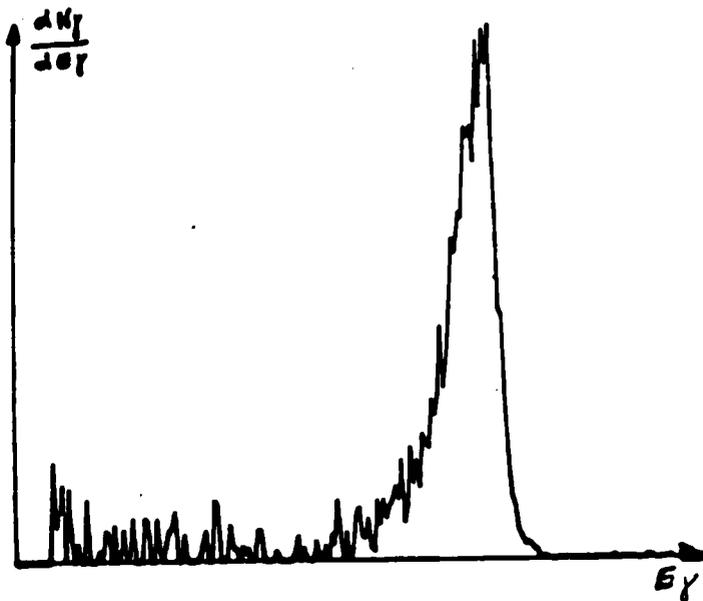


Fig. 8c

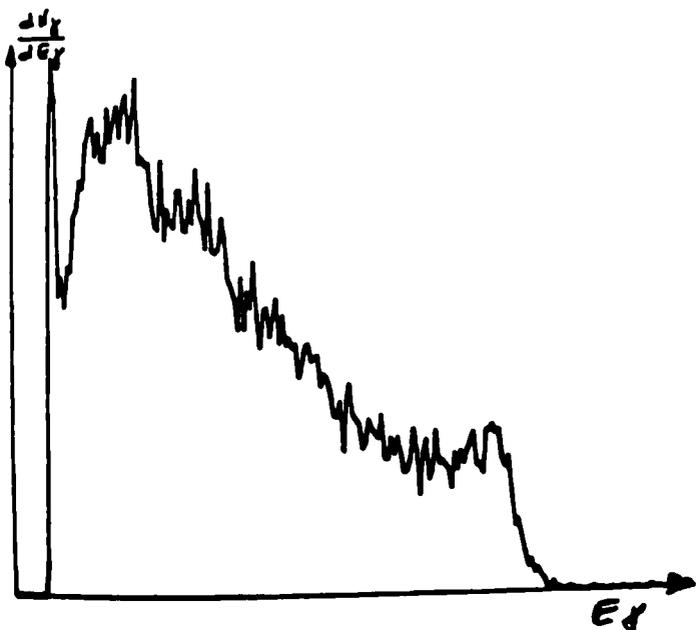


Fig. 8b

VI. 5 - DEROULEMENT D'UNE EXPERIENCE (γ, xn)-

Compte tenu des précisions données ci-dessus on peut maintenant résumer la façon dont se déroule une expérience (γ, xn). A l'aide du diagramme de la Fig. VI. 9 étudions le déroulement des opérations pour réaliser un point en énergie. On suppose que l'accélérateur est réglé à une énergie E_0 .

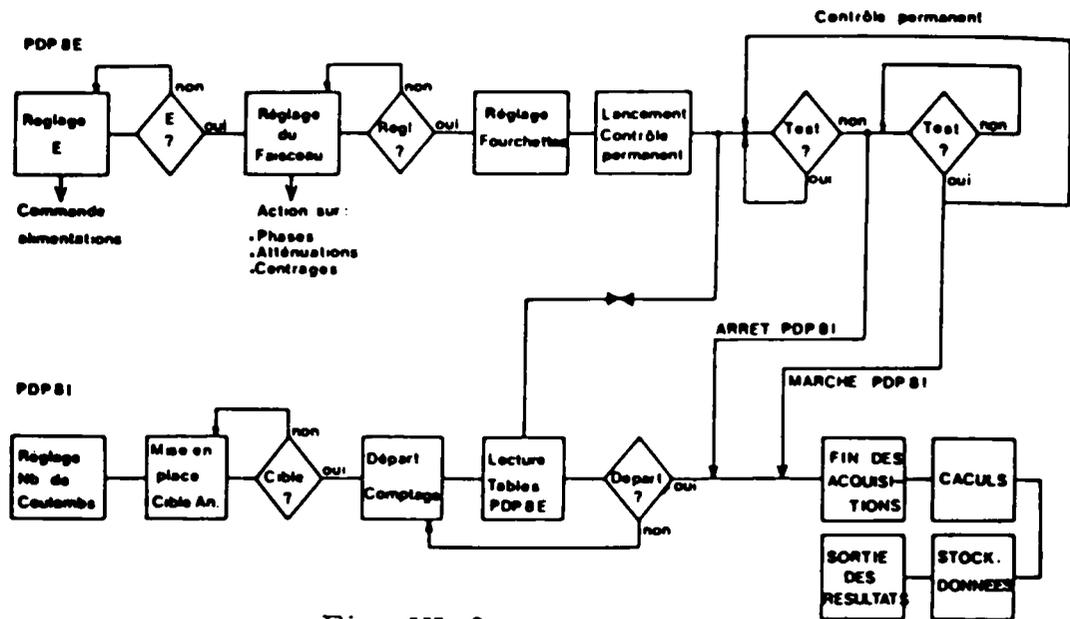


Fig. VI. 9

- Sur le PDP 8 E l'opérateur affiche l'énergie désirée E, en imposant des valeurs de courant dans les dispositifs magnétiques. Cela suffit largement comme précision vue la résolution de la raie de photons monochromatiques (1 MeV). Puis :

- Pour cette nouvelle énergie l'équipe de l'accélérateur en jouant sur un ou deux paramètres rend maximum le courant de positons mesuré sur le capteur de Faraday et cette information est renvoyée en permanence au pupitre de commande par le réseau TV.

- Du côté utilisateur on vérifie grâce au trois systèmes de visualisation la position et la divergence angulaire du faisceau.

- On règle les fourchettes des contrôles.

- On lance le contrôle permanent.

- Sur le PDP 8 I après avoir affiché la quantité de charges devant tomber sur le capteur de Fraday et mis en place la cible d'annihilation on lance l'acquisition ce qui entraîne les processus suivants :

- Lecture par le PDP8 I d'une partie de la mémoire du PDP8 E où sont stockés les paramètres concernant la position et l'encombrement du faisceau ainsi que l'indication de contrôle.

- Si le contrôle est correct l'acquisition est effectivement lancée et elle s'arrêtera si l'un des 3 cas suivants se produit.

1/ Le nombre de charges est atteint.

2/ L'opérateur le demande.

3/ Le PDP8 E trouve un contrôle incorrect. Dans ce cas, l'acquisition sera de nouveau lancée par ce calculateur lorsque le contrôle sera de nouveau satisfaisant.

- Enfin les différents calculs et les différentes sorties sont effectuées (cf § 4 ci-dessus)

VI. 6 - EXEMPLE DE RESULTATS OBTENUS -

VI. 6. a - Le faisceau de positons : Dans les premières expériences réalisées en salle BE, les positons sont créés à partir d'un convertisseur fixe en or de 3 mm d'épaisseur (type AL 60) situé entre les 6^{ème} et 7^{ème} sections de l'accélérateur. Ils sont ensuite accélérés entre les 7^{ème} et 12^{ème} sections puis envoyés en salle BE à travers une optique magnétique qui définit leur énergie à $\pm 1,5\%$. Pour des raisons de sécurité le courant moyen d'électrons I_{e^-} tombant sur le convertisseur a été limité à $30 \mu A$ (impulsion de $3 \mu sec$ de large, 5 mA crêtes répétées toutes les $500 \mu sec$).

La figure VI. 10 montre l'évolution du rendement $\rho = I_{e^+} / I_{e^-}$ en fonction de l'énergie E_0 des positons qui traversent la cible d'annihilation. Dans l'expression du rendement, I_{e^+} est le courant de positons mesuré par le capteur de Faraday, cible d'annihilation enlevée.

Le tableau suivant donne pour un certain nombre de points en énergie les valeurs de I_{e^+} et le nombre de positons utilisables.

$E(e^+) \text{ MeV}$	20	30	50	70	90	110
$I(e^+) \text{ n A}$	2	6	12	18	25	30
nb de e^+ par seconde	$1,2 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{10}$	$6 \cdot 10^{10}$	10^{11}	$1,3 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{11}$

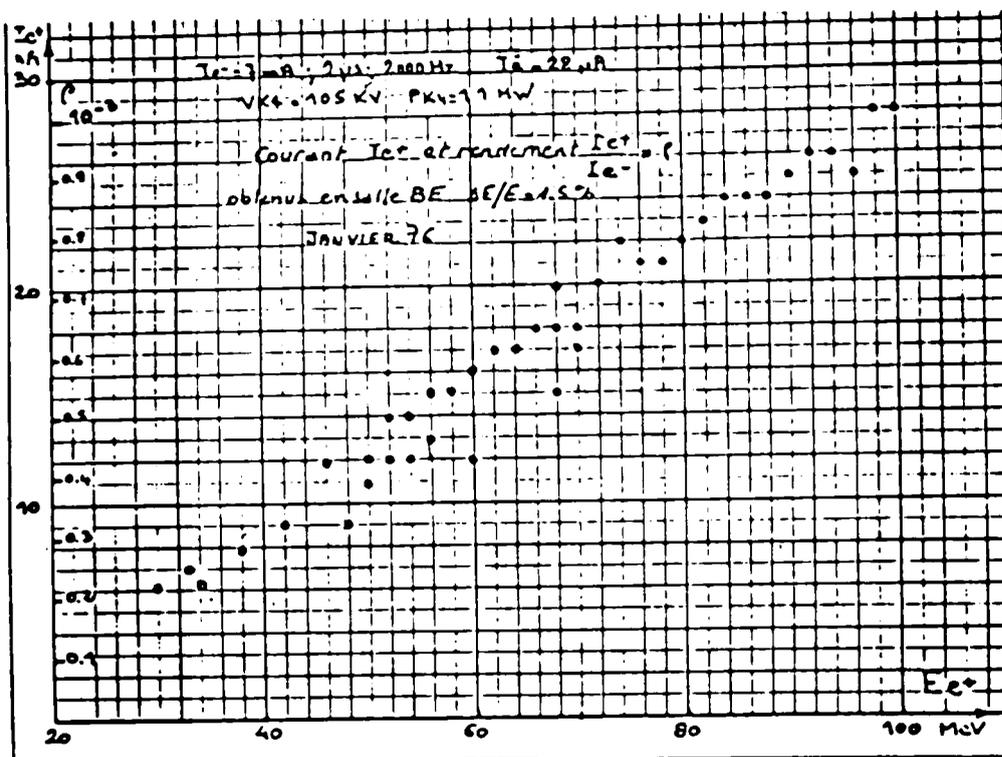


Fig. VI. 10

VI. 6. b - Le faisceau de photons : Avec les faisceaux de positons ci-dessus, et l'utilisation alternative d'une cible d'annihilation en LiH (2 mm) et d'une cible d'annihilation en Cu (35 μ m) on obtient des spectres de photons dont quelques exemples sont montrés sur les figures VI. 11 a et b pour $E_0 = 80$ et 40 MeV.

Les flux de photons N_γ monochromatiques utilisables par différence (G Li - A . G Cu) et dans un angle solide $d\Omega = 4,5 \cdot 10^{-5}$ stéradian sont donnés dans le tableau suivant (pour un angle d'observation $\theta = 2^\circ$).

