

institut de physique nucléaire

LABORATOIRE ASSOCIE A L'IN2P3



soutenue le 14 juin 1984

IPNO-T-84-06

THESE
présentée par

JOLI POUTHAS

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR INGÉNIEUR

Sujet : SYSTEME DE COINCIDENCE A MÉMOIRE (CALI)

Principe et utilisation dans des expériences multidétecteurs en physique-nucléaire.

UNIVERSITÉ PARIS-SUD

I.P.N. BP n° 1 - 91406 ORSAY

FR 8703023

soutenue le 14 juin 1984

IPNO-T-84-08

THESE
présentée par

JOËL POUTHAS

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR INGÉNIEUR

Sujet : SYSTEME DE COINCIDENCE A MEMOIRE (CALI)

Principe et utilisation dans des expériences multidetecteurs en
physique-nucléaire.

UNIVERSITE DE PARIS-SUD
CENTRE D'ORSAY

THESE

présentée
Pour obtenir

Le Titre de DOCTEUR -INGENIEUR
Spécialité : PHYSIQUE NUCLEAIRE

PAR

Joël POUTHAS

SUJET : SYSTEME DE COINCIDENCE A MEMOIRE (CALI)

Principe et utilisation dans des expériences multidétecteurs en
physique nucléaire.

soutenue le 14 Juin 1984 devant la Commission d'examen

MM. Henri SERGOLLE Président

René CASTAGNÉ

Claude ROULET

Bernard TAMAIN

Xavier TARRAGO

REMERCIEMENTS

C'est par l'étude d'un système de coïncidence appelé CALI que j'ai commencé, en 1972, mes travaux d'ingénieur électronicien à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay. Je remercie Monsieur Xavier TARRAGO, Directeur de cet Institut, de l'intérêt qu'il a toujours porté à l'utilisation de ce système, et tout particulièrement au cours de la préparation de ma thèse de 3ème cycle en 1974.

Je remercie très sincèrement Monsieur le Professeur Henri SERGOLLE d'avoir accepté de présider une thèse portant sur un nouveau dispositif électronique dont il a été en mars 1984, un des premiers utilisateurs.

Monsieur le Professeur Bernard TAMAIN a non seulement été en 1972, à l'origine du premier système CALI, mais il s'est également beaucoup intéressé au développement des nouveaux dispositifs présentés dans ce mémoire.

Mes remerciements vont également à Monsieur le Professeur René CASTAGNÉ et à Monsieur Claude ROULET, Chef de Département à la Société Schlumberger, qui ont accepté de faire partie du Jury de cette thèse.

Depuis les premières utilisations en 1973 jusqu'à la réalisation, en 1977-80, des sept dispositifs CALI 4, les systèmes de coïncidence à mémoire de type CALI ont reçu un intérêt croissant parmi les équipes de physiciens. Cependant, ce dispositif à nombre limité de voies ne permettait pas de résoudre les problèmes de coïncidence dans des projets de grands dispositifs expérimentaux élaborés dans les années 1980-82. C'est à l'été 1982 que nous avons pu commencer l'étude et la réalisation des nouveaux dispositifs CALI 5 et CALI 6 qui font l'objet du travail de thèse présenté ici. Je tiens à remercier Pierre AGUER, chercheur au C.S.N.S.M. d'Orsay, du soutien financier qu'il nous a apporté dès le début de ce travail.

L'étude des dispositifs CALI 5 et CALI 6 a été faite au Service d'Electronique Physique de l'I.P.N. d'Orsay. Je remercie tout particulièrement Madame Danielle ROUGIER qui a assuré la très délicate réalisation des prototypes de ce système modulaire. Je remercie également Monsieur Jean-Michel CHADUC pour les études et la réalisation du module CALI R Multiplicité, Messieurs Philippe COURTAT et Luc HABLÔT pour la mise au point de la série des modules CALI R et les études du module CALI L et Monsieur Christian FOUCRE pour son étude sur le module Transposeur NIM/ECL.

Je remercie le Service Impression de l'I.P.N. d'Orsay et, tout particulièrement, Madame Jocelyne RUE qui a assuré la présentation et la dactylographie du manuscrit.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I. PRINCIPES DU SYSTEME CALI	5
1. Voies rapides et lentes : CALI R et CALI L	5
2. Principaux concepts du système rapide CALI R	5
3. Décomposition en modules du système CALI R. Choix de standards	8
4. Traitement des voies lentes : CALI L	12
II. DESCRIPTION DES MODULES DU DISPOSITIF CALI	15
1. Transposeur NIM/ECL	15
2. CALI R5 Entrées	18
2a. Principe de fonctionnement	18
2b. Description du module	23
2c. Principales caractéristiques temporelles	25
2d. Réalisation électronique	27
3. CALI R5 Extension Entrées	34
4. CALI R5 Décisions	39
5. CALI R5 Multiplicité	42
6. Interconnexion des modules CALI R : BUS COUPLE	44
6a. Liaison des modules d'entrée	45
6b. Liaison des modules de décision	45
6c. Réalisation du câble "BUS COUPLE"	49
7. CALI L5	51
7a. Principe de fonctionnement	51
7b. Description du module	53
8. Famille CALI 6	59

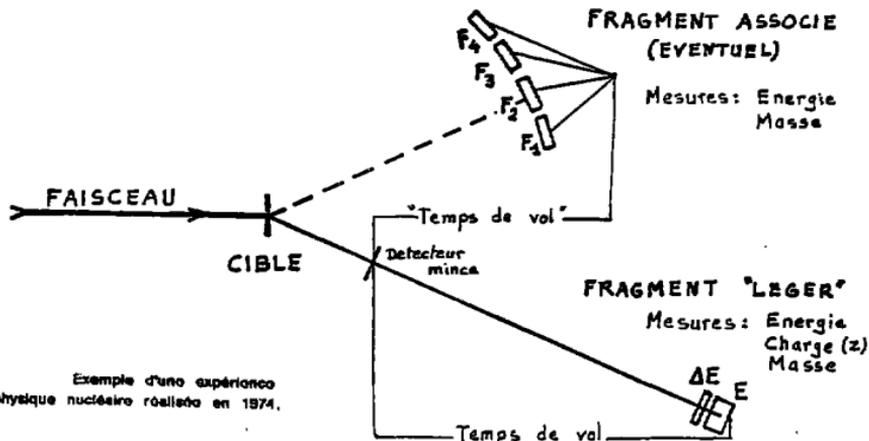
III. EXTENSION DES FONCTIONS DU SYSTEME CALI : COUPLAGE AUX MODULES ECL	
LINE DE LE CROY	61
1. Module Le Croy 2372	61
2. Module Le Croy 4508	62
3. Module Le Croy 4448	62
4. Module Le Croy 4532	62
5. Modules de déclenchement ou de décision rapide	64
6. Fonctions annexes	65
IV. UTILISATION DU DISPOSITIF CALI DANS DES EXPERIENCES MULTIDÉTECTEURS	67
1. Expériences à faible nombre de détecteurs : 16 voies rapides en coïncidence	67
2. Exemples d'expériences à grand nombre de détecteurs : une centaine de voies rapides en coïncidence	68
2a. Formalisation des fonctions à réaliser	68
2b. Déclenchement par le groupe de détecteurs G2	69
2c. Déclenchement par un signal lié à la pulsation du faisceau	70
2d. Déclenchement par le groupe de détecteurs G1 ou le groupe de détecteurs G2	72
2e. Eléments de discussion	73
3. Système de déclenchement du dispositif expérimental auprès du spectromètre SPES 3	74
3a. Dispositif expérimental	74
3b. Système de déclenchement	75
3c. Utilisation du dispositif CALI R	78
3d. Eléments de discussion	85
CONCLUSION	87
Bibliographie	89

I N T R O D U C T I O N

Un dispositif expérimental en physique nucléaire est construit autour d'un ensemble de plusieurs détecteurs de même type ou de types différents. Il faut non seulement mesurer les paramètres fournis par ces détecteurs, mais également "s'assurer" qu'ils proviennent d'un même événement physique. Cette dernière fonction appelée COINCIDENCE, nécessite un traitement dans un intervalle de temps déterminé, des signaux logiques issus de "prises de temps" associées aux différents détecteurs.

Pour illustrer le rôle de la fonction coïncidence, considérons l'exemple d'une expérience réalisée en 1974 [1]. Dans cette expérience, on s'intéressait aux réactions des noyaux d'Argon de masse 40 accélérés à 280 MeV sur une cible de Nickel. Un télescope E- ΔE associé à un temps de vol permettait la mesure de l'énergie et la détermination de la charge et de la masse des produits de réaction de masse inférieure à celle du projectile (fragment "léger").

Un ensemble de 4 détecteurs placés à 4 angles différents assurait, pour certains événements, la mesure de l'énergie et une détermination de la masse du fragment complémentaire issu de la réaction.



Exemple d'une expérience de physique nucléaire réalisée en 1974.

Dans cette expérience, les événements intéressants devaient nécessairement contenir les mesures des énergies déposées dans les détecteurs E et ΔE et celle du temps de vol correspondant. On s'intéressait également, lorsque le fragment associé était présent aux angles de détection choisis (détecteurs F_1 , F_2 ; F_3 ou F_4), à la mesure de son énergie et de sa masse. Etant données les variations importantes du temps de vol des différents fragments (dûes à une grande diversité de masses et d'énergies), le temps de coïncidence (durée minimale pour couvrir cette dispersion) était de l'ordre de 100 ns. A cette fonction de coïncidence, venaient s'ajouter des conditionnements comme, par exemple, le rejet des événements "empilés" (événements pour lesquels le même détecteur reçoit 2 fragments consécutifs trop rapprochés et fournit une mesure d'énergie érronée) ou le rejet, pour les angles avant, des événements de diffusion élastique (identifiés par des couples de valeurs dans le diagramme en énergie E- ΔE).

L'analyse rapide de cette expérience montre que :

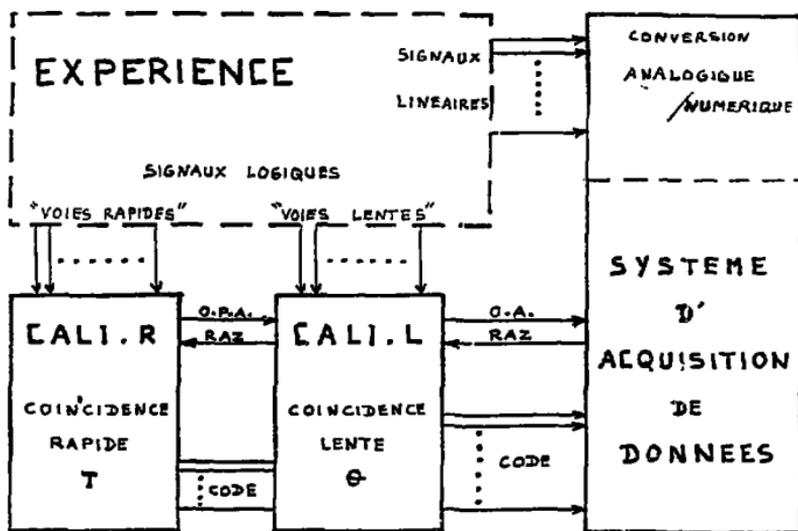
- La "coïncidence" n'est pas simplement une "simultanéité" (dont la précision serait alors liée à celle des ensembles électroniques de détection) mais qu'elle doit contenir une notion de durée bien définie et ajustable (dans l'exemple : 100 ns).
- Il faut connaître le type d'événement, c'est-à-dire le code des détecteurs présents pendant la durée de coïncidence (Dans l'exemple : E, ΔE ou E, ΔE , F_i avec $i = 1$ à 4).
- Il faut pouvoir rejeter les événements qui n'intéressent pas l'expérimentateur. (Par exemple : empiements, événements de diffusion élastique)

Le système CALI a pour fonction principale de réaliser des "coïncidences" entre des signaux logiques issus des détecteurs d'une expérience de physique nucléaire. Il permet également un tri (et donc un choix) des événements, leur identification par un code associé et la "conversation" de l'expérience avec le système d'acquisition de données.

Si les fonctions essentielles du système CALI n'ont guère évolué depuis 1973, leurs adaptations successives aux nécessités expérimentales de la physique nucléaire nous ont conduits à en proposer différentes réalisations électroniques. De 1973 à 1976, trois types de dispositifs différents ont été réalisés [2] et deux d'entre eux sont encore utilisés (CALI 2 et CALI 3 auprès du Séparateur Isotopie à Orsay). De 1977 à 1980, une série de sept dispositifs identiques (CALI 4) a été construite pour l'I. P. N. d'Orsay (5 exemplaires), l'U. L. B. de Bruxelles et le L. P. C. de Caen. Bien que ces systèmes CALI 4 soient encore largement utilisés à Orsay, Louvain et GANIL (pendant la première année de fonctionnement : 1983), le nombre fixe et limité de voies n'est plus adapté au développement des grands dispositifs expérimentaux en physique nucléaire.

La participation aux discussions (et à certaines réalisations) de dispositifs expérimentaux importants (Détection auprès du spectromètre SPES 3 à Saturne; Mur de scintillateurs de GANIL; Château de Cristal; Détecteur π_0 4π à Saturne), nous a conduit à proposer, à l'été 1982, une nouvelle famille de dispositifs CALI modulaires en standard NIM (famille CALI 5) ou CAMAC (famille CALI 6). Dans cette étude, nous avons également considéré les fonctions réalisées par des modules développés par la Société La Croy pour les expériences de physique des particules (Famille ECL II^{me}). En général, ces modules ne permettent pas de résoudre à eux seuls les problèmes spécifiques aux expériences de physique nucléaire, mais ils peuvent, en s'intégrant au système CALI, conduire à des solutions satisfaisantes pour les expériences à grand nombre de détecteurs.

Le présent mémoire traite de l'étude et de la réalisation des nouveaux dispositifs de coïncidence à mémoire de type CALI qui sont utilisés dans des expériences de physique nucléaire depuis mars 1984.



A)

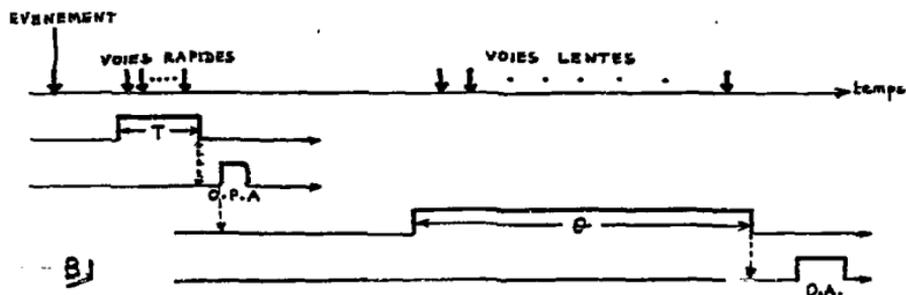


Figure 1

Principe d'utilisation du système CALI dans une expérience de physique nucléaire.

CHAPITRE I

PRINCIPES DU SYSTEME CALI

1. VOIES RAPIDES ET LENTES : CALI R ET CALI L.

Dans une expérience multidétektors en physique nucléaire, il faut effectuer un traitement de signaux logiques dans un intervalle de temps déterminé (réalisation de coïncidences). On peut distinguer deux classes de signaux :

- des "voies rapides" résultant essentiellement de prises de temps proches de détecteurs rapides (gallettes de microcanaux, plaques parallèles, photomultiplicateurs, détecteurs à semi-conducteurs).
- des "voies lentes" dont la réponse est différée en temps (détecteurs gazeux très lents, résultat d'un sélecteur monocanal placé après l'amplification de la voie linéaire, réponse d'un circuit anti-impulsiion, ...).

Le système CALI effectue un traitement séquentiel de ces deux types de voies (Fig. 1). Un premier dispositif (CALI R) assure la coïncidence des voies rapides avec une résolution en temps T (T ajustable de 8 ns à $2\mu s$) ainsi que le choix des événements à analyser. Le résultat de ce traitement (ordre de préanalyse accompagné du code descriptif de l'événement retenu) est transmis à un deuxième dispositif (CALI L) où les voies lentes sont à leur tour enregistrées et triées avec une résolution en temps θ (θ ajustable de 200 ns à $50\mu s$). Si le résultat de ce second traitement est satisfaisant, un ordre d'analyse accompagné du code complet de l'événement (voies rapides et voies lentes) est transmis au système d'acquisition de données. Le système CALI est alors en "temps mort" en attendant une "remise à zéro" délivrée par le système d'acquisition quand celui-ci a fini de prélever les données.

2. PRINCIPAUX CONCEPTS DU SYSTEME RAPIDE CALI R.

Les principales notions ou concepts (au sens empirique) du système CALI résultent de l'analyse du principe de fonctionnement. Ce principe est resté identique depuis 1973, et c'est son adaptation aux conditions expérimentales qui a conduit à proposer différentes versions des dispositifs CALI dont le CALI 4 (en 1977) marque l'aboutissement d'une certaine conception de réalisation (système non modulaire). Pour étendre la famille CALI aux nécessités expérimentales de 1982, il était nécessaire de reprendre l'analyse de ce principe de fonctionnement.

Afin d'en dégager les concepts, nous allons exposer le principe du système CALI sur un nombre de voies d'entrée réduit à quatre (Figure 2).

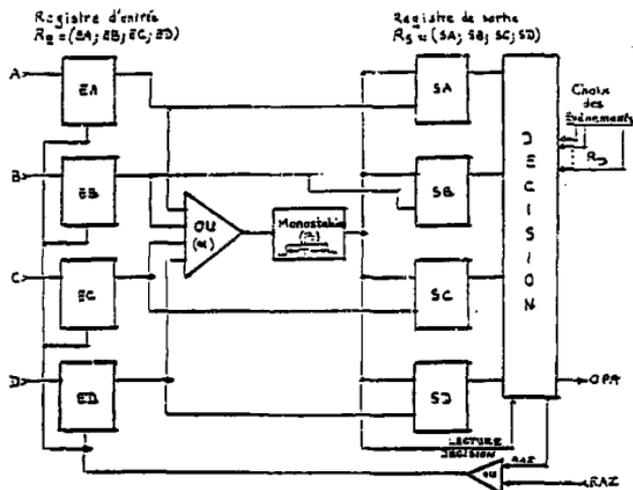


Figure 2 : Schéma de principe du système CALI (réduit à 4 voies rapides).

Supposons le système libre. Lorsqu'un signal se présente sur l'une des voies d'entrées ($X = A, B, C$ ou D), la mémoire (EX) du registre d'entrée R_E correspondant à cette voie se positionne au niveau logique 1. Le circuit suivant (α), un "ou logique", passe également à 1 et déclenche un monostable (β) qui fournit une impulsion de durée T . A la fin de ce temps T (sur le front arrière du signal), le registre d'entrée R_E est transféré sur le registre de sortie R_S . On obtient ainsi sur ce registre R_S le code des voies présentes pendant une durée reliée au temps T . Une logique rapide examine alors R_S et le compare à R_D (registre des codes des différents événements choisis). Si la réponse de la logique est positive, il y a émission d'un ordre de préanalyse (OPA) transmis (ainsi que le registre R_S) à l'acquisition de données (en passant éventuellement par d'autres dispositifs tels que le CALI L). Si la réponse est négative, il y a remise à zéro des mémoires d'entrées et le système est à nouveau libre.

L'analyse de ce principe de fonctionnement fait apparaître quatre concepts fondamentaux :

- Déclenchement :

Dans l'exposé ci-dessus, toutes les voies d'entrées peuvent déclencher le système. Si le nombre de voies devient important et si le taux de comptage est élevé, il est intéressant de réserver la possibilité de déclenchement à un nombre réduit de voies. Pour résoudre ce problème, nous avons introduit une séparation des voies d'entrées en deux catégories.

- voies "déclenchement" (voies D) ayant accès au déclenchement
- voies "non déclenchement" (voies N.D.) sans accès au déclenchement. Pour ces voies, les mémoires d'entrées sont libérées par le passage à 1 du OU logique α .

- Temps de coïncidence T

Le temps de coïncidence est lié à la durée T du signal du monostable β . Entre 2 voies "voies déclenchement" (voies D), la résolution de coïncidence est égale à $2(T+x)$ où x est un temps de réaction de l'électronique (Mémoire, circuit α , ...). Entre une "voie D" et une "voie ND", cette résolution n'est que de $(T+x-y)$ où y est également un temps de réaction de l'électronique lié au fait que la "voie D" doit arriver un temps minimal avant la voie ND.

- Code de l'événement

Ce code est disponible sur le registre de sortie R_C tant que le dispositif CALI n'a pas été remis à zéro par le système d'acquisition de données.

- Décision

Soit N le nombre de voies d'entrée. Un événement intéressant s'est produit si, pendant le temps de coïncidence, P voies connues ont été mémorisées. Au cours d'une même expérience, on peut s'intéresser à plusieurs types d'événements n'ayant pas le même nombre P ou la même identité de voies touchées. Avec N voies, il y a $K = 2^N - 1$ types d'événements. La croissance très rapide de K avec N nous a conduit à introduire différentes catégories d'accès à la décision rapide :

- voies maîtres : Les K possibilités existent toutes pour le groupe des N voies maîtres.
- voies esclaves : Ces voies peuvent former un groupe qui se comporte alors comme une seule voie collective dans la décision.
- voies en multiplicité : L'événement est retenu si un nombre M (ou $> M$) de voies ont été touchées. Il n'y a pas possibilité de désignation individuelle.

Remarque : Avec le dispositif CALI, il n'est pas nécessaire de faire un réglage de la largeur des signaux d'entrée, car le déclenchement des mémoires du registre d'entrée R_C est réalisé sur le front avant du signal.

"Les notions de "maître simple" et de "maître moniteur" introduites dans les systèmes CALI précédents (CALI 4) sont abandonnées car elles constituaient un mélange des concepts de déclenchement et de décision. Les notions de "moniteur" ou "simple" sont respectivement remplacées, pour toutes les voies, par "déclenchement" ou "non-déclenchement". Quand aux notions de "maître" et d'"esclave", elles font intégralement partie du concept de décision et n'ont rien à voir (sur le plan logique) avec le concept de déclenchement.