$E(e^+) \text{ MeV}$	40	60	80	100
$E_\gamma \text{ MeV}$	38,9	56,7	73,7	90
N_γ / sec	$3,5 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$	$6,25 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^4$

Bien que le rendement de production des photons monochromatiques ait tendance à décroître avec l'énergie des positons, on peut noter une augmentation du nombre de photons utilisables par unité de temps. Ceci est dû en première approximation à l'accroissement du nombre de positons arrivant effectivement sur la cible après la sélection en énergie dans une fente de 1%. Les variations du taux de comptage en fonction de l'énergie ne sont pas des fonctions simples quand l'angle d'observation n'est pas nul.

ENERGIE (INLE) = 1
 ENERGIE = 80,00 MEV
 1124 1 197614 17M 23M 6533

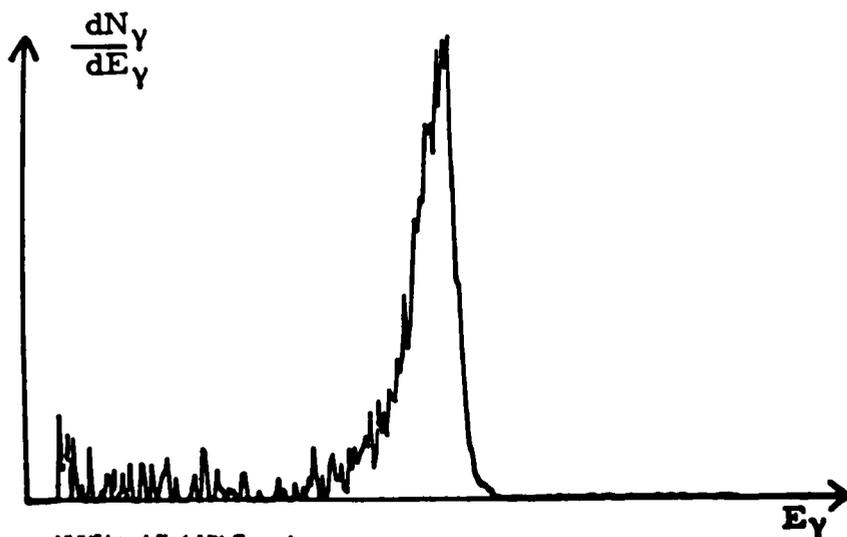


Fig. VI. 11a

ENERGIE (INLE) = 1
 ENERGIE = 40,00 MEV
 1125 1 197614 23M 7M 46513



Fig. VI. 11b

Un perfectionnement récent a été apporté qui permet de faire varier commodément l'angle θ d'observation des photons en faisant varier l'angle d'arrivée des positons sur la cible d'annihilation grâce à un système de champs magnétiques alternés Z_1 et Z_2 (Fig. VI. 12).

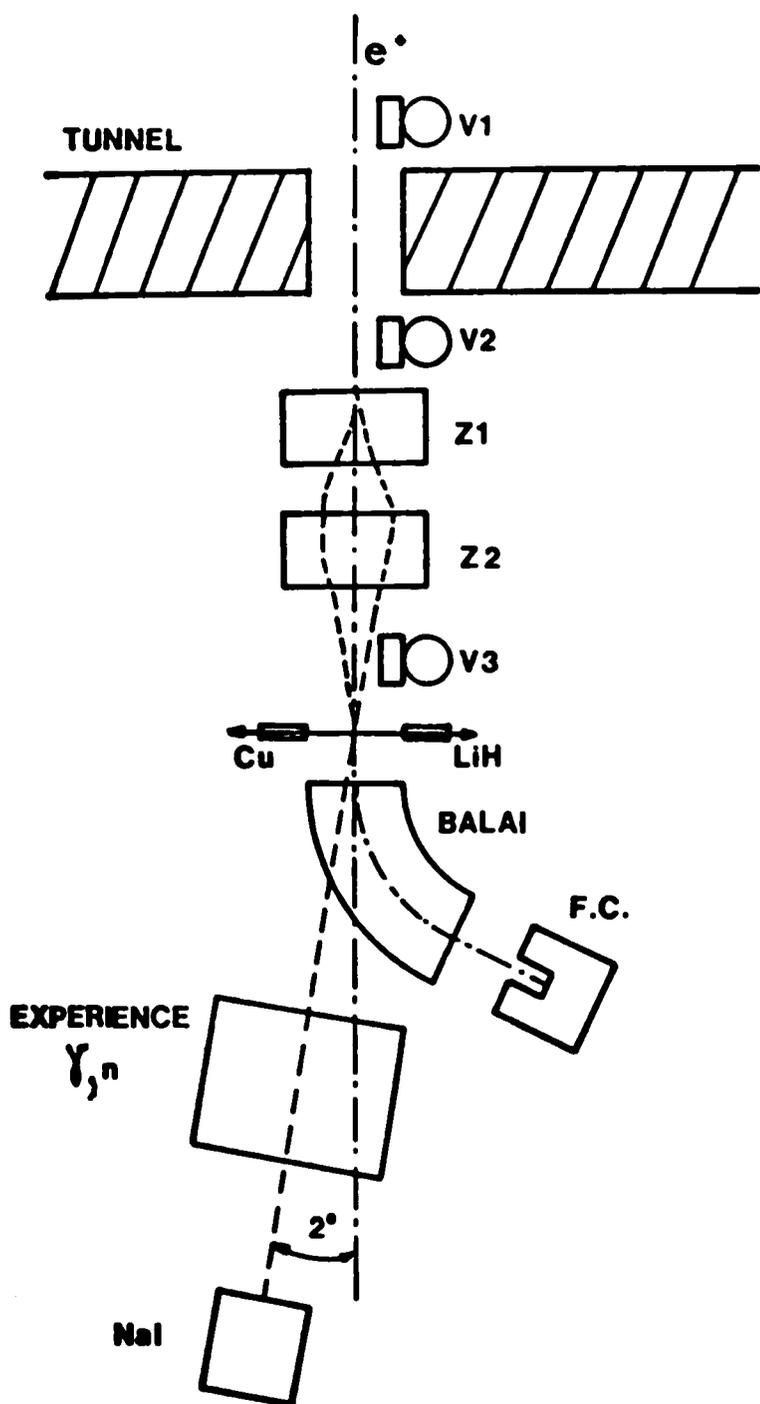


Fig. VI. 12

L'angle d'observation θ peut ainsi varier de $\theta = 0^\circ$ à 5° . La figure VI. 13 montre un exemple de spectres d'annihilation obtenu avec une cible de LiH pour $\theta = 1, 2, 3$ et 4° .

L'énergie des photons est calculée théoriquement car le calibrage en énergie de la chaîne de détection des photons est fait avec une source de γ de faible énergie. A l'AL 60 la raie de 15,11 Mev du ^{12}C avait pu être utilisée pour un calibrage plus direct. Des raies de γ monochromatiques n'existent malheureusement pas entre 30 et 100 Mev. Mais un calibrage du détecteur pourrait être envisagé avec le γ de 129,4 Mev obtenu par capture radiative de pions stoppés par le proton " $\pi^- + p \rightarrow n + \gamma$ ".

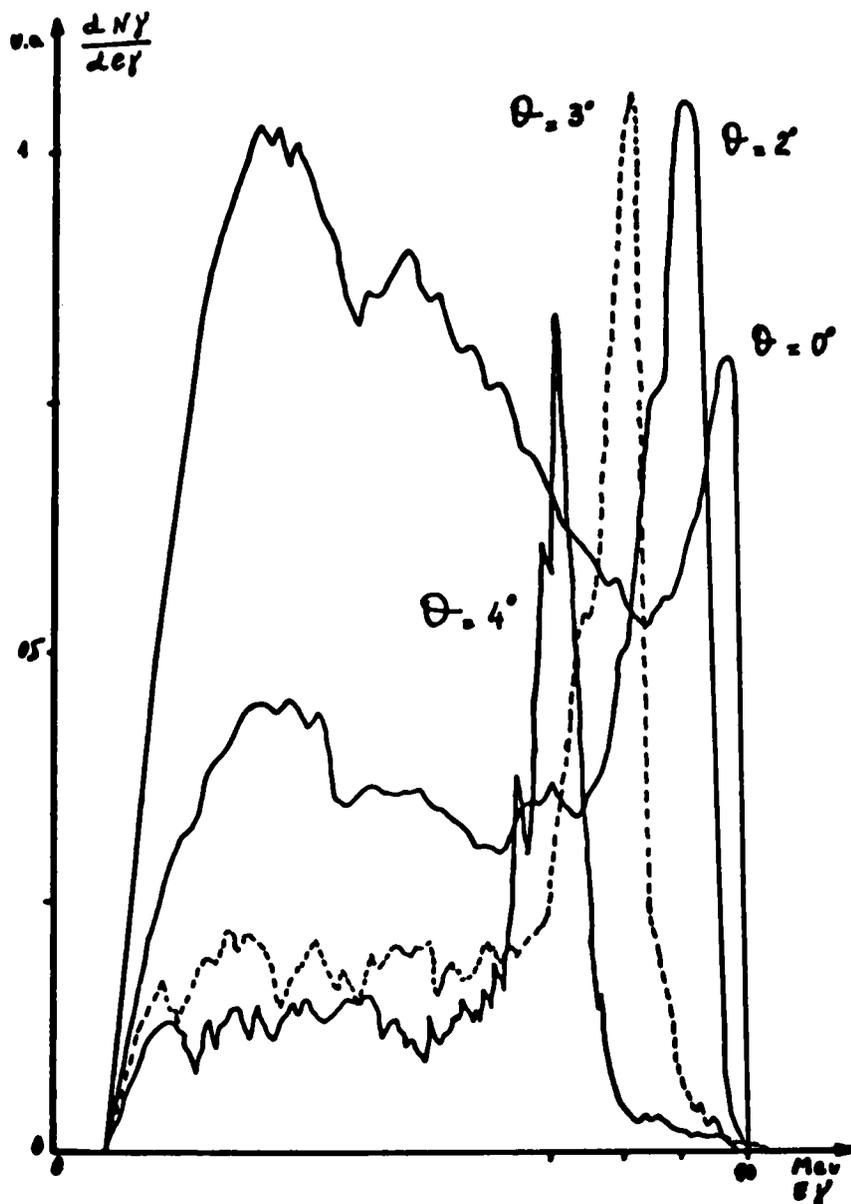


Fig. VI. 13

IV. 6. c - Mesure d'une section efficace photoneutronique : Les sections efficaces photoneutroniques de ^{16}O , ^{31}P , ^{32}S ont été étudiées au-delà de la résonance géante en utilisant le détecteur de photoneutrons décrit au chapitre II. On a d'abord pu vérifier qu'il était bien nécessaire d'enregistrer tous les paramètres décrits précédemment car ils permettraient de découvrir des corrélations expliquant des anomalies sur certains comptages bruts.

Par exemple la figure VI. 14 montre qu'une première étude de la section efficace $\sigma(\gamma, n)$ sur ^{16}O faisait apparaître une résonance possible autour de 55 MeV (60 MeV positon). En fait l'enregistrement systématique de tous les paramètres pour chaque point expérimental a permis de constater qu'une déviation angulaire $\Delta\theta_X$ du faisceau de positon était systématiquement produite dans cette zone d'énergie. Cette déviation angulaire diminuait l'angle sous lequel on observait les photons ce qui entraînait un accroissement des photons vus par la collimation. Ceci modifiait le pourcentage des photons transmis à travers la collimation $\phi = 2$ cm, il fallait donc tenir compte de cet effet pour passer du nombre des photons monochromatiques détectés par le cristal au nombre de ceux qui avaient réellement frappé la cible à étudier. En effectuant cette correction la " résonance " disparaît .