3. DECOMPOSITION EN MODULES DU SYSTEME CALI R. CHOIX DE STANDARDS

L'analyse précédente nous a conduit à dégager un certain nombre de concepts qu'il faut maintenant appliquer en tenant compte de contraintes liées à la structure des expériences et aux standards utilisés en physique nucléaire. Pour atteindre un nombre élevé et variable de voies d'entrée (une centaine), il faut envisager une décomposition en fonctions réalisées par des modules électroniques

Pour conserver au système CALI sa souplesse d'utilisation au cours des expériences de physique, nous avons décidé que les fonctions principales ne seraient pas programmées par un système informatisé et seraient toujours accessibles de manière simple à l'utilisateur. Ce choix qui n'est pas étranger au "succès" des précédents dispositifs CALI permet à un physicien de régler une expérience sans avoir recours au système complet d'acquisition de données. Néanmoins, pendant l'expérience, il est nécessaire d'utiliser un système informatisé pour lire le code des événements fournis par le dispositif CALI. Ce système de lecture étant le plus souvent réalisé en standard CAMAC, nous avons étudié les modules électroniques du dispositif CALI dans ce standard. Dans la mesure où 2 unités CAMAC correspondent du point de vue mécanique (dimensions du panneau avant) à 1 unité NIM, il est ensuite facile de proposer simultanément une double réalisation du système CALI :

- en standard CAMAC (famille CALI 8). Les modules électroniques ont une largeur de 2 unités. Seule la lecture de code utilise le système CAMAC.

- en standard NIM (famille CALI 5). Les modules ont une largeur d'1 unité. Le code est fourni sur le panneau arrière et peut être lu par un registre d'entrée du système d'acquisition. Ce dernier peut être en CAMAC ou dans un autre "standard".

L'orientation des choix du mode de programmation (mécanique) et des standards modulaires (NIM ou CAMAC) pose le problème de la réalisation. En effet, il faut sur un espace restreint (1 Unité NIM donne un espace disponible sur le panneau avant de 3 cm x 17 cm) réaliser les fonctions de programmation et prévoir les entrées-sorties. Pour diminuer l'encombrement mécanique, nous avons choisi pour les entrées et sorties un "standard" développé par la société Le Croy : l'ECL line. Dans ce "standard", les connexions se font par des paires différentielles sur des petits connecteurs de 34 points (16 signaux doubles et 2 connexions de masse). Outre l'intérêt mécanique évident et le coût réduit de ce type de connexion, le choix de ce standard nous a permis d'étendre les fonctions du système CALI par simple compatibilité avec des modules de la famille ECL line de Le Croy (cf. Chap. III).

Ayant fait les choix de standards pour la réalisation électronique, nous pouvons maintenant aborder un des points délicats de l'étude : la décomposition du système CALI R en éléments modulaires.

Avec le standard choisi (ECL line), les entrées se présentent par groupes de 16 voies, et le principe de fonctionnement exposé au §2 (Fig. 2) peut être sans difficulté étendu à ce nombre de voies d'entrée. Puisqu'il est également possible de réaliser techniquement (cf. chapitre II) un tel système dans 1 unité NIM (ou 2 unités CAMAC), le "module de base" du système CALI R comporte 16 voies d'entrée.

Supposons maintenant une extension modulo 16, c'est-à-dire un système CALI R à 16, 32, 48, etc. voies d'entrée, il faut introduire une décomposition en modules élémentaires. Pour en comprendre les choix, reprenons les concepts fondamentaux du système CALI R.

- Code et Décision

Avec un système en extension, la décision ne doit plus être restreinte à un groupe de 16 voies mémorisées, mais prise sur un registre global de 16, 32, 48, ... mémoires. Etant donné le nombre K très important de types d'événements possibles ($K = 2^N - 1$ où N est le nombre de voies), une décision individualisée totale et rapide devient impossible et on doit avoir recours à des décisions individuelles partielles (avec la notion de "maître") ou collective (avec les notions d'esclaves ou de multiplicité). De façon à conserver une souplesse d'adaptation aux expériences de physique, nous avons choisi de séparer la décision des autres concepts. En effet, la conversation des modules de décision au sein du système CALI R ne nécessite qu'un accès très rapide au code mémorisé (registres R_G) et l'émission d'une réponse sur une seule ligne de couplage (réponse positive ou négative).

- Déclenchement et Temps de coïncidence

Le CALI R est un système nécessitant des précisions temporelles très grandes: la fonction coïncidence ne conserve son sens que si toutes les voies d'entrées ont un comportement identique avec des précisions de l'ordre de la nanoseconde.

Considérons deux groupes G et G' de 16 voies possédant chacun un temps de coïncidence T et T' (Figure 3).

Si l'on relie par un fil (Principe du "OU câblé" dans la technologie ECL*) les deux sorties X et X' des circuits α et α' , les déclenchements des monostables β et β' sont simultanés (à la longueur de connexion près) quelle que soit la voie d'entrée de déclenchement.

Ayant résolu sur le plan du principe, le problème de la synchronisation d'entrée, il faut résoudre maintenant celui de la synchronisation de sortie.

*Pour les circuits ECL 10 000 alimentés entre 0 et -5,2 volts, les niveaux logiques sont -0,8 V. et -1,6 V. Si l'on relie entre elles deux sorties indépendantes, on obtient la fonction suivante.

X (volts)	X' (volts)	Sorties X et X' liées
- 1,6	- 1,6	- 1,6
- 1,6	- 0,8	- 0,8
- 0,8	- 1,6	- 0,8
- 0,8	- 0,8	- 0,8

Si l'on attribue à -0,8 V la valeur 1 et à -1,6 V la valeur logique 0, on obtient une fonction OU. Avec l'attribution inverse on obtient évidemment une fonction ET.

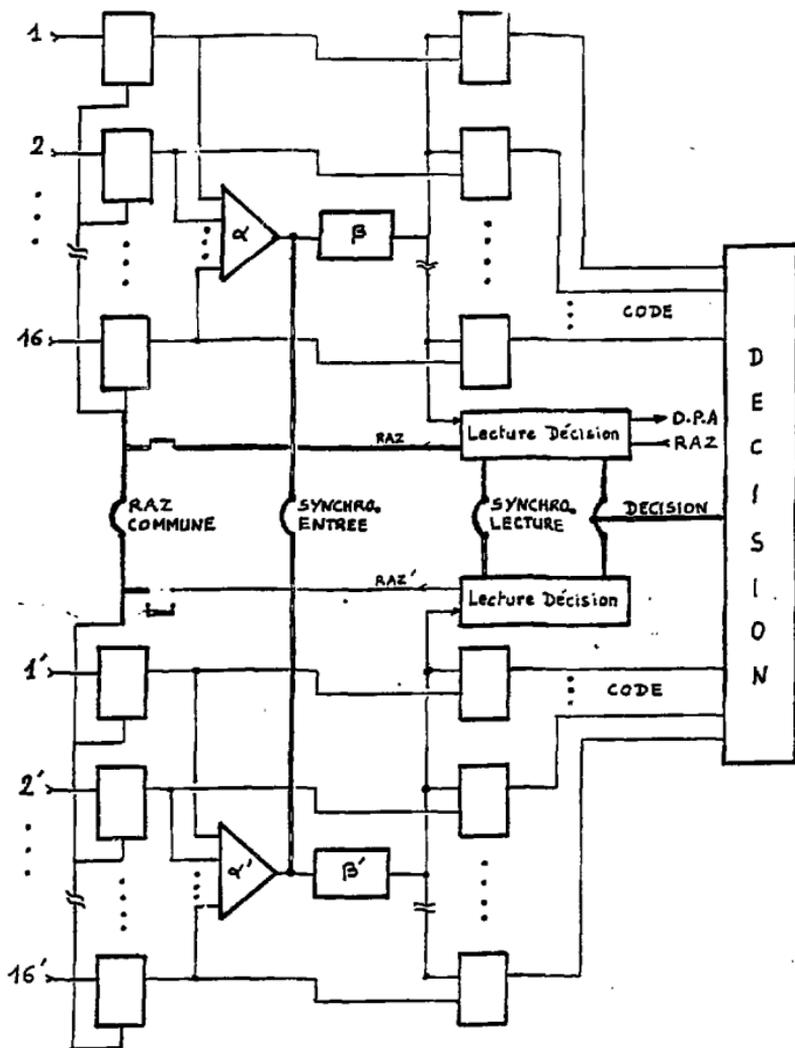


Figure 3

Principes de liaison de 2 systèmes CALI R à 16 voies d'entrée.

On aurait pu envisager de ne conserver pour le chargement des registres de sortie qu'un seul monostable en utilisant soit le principe du "OU câblé" ou celui d'un adressage prioritaire. Nous avons préféré une autre solution dans laquelle chaque monostable (β ou β') sert au chargement du registre de 16 voies qui lui correspond. L'avantage de cette solution réside dans la possibilité d'avoir des temps de coïncidence différents par groupe de 16 voies. Il faut évidemment introduire une synchronisation de la lecture de décision sur la fin du temps de coïncidence le plus long. Comme pour le déclenchement, cette synchronisation se fait par un "ou câblé" sur un fil.

- Résumé des choix de décomposition modulaire

La décomposition modulaire repose sur le choix d'une interconnexion par un bus à 4 fonctions :

- Synchronisation du déclenchement (fonction OU 1)
- Ligne de décision (Fonction VALID 1-)
- Synchronisation de la lecture de décision (Fonction OU 2)
- Remise à zéro commune (Fonction RAZ)

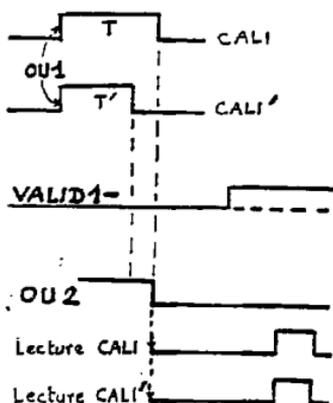


Figure 4

En fait, pour permettre un couplage des modules de décisions entre eux, la fonction de décision est décomposée en 3 fonctions ("VALID 1-" ligne générale et couplage en ET; "OU VALID" et "VALID 1+" pour un couplage en OU). Nous reviendrons au chapitre II sur la description et le fonctionnement de ce bus de connexion du système CALI R car il constitue, malgré sa simplicité électronique, un des points essentiels dans l'extension du système.

Finalement, le système CALI R se décompose en deux familles : les modules d'entrée (fonctions : déclenchement, fenêtre de temps, code et lecture de décision) et les modules de décision.

4. TRAITEMENT DES VOIES LENTES : CALI. L.

Les termes "voies lentes" s'appliquent à des signaux logiques dont la réponse est différée en temps avec des retards de l'ordre de quelques microsecondes. En fonction de leur couplage ou de l'absence de couplage à des voies rapides, ces voies lentes peuvent être séparées en deux familles :

- **voies lentes particulières (type P)** : chaque voie est couplée à une voie rapide. On peut citer par exemple le résultat d'un sélecteur monocanal ou la réponse d'un circuit antieffacement qui doivent être couplés à la voie rapide du détecteur considéré.
- **voies lentes banales (type B)** : indépendantes des voies rapides. Afin de limiter le nombre d'entrées du tiror CALI. L., nous avons décidé que le choix de type (P ou B) pour les voies lentes serait fait pour chaque voie par l'utilisateur* (Programmation par interrupteurs sur le panneau avant).

Contrairement aux voies rapides dont l'information temporelle est donnée par le front avant du signal logique correspondant, l'information temporelle de certaines voies lentes (Rejet d'empilement par exemple) peut être liée à la durée du signal logique correspondant. Dans le CALI. L., les fonctions "coïncidence" seront faites par recouvrement temporel des signaux logiques "voies lentes" avec une fenêtre temporelle (θ) déclenchée par l'OPA du CALI. R.

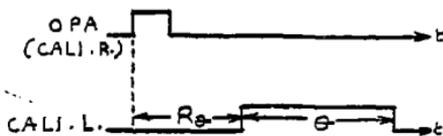


Figure 5

Lorsqu'un événement est sélectionné par CALI. R., nous avons vu qu'un ordre de préanalyse (OPA) est généré. Cet ordre déclenche dans le CALI. L. une fenêtre temporelle θ dont la durée et la position (R_g) par rapport à l'OPA sont réglables.

Pendant toute la durée de la fenêtre de temps θ et pour chaque voie lente X_i , on mémorise la présence du signal logique X_i correspondant à la voie x_i en tenant compte du code rapide si la voie lente est de type P. A la fin de la fenêtre de temps θ - on obtient donc pour chaque voie x_i un code CX_i . (Notations**)
 $CX_i = \theta \cdot x_i \cdot CR_i$ où CR_i est l'état du code de la voie rapide couplée à X_i . Si la voie X_i est de type B, $CR_i = 1$.

*Le système CALI 4 comportait 12 voies lentes de type P (correspondant aux 12 voies rapides) et 5 voies lentes de type B. L'usage expérimental a montré que les 15 voies disponibles n'étaient jamais utilisées simultanément.

**Notations : Il n'est pas évident d'introduire le temps dans un système logique. Ici, nous l'avons introduit sous la forme de la variable θ ($\theta = 1$ pendant toute la durée de la fenêtre de coïncidence, $\theta = 0$ en dehors de cette fenêtre). D'autre part, CX_i et CR_i peuvent avoir des indices différents, ce qui signifie qu'il est possible de coupler une ou plusieurs voies lentes à une voie rapide donnée.

Pour chaque voie lente X_i , un interrupteur à 3 positions permet de choisir un fonctionnement parmi 3 modes :

- Marquage : l'événement est acceptable quelque soit CX_i .
- Anticoïncidence : l'événement est acceptable si $CX_i = 0$
- Coïncidence : l'événement est acceptable si $CX_i + \overline{CR_j} = 1$
L'introduction en "OU" de $\overline{CR_j}$ est nécessaire pour éviter le rejet systématique par des voies lentes de type P dont la voie rapide correspondante ne fait pas partie de l'événement sélectionné par CALI. R.
(En effet si $CR_j = 0$, $CX_i = 0$).

Dans CALI. L., l'événement est accepté si aucun des conditionnements lents ne conduit à un rejet. Il y a alors émission d'un ordre d'analyse (OA) transmis (ainsi que le registre des codes CXI) à l'acquisition de données. Lorsque l'événement est rejeté, il y a remise à zéro du CALI. L. et du système CALI. R. placé en amont.

Nous reviendrons en détails au chapitre II (§7) sur la réalisation et le fonctionnement du tiroir CALI. L.

C H A P I T R E I I

DESCRIPTION DES MODULES DU DISPOSITIF CALI

Au chapitre précédent, nous avons exposé les concepts et les choix qui ont guidé la décomposition modulaire du système CALI. Ces orientations nous ont conduit à développer un adaptateur de standard (NIM rapide → ECL line) et 5 modules de la famille CALI dont 4 concernent le traitement des voies rapides (CALI R). Dans la mesure où les modules réalisés en NIM (famille CALI 5) ou en CAMAC (famille CALI 6) ne diffèrent que par la lecture du code, nous nous limiterons dans ce chapitre à une description des modules électroniques de la famille CALI 5 et à quelques compléments sur les principes de la lecture de code des modules CALI 6.

1. TRANSPOSEUR NIM-ECL

La fonction de ce module est de changer de standard pour les signaux logiques.

Entrées : Standard NIM rapide

Sorties : standard ECL line
de La Croy

Signaux : - 15 mA sur 50 Ω
(-750 mV)

Signaux : différentiels ECL
(2 signaux par voie)

Connexions : câbles coaxiaux 50 Ω

Connexions : 1 paire torsadée
par voie

L'avantage du standard "ECL line" réside dans :

- un encombrement mécanique réduit
- un coût de connexion beaucoup plus faible*
- un standard électrique (ECL) directement compatible avec la technologie utilisée (famille ECL)

* En 1983, une connexion en coaxial avec prises type Lemo 00 (2 embases, 1 câble avec fiches) coûtait environ 85 F. Une connexion de 16 voies en standard ECL line (2 connecteurs 34 points + câble avec connecteurs) coûtait environ 160 F, c'est-à-dire 10 F par voie.

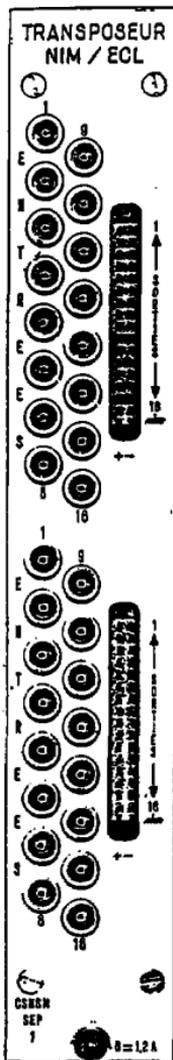


Figure 6

Le transposeur NIM-ECL contient dans un tiroir NIM, deux groupes de 16 voies. Les entrées sont en NIM rapide (~ 15 mA sur 50Ω) sur des prises Fisher type 00. Les sorties sont regroupées sur un connecteur 34 points (16 fonctions doubles et 2 points de masse) au standard ECL line de Le Croy. Pour chaque voie, le schéma électronique est identique :

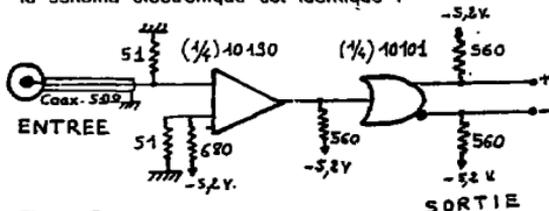
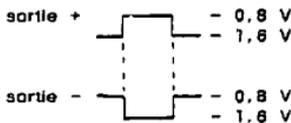


Figure 7

Le circuit 10 190 transpose les signaux d'entrée en niveau ECL avec un seuil fixé* à -450 mV. Ces signaux sont distribués (en différentiel) sur le connecteur de sortie par le circuit 10 101.

Dans le standard ECL line, les signaux se présentent simultanément sur deux voies :

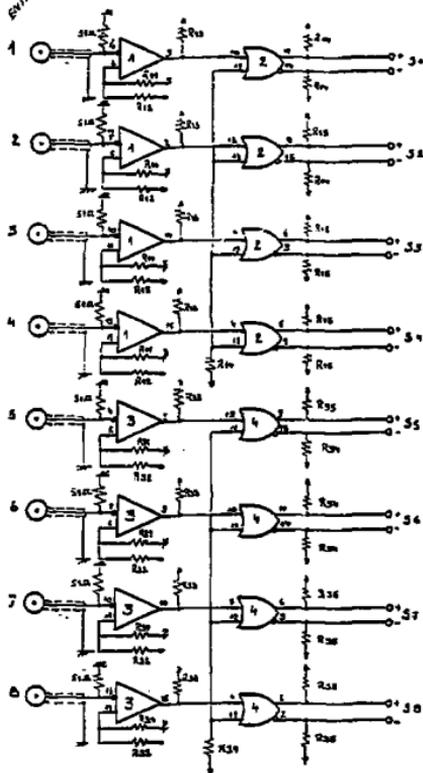


Pour chaque voie, le temps de transit entrée/sortie est de 6 ns.

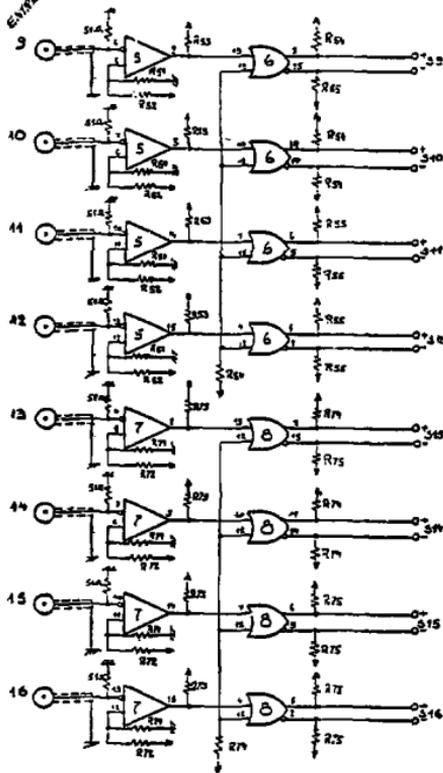
Le tiroir est alimenté en -6 volts, avec une consommation de 1.2 Ampères.

* Le seuil continu est de -350 mV (défini par les résistances 51Ω et 680Ω). Les circuits logiques ECL ont une zone de fonctionnement linéaire et pour obtenir en sortie des impulsions logiques ayant toute leur amplitude, il faut que les impulsions d'entrée atteignent au moins -450 mV.

ENTRÉE



ENTRÉE



Numero	Type	Alimentation	
		0V	-5.2V
1, 3, 5, 7	10130	$R_{101}, R_{102}, R_{103}$	1
2, 4, 6, 8	10104	R_{104}	1

Resistor SA/C		
Numero	Value - Ω	Ratio $\frac{1}{2}$
$R_{101}, R_{102}, R_{103}$	51	0V
$R_{104}, R_{105}, R_{106}$	510	-5.2V
$R_{107}, R_{108}, R_{109}, R_{110}, R_{111}, R_{112}, R_{113}, R_{114}$	260	-5.2V

Figure 8 : Transposeur NIM/ECL - Schéma électronique.

2. CALI R5 ENTREES

Le CALI R5 entrées est un module qui, dans une unité NIM, doit réaliser les fonctions déclenchement, fenêtre de temps, code et lecture de décision.

2. a Principe de fonctionnement

La figure 9 donne un schéma de principe des principales fonctions de ce module. Le fonctionnement général a été exposé (pour 4 voies) au §2 du chapitre I (figure 2). La seule différence notable apparaît dans la fonction OU 1 qui sert non seulement à lier le déclenchement de plusieurs modules, mais également à libérer le registre d'entrée pour les voies de type ND (non-déclenchement).

DECLENCHEMENT

Le CALI R5 Entrées contient 16 voies d'entrée (e_1 à e_{16}) et une voie de déclenchement externe (e_0). Chacune des voies peut-être, par un interrupteur associé, choisie de type D (déclenchement) ou de type ND (non déclenchement).

Le retard minimal entre la voie D qui déclenche le système et une voie ND est de 13 ns. Remarquons également que la voie e_0 ne sert qu'au déclenchement et n'a pas de code associé. Cette voie a été prévue pour un déclenchement par une impulsion synchronisée avec les paquets de faisceau (faisceaux pulsés).

TEMPS DE COINCIDENCE

Pour couvrir la gamme temporelle de coïncidence rapide, nous avons introduit un choix entre deux monostables :

- Temps court (T.C.) : T réglable de 8 ns à 120 ns
- Temps long (T.L.) : T réglable de 70 ns à 2 μ s

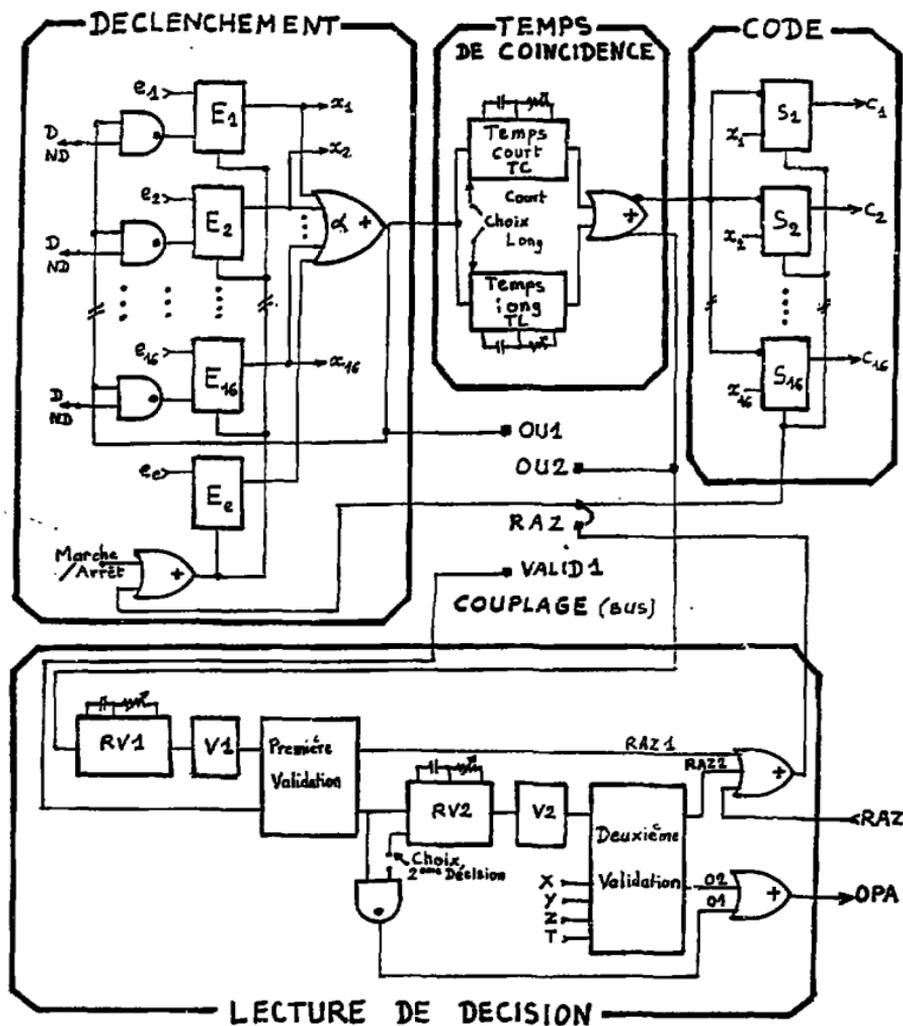


Figure 9 : CALI R5 Entrées. Schéma de principe des principales fonctions

Nous avons vu (chap. I, 52) qu'en raison des temps de réaction de l'électronique, le temps de coïncidence est lié à la durée T du monostable mais pas nécessairement égal à cette durée. Pour simplifier l'utilisation du CALI R, nous avons "ajusté" l'électronique* de façon à ce que la visualisation du temps de coïncidence soit égale à T . Avec cet ajustement, les temps de coïncidence sont reliés très simplement à la valeur T de visualisation :

- Coïncidence entre une voie D et une voie ND
Résolution : T ns
La voie ND doit être décalée de 13 ns



- Coïncidence entre 2 voies D
Résolution : $2(T + 13)$ ns
Pas de décalage des voies

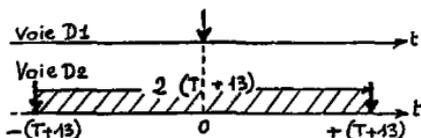


Figure 10

CODE DE L'EVENEMENT

Le registre de sortie est disponible sur le panneau avant du tiroir dans le standard ECL line. Pour minimiser les temps de connexion avec les tiroirs de décision, nous avons choisi de sortir directement les signaux des bascules composant ce registre de sortie. Le temps de sortie du code n'est alors que de 3 ns après la fin du temps de coïncidence.

D'autre part, ce registre est transposé dans le standard TTL pour permettre la lecture par le système d'acquisition de données (connecteur sur le panneau arrière du CALI R5). Ce registre est également transféré dans un autre registre mémoire dont l'état, visualisé sur des voyants lumineux, est conservé entre chaque ordre de préanalyse (OPA). Cette visualisation est très utile pour la mise en oeuvre d'une expérience et même, dans une certaine mesure, pour son contrôle

*Cet "ajustement" nous a amené, pour le temps court, à modifier légèrement la visualisation car le monostable temps court à une largeur minimale qui descend à 6 ns (au lieu des 8 ns que donne la visualisation).

LECTURE DE DÉCISION

Nous avons vu (chap. I §3) que dans la décomposition modulaire choisie, le chargement du registre de sortie était lié à la fenêtre de temps du module considéré, alors que le déclenchement de la lecture de décision se faisait sur le temps de coïncidence le plus long (Fonction OU2 du Bus de couplage).

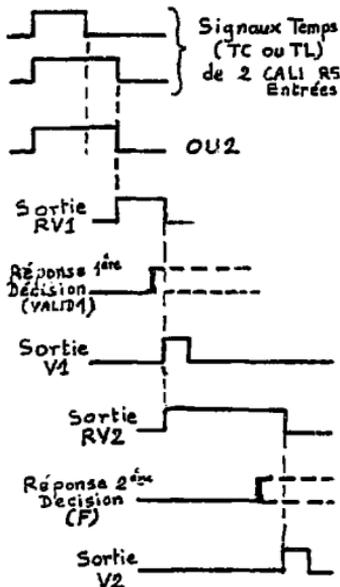


Figure 11

La fonction OU2 est un "OU câblé" de toutes les fenêtres des différents CALI R5 Entrées. Elle permet donc une synchronisation du déclenchement de la lecture de décision sur le signal temps le plus long.

Le signal OU2 déclenche un retard RV1 (réglable en interne de 10 ns à 80 ns) qui permet d'attendre la réponse des modules de déclenchement (du Bus de couplage). Si la réponse est négative, il y a émission d'une remise à zéro. Si la réponse est positive, on peut choisir de créer immédiatement l'ordre de préanalyse (OPA) ou d'entrer dans un deuxième cycle de lecture de décision (deuxième validation).

La deuxième validation fonctionne comme la première avec un retard complémentaire RV2 (réglable extérieurement de 16 à 190 ns) mais sur une logique à 4 entrées en standard ECL line (Entrées X, Y, Z, T). Comme nous le verrons au chapitre III, cette deuxième validation permet d'utiliser des tiroirs de décision tels que le Le Croy 2372 (Décision à 16 maîtres avec un temps de réponse de 80 ns).

Finalement, à la fin de la première (ou de la deuxième validation) on obtient un signal de remise à zéro interne (accessible également sur le panneau avant) ou un ordre de préanalyse OPA. Dans ce dernier cas, le système passe en temps mort dans l'attente d'une remise à zéro externe.

COMMANDE GENERALE MARCHE/ARRET

L'entrée "Marche/Arrêt" permet sur un signal externe (signal d'arrêt d'une expérience, pulsation source d'un faisceau, ...) de commander le fonctionnement général du dispositif CALI et donc de l'expérience. Cette fonction est simplement

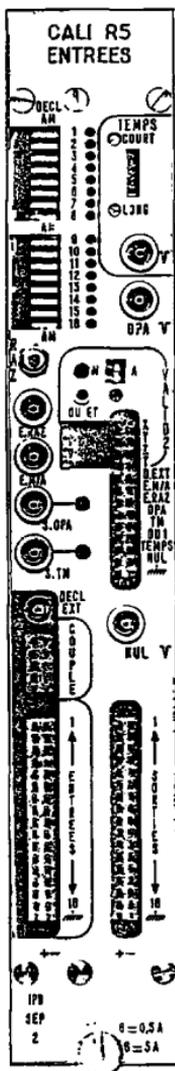


Figure 12

réalisée par blocage du registre d'entrée du CALI R5 Entrées (inhibition du déclenchement) et ne perturbe pas le déroulement des autres fonctions. En effet si le blocage apparaît pendant la durée de coïncidence, le code de sortie est entièrement nul (Transfert du registre d'entrée remis à zéro) et l'événement est rejeté. Si le blocage intervient pendant un cycle de lecture du CALI, ce cycle se déroulera normalement.

La commande générale (Marche/Arrêt) n'est pas distribuée par le bus de couplage Inter-CALI car il faut conserver, pour un ensemble de CALI R5 Entrées, la possibilité d'un blocage partiel.

2. b Description du module (Fig. 12)

- ENTRÉES** 16 voies ECL line
Chaque voie peut être choisie de type "déclenchement" ou "non déclenchement" par les interrupteurs "Decl."
- 2 voies déclenchement externe
1 voie en NIM rapide (Prise DECL. EXT.)
1 voie en ECL line (D. EXT.)
- Ces voies permettent de déclencher le CALI R5 Entrées par un signal de pulsation de faisceau ou par l'OPA d'un autre CALI R5 Entrées placé en amont. Ces voies n'ont pas de code associé.
- TEMPS DE COINCIDENCE** 2 gammes (choix par un interrupteur)
COURT : Réglable de 8 ns à 120 ns
LONG : Réglable de 70 ns à 2 μ s
- La largeur du temps de coïncidence est accessible
en NIM rapide : Prise (Fisher 00) TEMPS
en ECL line : TEMPS du connecteur ECL
Décalage de la visualisation par rapport au fonctionnement réel :
+ 2ns.
- SORTIES (rap.des)** Ce sont les sorties après le temps de coïncidence
16 voies en ECL line sur le panneau avant (connecteur type Le Croy).
Temps de sortie : 3 ns
- SORTIES (lentes)** Panneau arrière
16 voies (en TTL) sur connecteur CANON
Niveau logique 1 0 volts
Niveau logique 0 5 volts
- Ces voies sont destinées à la lecture du code de l'événement et elles sont validées par la présence du signal OPA.
- Remarque : en dehors du cycle de lecture (OPA \rightarrow RAZ externe), les codes sont à 0 volts, c'est-à-dire au niveau logique 1.
- DECISION RAPIDE (VALID 1)** La décision rapide se fait par lecture de la ligne VALID1- du BUS COUPLE :
- 1,8 volt : événement accepté
 - 0,8 Volt : événement rejeté

DEUXIEME DECISION (VALID 2)

Une deuxième décision peut être utilisée (Interrupteur VALID 2 avec voyant allumé lorsque cette fonction est en marche). Ce deuxième cycle est déclenché par une réponse positive du premier cycle de lecture. La décision est réalisée sur 4 entrées ECL line (X, Y, Z, T) qui peuvent être couplées en ET ou en OU (choix du mode de couplage par interrupteurs). Une visualisation sur une "Pin Test" (VALID 2) permet de mesurer les temps de décision (premier et deuxième) (cf ci-dessous §-2c).

CONVERSATION AVEC L'EXTERIEUR

- ordre de préanalyse (OPA). Accessible en 3 standards
NIM rapide : OPAy. Prise Fisher 00 (durée : 15 ns)
ECL line : OPA dans le connecteur type Le Croy (durée : 15 ns)
NIM lent (TTL positif) : S. OPA Prise Fisher 00 (durée : 400 ns)
- Remise à zéro Interne (fonction NUL). Accessible en 2 standards.
NIM rapide : NULy. Prise Fisher 00 (durée 15 ns)
ECL line : NUL dans le connecteur type Le Croy (durée : 15 ns)
- Entrée remise à zéro externe (RAZ) Accessible en 2 standards
NIM lent (TTL logique positive) : Prise (Fisher 00) E. RAZ
ECL line : E. RAZ dans le connecteur ECL
- Temps mort. Ce signal est déclenché par l'OPA et dure jusqu'à la fin du signal RAZ. Accessible en 2 standards.
NIM lent (TTL logique positive). Prise (Fisher 00) S. TM
ECL line : TM dans le connecteur ECL
- Remise à zéro manuelle : Poussoir RAZ.
- Fonction Marche/Arrêt. Accessible en 2 standards
NIM lent (TTL logique positive) Prise (Fisher 00) E. M/A
ECL line : E. MA dans le connecteur ECL

BUS COUPLE

Les fonctions de ce bus sont décrites en détails au §6 de ce chapitre
Le CALI R5 Entrées a accès à 4 fonctions de ce bus de liaison inter-CALI R:

- déclenchement (OU1)
- Synchronisation de lecture (OU2)
- Décision (VALID1-)
- Remise à zéro (RAZ)

La fonction OU1 est également accessible en ECL line (OU) du connecteur).

VISUALISATION

Le code des voies en coïncidence est affiché sur des diodes lumineuses (16 voies). Ce code est chargé par le signal OPA et reste présent jusqu'au signal OPA suivant. Il n'est remis à zéro que par la fonction RAZ en manuel. Le signal OPA (élargi) et le signal TM sont également affichés sur des diodes lumineuses.

ALIMENTATION

- 6 volts : 3 Ampères
- + 6 volts : 0,5 Ampères.

2. c Principales caractéristiques temporelles

Au paragraphe 2. a de ce chapitre, nous avons expliqué (Fig. 10) les deux formes de coïncidence (Voies déclenchement et non déclenchement). Le décalage de 13 ns (voies D et ND) résulte de mesures après "ajustement" des temps de transit de façon à obtenir une très faible dispersion entre les voies : les temps de coïncidence (voies en D ou en N. D) entre les voies 1 à 16 ont des différences inférieures à ± 1 ns. La valeur de T (temps de coïncidence entre une voie D et une voie ND) est rigoureusement égale à la valeur lue sur la prise TEMPS.

Une deuxième caractéristique intéressante est liée au temps de décision, c'est-à-dire au fonctionnement logique (acceptation ou rejet) après la fin de la fenêtre temporelle T.

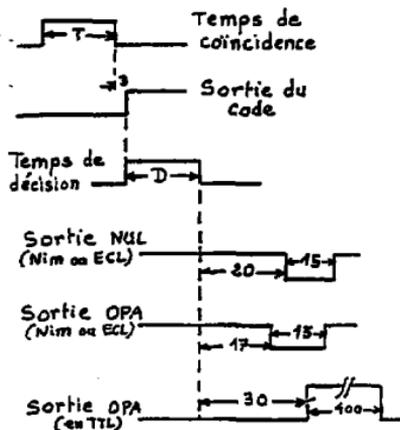


Figure 13

Sur le connecteur de "sorties", le code sort 3 ns après la fin de la fenêtre de coïncidence T*. Le module CALI R5 passe alors en cycle de lecture de décision pendant une durée D. Cette durée D peut être visualisée sur la Pin Test VALID 2. La correspondance entre D et la visualisation est expliquée ci-dessous.

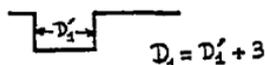
A la fin du temps D, le module CALI R5 crée un ordre de préanalyse (OPA) ou une annulation (NUL). L'instant de sortie de l'OPA dépend de la valeur choisie pour D. Si on prend comme référence la fin du temps de coïncidence, l'OPA sort (en NIM) à :

$$\tau(\text{OPA}) = 3 + D + 17 = D + 20 \text{ ns}$$

* La visualisation (Prise TEMPS) sort 2 ns après le fonctionnement réel à l'intérieur du module. Sur un oscilloscope, on a donc l'impression que la fin du temps de coïncidence T et les sorties code sont pratiquement simultanées.

Le réglage du temps de décision D dépend de l'expérience.

1 DECISION : (VALID1)

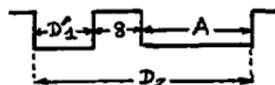


Si on utilise uniquement la première décision, pour connaître D, il suffit de mesurer D'1 la valeur affichée sur la Pin Test VALID 2 car on a la relation :

$$D(\text{réel}) = D'_1(\text{lu}) + 3 \text{ ns}$$

D'1 est réglable (en interne) de 10 à 80 ns. (c'est-à-dire pour D : de 13 à 83 ns).

2 DECISIONS : (VALID1 et VALID2)



Si on utilise la deuxième décision (VALID 2), on ajoute un temps d'attente A réglable extérieurement de 8 ns à 180 ns. (plus 8 ns entre D'1 et A). Le temps de décision total pour la deuxième validation est de $D_2 = D'_1 + 8 + A$. En raison des circuits d'entrées (ET/OU), D2 réel est exactement égal à D2 affiché.

Figure 14

Lorsqu'on utilise un module CALI R5 Décisions couplé à un module CALI R5 Entrées (avec les câbles les plus courts possibles), on peut régler D'1 à la valeur minimale (10 ns) car le temps de transit du CALI R5 Décisions n'excède pas 11 ns. Pour une utilisation courante, D'1 est réglé à 20 ns. (D = 23 ns). C'est ce réglage qui est fait à la mise au point des modules. Lorsqu'on a un déclenchement par la pulsation du faisceau, une autre caractéristique intéressante est la période minimale entre 2 déclenchements successifs. Cette période est de (valeurs mesurées) :

$$P = \underbrace{13 + T}_{\text{temps de coïncidence}} + \underbrace{3 + D}_{\text{décision}} + \underbrace{39}_{\text{remise à zéro réelle (libération du système*)}}$$

$$P = T + D + 55 \text{ ns}$$

Avec les valeurs minimales (T = 8, D = 13) nous avons P = 76 ns. Cette valeur peut être diminuée en réduisant à 8 ns la largeur du signal de remise à zéro (changer le condensateur du module 37, mettre 12 pF au lieu de 33 pF). Nous avons alors P = T + D + 48 ns. Pour la réalisation en série des CALI R5 Entrées, nous avons préféré conserver un signal de remise à zéro de 15 ns qui "assure" un fonctionnement certain pour les grands ensembles (plusieurs CALI R5 Entrées couplés). Avec un seul CALI R5 Entrées, on peut utiliser sans problèmes une remise à zéro de 8ns.

* Le temps de libération du système est légèrement supérieur au temps d'annulation (20 + 15 = 35) accessible extérieurement.

Les diagrammes en temps ont été un peu simplifiés afin d'en dégager les principales caractéristiques. En particulier, nous n'avons pas introduit les circuits d'entrée (10114) qui ne sont pas affectés par les signaux de remise à zéro, car ces circuits n'introduisent qu'un simple décalage en temps de 3 ns. En d'autres termes les valeurs de D et P ne sont pas affectés par cette "simplification"; par contre si on choisit comme référence absolue l'instant d'entrée du signal qui déclenche le module CALI R5 Entrées, il faut ajouter 3 ns aux instants de sortie de tous les signaux. Par exemple, la sortie OPA (en NIM) intervient à :

$$3 + (13+T) + 3 + D + 17 = T + D + 36 \text{ ns}$$

2. d Réalisation électronique

A la fin de ce paragraphe, l'ensemble des schémas électroniques (Fig. 16) permet de suivre en détails le fonctionnement du CALI R5 ENTRÉES. Pour mieux comprendre ce fonctionnement, nous allons développer quelques points de la réalisation électronique.

La réalisation des tiroirs CALI R est faite en technologie ECL. Nous avons (comme pour les versions précédentes du dispositif CALI) utilisé la famille ECL 10 000 car elle présente le meilleur compromis entre la vitesse de propagation (2 ns par porte logique) et les impératifs d'une implantation en circuit imprimé (longueur de connexion entre 2 modules : 25 cm sans réflexions gênantes: surface du plan de masse : 50 %). Pour la fonction "temps de coïncidence", nous avons utilisé des circuits plus rapides (Module 1692 en ECL III et bascule 11C70 à 650 MHz de fréquence maximale). Outre le problème d'implantation sur circuit imprimé, la réalisation des tiroirs CALI a nécessité une recherche de composants mécaniques (interrupteurs de petites dimensions, connecteurs,...) conduisant à un câblage simple et rapide.

Pour les entrées ECL line, nous avons utilisé comme récepteur différentiel le module 10114 car, malgré la présence de 3 fonctions dans un boîtier (au lieu de 4 pour le 10115), ce module présentait une caractéristique intéressante dans notre étude : si les entrées du 10 114 sont laissées libres, il se positionne dans un état bien défini* (sortie au niveau -1,6 volts, sortie complémentaire au niveau -0,8 volts). Les entrées différentielles de la famille CALI R se font donc sur des circuits 10 114 avec une adaptation de 100 Ω (impédance caractéristique des paires torsadées utilisées dans les connexions du standard ECL line de Le Croy). Cette adaptation est démontable (en général par groupe : démontage d'un réseau résistif sur support) pour permettre une liaison à plusieurs tiroirs (l'adaptation de 100 Ω est conservée pour le dernier tiroir de la ligne).

*Le catalogue Motorola "Mecl high-speed integrated circuits" (Edition de 1978) contient une erreur sur le 10114 (page 3.11) "Another feature is that the NOR outputs go to a logic low level whenever the inputs are left floating". Il faut lire OR au lieu de NOR (ou "high level" au lieu de "low level").