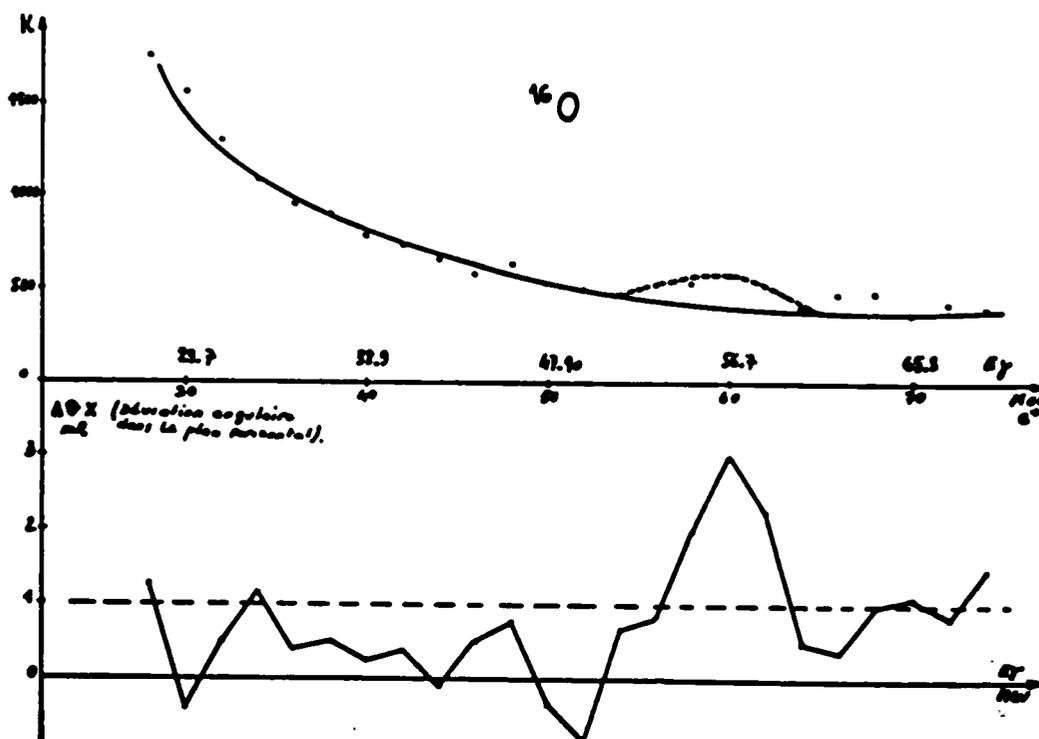


Fig. VI. 14

Une fois les corrections suggérées par ces corrélations effectuées, on a pu montrer aussi bien pour ^{32}S pour ^{16}O et ^{31}P :

$$1^\circ - \sigma(\gamma, 2n) \sim \sigma(\gamma, 3n) = 0 \text{ pour } E_\gamma \text{ compris entre } 30 \text{ et } 70 \text{ MeV.}$$

2° - $\sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, pn)$ donné par les figures VI. 15.a, b, c ne montre pas de structure résonnante mais simplement une décroissance lente du type de celle obtenue pour la section efficace σ_D de photodésintégration du deutéron. D'ailleurs le fait que de $E_\gamma = 40 \text{ MeV}$ à $E_\gamma = 56 \text{ MeV}$ on ait à peu près :

$$\frac{\sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, pn) \text{ pour } ^{32}\text{S}}{\sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, pn) \text{ pour } ^{16}\text{O}} \simeq 2$$

n'est pas incompatible avec un modèle simple type quasi deutéron pour lequel on aurait :

$$\sigma(\gamma, \text{total}) \simeq K \frac{NZ}{A} \sigma_D$$

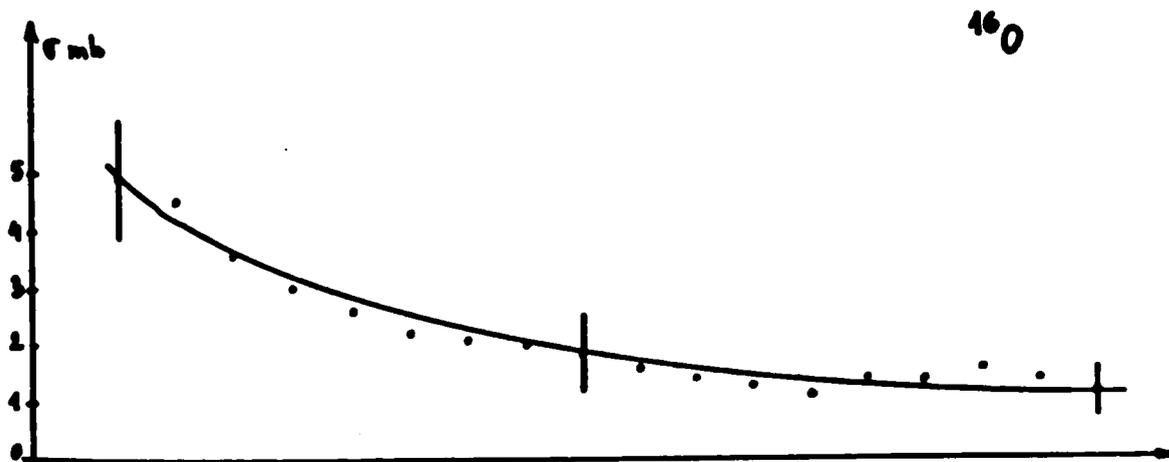


Fig. VI. 15a

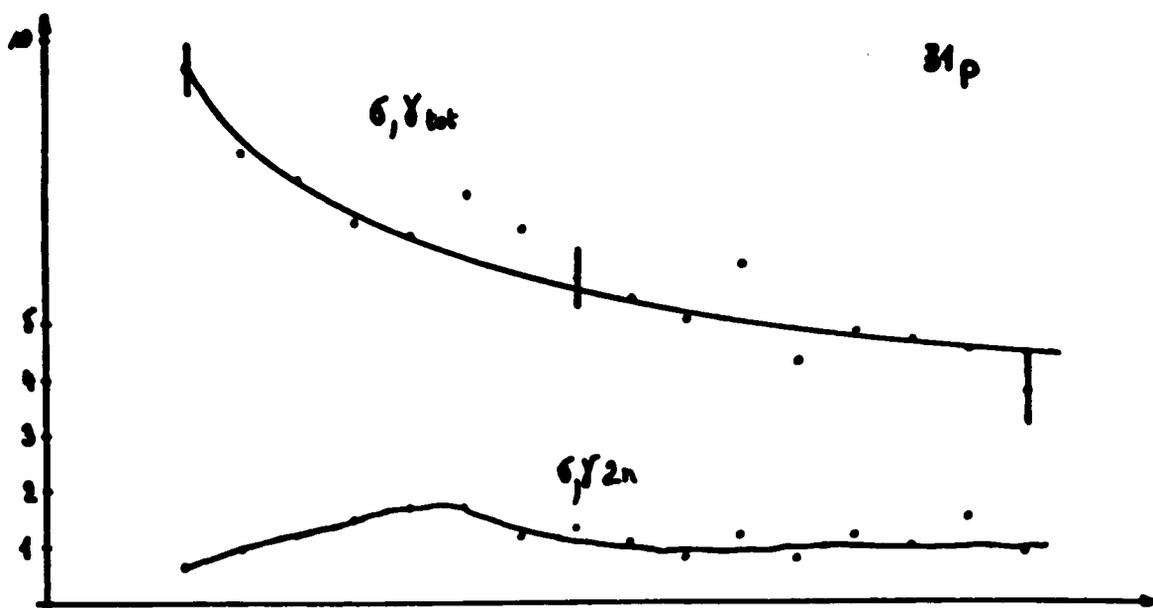


Fig. VI. 15 b

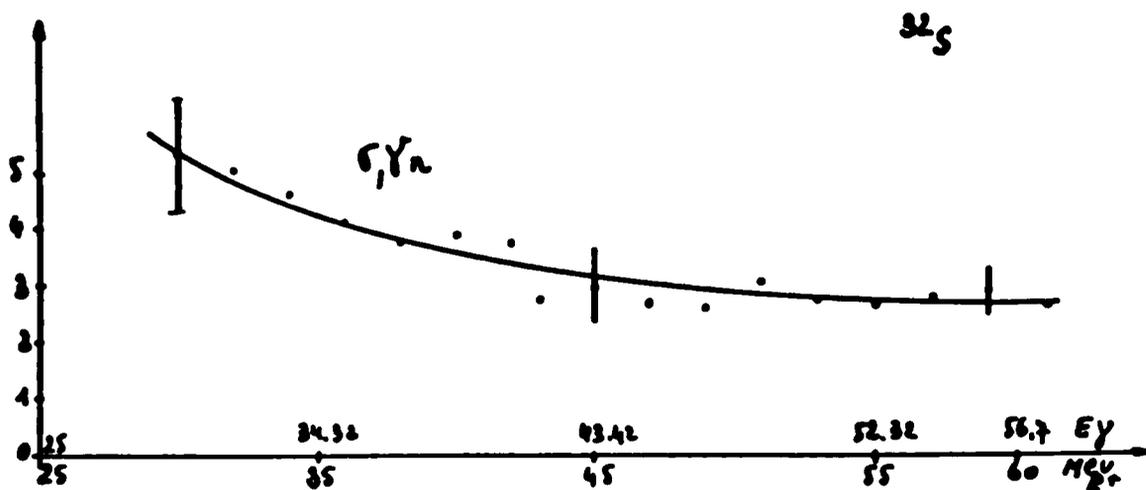


Fig. VI. 15c

BIBLIOGRAPHIE - (Chapitre VI)

- [40] M. J. BERGER et S. M. SELTZER - NBS, Washington DC 20 234 USA - Nucl. Instr. and Meth. 104 (1972) 317-332.
- [41] G. GIANNINI, P. OLIVA, M. C. RAMORINO - RT/FI (69) 15, Roma.
- [42] J. A. BISTIRLICH, K. M. CROWE, A. S. L. PARSONS
Lawrence Radiation Laboratory, Berkeley (U. S. A.)
Phys. Rev. Lett., vol. 25, number 10 (1970) 689-693.

CONCLUSION -

Nous voyons donc que le réglage, le déroulement, l'acquisition et le stockage d'un point à une énergie donnée sont pratiquement automatiques. Ceci constitue la première étape avant de refermer la boucle, c'est-à-dire de rendre automatique le passage d'un point à un autre en énergie. La réalisation modulaire de notre équipement rend possible un tel développement, mais il nous manque encore la connaissance totale de certains phénomènes. Il est en effet vain de vouloir rendre automatique un réglage de paramètre si l'on ne possède pas une parfaite connaissance de celui-ci. Par exemple comme les positons sont accélérés jusqu'à leur énergie finale dans l'accélérateur, le réglage automatique de l'énergie implique la connaissance (encore insuffisante) des valeurs optimales des intensités et des phases du champ accélérateur pour chaque énergie.

De même le rapport nombre de photons monochromatiques sur photons de Bremsstrahlung résulte d'un compromis avec le flux absolu de photons monochromatiques, compromis qui dépend évidemment de l'expérience photonucléaire envisagée et de l'énergie dans la raie monochromatique. Le réglage automatique de l'angle d'observation des photons pourrait donc être aussi programmé sur ordinateur.

Enfin, la prochaine étape prévoit l'étude des réactions γ, p ; γ, D ; $\gamma, 2p$ avec détection des particules chargées par des chambres à fils plongées dans un champ magnétique intense (1 Tesla). Il sera nécessaire d'effectuer en ligne un tri des informations impliquant une reconstruction au moins sommaire des trajectoires par le ordinateur. Ici encore la conception modulaire choisie dès le début permettra une connexion facile des détecteurs au ordinateur.

Ces techniques d'enregistrement automatique et d'analyse en ligne d'un grand nombre de paramètres pour une seule expérience est d'autant plus nécessaire que auprès d'un grand accélérateur comme l'ALS le temps alloué à une expérience particulière est très faible.

L'acquisition d'un grand nombre de données pour chaque point expérimental permet presque après coup de refaire sur ordinateur l'expérience dans des conditions variées d'analyse et de corrélation de paramètres. Une même quantité d'information nucléaire devrait ainsi pouvoir être acquise pour un temps d'accélérateur diminué mais avec des possibilités d'analyse sur ordinateur en ligne et hors ligne accrues.

ANNEXE I

I - LE STDAN

I.1 - Le fonctionnement du STDAN -

Il a été décrit par Hesling [1] . Cependant il est nécessaire d'apporter quelques informations spécifiques de son utilisation pour des expériences photonucléaires. C'est un appareil qui fonctionne à une cadence de débit des caractères de 1 kHz. Cette vitesse est suffisante pour des machines électromécaniques. Elle est cependant très lente lors d'un couplage à un ordinateur et ne pourrait convenir pour des acquisitions en temps réel. Cet appareil est autonome. En effet, le STDAN peut acquérir des données sur bande perforée sans le secours du PDP8 I : il faut considérer le PDP8 I comme un périphérique du STDAN.

Ainsi, pour des enregistrements de longue durée, qui ne nécessitent pas de traitement immédiats, les données peuvent être stockées sur bandes perforées et traitées en différé. Le PDP8 I, alors libéré peut être utilisé à d'autres tâches.

Le STDAN se compose des éléments suivants :

- Ce que l'on pourrait appeler " l'unité de commande ". (Elle est programmable très facilement au moyen de matrices à diodes).
- Des tiroirs d'entrée, adaptant les niveaux logiques et transférant les fonctions de lecture, RAZ, etc...
- Des tiroirs de sortie, pour la commande des machines sur lesquelles seront transcrites les données provenant des organes d'entrée.

Ces informations transitent par la ligne OMNIBUS (Fig. 1).

Ces tiroirs constituent les interfaces entre les appareils à lire et l'omnibus, ou entre l'omnibus et les organes de sortie.

Le programme nécessaire au fonctionnement de l'unité de commande est câblé sur des matrices à diodes montées dans des tiroirs 1/8 (MP 10 ou MP 20). La matrice MP 30 est particulièrement appréciée pour la mise au point des programmes longs et pour réaliser rapidement des petits programmes.

Le tiroir M4M 10 permet la mise en mémoire de quatre demandes d'impression. Elles sont testées par le programme, et peuvent ainsi être hiérarchisées, ce qui permet de faire des aiguillages automatiques de programmes.

Par le jeu des commutateurs A (tiroir MPM 10) et B (tiroir MP 10), il est possible de sélectionner neuf programmes câblés sur des matrices à diodes. Ceci est très appréciable pour changer rapidement de programme. Chaque organe a une adresse qui permet de l'interroger.

I. 2- La programmation du STDAN -

Les adresses des divers organes sont définies par la mise en place de " straps " sur les tiroirs ; les notices précisent ces adresses et il est possible de les modifier. Si l'on a, par exemple, deux tiroirs MIAMI 10, il faut que les adresses du deuxième soit différentes de celles du premier.

La programmation s'effectue au moyen de 13 instructions et de 256 pas de programme. Le code octal est utilisé pour les adresses et la programmation. Un pas de programme comprend 12 bits (4 sont réservés au code instruction, 8 sont réservés au code adresse) suivant le schéma ci-après :

ADRESSE								INSTRUCTION			
200	100	40	20	10	4	2	1	10	4	2	1

Les 13 instructions sont :

Lecture échelle	code	01
RAZ adressable		02
Lecture + RAZ		03
Lecture adresse		04
Saut de programme		05
Arrêt rythme		06
Service		07
Fonction machine		10
Test ligne 1		11
Test ligne 2		12
Visualisation		13
Saut de décade		14
RAZ générale échelle		15

Note 1 - Lors d'un saut (instruction 05), il faut programmer le saut un pas en avance sur le saut réel que l'on désire effectuer. Ceci est dû au fait que l'instruction de saut positionne le compteur ordinal et le compteur ordinal est toujours en avance de 1 sur le pas à exécuter.

Exemple : Saut réel au pas 55
code adresse 54 - Code instruction 05

Note 2 - Lors d'un test (instruction 11 ou 12 selon la ligne à tester) la réponse est NON sur le premier pas, suivant le pas où est effectué le test et OUI sur le deuxième pas suivant l'instruction. Cela signifie que si le test est positif on saute la prochaine instruction.

Exemple : Test de l'état de la ligne 1, de la demande d'impression sur la mémoire 0 du tiroir M 4 M.

<u>pas</u>	<u>adresse</u>	<u>instruction</u>
50	310	11 (test ligne 1)
51	47	05 (non, saut à 50 - 1 = 47)
52	X	05 (oui, saut à l'adresse X = pas du programme sélectionné moins 1)

I.3 - Les tiroirs MVNSCH et MCOV -

Ils permettent, en association avec un voltmètre numérique, de transcrire 16 voies de mesures analogiques. Le tiroir MCOV assure la commutation d'une des 16 voies adressables. Le tiroir MVNSCH assure la commande et la lecture du voltmètre. Le choix du voltmètre numérique est très important selon les mesures analogiques que l'on doit effectuer.

- Si les sources de tensions que l'on doit mesurer ont un pôle à la masse, tous les voltmètres peuvent convenir.
- Si les mesures à effectuer SONT et DOIVENT rester flottantes, il importe d'utiliser un voltmètre à anneau de garde.

L'anneau de garde est un blindage qui isole entièrement les circuits d'entrée de la masse " mécanique " (c'est-à-dire de la masse des châssis) et des circuits logiques utilisés pour la visualisation et la transcription . Cet isolement est assuré par l'emploi d'un transformateur à tore de ferrite. Lors de la transcription, la masse de mesure reste ainsi flottante par rapport à la masse " mécanique " ci-dessus.

Nous avons choisi le voltmètre Schlumberger VB 2066 et le tiroir VB 2167 parce que les circuits avaient déjà été étudiés et donc étaient rapidement disponibles.

I.3.1 - Le tiroir MPDP8 I - Il constitue l'interface reliant le STDAN au processus PDP8 I de DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION. Le fonctionnement de ce tiroir a été décrit par Gallice [2] . Ce tiroir

a la propriété d'être bidirectionnel : PDP8 I vers STDAN et STDAN vers PDP8 I . Cette propriété permet d'utiliser le sens STDAN → PDP8 I pour enregistrer dans le processeur les données provenant de l'installation. Le PDP8 I est alors périphérique du STDAN. Le sens PDP8 I → STDAN sera utilisé pour substituer à la matrice programme, la mémoire du PDP8 I. Le STDAN n'est plus alors autonome. Cette possibilité n'a pas encore été utilisée.

1.3.2 - Les instructions STDAN et PDP8 I - Le dialogue STDAN ↔ PDP8 I s'établit facilement au moyen des 12 instructions suivantes :

Instructions de programme utilisées par le STDAN :

351	07	(Marche MPDP8 I)
351	02	(Arrêt MPDP8 I)
037	10	(Début de mot hors format)
027	10	(Fin de mot hors format)

Pour la transmission de caractères numériques ajouter 60 au caractère à transmettre.

Exemple : Le caractère 7 sera codé 67.

Instructions de programme utilisées par le PDP8 I :

6301	SAO-IOP1	(Test de début de message)
6302	SAO-IOP2	(RAZ drapeau de début de message)
6304	SAO-IOP1	(Test drapeau de message en cours)
6311	SAI-IOP1	(Test de message à transmettre)
6312	SAI-IOP2	(Transmission de message)
6321	SA2-IOP1	(Test drapeau demande de mot programme STDAN)
6322	SA2-IOP2	(RAZ drapeau, transfert AC du PKP8 I dans la mémoire du STDAN)
6324	SA2-IOP4	(Demande d'interruption du programme STDAN)

Le tiroir MPDP8 I permet de transmettre au PDP8 I les informations de deux manières.

I. 3. 3- Les mots en format normal - Un mot en format normal se compose de 7 caractères BCD. Les informations provenant des organes d'entrée sont codées en BCD, ce qui nécessite 4 bits par caractère. La longueur des mots du PDP étant de 12 bits, on pourra donc transmettre 3 caractères par mot du PDP8 I.

Ainsi une échelle à 7 décades pourra être transcrite sur 3 mots PDP8 I. Le contenu ou l'adresse des canaux d'un BM 96 à 6 décades pourra être transcrite sur 2 mots PDP8 I.

Dans un souci de normalisation, toutes les informations seront transcrites sur 3 mots PDP8 I. Un traitement de ces mots est réalisé dès leur entrée dans le PDP8 I en vue de leur stockage en " flottant ", car ces données seront utilisées dans les calculs ultérieurs.

I. 3. 4- Les mots hors format - Il est quelquefois nécessaire de transmettre des mots qui n'ont pas un nombre défini de caractères : par exemple, pour repérer des programmes qui comporteraient une étiquette sous la forme de caractère unique 1, 2, 3, 4, etc... Dans ce cas, on aura donc à transmettre un seul caractère. Pour le repérer, on encadrera ce caractère par un code de début de mot hors format et de fin de format, ceci pour permettre au PDP8 I de savoir quel sous-programme il devra utiliser pour acquérir ces données.

Exemple de codage STDAN pour la transmission d'un caractère hors format :

037	10	(Code début de mot hors format)
061	10	(Code caractère 1)
027	10	(Code fin de mot hors format)

Un transcodage est effectué dans le tiroir MPDP8 I et ainsi 037 et 027 deviennent respectivement 16 et 17 dans l'accumulateur du PDP8 I.

On retrouvera alors la séquence suivante 16 - 1 - 17 dans les 3 mots consécutifs du PDP8 I.

Ces nombres ont été choisis de telle manière qu'il ne puisse y avoir confusion avec de véritables données. En effet un caractère BCD codé sur 4 bits ne peut excéder 11 à base 8.

C'est donc par la programmation du STDAN que nous pouvons choisir ces formats.

I. 3. 5 - Le dialogue STDAN - PDP8 I et la programmation - Nous ne parlerons que des programmes STDAN utilisés avec le PDP8 I. Le canal d'entrée programmé du PDP8 I est utilisé pour faire de l'acquisition lente de données. Ce canal est composé des lignes suivantes :

- " INTERRUPT REQUEST", ligne de demande d'interruption;
- " SKIP ", ligne de saut d'instruction si le test est positif ;
- " IOP 1, IOP 2, IOP 4, " ligne IOT (input, output, transfert);
- " BAC ", 12 lignes permettant de sortir des informations de l'ACCUMULATEUR du PDP8 I (BAC 0 à BAC 11);
- " AC ", 12 lignes permettant de rentrer des informations dans l'ACCUMULATEUR du PDP8 I (AC 0 à AC 11).

L'utilisation des IOP permet le dialogue entre le PDP8 I et la STDAN. Nous avons dit que c'est le STDAN qui impose la vitesse d'acquisition. A titre d'exemple il faut 10 secondes pour enregistrer 1000 canaux de BM 96.

Nous avons sélectionné un programme sur le STDAN au moyen des commutateurs A et B prévus à cet effet. En actionnant le switch Marche du tiroir MPM 10, après avoir effectué un RAZ programme, le STDAN se positionne au pas 0 et exécute le programme de test des commutateurs .

Le choix ayant été effectué, le STDAN tourne sur une boucle d'attente. Cette boucle est différente selon que l'on teste une ou plusieurs mémoires du tiroir M4M 10.

Test des mémoires du tiroir M4M 10

Pas	Adr	Inst	
131	310	11	test M4M (1)
132	133	05	n saut à test M4M (2)
133	214	05	o saut à CONTROLE
134	311	11	test M4M (2)
135	136	05	n saut à test M4M (3)
136	144	05	o saut à ACQUISITION
137	312	11	test M4M (3)
140	141	05	n saut à test M4M (4)
141	254	05	o saut à PARAMETRES ANALOGIQUES
142	313	11	test M4M (4)
143	130	05	n saut à début des tests M4M
144	130	05	o réserve

Losque une demande d'impression intervient sur une de ces quatre mémoires, le branchement au sous-programme d'acquisition s'effectue. Si une autre demande intervient, alors que le STDAN exécute le sous-programme, elle sera mise en mémoire et sera prise en compte à la boucle de test suivante. Chaque sous-programme une fois exécuté fait un saut à la première instruction du programme de test des mémoires du tiroir M4M 10. Au cas où deux demandes d'impression interviendraient, c'est la demande de poids inférieur qui sera effectuée en priorité. Il faut donc en tenir compte pour écrire le programme.