La réalisation de la fonction "temps de coïncidence" se fait avec un monostable que nous avons développé pour un circuit "discriminateur à fraction constante". *

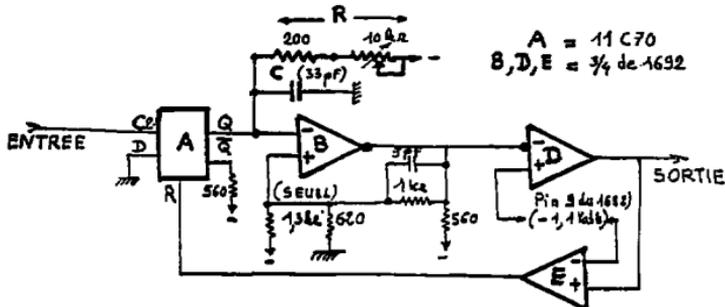


Figure 15 : Monostable du CALI R5 Entrées

Ce monostable est construit avec une bascule rapide (11 C70: fréquence maximale 650 MHz) et 3 amplificateurs différentiels à sortie ECL (3/4 du module 1692). Avec ces circuits, on peut obtenir des durées très courtes (8ns) et surtout un temps de récupération très rapide (8 ns pour une largeur de 100 ns). Le fonctionnement de ce monostable est le suivant : l'impulsion d'entrée fait passer la sortie de la bascule (A) au niveau logique 1. Le condensateur C suit cette transition puis se décharge à travers la résistance réglable ($R = 200 +$ potentiomètre $\text{ou } 10 \text{ k}\Omega$ réglable). La largeur du signal de sortie est liée à la constante de temps RC. Le module B à un seuil à -1,5 volts (avec une contre réaction 1 k Ω , 5 pF pour améliorer le basculement). En sortie de ce module, on obtient donc une largeur de signal liée à la décroissance RC et très proche du temps de décroissance total (le seuil à -1,5 volts est très proche du niveau de repos à -1,6 volts). Ce fonctionnement (décharge du condensateur) est possible parce que la bascule d'entrée (A) est remise à zéro à travers le retard (3 ns) apporté par les temps de transit des modules B, D et E. Cette bascule est maintenue à zéro pendant toute la durée de la décharge du condensateur. Le circuit D sert également à mieux former l'impulsion de sortie car le gain du 1692 n'est pas très grand. La caractéristique fondamentale de ce type de monostable dans le dispositif CALI R est, outre son temps de récupération très rapide, de ne pas avoir de processus de blocage (dans le CALI R, il faut attendre au moins 50 ns avant d'avoir un nouveau déclenchement). La bonne définition temporelle de ce type de monostable nous a conduit à l'utiliser pour des durées plus longues. Dans ce dernier cas, nous avons utilisé une bascule moins rapide (10231 au lieu de 11C70) avec une intégration (270 Ω , 27 pF) qui augmente le retard de remise à zéro (sans cette intégration, il n'est pas possible d'utiliser des condensateurs C de forte valeur : 1000 pF).

* Ce discriminateur d'abord réalisé en technologie hybride (collaboration avec l'IPN de Lyon) est maintenant industrialisé (en technologie discrète) par la Société Enerlec Schlumberger (Module 4 voies : type 7174).

ENTRÉES

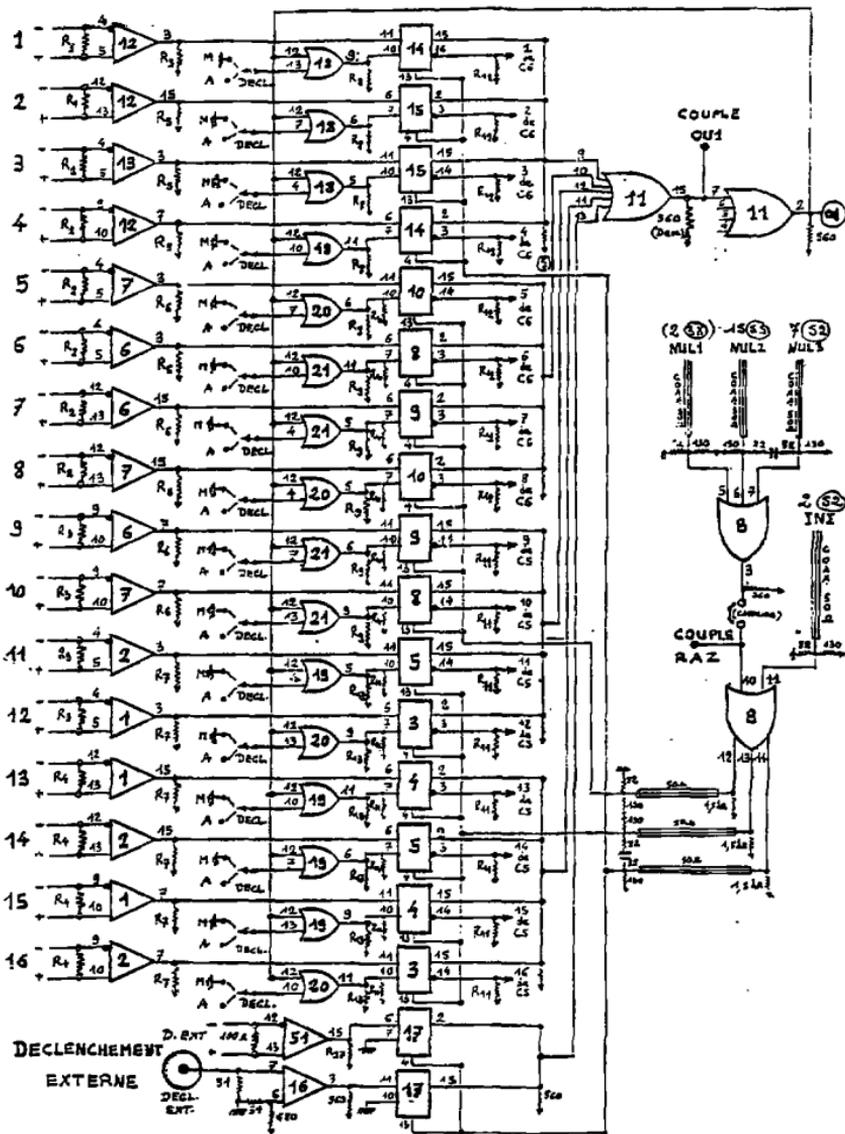


Figure 16 : CALI R5 Entrées. Schémas électroniques.

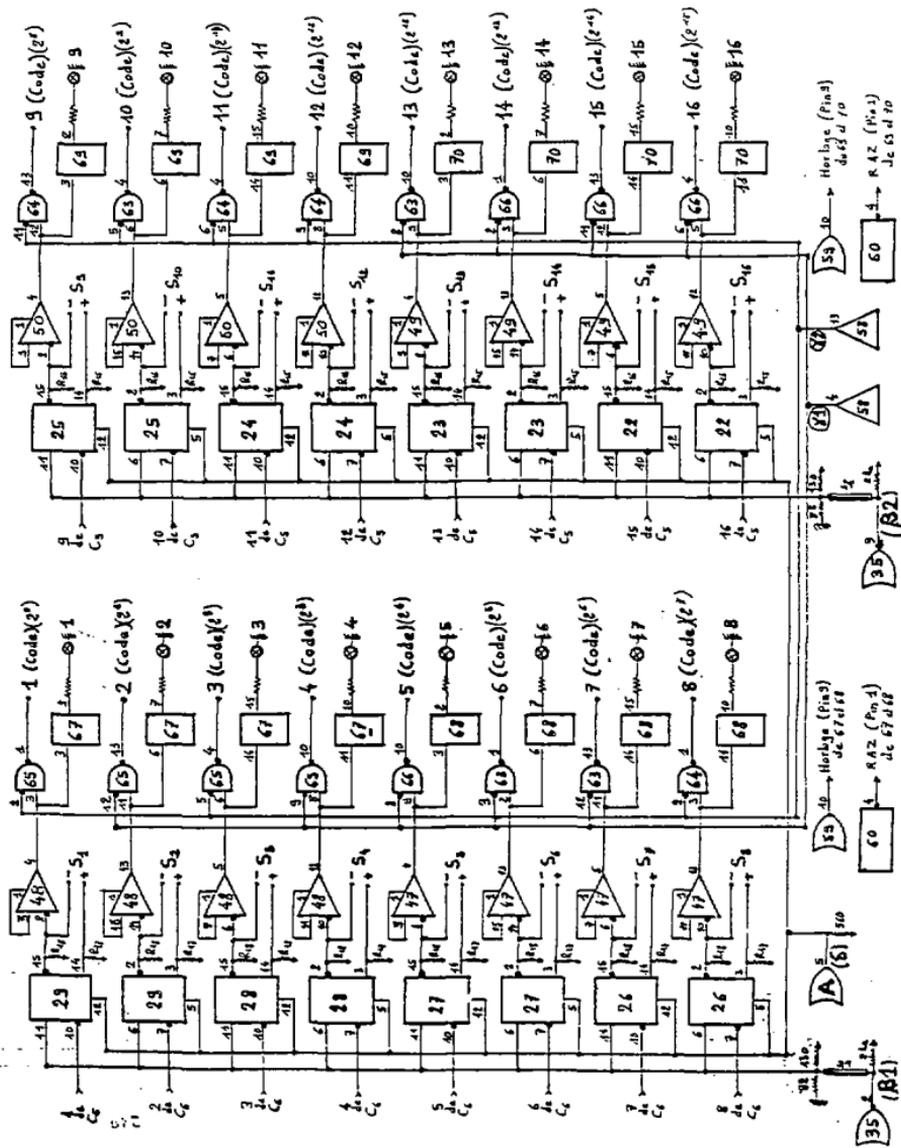
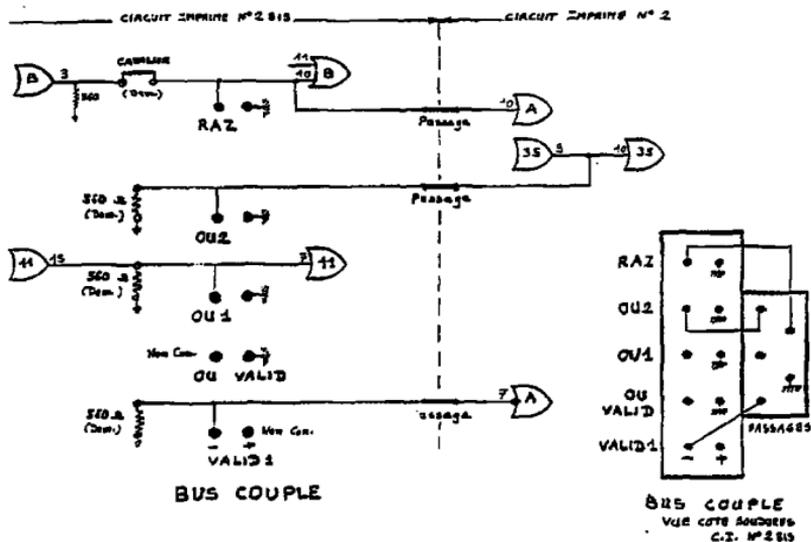


Figure 16 (suite)



NUMEROS	TYPE	ALIMENTATIONS	
		0	+5
47; 49; 20; 24; 35; 44 et A	10404	9	1
37; 43; 45 et 55	10402	7	1
52 et 62	10405	7	1
44 et 46	10403	7	1
B	10440	7	1
4; 2; 6; 7; 42; 43; 42; 44 et 52	10444	7	1
56	10424	7	16
47; 47; 45; 50 et 52	10425	7	16
16	10430	8	16
34	10432	8	16
3; 4; 5; 7; 8; 10; 44; 45; 49; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 32; 33; 33 et 37	10231	7	1
31; 33; 36 et 40	1632	7	1
30 et 38	11C70	7	1

NUMEROS	TYPE	ALIM.	
		0	+5
61	74HC00	9	16
60	74LS423	9	16
53; 63; 64; 65 et 66	74128	7	16
67; 68; 69 et 70	74LS474	7	16

RESEAU X	
R ₁ ; R ₂ ; R ₃ ; R ₄ et R ₂₀	100Ω séparation
R ₁₀ et R ₁₆	330Ω au -5,2V
R ₅ et R ₁₃	1kΩ au -5,2V
R ₅ ; R ₆ ; R ₇ ; R ₈ ; R ₁₄ ; R ₁₄ R ₁₅ ; R ₁₆ ; R ₁₇ ; R ₁₈ ; R ₁₉ ; R ₂₁ R ₂₂ ; R ₂₃ ; R ₂₄ ; R ₂₅ ; R ₂₆ ; R ₂₇ ; R ₂₈	560Ω au -5,2V

Figure 16 (suite)

3. CALI R5 EXTENSION ENTREES

Le CALI R5 entrées réalise les fonctions déclenchement, temps de coïncidence, code et lecture de décision. Dans une extension du dispositif CALI R à un grand nombre de voies d'entrée, on est souvent conduit à utiliser beaucoup de voies d'entrée dans le fonctionnement en "non-déclenchement". D'autre part, il suffit, pour un ensemble CALI R, d'une seule lecture de décision. Ces considérations nous ont amené à développer un module "CALI R5 Extension Entrées" qui réalise uniquement les fonctions temps de coïncidence et code. Dans ce module toutes les voies sont par construction du type ND (non-déclenchement). Cette réduction du nombre de fonctions à réaliser a permis de développer dans une unité NIM, un module à 32 voies d'entrée.

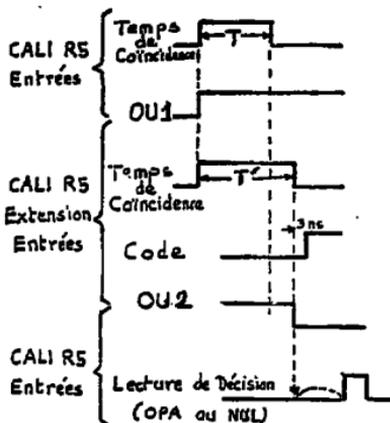


Figure 17

LE CALI R5 Extension Entrées est nécessairement couplé à un CALI R5 Entrées. Lorsqu'une voie déclenche le CALI R5 Entrées, elle déclenche également (par l'intermédiaire de la fonction OU 1 du Bus couple) la fonction temps de coïncidence (T') du CALI R5 Extension Entrées. Pendant la durée T', les voies présentes à l'entrée du CALI R5 Extension Entrées sont mémorisées et un code rapide (32 bits) est généré. Grâce à la fonction OU 2 du Bus Couple, le signal de lecture de décision du CALI R5 Entrées est généré sur le fin du temps de coïncidence le plus long (T ou T'). La remise à zéro du module se fait par la fonction RAZ du Bus Couple.

Le CALI R5 Extension Entrées est donc un module à 32 voies d'entrée (non déclenchement) qui possède un temps de coïncidence autonome et un code qui peut être pris en compte par les modules de décision.

La réalisation électronique (Figure 19) du CALI R5 Extension Entrées est très proche de celle du CALI R5 Entrées. Chaque mémoire du registre 32 bits (Bascules 70 231) est déclenchée individuellement par les signaux d'entrée. Le temps de coïncidence valide ces mémoires (entrée D des bascules). Nous avons soigneusement "ajusté" les temps des circuits électroniques de façon à réaliser un comportement identique entre les voies du CALI R5 Extension Entrées et les voies de type ND du CALI R5 Entrées.

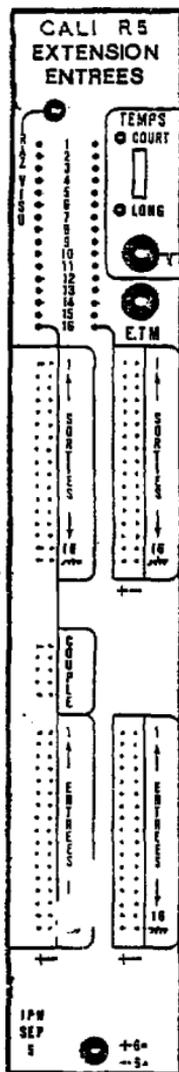


Figure 18

Entrées 2 groupes de 16 voies standard ECL line de Le Croy

Temps de coïncidence

Il est déclenché par la fonction OU 1 du Bus Couple.

2 gammes (choix par interrupteur)

COURT : réglable de 8 ns à 120 ns

LONG : réglable de 70 ns à 2 μ s

La largeur du temps de coïncidence est accessible en NIM rapide : Prise (Fischer 00) TEMPS γ

Sorties (Code)

2 groupes de 16 sorties :

rapides : ECL line sur 2 connecteurs type Le Croy (temps de sortie 3 ns)

lentes : 2 connecteurs CANON sur panneau arrière

Niveau logique 1 \rightarrow 0 volts

Niveau logique 0 \rightarrow 5 volts

Les sorties lentes n'apparaissent que pendant la durée du signal sur la prise E.T.M

Entrées TM (E.TM)

Cette entrée en NIM lent (TTL logique positive) sert à valider le code pour la lecture et fait fonctionner la visualisation.

Prise (Fisher 00) : NIM lent (TTL logique positive)

Visualisation

2 groupes de 16 voyants lumineux.

La visualisation change à chaque signal E.T.M (donc à chaque OPA)

Le poussoir RAZ VISU permet de remettre à zéro la visualisation.

Connexions Bus Couple

OU 1 : déclenchement

OU 2 : synchronisation de la lecture de décision sur la fin de la fenêtre en temps.

RAZ : remise à zéro.

Alimentations

- 6 volts : Ampères

+ 6 volts : Ampères

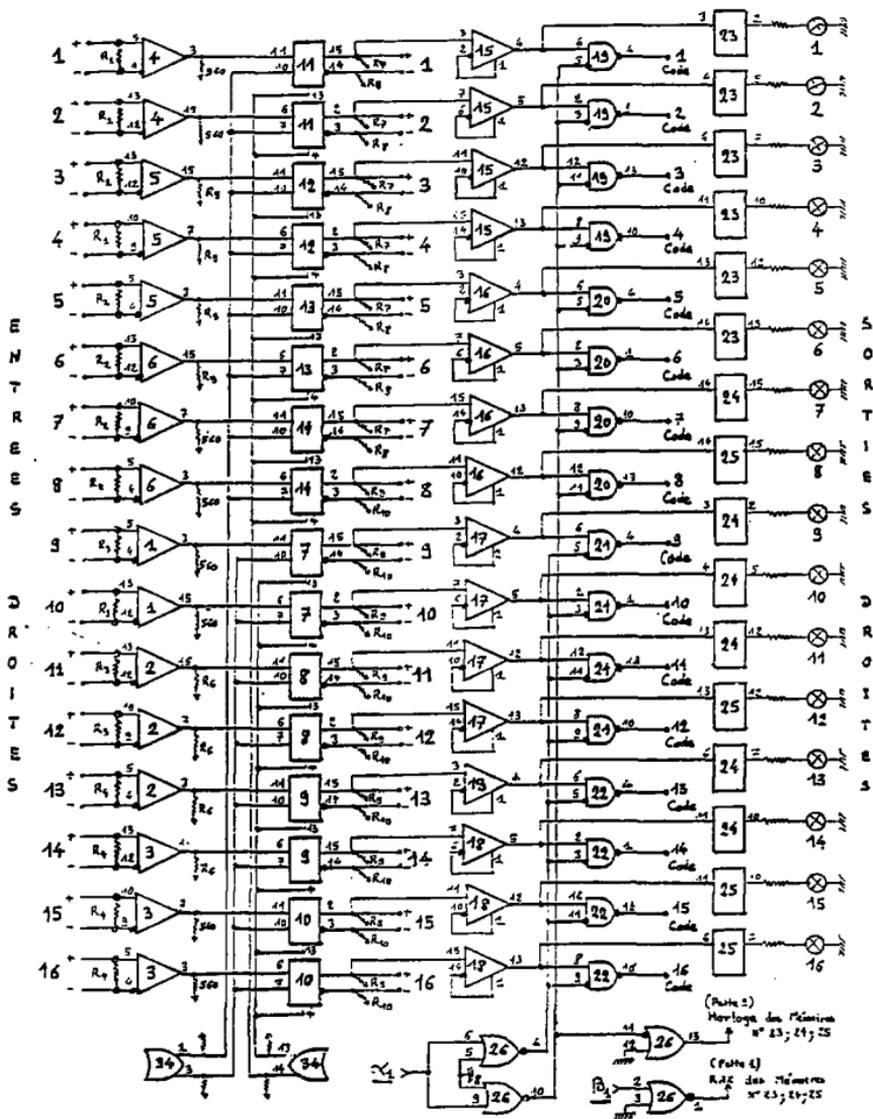


Figure 19 : CALI R5 Extension Entrées, Schémas électroniques

ENTRÉES
GAUCHES
SORTIES

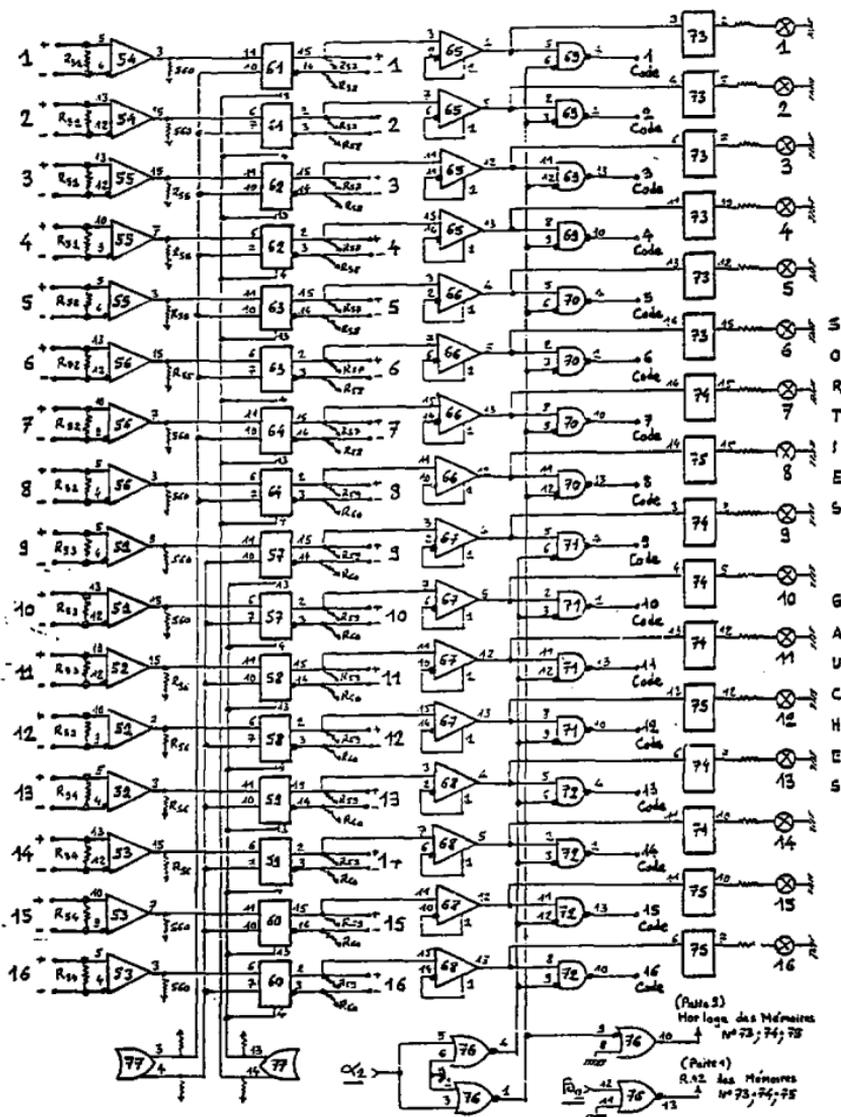


Figure 19 (fin)

4. CALI R5 DECISIONS

La fonction de décision, c'est-à-dire l'acceptation ou le rejet rapide d'un événement en fonction de son code, a été séparée des autres fonctions. Ce choix de la décomposition modulaire permet d'envisager la construction de différents types de modules de décision.