Le sous-programme, étant branché, exécute en premier lieu une demande d'interruption que le PDP8 I reconnaît. La PDP8 I reçoit alors 3 mots de 12 bits du STDAN : le groupe de 3 mots qui définissent le mot hors format. Il teste ces 3 mots. Selon la réponse de ce test, le PDP8 I se branche sur le sous-programme d'acquisition correspondant aux données à enregistrer. Cette organisation concerne la lecture

d'échelles, mais elle serait assez semblable pour emmagasiner les données d'un BM 96. L'initialisation " nombre d'échelle " deviendrait initialisation " nombre de canaux ". D'une manière générale le PDP8 I lit le STDAN et stocke dans un pseudo-accumulateur ces données en BCD. Il les transforme en binaire, puis en flottant. Ces transformations sont nécessaires pour des calculs ultérieurs.

Lorsque ces traitements sont terminés, le programme réactive la ligne d'interruption qui est à nouveau en attente.

Si le STDAN reçoit une demande d'interruption avant que le traitement soit terminé par le PDP8 I, cette demande est gardée en mémoire dans le tiroir MPDP8 I.

II - ACQUISITIONS DES DONNEES (Fig. 2)

Nous étudions les sections efficaces en fonction de l'énergie des photons incidents sur la cible échantillon. Le domaine d'énergie que nous explorons va de 8 MeV à 30 MeV. Le pas de variation de l'énergie est habituellement de 270 keV, ce qui correspond à un courant de 1 ampère dans les aimants. Nous effectuons donc 70 pas pour explorer la zone d'énergie. La calibration en flux de photons " quasimonochromatiques " a été précédemment obtenue en effectuant deux séries de mesures en positons et en négatons (Chap. II). Pour la mesure de la section efficace du corps à étudier, il va falloir procéder aussi par une série de deux mesures, ce qui fera donc 140 points à enregistrer.

A chaque pas on relèvera les paramètres suivants :

- Le sens du courant dans les aimants (e^+ ou e^-) (éch. 1)
- Le courant dans les aimants (I . aimants) (éch. 1), proportionnel à l'énergie du pic de photons monochromatiques.
- Le nombre de charges Q (éch. 2)

- Le nombre de coups P (1) dans échelle 3
- Le nombre de coups P (2) dans échelle 4
- Le nombre de coups P (3) dans échelle 5
- Le nombre de TZ (éch. 6)
- Le nombre de coups dans CT (éch. 7)
- Le nombre de coups dans GM (éch. 8)
- Le comptage du BF 3 (éch. 9) : monitoring du bruit de fond neutronique BFT créé sur la cible de conversion électrons-positons
- Le repère concernant le corps (éch. 10 : Contravès.

Selon le flux de photons, la section efficace à l'énergie étudiée, l'épaisseur de la cible étudiée, l'efficacité choisie pour la détection des photoneutrons, l'erreur statistique tolérée, etc..., la durée d'accumulation de ces données varie de 5 à 30 minutes.

Le STDAN est utilisé pour l'acquisition de ces données. D'une part, ces données sont envoyées au PDP8 I qui effectue instantanément les calculs de sections efficaces après correction programmée des effets de bruit de fond et d'empilements. Il stocke les résultats dans des tables et les imprime sur la télétype ainsi que les paramètres que l'on peut contrôler et qui permettent de réagir sur l'orientation à donner à l'expérience. D'autre part, ces données sont envoyées sur la bande de la perforatrice TALLY, ce qui permet de faire des cartes et de traiter ces données avec un calculateur plus puissant après la fin de l'expérience.

Programme STDAN (GAMMAN)

145	351	07	START MDP 8 I <u>ACQUISITION</u>
146	37	10	début de mot hors format
147	61	10	caractère 1 sous-programme n° 1
150	27	10	fin de mot hors format
151	10	01	lecture échelle n° 1

152	11	01	lecture échelle n°2
153	12	01	lecture échelle n°3
154	13	01	lecture échelle n°4
155	14	01	lecture échelle n°5
156	15	01	lecture échelle n°6
157	16	01	lecture échelle n°7
160	17	01	lecture échelle n°8
161	20	01	lecture échelle n°9
162	21	01	lecture échelle n° 10
163	351	02	STOP MPDP 8 I
164	305	07	START MCMP 10
165	12	10	retour chariot
166	15	10	interligne
167	10	03	lecture échelle n°I + RAZ
170	40	10	espace
171	11	03	n°2
172	40	10	espace
173	12	03	n°3
174	40	10	espace
175	13	03	n°4
176	40	10	espace
177	14	03	n°5
200	40	10	espace
201	15	03	n°6
202	40	10	espace
203	16	03	n°7
204	40	10	espace
205	17	03	n°8
206	40	10	espace
207	20	03	n°9
210	40	10	espace
211	21	03	n°10

212	305	02	STOP MCMP 10
213	311	02	RAZ M4M (2)
214	130	05	saut à début

III - ACQUISITION DES DONNEES DE L'APPAREILLAGE -

III. 1- Après chaque changement d'énergie -

L'expérience se déroule en fonction de l'énergie des photons. Cette sélection en énergie se fait par variation du courant dans les électro-aimants de sélection en énergie des positons ou des négatons. Le faisceau est guidé et concentré sur la cible de lithium à l'aide de quadrupôles dont les courants d'alimentation sont fonction de l'énergie (fig. 3).

Il faut donc contrôler que tous ces courants suivent bien, en fonction de l'énergie, les lois de variation prédéterminées. La variation correspondant à l'avance d'un pas en énergie s'opère automatiquement, dès que les données de l'expérience (γ , x_n) relatives au point précédent ont été acquises par le STDAN et la PDP8 I.

Les paramètres à contrôler pour chaque point d'énergie sont les suivants :

- courant dans les aimants (shunt n° 1)
- courant dans les quadrupôles Q1 et Q2 (shunt n° 2)
- courant dans les quadrupôles Q3 et Q4 (shunt n° 3)
- courant dans les quadrupôles Q5 et Q6 (shunt n° 4)
- champs dans les aimants (tension de sortie du gaussmètre de Hall)
- courant de positons ou de négatons.

Le STDAN fonctionne alors en acquisition de paramètres analogiques, avec ses tiroirs MVNSCH et MCOV.

Programme acquisition analogique

255	3 51	07	START MPDP 8 I (PARAMETRES ANALOG)
256	37	10	début de mot hors format
257	63	10	caractère 3 sous-programme n°3
260	27	10	fin de mot hors format
261	40	07	voie 0
262	3 20	01	lecture
263	41	07	voie 1
264	3 20	01	lecture
265	42	07	voie 2
266	3 20	01	lecture
267	43	07	voie 3
270	3 20	01	lecture
271	44	07	voie 4
272	3 20	01	lecture
273	45	07	voie 5
274	3 20	01	lecture
275	3 51	02	STOP MPDP 8 I
276	312	02	RAZ M4M (3)
277	130	05	saut à début

Ces paramètres sont enregistrés dans le PDP8 I et transcrits sur la télétype en même temps que les autres paramètres de l'expérience. Nous aurons la liste de tous les paramètres concernant un point d'énergie. Ils seront consultés lors du dépouillement des résultats.

III. 2- En séquence -

Dans la conduite de l'expérience, il faut contrôler en permanence le rapport CT/TZ. Ce rapport ne doit pas être plus grand que

1/10, pour être sûr de pouvoir effectuer correctement les corrections d'empilements (échelles 11, 12), (Fig. 2). Deux paramètres peuvent intervenir pour augmenter ce rapport en cours d'expérience.

Premièrement, la variation du flux gamma avec l'énergie, ce qui peut être corrigé en agissant sur le courant de l'accélérateur linéaire. Deuxièmement, la variation de section efficace étudiée en fonction de l'énergie sur laquelle bien sûr, il n'est pas possible d'intervenir. Là encore, la diminution du taux CT/TZ des photoneutrons détectés s'obtient en télécommandant le flux par l'intermédiaire du courant de l'accélérateur linéaire.

Il est également nécessaire de contrôler que le courant de positons ou de négatons ne dépasse pas une certaine limite, pour ne pas tomber dans une zone de non linéarité de la chaîne d'amplification qui suit le capteur de Fraday (échelle 13).

Ces trois paramètres numériques sont enregistrés dans le PDP8 I via le STDAN.

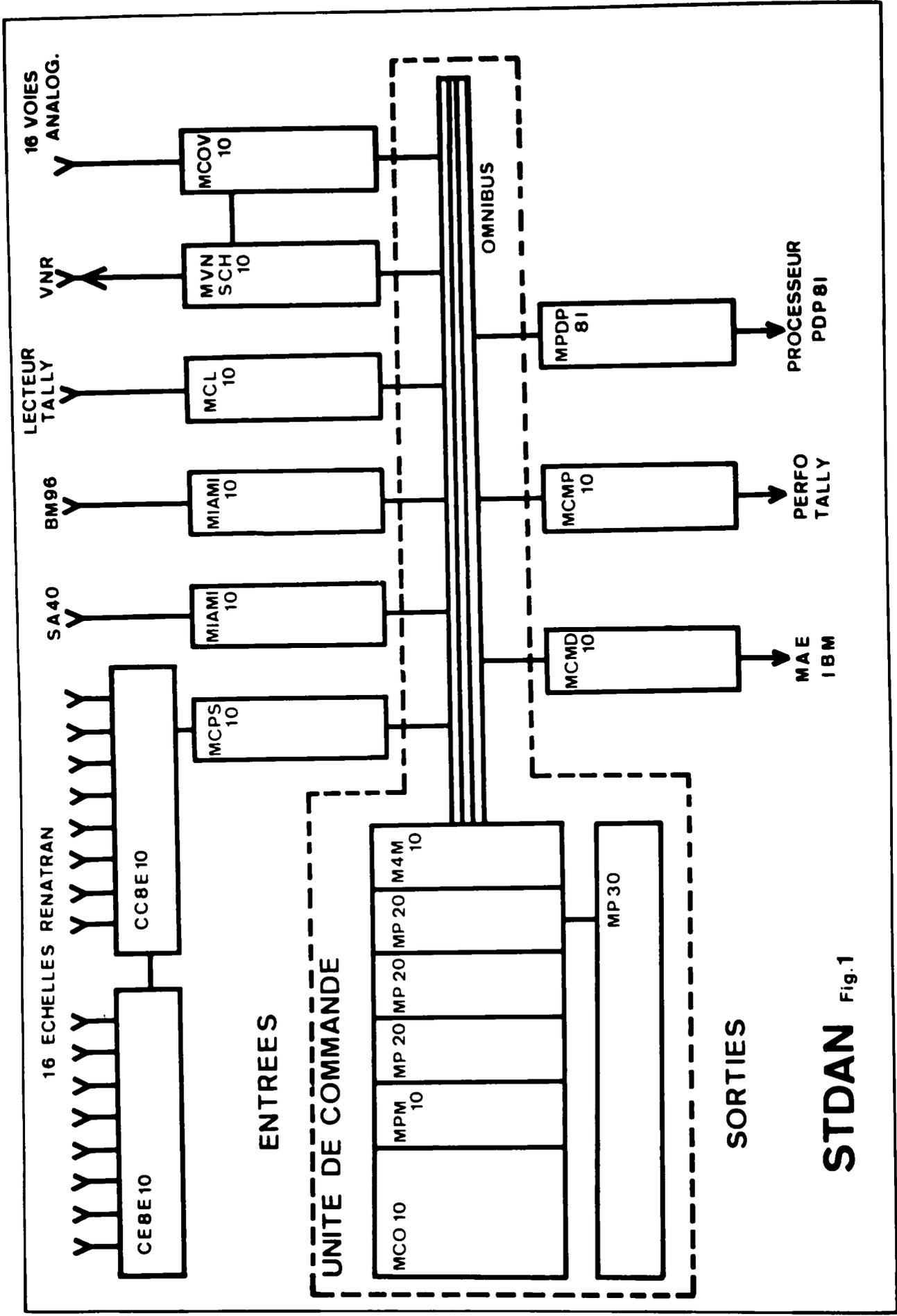
Le PDP8 I vérifie toutes les 15 secondes ces rapports et selon le cas, agit sur le système d'acquisition et sur le courant accélérateur linéaire.