Si N est le nombre de voies, il y a $K = 2^N - 1$ types d'événements différents. Les codes des CALI R5 Entrées et CALI R5 Extension Entrées se présentent par groupes de 16 bits, et pour un seul groupe $K = 65\ 535$. Pour 2 groupes, la valeur de $K (= 2^{32} - 1)$ exclut la possibilité d'envisager une décision rapide complète. Il faut avoir recours à des décisions séparées (par groupe de 16) ou introduire la notion de multiplicité (cf. §-5 de ce chapitre).

Comme nous le verrons au chapitre III, le module 2372 commercialisé par la Société Le Croy permet une décision complète sur un groupe de 16 bits en 60 ns. Il est évident que la configuration des événements choisis est alors chargée par un programme informatique (en CAMAC). Ce module 2372 peut être utilisé de manière très simple grâce à la fonction VALID 2 du CALI R5 Entrées.

Pour utiliser le 2372 comme module de décision dans un dispositif CALI, il faut non seulement prévoir un programme informatique de chargement mais aussi accepter des temps de décision de 60 ns. L'analyse de la structure de différentes expériences de physique nucléaire ne conduit pas (en général) à la nécessité d'une décision complète*. Pour retrouver la souplesse d'utilisation du CALI 4, nous avons développé un module CALI R5 Décisions à 16 voies entièrement programmé par interrupteurs et à temps de transit rapide (60 ns). Ce module utilise les catégories de voies "maître", "esclave" et "directe".

- Voies maîtres (4 voies). Les 15 possibilités (de $\overline{1.2.3.4}$ à 1.2.3.4) sont accessibles sur 15 interrupteurs.
- Voies esclaves (les 12 autres). Elles peuvent former un groupe. (composition du groupe défini par interrupteur) qui peut être mis en "et" avec les 15 types d'événements précédents.
- Voies directes (sur les 16 voies). 16 possibilités (choix par interrupteur). Il suffit que la voie X soit présente dans le code pour que l'événement soit accepté.

* Aujourd'hui et à notre connaissance, seule la détection dans l'expérience $\pi_0 4\pi$ (gerbes d'événements dans des couches successives de détecteurs Carankov) nécessite vraiment l'utilisation d'un groupe complet de décisions sur 16 voies.

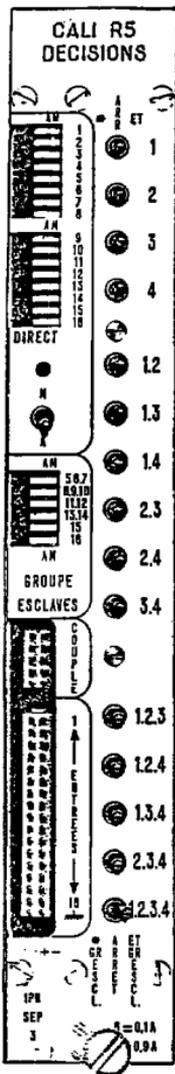


Figure 20

Entrées : 16 voies ECL line

Connecteur type Le Croy

Direct : 16 Interrupteurs

Si la voie X (X = 1 à 16) est présentée à l'entrée, l'événement est accepté.

1 Interrupteur M/A

Il permet de couper globalement le groupe de décision directe (sans avoir besoin de toucher à tous les interrupteurs individuels).

Groupe esclave : Concerne les entrées 5 à 16
6 Interrupteurs

16	11. 12
15	8. 9. 10
13. 14	5. 6. 7

Ils permettent d'attribuer une voie au groupe esclaves (pour faire cette attribution, il faut choisir les voies sur le Transposeur NIM/ECL)

15 Interrupteurs de décision (1 à 1234)

Logique exclusive :

1 signifie 1. 2. 3. 4

12 signifie 1. 2. 3. 4

123 signifie 1. 2. 3. 4, etc.

3 positions :

AR (Arrêt) : cet événement n'est pas choisi.

*GR. ESCL. : la décision est indépendante du groupe esclaves.

ET GR. ESCL. : l'événement est accepté si la configuration choisie sur les voies 1. 2. 3. et 4 est réalisée ET si au moins 1 voie du groupe esclaves est présente.

Sortie (Bus Couple), Ligne VALID 1-

-0,8 volt : événement rejeté

-1,6 volt : événement accepté

Cette ligne est connecté au CALI R5 Entrées.

Chainage : lignes VALID 1+ et OU VALID du Bus. Permet de chaîner des modules CALI R5 Décisions et CALI R5 Multiplicité (Cf. §-6 de ce chapitre)

Temps de transit Entrée/Sortie : Il dépend du type de décision :

Minimum 9 ns

Maximum 11 ns

IAC : 1 prise Fisher 00 sur panneau arrière (en TTL).

Si acceptation de l'événement :

0 volts \Rightarrow seules les voies directes ont accepté

5 volts \Rightarrow l'acceptation n'est pas due aux seules voies directes.

(Cette fonction IAC (inhibition de l'acquisition) peut être utilisée dans le système d'acquisition de données pour séparer les événements multiples des événements directs .

Alimentations :

- 8 volts : 0,9 Ampère

+ 6 volts : 0,1 Ampère

5. CALI R5 MULTIPLICITE

Dans les expériences à grand nombre de détecteurs (une centaine), il est impossible de réaliser une décision rapide contenant tous les types d'événements. Il est alors nécessaire de recourir à une décision de multiplicité, c'est-à-dire de n'accepter que les événements pour lesquels des voies en nombre M (ou $> M$) se présentent simultanément dans une fenêtre temporelle θ . Cette décision est collective et ne tient pas compte (pour la décision uniquement) de l'identité de chaque voie. Avec les dispositifs CALI R, il est possible d'envisager deux solutions pour résoudre le problème de la multiplicité.

Décision de multiplicité après les fonctions "temps de coïncidence" et "ccde". Avec les modules CALI R5 Entrées et CALI R5 Extension Entrées, le code des voies en coïncidence est mémorisé et sort très rapidement (3 ns). A partir de ce code, le module de multiplicité donne une réponse d'acceptation ou de rejet par comparaison du nombre de voies à une valeur affichée. Le fonctionnement du module dans le dispositif CALI R est analogue à celui du module CALI R5 Décisions.

Décision de multiplicité avant le "déclenchement" du dispositif CALI R. Pour des expériences au taux de comptage très élevé, il peut être intéressant de ne déclencher les modules CALI R5 Entrées qu'après avoir pris la décision de multiplicité. Le module de multiplicité reçoit directement les signaux logiques des voies rapides et il génère un signal d'acceptation lorsqu'un nombre M (ou $> M$) de voies ont un recouvrement temporel de leurs signaux associés. Le module de multiplicité réalise alors non seulement une fonction de décision mais également la fonction "temps de coïncidence". Ce temps de coïncidence dépend de la durée des signaux d'entrée.

Le module CALI R Multiplicité a été développé pour résoudre par le même ensemble électronique ces deux approches de la fonction "multiplicité".

Comme tous les modules de la famille CALI, ce module a été étudié dans le standard CAMAC (famille CALI 6). Dans 1 unité CAMAC, une première étude a montré qu'il était possible de développer un module à 32 Entrées avec affichage de la multiplicité sur roue codeuse ($M > P$; P variant de 0 à 15). Une unité NIM est le double d'une unité CAMAC; le module CALI R5 multiplicité est simplement constitué de la réunion de deux fonctions multiplicité à 32 voies. Pour obtenir des décisions de multiplicité sur des nombres importants de détecteurs, nous nous sommes inspirés de la solution présentée par le module 4532 de Le Croy, c'est-à-dire d'une liaison des groupes de 32 voies par une ligne coaxiale 50 Ω .

L'étude électronique des modules CALI R Multiplicité a été faite par Jean Michel CHADUC. Dans la publication IPNO 84-01, J.M. CHADUC [3] développe les principales difficultés de la réalisation électronique : circuit analogique de sommation rapide et calcul de la ligne de transmission en circuit imprimé. Dans ce chapitre, nous n'allons pas reprendre cette étude, mais simplement insister sur l'utilisation des modules CALI R Multiplicité.

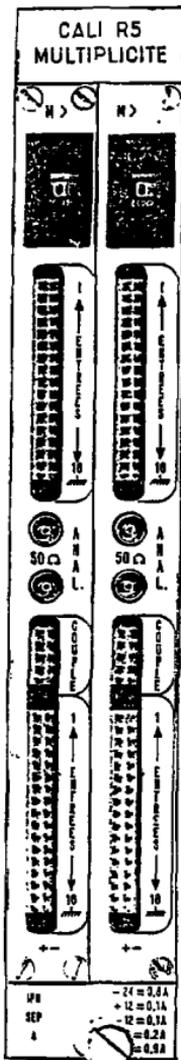


Figure 22

Le module CALI R5 Multiplicite contient 2 groupes de 32 voies independants. La description suivante est donnee pour un seul groupe de 32 voies*.

Entrees : 32 voies en ECL line (Adaptation 100 Ω demontable) 2 Connecteurs de type Le Croy
Largeur minimale des Impulsions : 10 ns

Multiplicite : 1 roue codeuse qui affiche la valeur P (P = 0 à 15). L'evenement est accepte si M > P.

Chainage : 2 Prises ANAL (Prises Fisher 00)
Si on utilise 1 seul groupe de 32 voies, il faut fermer ces 2 prises par des bouchons 50 Ω (adaptation de la ligne interne aux 2 extremités).
Pour etendre la fonction à K groupes de 32 voies, il faut constituer une ligne coaxiale 50 Ω sur les prises ANAL (cables coaxiaux Fisher 00). Cette ligne doit être toujours fermee aux 2 extremités par des bouchons 50 Ω .

Sorties : . En ECL line dans le connecteur COUPLE (Lignes VALID 1+ et VALID 1-)
. En NIM rapide : Prise Fischer 00 sur le panneau arriere.
. Lorsqu'on chaine les modules pour former un groupe, chaque sortie fonctionne separement. Par exemple, dans un groupe de 96 voies, on peut avoir 3 sorties independantes et donc 3 niveaux de multiplicite differents.

Bus Couple : Il contient, outre la sortie (VALID 1+, VALID 1-), l'entree OU VALID qui permet un chainage aux autres modules de decision. (cf. 50 de ce chapitre).

Alimentations : Pour l'ensemble du module CALI R5 Multiplicite (64 voies).

- 24 Volts : 0,8 A		+ 12 Volts : 0,1 A
- 12 Volts : 0,1 A		+ 6 Volts : 0,2 A
- 6 Volts : 0,9 A		

Il faut utiliser un chassis d'alimentation bien ventile.

*Le module CALI R6 Multiplicite est realise dans une seule unite CAMAC et ne contient donc qu'un seul groupe de 32 voies.

Lorsqu'il est utilisé avant les modules CALI R5 Entrées, le module CALI R5 Multiplicité réalise également une fonction temps de coïncidence (coïncidence en recouvrement). Le temps de recouvrement minimal entre deux impulsions (pour obtenir une décision de multiplicité est de 4 ns. Pour 2 impulsions d'entrée de durée X, le temps de coïncidence est donc de $\theta = 2 (X - 4)$.

Le temps de transit de l'entrée à la sortie (Sortie NIM) varie avec le nombre de voies d'entrées présentes et le seuil de multiplicité choisi :

- Minimum 10 ns (pour 16 voies touchées, seuil à > 0)
- Maximum 14 ns (pour 16 voies touchées, seuil à > 15)

Cependant, pour une configuration donnée de voies d'entrée et un seuil de multiplicité fixé, le temps de transit a une valeur bien déterminée. La stabilité en température de ce temps est de 70 ps/degré. Lorsqu'on utilise le chaînage, le temps de transit est augmenté (ligne interne du module et cables de connexions externes). On a tout intérêt à choisir les cables les plus courts (Par exemple : cable coaxiaux de temps de transit 1 ns). Dans le chaînage de 4 modules 32 voies avec des cables de 1 ns de temps de transit, l'augmentation maximale est de 8 ns*. Finalement, avec un groupe de 128 voies, le temps maximal pour la décision de multiplicité n'exécède pas 22 ns et on peut utiliser un réglage de la lecture de décision du CALI R5 Entrées à 25 ns. (Avec un seul groupe de 32 voies, 15 ns suffisent).

6. INTERCONNEXION DES MODULES CALI R : BUS COUPLE

Les différents modules CALI R sont reliés par un bus sur panneau avant : le BUS COUPLE qui réalise les fonctions suivantes (cf. Fig. 3 du chapitre I)

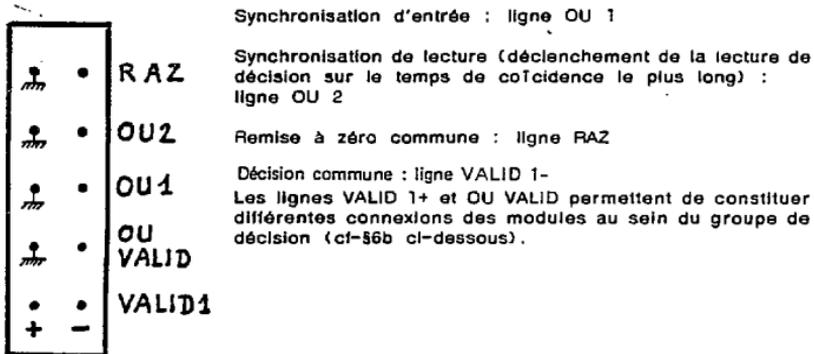


Figure 23

* Cette valeur est obtenue lorsque la décision étant prise dans un module, on considère les entrées d'un autre module à l'autre extrémité de la ligne. Si on choisit dans un groupe de 4, une décision sur un module central, cette valeur se réduit à 6 ns.

6. a Liaison des modules d'entrée

Un ensemble CALI R5 comporte nécessairement au moins un module CALI R5 Entrées. Parmi tous les CALI R5 Entrées nécessaires à l'expérience, on en choisit un comme module principal. C'est sur ce module que sera pris la conversation (OPA et RAZ) avec le système d'acquisition de données (ou les CALI L5 Intercalés). Ce module principal conserve son accès à la ligne RAZ simplement en enlevant le cavalier repéré RAZ (accessible en ouvrant le module). Ce type de liaison n'empêche pas tous les modules CALI R5 Entrées d'émettre les signaux OPA, TM et NUL (le signal NUL est simplement celui créé dans le module principal). Rappelons que la fonction Marche/Arrêt est indépendante dans les CALI R5 Entrées et doit être considérée au niveau de chaque CALI R5 Entrées (principal ou non principal).

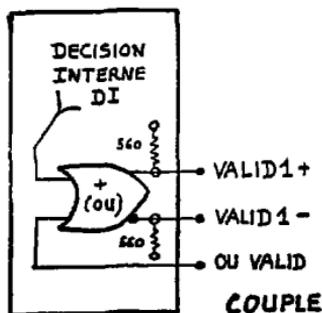
Pour relier entre eux les modules d'entrée, il suffit de disposer d'un câble type BUS COUPLE (câble plat à 10 points de connexion) comportant un nombre de connecteurs égal au nombre de modules d'entrée plus un fil de masse et un fil de sortie qui servent à la liaison (fonction VALID 1-) avec le groupe des modules de décision.

L'utilisation du "câble BUS COUPLE" réalise par cablage les fonctions OU 1 (Synchronisation d'entrée), OU 2 (synchronisation de lecture), RAZ (Remise à zéro commune) et VALID 1- (Ligne de décision commune). Cependant, le fonctionnement électronique du BUS COUPLE repose sur le principe du "OU câblé" et il est nécessaire de ne conserver qu'une seule (ou au maximum 2) résistances de charges sur la ligne commune. Pour la ligne RAZ, ceci est réalisé lorsqu'on enlève le cavalier et pour la ligne VALID-1, ceci se fait au sein du groupe des modules de décision* (cf §. 6b ci-dessous). Pour les lignes OU 1 et OU 2, il ne faut donc laisser qu'une seule résistance de 560 Ω (ou 2 résistances de 560 Ω dans les 2 modules d'entrées aux extrémités de la ligne BUS COUPLE). Comme pour le cavalier RAZ, les résistances correspondant aux lignes OU 1 et OU 2 se démontent et sont repérées à l'intérieur des modules CALI R5 Entrées et CALI R5 Extension Entrées.

6. b Liaison des modules de décision

Dans une expérience à grand nombre de détecteurs, il faut utiliser plusieurs modules de décision (CALI R5 Décisions et CALI R5 Multiplicité) qu'il faut relier entre eux pour former une décision commune sur la ligne (VALID 1-). Cette liaison logique entre les modules peut être un ET (événement accepté si tous les modules de décision ont accepté), un OU (événement accepté si au moins un module de décision a accepté), ou une combinaison ET/OU des différents modules. C'est au niveau du BUS COUPLE que se réalise (et se "programme par cablage") ces différents modes de liaison.

*Le module CALI R5 Entrées comporte également une résistance démontable sur la ligne VALID 1- de façon à pouvoir sur cette ligne (comme sur les lignes OU 1 et OU 2) conserver une résistance à chaque extrémité de l'ensemble des modules CALI R (1 résistance dans le CALI R5 Entrées et 1 résistance dans le groupe des modules de décision).



Considérons une fonction de décision DI dans le module. (CALI R5 Décision un CALI R5 Multiplicité). Attribuons la valeur 1 au niveau logique -0,8 Volt et la valeur 0 au niveau logique -1,8 volt.

DI = 1, événement bon.
DI = 0, événement mauvais.

Figure 24

En sortie :

Événement accepté : VALID 1+ = 1
VALID 1- = 0

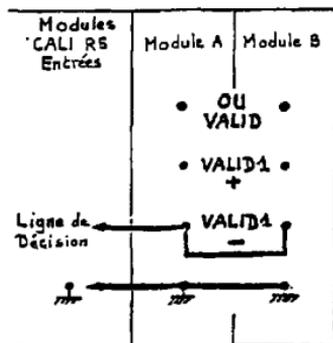
Événement rejeté : VALID 1+ = 0
VALID 1- = 1

A cette fonction VALID 1 (en 2 polarités), nous avons ajouté la possibilité d'une entrée OU VALID qui réalise avec DI (Décision propre au module considéré) un "OU logique".

Interne DI	Entrée (Externe) OU VALID	Sorties	
		VALID 1-	VALID 1+
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	0	1

Avec les 3 lignes VALID 1-, VALID 1+ et OU VALID, on peut réaliser différents type de liaison entre les modules de décision.

LIAISON EN ET



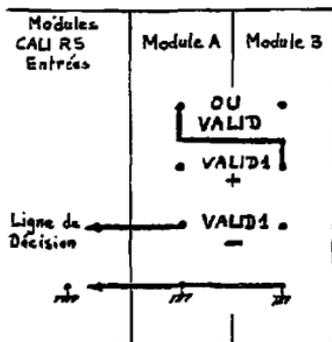
Considérons 2 modules de décision A et B. Chaque module construit une décision interne (DI dans A et DI dans B). Si dans le BUS COUPLE, on relie les 2 sorties VALID 1- des 2 modules, on réalise un ET câblé.

Figure 25

Module A DI	Module B DI	Sortie : (VALID 1-) de A et B reliés
Mauvais : 0	Mauvais : 0	1 → Rejeté
Mauvais : 0	Bon : 1	1 → Rejeté
Bon : 1	Mauvais : 0	1 → Rejeté
Bon : 1	Bon : 1	0 → Accepté

Pour relier en ET les modules de décision, il faut et il suffit que la ligne VALID 1- soit commune.

LIAISON EN OU



Considérons à nouveau les 2 modules A et B. La décision globale est prise sur la sortie (VALID 1-) du module A; la sortie (VALID 1+) du module B est reliée à l'entrée (OU VALID) du module A.

Figure 26

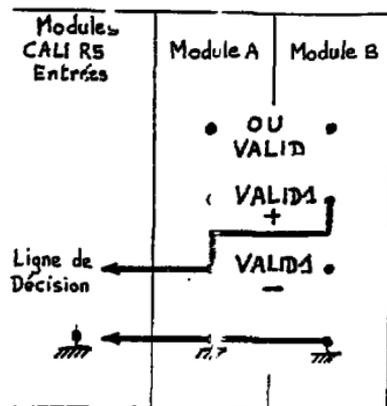
Module A DI	Module B DI	(VALID 1+) de B =(OU VALID) de A	Sortie : (VALID 1-) de A
Mauvais : 0	Mauvais : 0	0	1 → Rejeté
Mauvais : 0	on : 1	1	0 → Accepté
Bon : 1	Mauvais : 0	0	0 → Accepté
Bon : 1	Bon : 1	1	0 → Accepté

La sortie (VALID 1-) du module A (décision globale) est une fonction OU des 2 modules de décision. Il faut remarquer que le temps de décision du module B est augmenté de 2 ns (Temps de transit dans le circuit OU du module A).