Programme de contrôle -

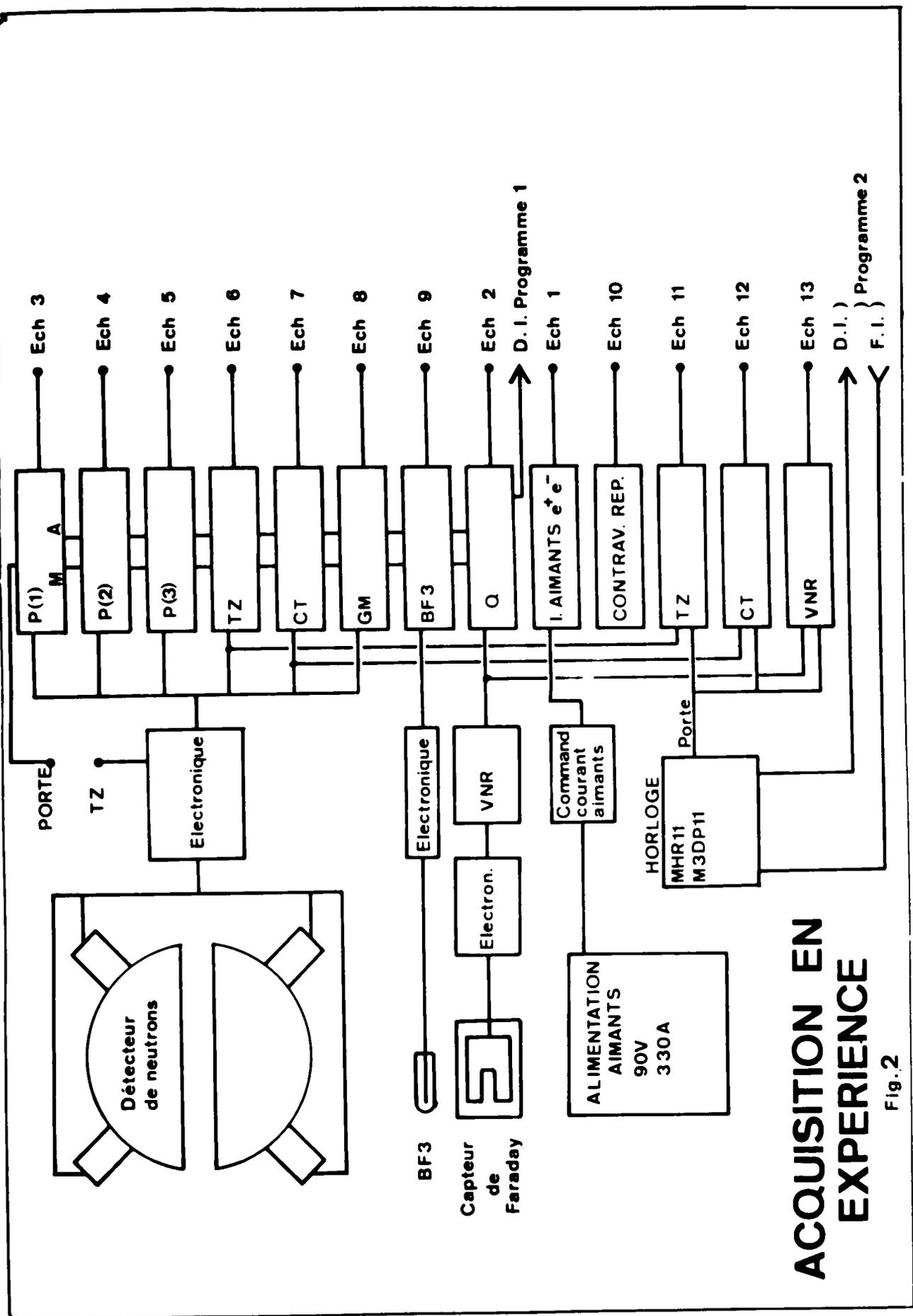
215	351	07	START MPDP 8 I <u>CONTROLE</u>
216	37	10	début de mot hors format
217	62	10	caractère 2 sous-programme n°2
220	27	10	fin de mot hors format
221	22	03	lecture et RAZ échelle 11
222	23	03	lecture et RAZ échelle 12
223	24	03	lecture et RAZ échelle 13
224	351	02	STOP MPDP 8 I
225	310	02	RAZ M4M (1)
226	130	05	saut à début

BIBLIOGRAPHIE - (Annexe 1)

- [1] M. HESLING, BIN n° 36, mars 1969, pages 3-13**
- [2] DEG/SEI/R 2646/P.G., Août 1969**

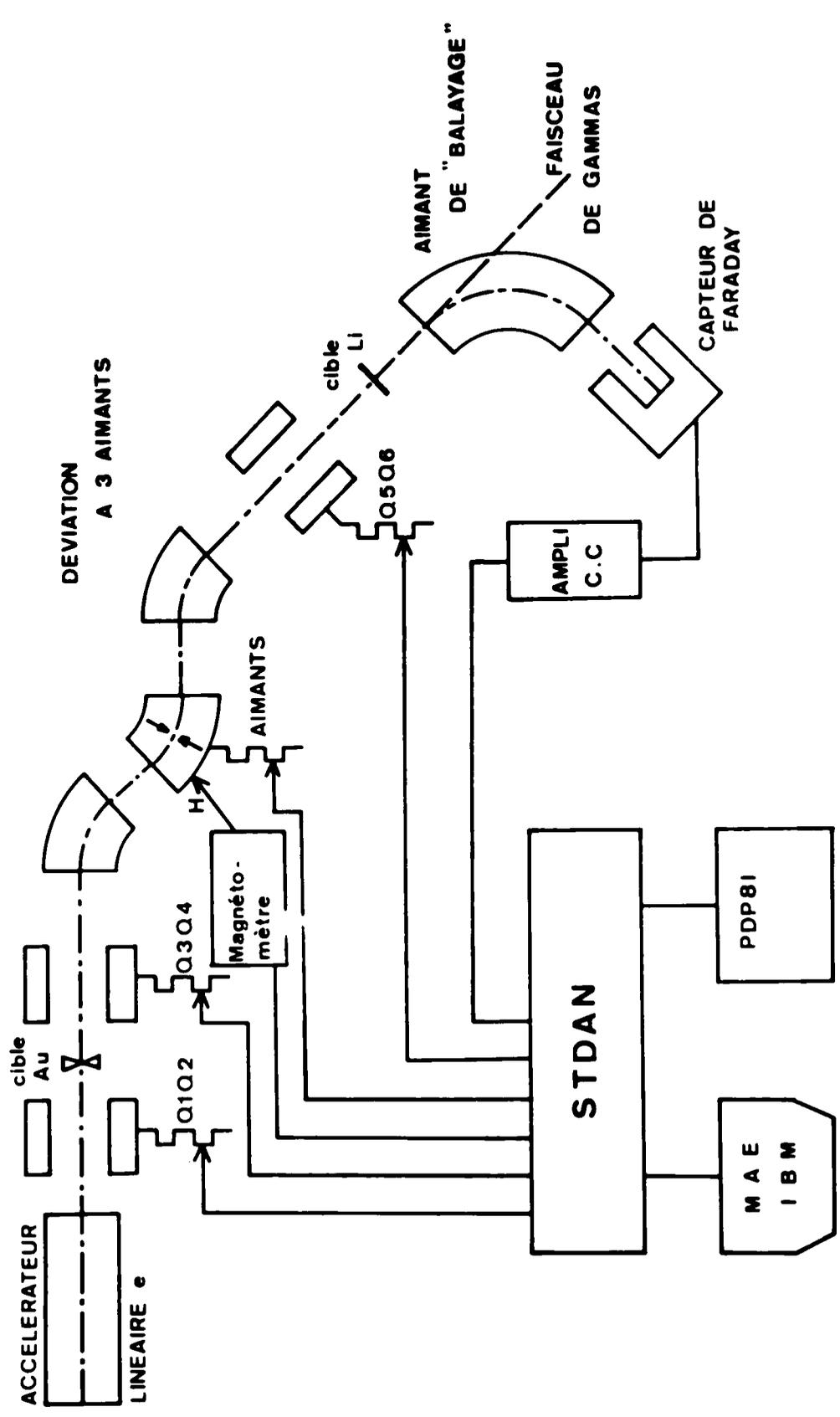


STDAN Fig.1



ACQUISITION EN EXPERIENCE

Fig.2



ACQUISITION DES DONNEES ANALOGIQUES Fig.3

ANNEXE 2

I - DETAIL DU DEROULEMENT AUTOMATIQUE D'UNE EXPERIENCE A L'AL 60 .

I. 1- Considérations préliminaires -

- L'indiçage des paramètres en mémoire dans le calculateur est fonction directement du courant. On pourrait alors utiliser la tension mesurée aux bornes du shunt de mesure de ce courant, sachant que $1A = 10 \text{ mV}$. Malheureusement, bien que cette mesure soit suffisamment précise, elle n'est pas directement utilisable pour servir à indiquer les variables en mémoire dans le calculateur. Par exemple, le point 50 A correspond à une tension de shunt de 500 mV. A plus ou moins un digit, ce pourrait être 501 ou 499. On pourrait donc avoir, pour le même courant, 499 mV en positons et 500 mV en négatons. Les indices ne correspondraient pas et les calculs ne pourraient pas être effectués. On utilise alors une échelle dans laquelle on envoie autant d'impulsions que de dixièmes d'ampères. Cette échelle est alors lue et enregistrée en même temps que les données d'origine nucléaire.

- La variation du courant dans les appareils électromagnétiques (électro-aimants et quadrupôles) s'opère toujours de la même manière (fig. 1).

Après une étude du comportement du champ dans les électro-aimants en fonction du courant, il a été décidé de suivre toujours le même processus pour effectuer la variation du courant pendant une série de mesures. La reproductibilité dans les valeurs de champ est ainsi satisfaisante. Tous les cycles que nous avons tracés sont superposables pour la précision que nous désirons ($2 \text{ à } 3 \times 10^{-3}$ suffisent devant la résolution globale).

La variation a toujours lieu dans le même sens pour une même série de mesure en positons. On commence les mesures au

courant le plus bas correspondant à l'énergie à laquelle on veut lancer l'expérience et on monte le courant jusqu'à l'énergie désirée sans jamais revenir en arrière. Ensuite, on " sature " jusqu'à 250 ampères et on redescend jusqu'à 0 ampère de courant.

Pour effectuer les mesures en négatons on inverse alors le sens du courant et on procède de la même manière.

Seules les variations effectuées durant l'exploration d'un corps sont effectuées automatiquement. Le passage de positons en négatons ou vice versa et l'initialisation sont encore manuels. Ces interventions ne représentent que peu de travail et de toute façon il faut changer manuellement la cible du corps dont on étudie la résonance géante.

Le passage de positons en négatons consiste simplement à inverser le courant dans l'optique électromagnétique. Pour faciliter ce travail, on regroupe sous une seule commande tous les inverseurs avec bien entendu des sécurités. La commutation n'est possible que si toutes les alimentations sont à zéro ; mécaniquement pour l'OERLIKON (contact de fin de course) et électriquement pour les ALCATEL (relais d'intensité).