Ces deux modes de liaison ET/OU peuvent être étendus à un plus grand nombre de modules. En particulier, on peut réaliser une ligne commune de "OU" en reliant entre elles les sorties (VALID 1+) de plusieurs modules de décision. Cette ligne commune est ensuite reliée à l'entrée "OU VALID" du module qui fournit la décision finale.

BANDE DE MULTIPLICITE

Avec les modules CALI R5 Multiplicité, on peut réaliser un mode de connexion particulier qui conduit à une fonction intéressante : "la bande de multiplicité" (dans un groupe de voies, une décision d'acceptation est fournie lorsque le nombre de voies en coïncidence est compris entre 2 valeurs).



Considérons 2 groupes (à 32, 64, 96 ou 128 voies) dans des modules de multiplicité A et B reliés aux mêmes sorties codées (Pour un groupe de 32 voies, chaque voie codée va simultanément dans 2 modules. Pour des groupes ayant plus de 32 voies, on utilise 2 sorties différentes des modules CALI R5 Multiplicité). Dans le groupe A, la bande multiplicité est programmée en $M > M_1$ et dans le groupe B en $M > M_2$ (avec $M_2 > M_1$). On prend la décision globale sur la sortie (VALID 1-) du groupe A qui est également reliée à la sortie (VALID 1+) du groupe B.

Figure 27

En fonction du nombre de voies M codées, on obtient :

M	Module A DI	Module B DI	Sortie : (VALID 1-) de A reliée à (VALID 1+) de B
Si $M \leq M_1$	0	0	1 Rejeté
Si $M_1 < M \leq M_2$	1	0	0 Accepté
Si $M_2 < M$	1	1	1 Rejeté

L'événement est accepté pour un nombre de voies M tel que :

$$M_1 < M \leq M_2$$

Ce type de liaison permet non seulement de réaliser des décisions de multiplicité sous forme de bande (avec un seuil maximum $M_2 \leq 15$), mais il permet également de réaliser des coïncidences doubles, triples, etc. sur des grands nombres de voies. Par exemple, avec un seul module CAL RS Multiplicité, on peut réaliser sur 32 voies (en 15 ns) les décisions suivantes : (en utilisant les 2 fonctions à 32 voies du module) :

- Coïncidences doubles (doubles seules) $M_1 = 1 ; M_2 = 2$
- Coïncidences doubles et triples $M_1 = 1 ; M_2 = 3$
- Coïncidences triples etc. $M_1 = 2 ; M_2 = 3$

Pour revenir à une décision non exclusive (doubles et au-delà; triples et au delà, etc.). Il suffit d'enlever la connexion (VALID 1+) du deuxième groupe de multiplicité.

6.c Réalisation du cable "BUS COUPLE"

Pour une expérience déterminée, on peut réaliser un cable "BUS COUPLE" adapté. Cependant, pour minimiser le nombre de types de cables différents, nous proposons la réalisation suivante :

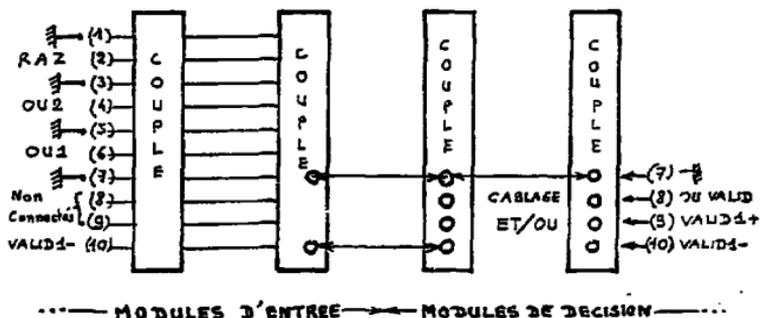


Figure 28

Les modules d'entrée (CALI R5 Entrées et CALI R5 Extension Entrées) sont reliés par un câble plat comportant autant de positions que de modules à utiliser (Si le câble possède 1 ou 2 positions supplémentaires non utilisées, cela ne gêne pas le fonctionnement). Ce câble est ouvert à une extrémité sur 2 fiches (1 masse et la ligne de décision VALID 1-)

Sur chaque module de décision, on met sur l'entrée COUPLE un connecteur avec un câble plat ouvert sur 4 fiches : 1 masse; ligne VALID 1-; ligne VALID 1+; ligne OU VALID. Pour réaliser la fonction de décision, il suffit de connecter les fiches concernées. A tout instant, on peut ainsi facilement modifier profondément et facilement la nature de la décision (Passer d'une fonction ET à une fonction OU; supprimer un seuil maximal de multiplicité, etc.). Le résultat du groupe des modules de décision est envoyé sur la ligne (VALID 1-) des modules d'entrée.

Rappelons que sur chaque ligne du BUS COUPLE, il ne faut conserver qu'une seule résistance de charge, ou plutôt 2 résistances de charge à chaque extrémité de la ligne considérée.

Pour terminer, "rassurons" les utilisateurs du dispositif CALI dans une expérience à faible nombre de voies rapides en coïncidence (16 voies maximum). Dans ce cas, la liaison du CALI R5 Entrées au CALI R5 Décisions se fait par un câble plat à 2 connecteurs. Il est alors inutile de démontrer les résistances internes.

7. CALI L5

Aux fonctions de coïncidences rapides réalisées par les modules de la famille CALI R. Il est parfois nécessaire, dans certaines expériences, d'ajouter des fonctions de coïncidences lentes réalisées par les modules CALI L5.

7. a. Principe de fonctionnement

Le module CALI L5 est intercalé dans la boucle de conversation du système CALI R avec le système d'acquisition de données. L'ordre de préanalyse (OPA) du CALI R5 Entrées déclenche le CALI L5 qui, en fonction de ses conditions de coïncidence lente, fournit un ordre d'analyse (OA) vers le système d'acquisition de données ou un signal de remise à zéro (NUL) qui libère le dispositif CALI.

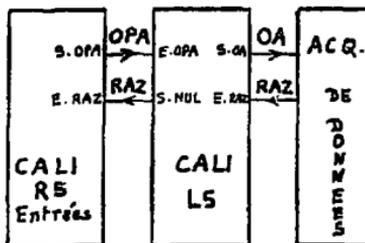


Fig. 29

Le CALI L5 contient 76 voies d'entrée en NIM lent (A à P). Rappelons (cf. chap. I, §4) que la fonction coïncidence se fait par recouvrement temporel entre la fenêtre de temps θ du CALI L5 et les signaux logiques sur les entrées. Chacune des voies d'entrée peut être, par un interrupteur associé, choisie de type P (particulière) ou B (banale). Sur chaque voie, on peut également choisir (par interrupteur) le mode de fonctionnement de la voie : marquage, coïncidence ou anticoincidence.

Pour que le nombre de voies lentes puisse être étendu (modulo 16), il a été prévu un bus de couplage (Bus "SYNCR") entre les modules CALI L5. Comme pour CALI R, ce bus contient les fonctions :

- synchronisation du déclenchement : Fonction OU 1.L
- synchronisation de lecture (sur la fin de la fenêtre de temps θ la plus longue) : Fonction OU2.L
- décision commune : Fonction DEC.
- remise à zéro commune : Fonction RAZ.L

La figure 30 donne un schéma de principe des principales fonctions du module CALI L5.

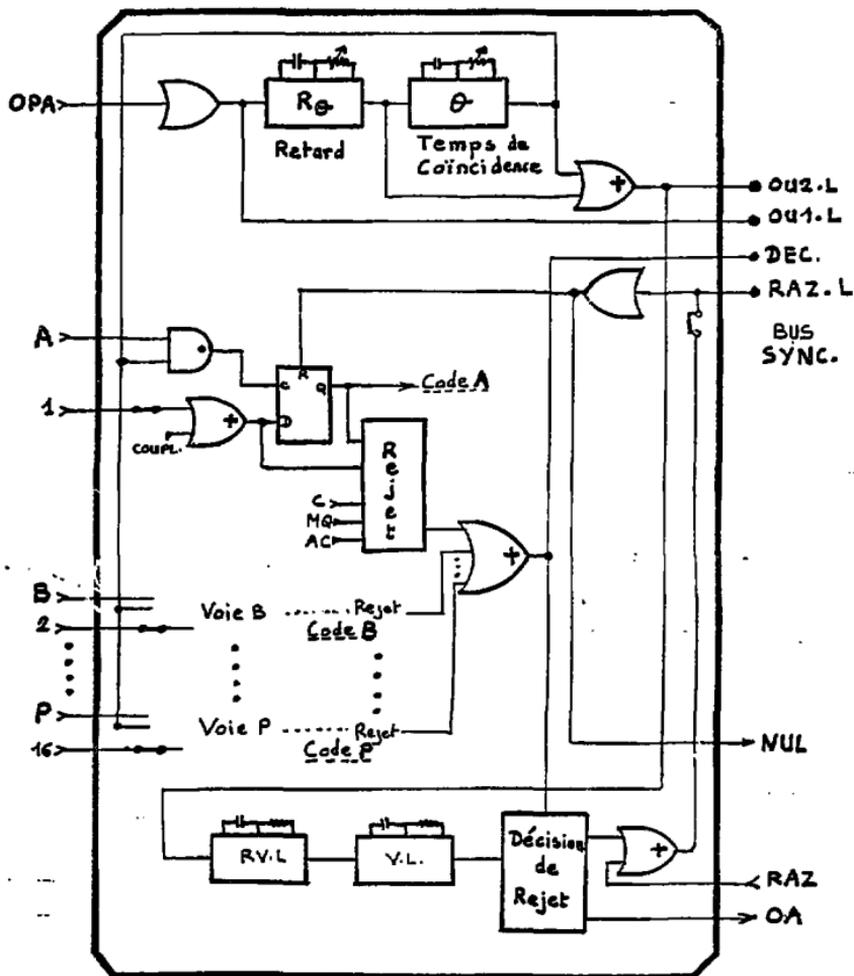
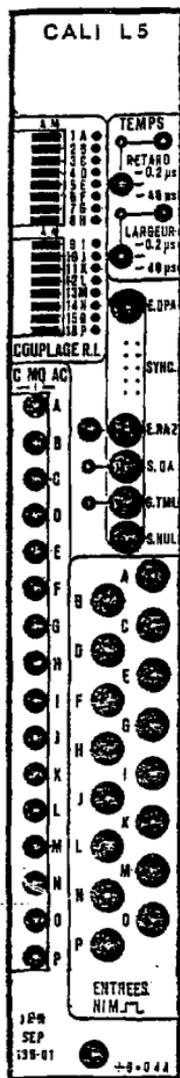


Figure 30 : CALI L5. Schéma de principe des principales fonctions

7. b - Description du module



ENTREES 16 voies : A. B. P

Nim lent (TTL logique positive)
Prises Fischer 00
Impédance d'entrée 300 Ω

COUPLAGE R \leftrightarrow L.

16 Interrupteurs COUPL. R.L.
Marche : la voie A est couplée à l'entrée 1
la voie B est couplée à l'entrée 2, etc.
(Les entrées 1, 2, ..., 16 sont sur une prise CANON
sur le panneau arrière). En modifiant le cablage
interne (connexions sur un support 32 points), il est
possible de modifier l'attribution des voies lentes aux
voies rapides.

Arrêt : pas de couplage R \leftrightarrow L
La voie considérée est alors de type B (banale).

FONCTIONS C. M_Q. AC

16 Interrupteurs correspondant aux 16 voies d'entrée
A, B, ..., P.

Mode M_Q (marquage). Lorsque la voie est présente dans la
fenêtre de coïncidence θ , le code de cette voie est à 1.
Il n'y a pas de décision de rejet de l'événement.

Mode C. L'événement est accepté s'il y a recouvrement du
signal de la voie et de la fenêtre temporelle θ .

Mode AC. L'événement est rejeté s'il y a recouvrement du
signal d'entrée de la voie et de la fenêtre temporelle θ .

TEMPS :

Retard : R_0 de 200 ns à 50 μ s
Ce retard R_0 permet de "positionner" la fenêtre de
coïncidence θ par rapport à l'ordre de préanalyse
(OPA) qui déclenche le CALI L5.
Choix de 3 gammes
Réglage par un potentiomètre
Visualisation sur une Pin Test

Largeur : θ de 200 ns à 50 μ s.
Choix de 3 gammes
Réglage par un potentiomètre
Visualisation sur une Pin Test

Figure 31

ENTREE OPA

NIM lent (TTL logique positive) sur prise Fisher 00
Cette voie déclenche le CALI L5 : elle doit être connectée à la sortie OPA
du CALI R5 Entrées.

SORTIE OA (S.OA)

NIM lent (TTL logique positive)
Prise Fisher 00
Largeur 400 ns (Extension à 2µs par réglage interne)
Le signal est généré si l'événement est accepté

SORTIE TEMPS MORT (S.TM)

NIM lent (TTL logique positive)
Prise Fisher 00
Le signal est déclenché par l'OA et dure jusqu'à la fin du signal d'entrée
RAZ.

SORTIE NUL (S. NUL)

NIM lent (TTL logique positive)
Prise Fisher 00
Largeur 400 ns (Extension à 2µs par réglage interne)
Ce signal est généré si l'événement est rejeté.
Sur cette prise apparaît également le signal mis sur E. RAZ.

ENTREE RAZ (E. RAZ)

NIM lent (TTL logique positive)
Prise Fisher 00
Ce signal, émis par le système d'acquisition de donnée libère le dispositif
CALI.

RAZ (Poussoir)

Remise à zéro manuelle du système CALI
La remise à zéro de la visualisation ne peut être faite que par cette fonction
manuelle.

VISUALISATION

16 voyants lumineux
La visualisation change à chaque signal OA

SORTIE CODE

Connecteur CANON sur panneau arrière (S. CODE)
Niveau logique 1 → 0 volts
Niveau logique 0 → 5 volts

ALIMENTATION

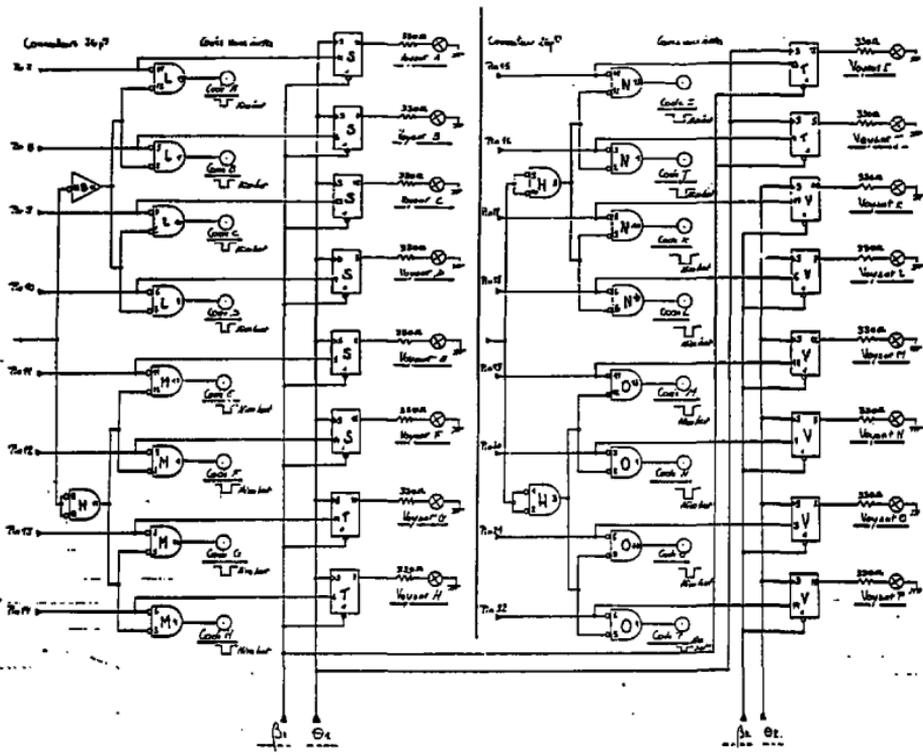
+ 6 volts ; 0,4 ampères

7. c - Couplage entre les modules CALI L5

Le module CALI L5 est réalisé en technologie TTL. Le couplage entre les
modules CALI L5 (Bus SYNC.) est réalisé dans cette technologie avec des modules dont
la sortie est en "collecteur ouvert (open collector)". Dans la mesure où les fonctions
OU 1. L. OU 2. L et DEC doivent être reliées en OU, il est nécessaire de travailler en
logique négative puisqu'en TTL 2 sorties "collecteur ouvert" reliées ensemble réalisent
une fonction ET.

Pour l'utilisateur, le couplage de deux (ou plusieurs) modules CALI L5 entre-eux se réalise de la façon suivante :

- relier ensemble les prises SYNC. (Cable plat)
- ne conserver qu'une seule résistance sur chacune des lignes OU 1. L. OU 2.L et DEC.
- ne conserver qu'une seule remise à zéro (RAZ. U) dans un module CALI L5. (Enlever les cavaliers repérés RAZ des autres modules).
- utiliser le module CALI L5 principal (celui qui a conservé la fonction RAZ. U) comme un seul module CALI L5, c'est-à-dire : relier ce module au CALI R5 Entrées (Prise E. OPA) et au système d'acquisition de données (Prises S. OA et E. RAZ). Quant à la sortie NUL (S. NUL), elle peut être prise sur tous les modules du groupe CALI L5.



APPENDICE

Type	Nombres	Alimentations	
		220	115
ALS 00	H.	2	2
ALS 01	B, Q, R, 38, 39, 40.	2	2
ALS 05	A.	2	2
ALS 08	J, 20, 31, 32, 33.	2	2
ALS 10	6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22.	2	2
ALS 30	1, 2, 3, 5.	2	2
ALS 32	4, 7, 8, 34, 35, 36, 37.	2	2
ALS 99	2, 12, 13, 25, 26, 27, 28, 29.	2	2
-S 23	C, 3, 6.	2	2
R 02	F, L, M, N, O.	2	2
ALS 99	S, T, V.	2	2

- Sur le commutateur 24p°, les pins n° 1, 2, 3, 22 sont en 220V.
4, 23, 24 sont à 115 volts.
- 4. Composé de six relais 7. (102. High impedance)

Figure 32 (fin)

8. FAMILIE CALI 6

En raison de contraintes plus élevées (cf. chap. 1, 33), les modules du dispositif CALI ont été étudiés dans le standard CAMAC. Il n'y a donc aucune difficulté à proposer une version CAMAC du système CALI : Famille CALI 6.

Hormis le module CALI R6 Multiplicité qui est réalisé dans une seule unité CAMAC, tous les modules de la famille CALI 6 ont une présentation identique à ceux de la famille CALI 5.

CALI R6 Entrées

16 voies
2 Unités CAMAC
Lecture du code sur 1 tampon 16 bits de
profondeur 40

CALI R6 Extension Entrées

32 voies
2 Unités CAMAC
Lecture du code sur 2 tampons 16 bits de
profondeur 40 (chaque tampon est relié à 1 position CAMAC)

CALI R6 DECISIONS

2 Unités CAMAC
Dans ce module, il est possible de lire en CAMAC la position des différents interrupteurs du panneau avant. Cette lecture (sans tampons) permet d'avoir un descriptif des fonctions de décision choisies pour l'expérience.

CALI R6 Multiplicité

32 voies
1 Unité CAMAC
Pas de liaison fonctionnelle au système CAMAC

CALI L6

16 voies
2 Unités CAMAC
Lecture du code sur 1 tampon de 16 bits de profondeur 40

Le Transposeur NIM-ECL est également disponible en 2 Unités CAMAC (32 voies). Ce module n'a évidemment aucune liaison fonctionnelle au système CAMAC.

La famille CALI 6 ne diffère de la famille CALI 5 que par la fonction de lecture de code qui est alors réalisée en CAMAC. Nous avons adopté un système de lecture identique à celui développé à l'IPN d'Orsay pour des modules du système d'acquisition de données de GANIL : codeur analogique ADC 1810 (commercialisé par la Société suisse C. E. S.) et tampons 16 bits TEF 40 (réalisés par l'IPN d'Orsay). La lecture CAMAC des codes du module CALI 6 se fait donc par groupe de 16 bits avec la possibilité d'utiliser (ou non) la fonction "tampon" de profondeur 40. Dans la mesure où le système de lecture des modules CALI 6 est rigoureusement identique* à celui des modules TEF 40, nous n'allons pas développer ici ce système [Ref. 4] mais simplement en rappeler les principales fonctions.

* Le système de lecture CAMAC des modules CALI 6 se fait avec le circuit imprimé (implanté en fond de carte) du module TEF 40

La conversation avec le système d'acquisition de données se fait par l'intermédiaire d'un module de corrélation appelé TCC-A. Ce module reçoit les signaux OPA, OA et NUL du CALI R6 Entrées.

A la fin du cycle d'acquisition de données, le module TCC-A émet un signal (Sortie FIN ACQ) qui permet de remettre à zéro le dispositif CALI (Entrée RAZ du CALI L6 ou CALI R6 Entrées si on n'utilise pas de CALI L6).

La corrélation et la lecture des codes dans les modules CALI L6 est gérée par le module TCC-A qui est reliée à ceux-ci par un bus en câble plat multiconducteurs amovible situé au-dessus du bus CAMAC (Bus COUROU : liaison identique à celle du TCC-A aux ADC 1610 et tampons TEF 40).

Les fonctions CAMAC des modules CALI 6 (CALI R6 Entrées, CALI R6 Extension Entrées et CALI L6) sont :

FOA0 : Lecture des données sans décalage des données dans les FIFO
Q = 1 si une donnée est présente en sortie de celle-ci.