Ceci présente l'avantage de ne pas pouvoir couper les alimentations en charge et puisqu'on a décidé d'effectuer ce changement de sens que pour un courant nul.

On étudie les sections efficaces en fonction de l'énergie des photons incidents sur la cible. Le domaine d'énergie que nous explorons va de 8 MeV à 35 MeV. Le pas de variation de l'énergie est le plus souvent de 270 keV, soit un courant de 1 ampère. Ceci nous conduit à effectuer de l'ordre de 100 pas en positons et 100 pas en négatons. De plus, pour augmenter la fiabilité des mesures, on effectue plusieurs comptages à une même énergie, que nous appelons sous-comptages SC. Au lieu d'intégrer une charge C, on préfère intégrer dix fois une charge C/10, ce qui permet d'éliminer des erreurs systématiques dans une certaine mesure.

Le temps d'accumulation des données d'origine nucléaire est fixé par le nombre de charges e^+ ou e^- tombant sur le capteur de Faraday. Le courant de positons ou de négatons est de l'ordre de 10^{-10} à 10^{-12} ampère ; il est amplifié par une chaîne PCC 52 - AC4K2. La sortie enregistrement de l'amplificateur AC4K2 est envoyée dans un voltmètre intégrateur Hewlett Packard qui transforme cette tension en fréquence. Cette fréquence de 10 Hz par mV est intégrée dans une échelle M6D 11 appelée VS.

I. 2- Commande du stockage et de la variation automatique du courant (Fig.2).

La durée de l'accumulation des données d'origine nucléaire est fixée par le nombre de photons, donc de charges intégrées dans l'échelle VS. Cette échelle est équipée d'un précompte PC 1, réglable en fonction de la charge que l'on désire accumuler. Le signal de PC 1 déclenche deux opérations :

- Il donne l'ordre au système d'acquisition en ligne des données d'acquérir les données d'origine nucléaire et les paramètres numériques concernant le point d'énergie E.

- Il incrémente le compteur de sous-comptages SC. Le compteur SC possède également un précompte PC 2. Le réglage de PC 2 est fixé par le nombre de sous-comptages que l'on a décidé d'effectuer.

Lorsque l'on incrémente le compteur SC, deux cas peuvent alors se présenter:

- Soit le précompte PC 2 n'est pas atteint et l'accumulation des données pour une nouvelle charge à la même énergie est relancée par le signal de fin d'impression du STDAN (la porte P commandée par le flip-flop B5 est toujours ouverte).

- Soit le précompte PC 2 est atteint et le signal de PC 2 effectue une demande d'avance du courant dans l'optique et bascule le

flip-flop B5 qui ferme la porte P, de telle manière que l'accumulation ne puisse pas être relancée avant que l'énergie ait changé et se soit stabilisée.

Le signal émis par PC 2 pour effectuer l'avance du courant dans l'optique réalise la mise en marche de l'horloge MHR 11 (fig.3). Cette horloge délivre des impulsions à 10 Hz qui alimentent en parallèle les entrées N des compteurs M3DP 11. Ces compteurs à précompte génèrent un train d'impulsions dont le nombre correspond au nombre affiché par les commutateurs. Ces impulsions sont mises en forme et attaquent les circuits logiques de commande des moteurs pas à pas. Le compteur PC OERLIKON permet de faire avancer le moteur pas à pas de l'alimentation des électro-aimants du nombre de pas affichés (80 impulsions correspondent à 1 ampère).

Le compteur PC QUAD fait avancer le moteur de l'alimentation des quadrupôles (30 impulsions correspondent à 1 ampère de variation dans l'optique). Le compteur PC AFF envoie dans l'échelle M6D11 de l'affichage du courant en dixièmes d'ampère un nombre d'impulsions correspondant à la variation effectuée (10 impulsions pour 1 ampère).

Ces réglages ont été exécutés en cascade et l'exécution du dernier est suivie de :

- l'arrêt de l'horloge MHR 11
- la remise à zéro du compteur SC
- la remise en marche du compteur SC
- la remise à zéro du flip-flop B5
- la remise en marche de l'accumulation des données
- la remise en marche du dispositif de demande d'impression des données analogiques.

Tous ces réglages étant réalisés, l'accumulation recommence à l'énergie $E + \Delta E$ et ainsi de suite.

I. 3- Contrôle de paramètres et réglage automatique du courant linac-

Pendant le déroulement de l'expérience, il est nécessaire de contrôler en permanence :

- Le taux de comptage CT/T, qui ne doit pas être plus grand que 1/10, de telle manière que les corrections d'empilement puissent être calculées dans de bonnes conditions. De plus il ne doit pas être plus petit que 1/1000 car une valeur aussi faible caractérise une disjonction du linac, d'une alimentation, etc.. ce qui a fait disparaître le faisceau de photons et il faut alors arrêter l'accumulation des données qui ne sont plus que du bruit de fond.

- Le courant de positons ou de négatons, qui ne doit pas dépasser une valeur maximale pour ne pas tomber dans une zone de non linéarité de la chaîne d'amplification du courant capteur.

- Le courant d'électrons intercepté par la cible de conversion en or, car cette cible ne peut dissiper qu'une certaine puissance.

Le contrôle du courant de positons ou de négatons et du taux de comptage peut conduire à baisser le courant de chauffage de l'accélérateur linéaire, de telle sorte que le courant d'électrons accélérés diminue (figure 4). La commande croft- décroft est prévue, mais seule la commande décroft est utilisée à ce jour, dans un souci de sécurité.

Toutes les 15 secondes une horloge donne donc l'ordre au STDAN de lire trois échelles :

- CT (comptage total du détecteur utilisé dans l'expérience)
- TZ (nombre d'impulsions d'électrons fournies par l'accélérateur)
- HP (courant de positon digitalisé par le voltmètre Hewlett Packard).

Le calculateur effectue les rapports et plusieurs cas peuvent se présenter :

- Le taux de comptage est trop grand, le calculateur exécute une baisse du courant de l'accélérateur.

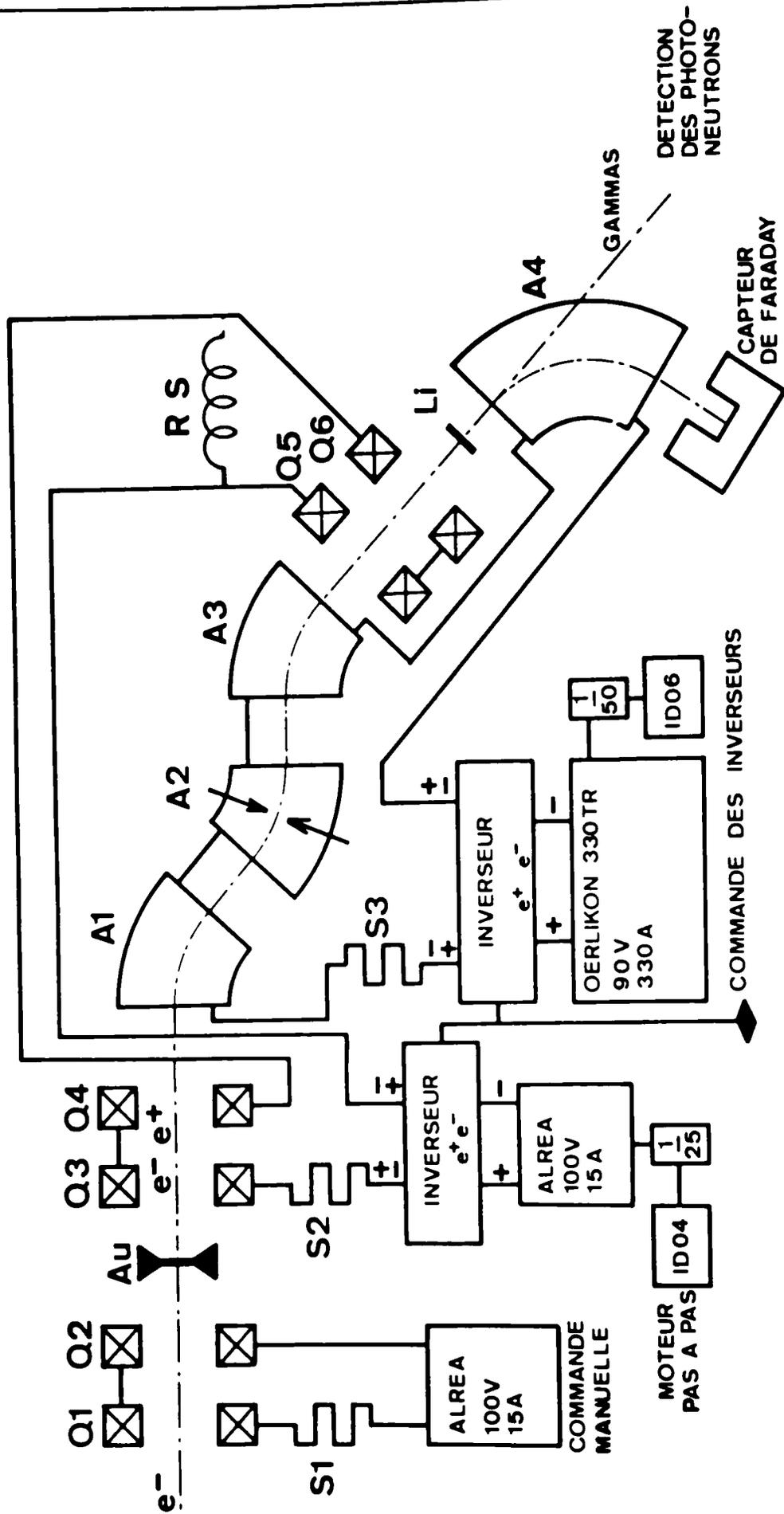
- Le courant de positons ou de négatons est trop grand, le calculateur exécute une baisse du courant de l'accélérateur.

- Le taux de comptage est plus petit que la limite inférieure fixée, le calculateur met sur arrêt l'accumulation par une impulsion (6341). Lorsque le contrôle(permanent) sera à nouveau satisfaisant, le calculateur mettra sur marche l'accumulation (6342).

Dans ces applications on utilise le module de 8 impulsions programmables pour commander : marche, arrêt, alarme, etc. et le module de relais pour commander le chauffage de l'accélérateur.

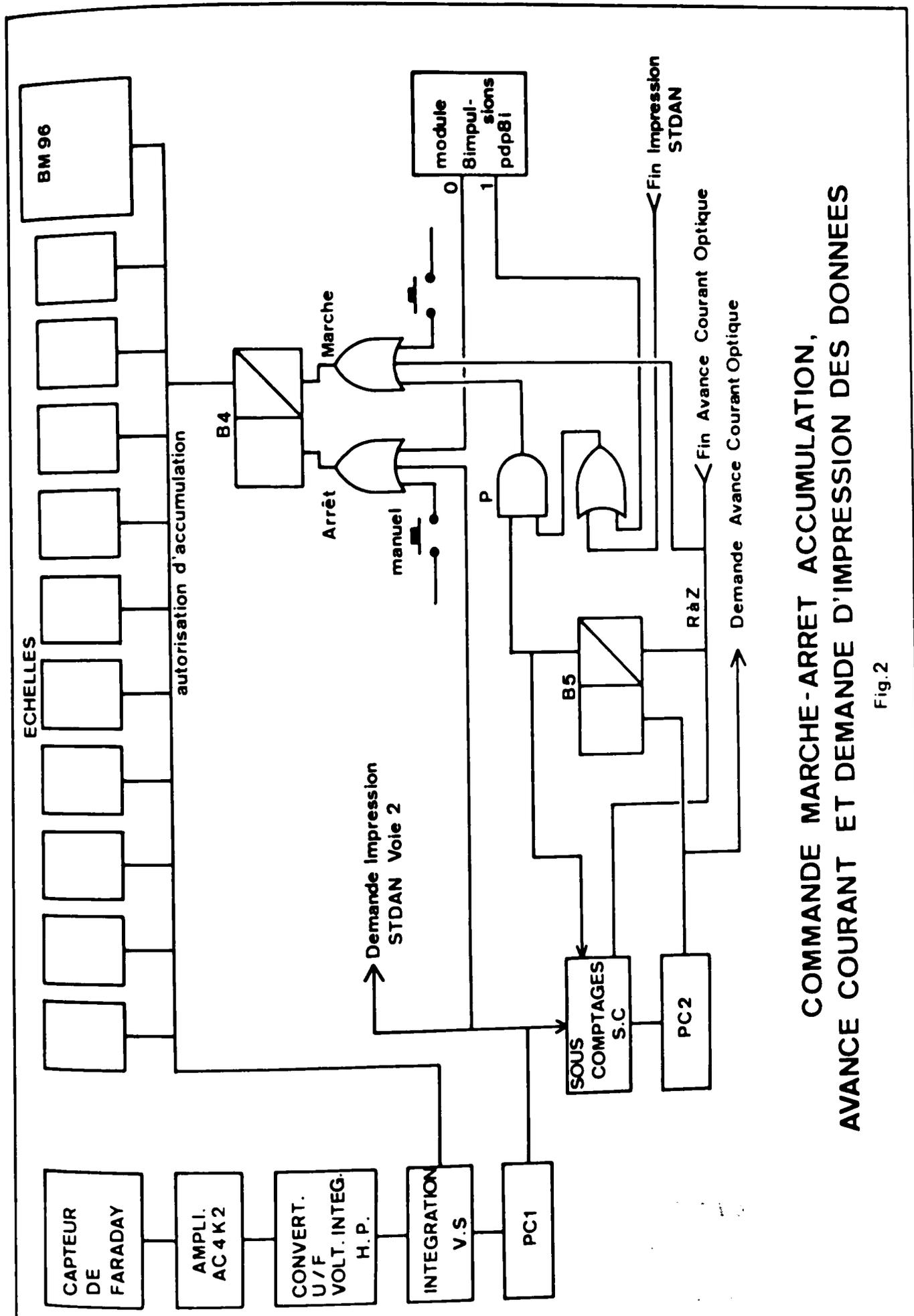
On a vu au chapitre précédent, dans les commandes effectuées par la fin d'avance courant, un ordre de demande d'impression des données analogiques correspondant au nouveau réglage. Si les données analogiques sont relevées immédiatement après le changement de courant, en ce qui concerne le courant de l'accélérateur et le courant de positons, ces données ne seront pas forcément celles correspondant au réglage final. En effet lorsque l'on augmente l'énergie, la production de positons augmente ainsi que la section efficace intégrée. Ceci entraîne une augmentation du taux de comptage et à partir d'une certaine valeur le contrôle va réagir. Il faudra 1, 2 ou 3 contrôles et corrections pour obtenir un taux correct. Par conséquent, on a mis en place un système qui retarde la demande d'impression des données analogiques. Il s'agit d'un compteur M3DP 11 en position précompte qui est mis en marche à la fin du changement de courant. L'entrée N est alimentée par les impulsions de l'horloge de contrôle. La sortie précompte n est envoyée à la demande d'impression des données analogiques sur le STDAN. Le réglage du précompte est fonction du nombre de contrôles que l'on veut effectuer avant de lire les données analogiques, de façon à être sûr qu'elles sont stabilisées. Dans ses attributions de contrôleur, le calculateur vérifie certains paramètres sur

les données et signale par message sur la télétype les anomalies qu'il détecte et qui ont été programmées. Il surveille le nombre de points et informe l'expérimentateur de la fin de la séquence par l'édition de messages d'erreurs sur le TTY.



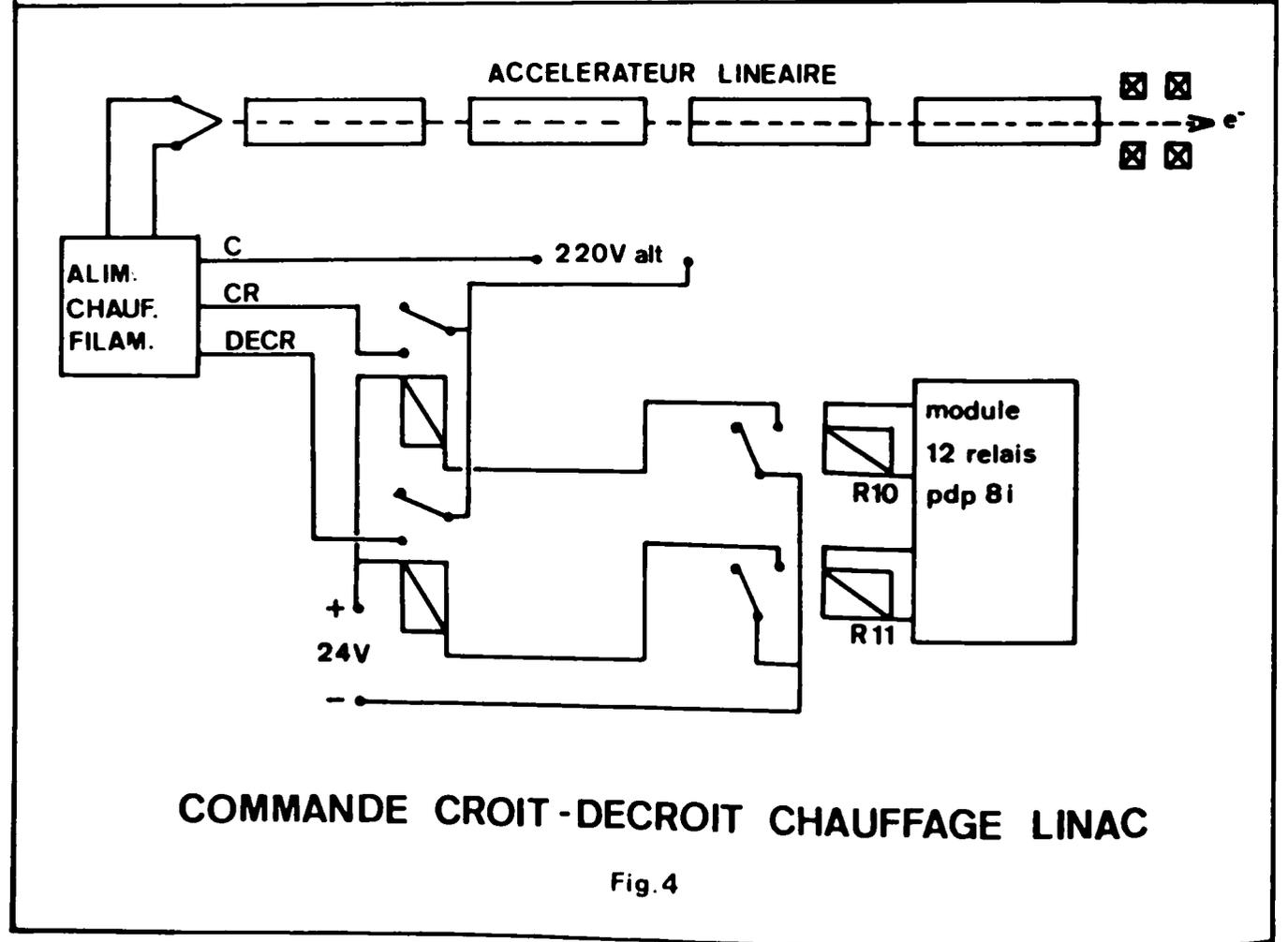
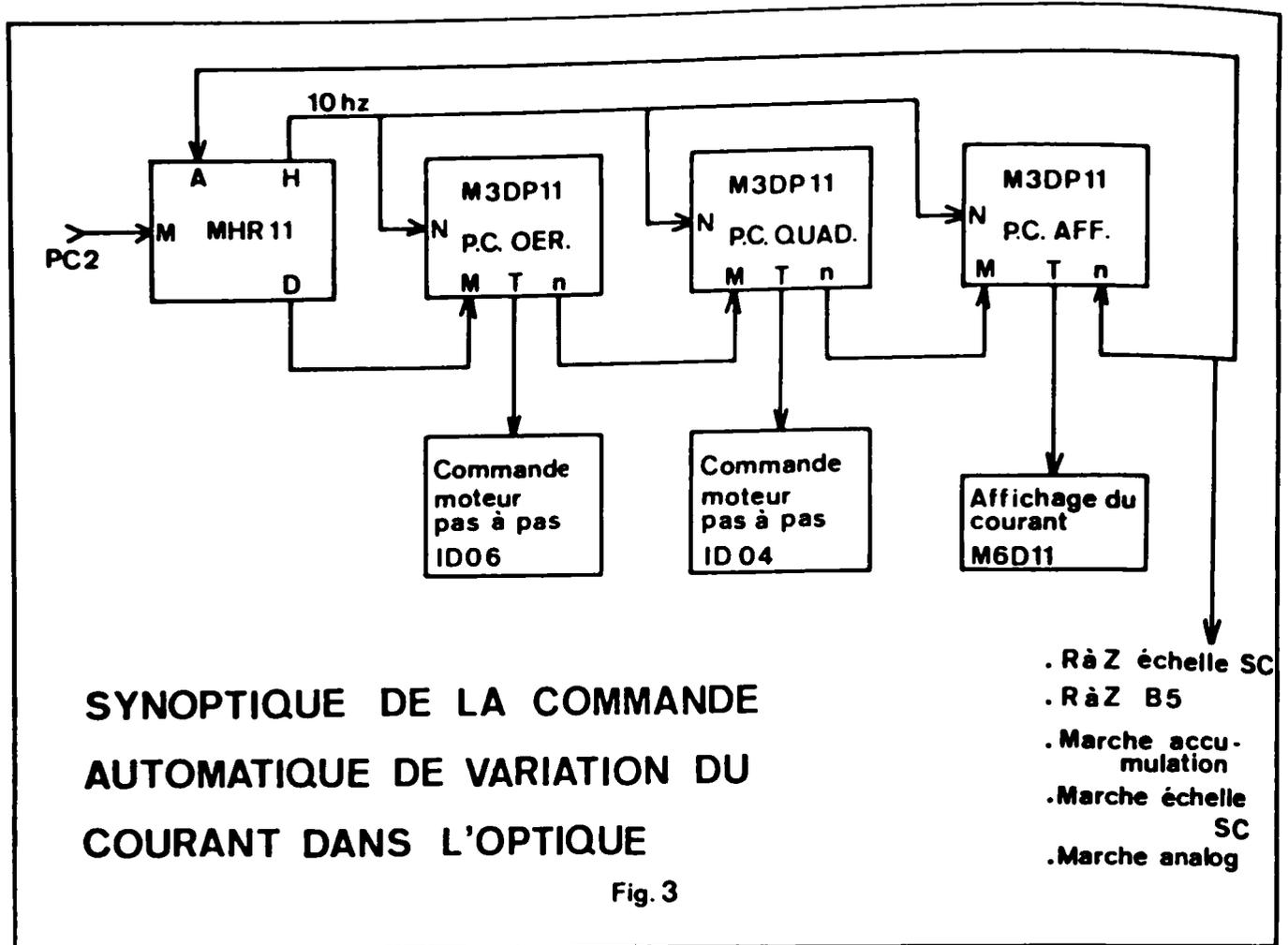
ALIMENTATIONS , ELECTRO-AIMANTS ET QUADRUPOLES

Fig.1



COMMANDE MARCHÉ-ARRÊT ACCUMULATION,
 AVANCE COURANT ET DEMANDE D'IMPRESSION DES DONNÉES

Fig.2



Vu et approuvé

ORSAY, le 15 octobre 1976

Les Membres du Jury



et Marie

M. J. S. J.

R. Reyère