F2A0 : Lecture des données avec décalage d'un rang des données dans les FIFO
Q = 1 si une donnée est présente en sortie de celle-ci.

F8A0 : Test du contenu de la FIFO
Q = 1 si une donnée est présente en sortie de celle-ci.

F9A0 : Remet à zéro le contenu de la FIFO et la bascule LAM

F10A0 : Remet à zéro la bascule LAM

F24A0 : Désactive la fonction LAM

F26A0 : Active la fonction LAM

Remarque : le seul mode de fonctionnement de la lecture des modules CALI 6 étant le "mode corré" (corrélation assurée par le module TCCA), la fonction FOA4 présente dans les TEF 40 et les ADC 1610 a disparu.

CHAPITRE III

EXTENSION DES FONCTIONS DU SYSTEME CALI : COUPLAGE AUX MODULES ECL LINE DE LE CROY

Pour les expériences de physique des particules, la Société Le Croy a développé un ensemble de modules CAMAC [5] dont les entrées/sorties se font par signaux différentiels ECL. En choisissant pour le dispositif CALI R ce type de signaux, nous avons pu non seulement résoudre les problèmes propres au système CALI, mais également prévoir une utilisation éventuelle et très simple de modules Le CROY.

Par les fonctions qu'ils permettent de réaliser, on peut distinguer un "couplage faible ou fort" des modules ECL line de Le Croy au sein du dispositif CALI R. En effet, si certains modules Le Croy comme les discriminateurs à 16 voies (modules 4414, 4415 ou 4416) évitent simplement l'utilisation d'un transposateur NIM/ECL*, d'autres modules peuvent s'intégrer à la famille CALI (Module 4532 par exemple) ou réaliser une fonction qui n'est pas disponible dans le système CALI (module 2372 par exemple)

1. MODULE LE CROY 2372

1 unité CAMAC
16 voies d'entrée ECL line
Mémoire 64K-bit programmé par le bus CAMAC
Temps d'accès 60 ns

Ce module permet de réaliser une fonction de décision complète sur 16 bits, c'est-à-dire dans la terminologie du système CALI une décision à 16 maîtres.

Pour utiliser le module 2372, on connecte (cable standard 16 voies différentielles) son entrée à une sortie 16 bits rapide du module CALI R Entrées (ou éventuellement du CALI R Extension Entrées). Le module 2372 est utilisé dans la "dimensionnalité 0" de mémoire, c'est-à-dire sur toute la mémoire et le résultat (1 bit en paire différentielle) est relié à une des entrées X, Y, Z ou T du CALI R Entrées. Il suffit ensuite de régler le temps de décision (2ème validation : VALID 2) du CALI R Entrées à un temps légèrement supérieur à 60 ns (temps de réponse de la mémoire du module 2372).

* La Société Le Croy commercialise un adaptateur ECL/NIM - NIM/ECL à 16 voies (Module 4016), 1 Unité NIM. Le prix très élevé de ce module (comparativement à d'autres modules de la même Société) nous a conduit à ne pas l'utiliser et à développer le transposateur NIM/ECL à 32 voies. On peut envisager de développer également un transposateur ECL/NIM à 32 voies.

2. MODULE LE CROY 4508

1 unité CAMAC

2 fois 8 voies d'entrée ECL line

2 fonctions indépendantes de programmation (par le bus CAMAC) complètes sur les 2 groupes de voies d'entrée.

Temps de transit : 20 ns.

Comme le 2372, ce module permet de réaliser des fonctions de décision complètes. Dans la terminologie du système CALI, le module 4508 contient 2 fonctions de décision indépendantes à 8 maîtres.

Le module 4508 peut fonctionner également dans le mode "recouvrement (OVL : Overlap)" avec une largeur minimale des impulsions d'entrée de 10 ns. On peut donc envisager d'utiliser ce module en amont du CALI R Entrées dans un mode analogue à celui décrit pour le CALI R Multiplicité, c'est-à-dire un déclenchement du dispositif CALI R par une fonction préalable de coïncidence à recouvrement. Avec le 4508, cette fonction pourrait être faite sur 8 voies avec toutes les combinaisons logiques possibles entre ces 8 voies.

3. MODULE LE CROY 4448

1 Unité CAMAC

3 Registres de 16 bits à Entrées en ECL line

Chargement des registres pendant la durée d'une impulsion logique commune en NIM (common gate)

Remise à zéro (clear) en NIM rapide

Pour chaque registre : sortie analogique proportionnelle au nombre de voies mémorisées.

En reliant la sortie TEMPS du CALI R Entrées à l'entrée "Common gate" du module 4448, on peut réaliser une fonction de coïncidence sur 48 voies dans un mode voisin* de celui réalisé dans le CALI R Extension Entrées.

La remise à zéro du module 4448 se fait en reliant la sortie NUL (en NIM rapide) du CALI R Entrées à l'entrée "Clear" du 4448.

Il faut noter également que dans le module 4448, les voies mémorisées n'ont pas de sortie rapide et ne peuvent donc participer à une fonction de décision rapide que par l'intermédiaire des sorties analogiques par groupe de 16. En utilisant un module externe de discrimination par seuil, on peut alors envisager de réaliser une décision de multiplicité par groupe de 16 voies.

4. MODULE LE CROY 4532

1 UNITÉ CAMAC

32 Entrées en ECL line

Décision de multiplicité jusqu'à 16 (potentiomètre MATHR)

Possibilité de chaînage entre les modules 4532 (ligne AMIO)

Sortie (MDO) en ECL line.

*Il existe une différence dans le mode de coïncidence. Dans le CALI R Extension Entrées, la coïncidence est prise sur le front avant des signaux logiques d'entrée, alors qu'avec le 4448 cette coïncidence se fait par recouvrement temporel entre les signaux d'entrée et la fenêtre de temps (signal sur le "common gate").

Déclenchement - sur une voie d'entrée
ou - fenêtre de temps externe (Gate Input, GAI, en ECL line)
Mémorisation des signaux : les signaux d'entrée ayant leur front avant
présent pendant le signal GAI sont mémorisés.

Sorties : 16 voies seulement (liaison en OU 2 par 2 des entrées : 1 et 2 ; 3
et 4 ; 31 et 32).

Remise à zéro : Entrée RTI en ECL line.
Temps de transit (Entrée/Sortie MDO) : 21 ns.

Remarque : le signal GAI doit précéder les signaux d'entrée d'au moins 7 ns.

Dans une expérience nécessitant la mémorisation de voies pendant une
fenêtre de coïncidence T et la décision de multiplicité sur les voies mémorisées, on peut
envisager d'utiliser les modules 4532 à la place des modules CALI R Extension Entrées et
CALI R Multiplicité. Pour cela, il suffit de connecter la sortie TEMPS (en ECL line) du
CALI R Entrées à l'entrée GAI des modules 4532 et de régler le seuil de multiplicité
(potentiomètre MATHR). L'extension (modulo 32) à un nombre plus important de voies se fait
(comme pour les CALI R Multiplicité) par la ligne AMIO (fonctionnement identique à la ligne
ANAL du CALI R Multiplicité). Le résultat de la décision (MDO) est connecté à une des
entrées X, Y, Z ou T du CALI R Entrées. On peut également utiliser les sorties MDO (MDO
+ et MDO -) comme les fonctions valid ? (VALID 1+ et VALID 1-) dans le BUS COUPLE du
système CALI R (cf. chap. II, §-6). La remise à zéro se fait en reliant la sortie NUL (en
ECL line) du CALI R Entrées à l'entrée RTI du module 4532. Dans ce mode de
fonctionnement, on n'utilise pas les sorties rapides du module 4532. La liaison 2 à 2 de
ces sorties ne présente des difficultés que dans une utilisation nécessitant un
aiguillage rapide en fonction du code mémorisé (cf. chap. IV, §-2).

On peut noter l'existence dans le module 4532 d'une fonction annexe :
"Cluster Selection". Si cette fonction est utilisée un groupe de bits voisins mis à 1 (les
bits correspondent aux entrées mémorisées ou en recouvrement temporel) sera considéré
comme une seule voie dans la décision de multiplicité. Cette fonction peut également être
étendue sur un nombre de voies supérieur à 32. (Liaison inter-module par les lignes CCI
et CCO).

Il semble qu'il soit également possible d'utiliser les modules 4532 (comme les modules
CALI R Multiplicité) en amont du CALI R Entrées. En effet, si on n'utilise pas la fenêtre externe (GAI)
dans le mode "Memory Disable" (Sans mémorisation), le calcul de multiplicité se fait sur le
recouvrement temporel des signaux d'entrée. Dans ce type de fonctionnement, il resterait
à mesurer la résolution de coïncidence (coïncidence par recouvrement) obtenue. (Ce
temps minimum de recouvrement annoncé est de 10 ns).

Si une utilisation des modules 4532 semble très intéressante (sur le plan des
principes) au sein du système CALI, nous n'avons procédé à aucun essai expérimental,
et avant de les intégrer il est nécessaire de réaliser ces essais*.

*On peut noter, par exemple, que le seuil de multiplicité est ajusté par potentiomètre
(MATHR). Ce mode de sélection est beaucoup moins souple que celui du CALI R Multiplicité
(Roue codée) et nécessite quelques essais expérimentaux (par exemple :
discrimination de multiplicités 14 et 15 dans un groupe de 128 voies, c'est-à-dire sur 4
modules 4532).

5. MODULES DE DECLENCHEMENT OU DE DECISION RAPIDE

Des modules de la famille ECL line de Le Croy ont été développés pour résoudre les problèmes de déclenchement de chambres à fils par des "hodoscopes" (ensemble de scintillateurs rapides en coïncidence). Etant donné la grande rapidité de ces modules (Temps de transit de l'ordre de 10 ns), on peut envisager leur utilisation :

- en amont du CALI R Entrées. Déclenchement du dispositif CALI R par une coïncidence en recouvrement (et décision logique câblée) sur un grand nombre de voies.
- dans le groupe des modules de décision rapide. Les sorties codes (CALI R Entrées ou CALI R Extension Entrées) sont connectées aux entrées de ces modules. Le résultat (Sorties en ECL line) est envoyé dans le BUS COUPLE de CALI R (ou sur les entrées X, Y, Z, T de la 2ème validation).

Parmi ces modules, on peut citer :

- Module Le Croy 23P5
1 Unité CAMAC
16 Entrées en ECL line
Combinaisons logiques entre les voies d'entrée réalisée par une matrice (programmable en CAMAC) 16 x 8
8 Sorties (correspondant à différentes combinaisons logiques en ECL line)

Temps de transit 10 ns.

La matrice permet de réaliser différentes combinaisons logiques (ET/OU/Compléments) sur les voies d'Entrée (Ref. 5, page 1, 111).

- Module Le Croy 4516
1 Unité CAMAC
3 Groupes (A,B,C) de 16 Entrées en ECL line
16 Sorties en ECL line
Temps de coïncidence minimal (recouvrement) 3.5 ns
Temps de transit (suivant les combinaisons logiques de 8 à 12 ns.

Ce module permet de réaliser toutes les combinaisons logiques (en ET/OU) à 3 niveaux, ce qui signifie que la sortie de rang 1 est le résultat de combinaisons logiques (programmables) entre les entrées A,B et C de rang 1. (Ref. 5, page 1-210).

- Module Le Croy 4564
1 unité CAMAC
64 Entrées en ECL line
16 Sorties en ECL line (sur panneau arrière).
Temps de transit constant (indépendant de la fonction logique réalisée) : 12 ± 1 ns.

Chaque groupe d'entrée de 16 voies est considéré du point de vue logique comme 1 seule voie (OU des 16 voies). Les sorties donnent des combinaisons (ET/OU) entre ces 4 groupes (Ref. 5, page 1-218).

6. FONCTIONS ANNEXES

Des modules de la famille ECL line de Le Croy peuvent également être utilisés pour réaliser des fonctions qui, sans faire partie intégrante du système CALI, viennent cependant le compléter. On peut citer :

- Module Le Croy 4418
 - 1 Unité CAMAC
 - 18 voies Entrées en ECL line
 - Sorties ECL line (3 sorties par voies)
 - Sur chaque voie, retard programmable en CAMAC
- (15 ± 1) ns + (0 - 15) ns par pas de 1 ns (option 4418/16)
+ (0 - 30) ns par pas de 2 ns (option 4418/32)
+ (0 - 120) ns par pas de 8 ns (option 4418/128)

Ce module peut être utilisé pour régler la position temporelle des voies (Retards) en amont du système CALI.

- Echelles de comptage à entrées en ECL line

Modules ● Le Croy 4432 (32 voies, 24 bits par voie, 20 MHz de fréquence maximale).

- Le Croy 4433 (32 voies, 18 bits par voie, 30 MHz de fréquence moyenne).

- Le Croy 4434 (32 voies, 24 bits par voie, 20 MHz de fréquence maximale).

Ces modules peuvent être utilisés pour compter les bits de code (voies mémorisées) du système CALI.

UTILISATIONS DU DISPOSITIF CALI DANS DES EXPERIENCES MULTIDÉTECTEURS

Après un bref rappel sur l'utilisation dans des expériences à relativement faible nombre de détecteurs, nous allons insister sur les nouvelles possibilités qu'offrent les dispositifs CALI 5 et CALI 6* dans les expériences à grand nombre de détecteurs (une centaine de voies en coïncidence), puis nous développerons l'exemple du dispositif expérimental "SPES 3" monté auprès de l'accélérateur Saturne.

1. EXPERIENCES A FAIBLE NOMBRE DE DETECTEURS : 16 VOIES RAPIDES EN COÏNCIDENCE

Dans les expériences où le nombre de voies en coïncidence rapide est inférieur ou égal à 16, on utilise les 3 modules (Figure 33) :

- Transposeur NIM/ECL (1/2 module utilisé)
- CALI R Entrées
- CALI R Décisions.

La liaison entre les modules est réalisée par 2 câbles plats à 34 points (liaison Transposeur NIM/ECL à CALI R Entrées et liaison CALI R Entrées à CALI R Décisions) et un câble plat à 2 connecteurs de 10 points pour le BUS COUPLE (il n'est pas utile de démonter des résistances correspondant aux fonctions du BUS COUPLE).

Les fonctions réalisées dans ce système de coïncidence à 16 voies dérivent très simplement des caractéristiques des différents modules exposés au chapitre II. Le nombre de possibilités de la fonction de décision est limité (Module CALI R Décisions), mais peut être étendu de différentes façons :

- utilisation de plusieurs modules CALI R Décisions,
- introduction d'un module CALI R Multiplicité,
- utilisation du module Le Croy 2372 qui contient toutes les possibilités de décision sur 16 voies.

A ce système de coïncidence rapide à 16 voies, on peut évidemment ajouter un système de coïncidence lente à 16 voies réalisé par le module CALI L (cf. chap. II, 7).

*Les modules des systèmes CALI 5 et CALI 6 ayant les mêmes fonctions, il ne sera pas mentionné dans ce chapitre (excepté au §-3) le type de standard utilisé. Au nom des modules, il suffit d'ajouter un 5 pour le standard NIM ou un 6 pour le standard CAMAC.

2. EXEMPLES D'EXPERIENCES A GRAND NOMBRE DE DETECTEURS : UNE CENTAINE DE VOIES RAPIDES EN COINCIDENCE

2. a. Formalisation des fonctions à réaliser

Plutôt que d'aborder de manière très générale (et peu précise), le problème des expériences multidétecteurs à grand nombre de voies en coïncidence rapide, nous allons nous limiter à 2 dispositifs expérimentaux qui ont, à différentes époques, contribué de manière importante à l'élaboration des fonctions CALI présentées dans ce mémoire. Ces deux dispositifs sont :

- le multidétecteur de particules et de noyaux légers ("Mur de scintillateurs") développé pour des expériences dans la chambre à réaction "Nautilus" du GANIL [8]. Ce multidétecteur est formé de 96 éléments disposés en 7 couronnes et couvre entièrement le domaine angulaire de $\theta = 3^\circ$ à $\theta = 30^\circ$. Chaque élément est constitué d'un scintillateur de NE 102 de 2 mm d'épaisseur. Les mesures de la perte d'énergie (ΔE) et du temps de vol permettent d'identifier la charge (Z) des noyaux légers jusqu'à $Z = 6$ ou 7. Ce détecteur est actuellement en cours de réalisation à Caen.

- Le "Château de cristal" [7]. Ce multidétecteur, également en cours de réalisation, est constitué de scintillateurs de $Ba F_2$ pour la détection des photons γ dans un espace proche de 4π stéradians autour de la cible. Une conception mécanique, en couronnes, permet d'envisager des nombres différents de détecteurs :

- 2 fois 3 couronnes : $2 (1 + 6 + 12) = 38$ détecteurs
- 2 fois 4 couronnes : $2 (1 + 8 + 18) = 74$ détecteurs
- 2 fois 6 couronnes : $2 (1 + 6 + 12 + 24) = 122$ détecteurs

Sur le plan des coïncidences rapides et de la logique de décision associée, ces 2 dispositifs expérimentaux présentent les mêmes types de problèmes. En effet, il faut non seulement réaliser une coïncidence rapide entre les signaux associés aux détecteurs avec décision de multiplicité, mais également prévoir la possibilité d'utiliser des détecteurs annexes de particules chargées, ou de γ avec une bonne résolution (Détecteur au Ge) dans le cas du "Château de cristal".

Finalement, pour ces 2 exemples, on peut "formaliser" le problème des coïncidences rapides de la façon suivante :

Coïncidence rapide et décision entre 2 groupes :

- un Groupe G1 contenant n détecteurs X_j avec décision de multiplicité.
 $n = 96$ pour le "Mur de scintillateurs".
 $n = 38, 74$ ou 122 pour le "Château de cristal".
Dans la suite de l'étude, nous avons choisi $n = 128$.
- un Groupe G2 contenant P détecteurs, Y_j , avec différentes décisions entre les Y_j .
Dans notre étude, nous avons choisi $p = 16$, (*).

Pour traiter cet exemple, il faut revenir aux concepts du système CALI R (cf. chap. I) et tout particulièrement à la notion de "déclenchement" qui oriente le choix des modules à utiliser.

*La valeur $p = 16$ ne constitue pas une limite, mais simplement une simplification dans l'exposé. L'extension, dans le groupe G2 à des valeurs de $p > 16$ peut se faire sans problèmes en suivant les principes exposés au chapitre II (en particulier, 3-5 : BUS COUPLE).

2. b - Déclenchement par le groupe de détecteurs G2

Le traitement des coïncidences rapides (Figure 34) du groupe G2 (16 voies) se fait par un module CALI R Entrées (Temps de coïncidence T_2) associé à un module CALI R Décisions (ou éventuellement à un module La Croy 2372 si une décision plus élaborée s'avère nécessaire). Dans la mesure où ils ne contribuent pas au déclenchement, le traitement des détecteurs du groupe G1 peut se faire avec 4 modules CALI R Extension Entrées (Temps de coïncidence : T_1). La décision de multiplicité au sein du groupe G1 (Événement retenu si m détecteurs touchés, $m > M_0$ ajustable de 0 à 15 ou $M_1 < m < M_2$ avec M_2 maximal égal à 15) se fait avec 2 modules CALI R5 Multiplicité (ou 4 modules CALI R6 Multiplicité). La décision finale peut être un ET ou un OU logique des deux décisions prises au sein des groupes G1 et G2 (cf. chap. II, 36).

A ces modules, il faut ajouter (si les signaux d'entrée ne sont pas déjà dans le standard ECL line) 5 modules Transposeur NIM/ECL (1 pour G2 et 4 pour G1).

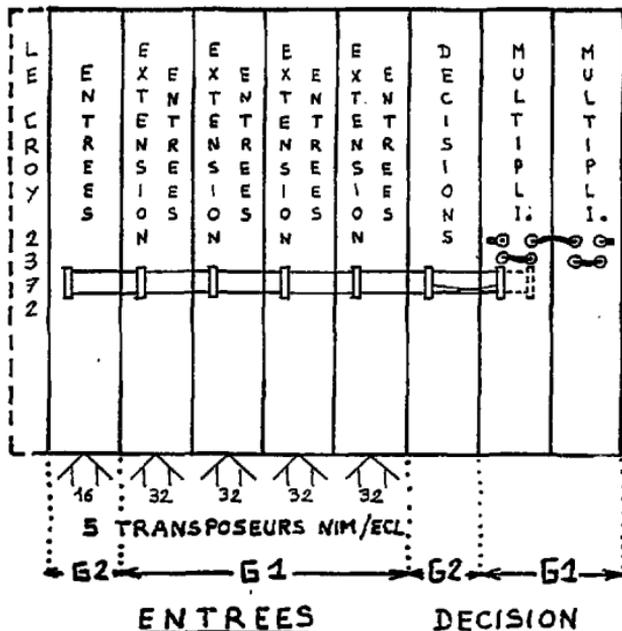


Figure 34

On peut également envisager un autre type de dispositif utilisant des modules Le Croy (Figure 35). Le traitement du groupe G2 reste identique alors que celui du groupe G1 se fait avec 4 modules Le Croy 4532. Dans cette solution plus compacte, il faut noter, outre une légère augmentation du temps de décision (cf. 3-2c de ce chapitre), la nécessité de doubler le nombre de modules Le Croy 4532 si un accès rapide au code des voies en coïncidence est nécessaire. Ce code des voies du groupe G1 peut servir, par exemple, à un aiguillage des signaux linéaire associés aux détecteurs X_i .

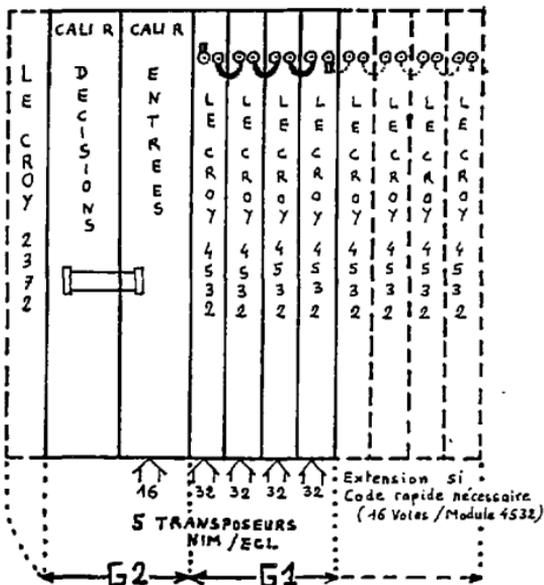


Figure 35

2.c) Déclenchement par un signal lié à la pulsation du faisceau

Lorsque l'expérience est réalisée auprès d'accélérateurs à faisceau pulsé, on peut envisager un déclenchement général du dispositif à coïncidence par un signal associé à la structure du faisceau. Ce signal est simplement relié à l'entrée "déclenchement externe" (en NIM ou en ECL line) du CALI R Entrées. Les schémas du dispositif restent identiques à ceux des figures 34 ou 35 et les voies Y_i du groupe G2 sont alors de type ND (non déclenchement).

Lorsque le déclenchement du système se fait sur un signal périodique externe (pulsation du faisceau), il faut que le temps de fonctionnement total du dispositif (Temps de coïncidence + temps de décision + remise à zéro) soit inférieur à la période du signal de déclenchement. Nous avons vu (chap. II, §-2) que ce temps de fonctionnement était de :

$$P = T + D + 55 \text{ ns}$$

où T est le temps de coïncidence et D le temps de décision.

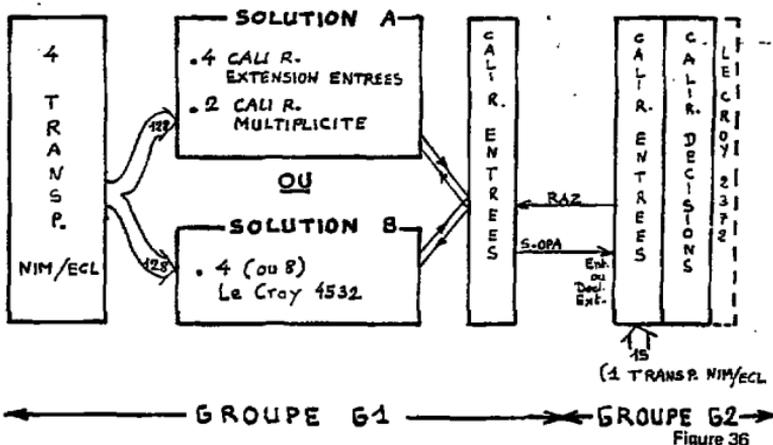
Dans le dispositif de la figure 34, D doit être choisi au minimum de 20 ns, ce qui donne (en tenant compte des câbles de connexion (≈ 5 ns) entre les modules CALI R Extension Entrées et CALI R Multiplicité).

$$P = T + 80 \text{ ns}$$

Quant au dispositif de la figure 35, il est difficile de donner (sans en faire les essais) une valeur minimale de D. Avec 4 modules Le Croy 4532 reliés ensemble (et en tenant compte des problèmes de décalage de la mémorisation sur une fenêtre temporelle externe), cette valeur atteint sans doute 35 ns. D'où :

$$P = T + 90 \text{ ns}$$

En général, la période du signal de pulsation faisceau est de l'ordre de la centaine de nanosecondes. (Par exemple, pour GANIL et suivant les énergies du faisceau : de 70 ns à 140 ns). Le mode de déclenchement sur la pulsation faisceau ne peut donc être utilisé que pour des périodes assez longues et des Temps de coïncidence T très courts (Rappelons que T minimal = 8 ns). Ceci peut être gênant pour le temps de coïncidence T_2 du groupe de détecteurs G2 (en particulier si ces détecteurs sont des détecteurs γ au Ge(Li)). On peut alors envisager un fonctionnement séquentiel du dispositif à coïncidence rapide (Figure 36).



Un premier dispositif à coïncidence rapide est déclenché par le signal de pulsation du faisceau et réalise la coïncidence et la décision de multiplicité sur le groupe de détecteurs G1. Un deuxième dispositif est déclenché par l'ordre de préanalyse (OPA) du premier dispositif et réalise le traitement des coïncidences au sein

du groupe de détecteurs G2. Dans ce deuxième dispositif et en raison du tri opéré en amont, le temps de coïncidence (T_2) peut être de valeur beaucoup plus grande. Notons que, si dans le premier dispositif on utilise des modules Le Croy 4532, les fonctions du module CALI R Entrées se réduisent à un déclenchement d'une fenêtre temporelle et à un aiguillage (OPA ou NUL) de la décision. Le CALI R Entrées peut alors être remplacé par un module électronique de conception beaucoup plus simple.

2. d - Déclenchement par le groupe de détecteurs G1 ou le groupe de détecteurs G2

Dans ce cas, il faut que toutes les voies X_i ou Y_i aient accès au déclenchement. On pourrait envisager une première solution en utilisant des modules CALI R Entrées à la place des modules CALI R Extension Entrées dans le dispositif de la figure 34. Mais, si cette solution peut être retenue lorsque le nombre n de détecteurs du groupe G1 reste assez faible, elle conduit pour $n = 128$ à utiliser 8 modules CALI R Entrées (16 voies par module) et le dispositif global serait composé de 12 modules* (9 CALI R Entrées, 2 CALI R Multiplicité et 1 CALI R décisions). Outre le prix élevé de ce dispositif, il serait bon d'en vérifier expérimentalement le fonctionnement (en particulier au niveau du BUS COUPLE).

Une autre solution plus compacte (et moins chère) peut être envisagée en utilisant les modules CALI R Multiplicité en amont du CALI R Entrées (Figure 37).

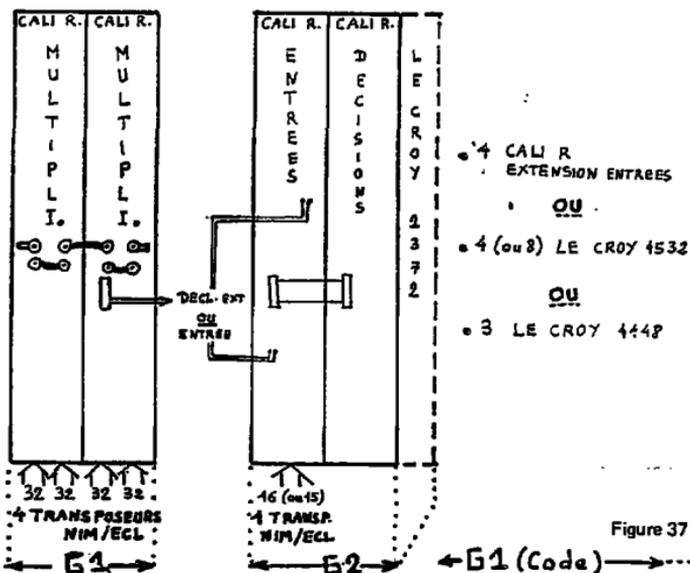


Figure 37

* Les 5 modules Transporteur NIM/ECL, pourraient être placés dans un autre chassis d'alimentation.

Le déclenchement du CALI R Entrées se fait par le résultat d'une coïncidence en recouvrement avec décision de multiplicité dans les modules CALI R Multiplicité (cf. chap. II, §-5). Les détecteurs du groupe G2 (réduits au nombre de 15 pour laisser 1 voie d'entrée au "résultat" du groupe G1) sont traités par le module CALI R Entrées. Le module de décision (CALI R décisions ou Le Croy 2372) permet de réaliser la décision globale (groupe G1 et groupe G2). Il faut encore dans ce système mémoriser les voies du groupe G1. Ceci peut être fait en utilisant (avec un retard suffisant : sur chaque voie de l'ordre de 30 ns) les modules suivants:

- 4 modules CALI R Extension Entrées. On a accès au code rapide de toutes les voies de G1.
- 4 modules Le Croy 4532 (ou 8 modules Le Croy 4532 si l'accès au code rapide du groupe G1 est nécessaire).
- 3 modules Le Croy 4448 .Pas d'accès au code rapide de G1.

2.e - Éléments de discussion.

L'exemple que nous avons traité peut être étendu à d'autres types de dispositifs multidétecteurs. Cet exemple montre, qu'avant de choisir une configuration de coïncidence rapide, il est nécessaire de bien analyser les fonctions à réaliser et tout particulièrement la fonction de déclenchement. Il montre également que, dans certaines configurations, il peut être avantageux d'utiliser des modules de la famille ECL line

Le Croy. Dans ce dernier cas, on a intérêt à utiliser les modules CALI dans leur version CAMAC (famille CALI 6).

3. SYSTEME DE DECLENCHEMENT DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL AUPRES DU SPECTROMETRE SPES 3

3. a - Dispositif expérimental

Le spectromètre SPES 3 construit au Laboratoire National Saturne est un spectromètre à grand angle (10^{-2} sr) couvrant une bande en quantité de mouvement allant de 0.6 à 1.4 GeV/c. Le système de détection, étudié pour pouvoir supporter des flux de 10^7 particules par seconde, couvre une surface voisine de 20 m². Il est composé (Figure 38) :

- d'une chambre à dérive de "type M.I.T.", placée sur la focale et comprenant 370 fils d'anode espacés de 6 mm. Cette chambre doit donner les informations suivantes : angle de la trajectoire et intersection de celle-ci avec la focale.
- de deux chambres à dérive de "type CERN" (dimensions 2500 x 410 mm) comprenant chacune trois compteurs x et (u.v) ($\pm 15^\circ$) pour les informations verticales et les levées de doute.
- un système de déclenchement (placé dans la "zone d'analyse des particules") composé actuellement de 4 plans de détecteurs à scintillation.

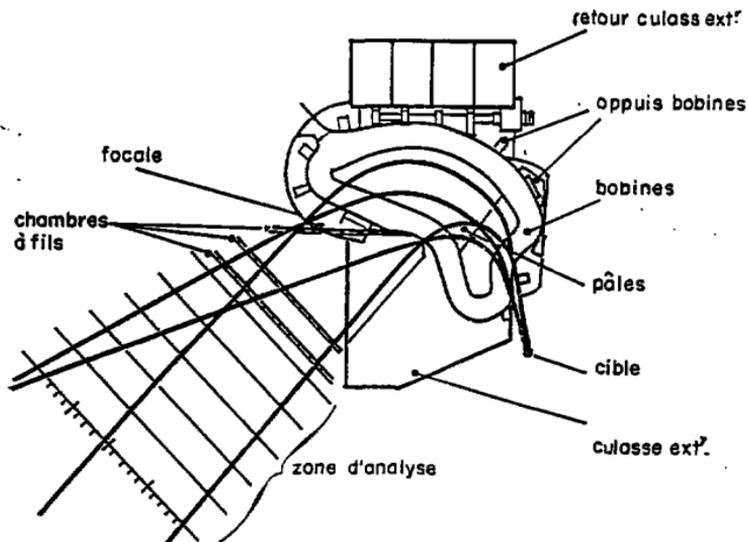


Figure 38 : Dispositif expérimental SPES 3

3. b - Système de déclenchement

Le système de déclenchement (ou "Trigger") est utilisé pour déterminer la nature des particules (π , p, d, t, ^3He ou α) et pour donner une référence aux mesures de temps faites sur les chambres à dérive. Etant donné le flux très élevé de particules (jusqu'à 10^7 par seconde) et les temps de dérive maximum dans les chambres (250 ns dans une cellule de la chambre MIT et 500 ns pour les chambres CERN). Il a fallu développer un système rapide et très sélectif. Nous n'allons pas aborder ici [8] le fonctionnement détaillé de ce système mais simplement résumer les fonctions réalisées avant l'utilisation du dispositif CALI.

Le système de déclenchement (Figure 39) comporte 2 plans A et B de 20 détecteurs à scintillation et 2 plans intermédiaires C et D de 15 détecteurs à scintillation. Lorsqu'une particule traverse cet ensemble, il est possible de l'identifier par :

- temps de vol entre les détecteurs A_i et B_j distante de 3m (Figure 40).
- perte d'énergie dans le détecteur A_i (Figure 41).
- coïncidence quadruple (A_i, B_j, C_m, D_l). Cette coïncidence "assure" un alignement qui diminue le taux d'événements fortuits.
- Les trajectoires issues de l'aimant sont telles que pour une particule traversant un détecteur A_i , il existe au maximum 10 possibilités de détecteurs B_j touchés (ce nombre varie avec le détecteur A_i considéré).

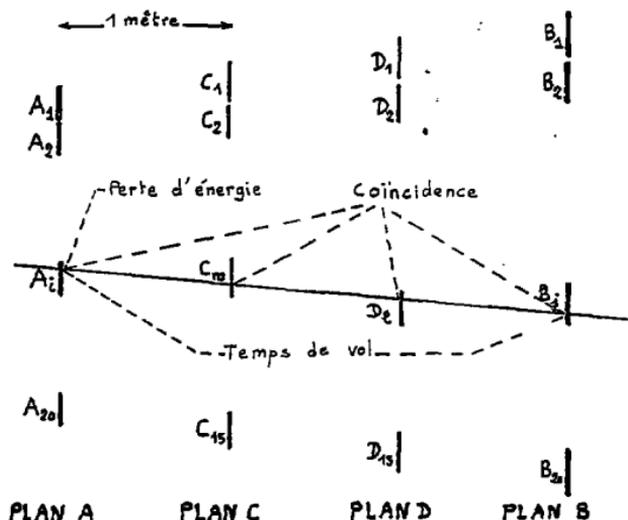


Figure 39 : Détecteurs du système de déclenchement de l'expérience SPES 3 (vue de dessus).

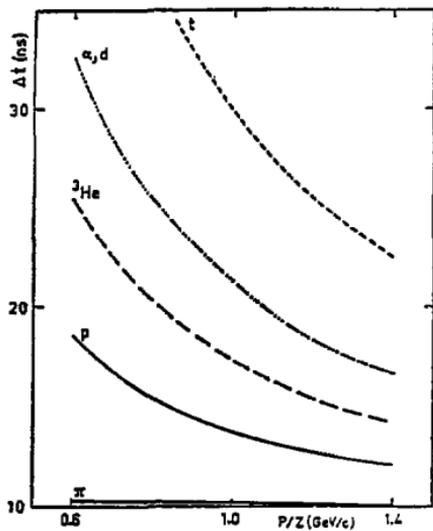
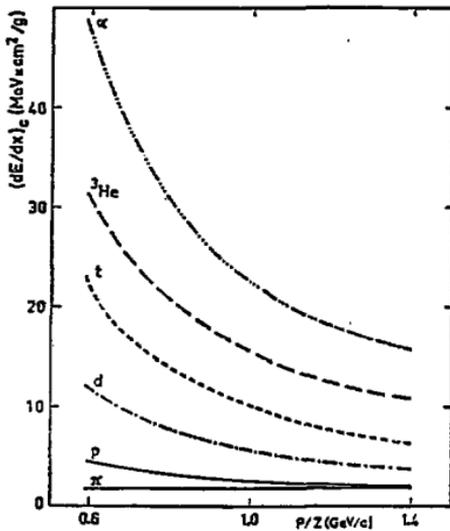


Figure 40 :
Temps de vol entre les détecteurs
 A_1 et B_1 pour différentes particules
pouvant être analysées par Spes 3.

Figure 41 :
Perte d'énergie dans le carbone
pour différentes particules pou-
vant être analysées par Spes 3.



L'identification des particules se fait dans un ensemble de 20 chassis électroniques, les "CHASSIS A_i ", correspondant aux 20 détecteurs A_i du plan A. Lorsqu'un signal a_i associé* au détecteur A_i arrive sur le CHASSIS A_i , il déclenche simultanément :

- p voies de sélection par temps de vol.
Le nombre p correspond au nombre de détecteurs B_j possibles pour la voie A_i considérée. Ces voies "temps de vol" sont des convertisseurs temps-amplitude (en technologie hybride) déclenchés par le signal a_i et arrêtés individuellement par les signaux B_j associés* aux détecteurs B_j . Pour chacune des p voies d'analyse $T(A_i B_j)$, 3 sélecteurs monocanaux rapides $ST_k(A_i B_j)$ (avec $k = 1, 2, 3$) assurent une sélection à 3 niveaux de temps de vol, c'est-à-dire de 3 particules différentes.
- une voie de sélection en énergie.
Le signal a_i déclenche un signal de durée fixe (Porte) pendant lequel les signaux analogiques* de la voie A_i sont "intégrés". On obtient à la fin du signal "porte" une amplitude $E(A_i)$ proportionnelle à la perte d'énergie dans le détecteur A_i . Un système de sélection à 3 niveaux (3 sélecteurs monocanaux rapides) $SE_k(A_i)$ avec $k = 1, 2, 3$ assure une identification (en énergie) des particules.
- 2 fenêtres de coïncidence pour les 2 plans C et D. Pour chaque plan, une logique d'aiguillage permet d'associer le (ou les 2) détecteurs placés sur l'enveloppe des trajectoires du couple $A_i B_j$ considéré.

Pour qu'un CHASSIS A_i délivre une information d'acceptation de l'événement, il faut avoir simultanément :

- un temps de vol acceptable, c'est-à-dire au moins un signal b_j tel que $T(A_i B_j)$ soit dans une "fenêtre de sélection" $ST_k(A_i B_j)$.
- une perte d'énergie acceptable, c'est-à-dire telle que $E(A_i)$ soit dans une fenêtre de sélection $SE_k(A_i)$.
- le même niveau de sélection k pour le temps et l'énergie. Par "même niveau", il faut entendre que si $T(A_i B_j)$ est dans la fenêtre de sélection $ST_k(A_i B_j)$, $E(A_i)$ doit être dans la fenêtre $SE_k(A_i)$ avec la même valeur de k pour $ST_k(A_i B_j)$ et $SE_k(A_i)$.
- un alignement (réalisé par une coïncidence temporelle) des détecteurs des plans A, B, C et D considérés pour la trajectoire $A_i B_j$ sélectionnée.

*Les détecteurs des plans A et B sont composés de lattes de scintillateur avec un photomultiplicateur à chaque extrémité. Les signaux a_i et b_j sont délivrés par un circuit moyenneur de temps qui, à partir de 2 discriminateurs à fraction constante placés sur les 2 photomultiplicateurs associés au même scintillateur, fournit une référence temporelle indépendante de la position de la particule dans le scintillateur. L'analyse en énergie sur les détecteurs A_i se fait par sommation des 2 signaux analogiques issus des 2 photomultiplicateurs associés à la même latte de scintillateur. Quant aux prises de temps sur les détecteurs des plans C et D, elles se font par un simple discriminateur à seuil et un seul photomultiplicateur par scintillateur. Le nombre de photomultiplicateurs dans l'expérience est donc de $2 \times 20 + 15 + 15 + 2 \times 20 = 110$.

Finalement, et en fonction des critères de sélection choisis (les sélecteurs monocanaux sont programmés par un système de chargement informatisé), chaque CHASSIS A_j peut donner 3 signaux F_k^j où l'indice j correspond au chassis et l'indice k représente le niveau de sélection ($k = 1, 2$ ou 3). Les CHASSIS A_j ont un temps de fonctionnement de l'ordre de 130 ns, c'est-à-dire qu'au bout de ce temps ils délivrent un signal F_k^j ou ils génèrent un signal de remise à zéro interne qui libère les fonctions du chassis considéré.

Dans un dispositif expérimental construit autour de 110 photomultiplicateurs et 20 chassis d'électronique (c'est-à-dire environ 400 cartes d'électronique rapide), il faut prévoir un système d'analyse du fonctionnement. Cette fonction est réalisée par un "générateur de lumière multivoies" [9]. Sur chaque photomultiplicateur est placée une diode électroluminescente déclenchée par une impulsion rapide (Temps de montée et largeur $\approx 0,8$ ns). L'amplitude de ces impulsions (et donc la quantité de lumière générée) peut être programmée (0 à 30 volts) ainsi que leur retard (10 à 50 ns) par rapport à une impulsion commune de synchronisation F_G .

Ayant résumé les données essentielles du premier étage de sélection (20 CHASSIS A_j) et de son système de Test associé (générateur de lumière multivoies), on peut aborder maintenant le rôle du dispositif CALI R au sein du système de déclenchement de la détection Spes 3.

3. c - Utilisation du dispositif CALI R

Le dispositif CALI doit assurer une coïncidence suivie d'une décision rapide sur les 60 voies F_k^j ($j = 1$ à 20 et $k = 1, 2$ ou 3) et prendre en considération (marquage) la voie F_{GL} associée au "générateur de lumière". Puisque toutes les voies F_k^j peuvent déclencher le système, il faut utiliser 4 modules CALI R5 Entrées couplés. Quant à la voie F_{GL} , elle s'intègre facilement au dispositif sous la forme d'une voie de type N. D. (Non-déclenchement).

Le dispositif CALI dans la détection Spes 3 est composé de :

- 2 modules Transposeur NIM/ECL (car les voies F_k^j sont dans le standard NIM rapide).
- 4 modules CALI R5 Entrées
- Logique de décision en 2 modules dont 1 module CALI R5 Multiplicité (cf. ci-dessous).
- 2 "Modules RAZ" qui assurent la gestion (RAZ, inhibition) des 20 CHASSIS A_j (10 chassis gérés par module).
- 1 "Module de lecture"

Les trois derniers modules sont spécifiques à l'expérience Spes 3. Le "Module de lecture" permet non seulement de prélever les informations (codes) des 4 CALI R5 Entrées et de la logique de décision, mais également la lecture des informations (mesures de temps et d'énergie) des différents CHASSIS A_j . Ces différentes informations sont transférées par le "Module de lecture" au système d'acquisition de données par un module d'entrées standard en CAMAC. Les "Modules RAZ" assurent la "gestion" des CHASSIS A_j : lorsqu'un signal F_k^j est généré, le chassis correspondant passe en

"Pour faciliter cette "intégration", le signal F_{GL} à l'entrée du CALI R5 Entrées est en fait composé d'un train d'impulsions de période 8 ns pendant une durée de 100 ns. Ceci permet d'éviter un ajustage délicat du signal F_{GL} dans la fenêtre de coïncidence T (= 12 ns).

"temps mort" et attend le résultat du dispositif CALI. Si ce dernier ne génère pas de signal OPA (rejet de l'événement), le Module RAZ génère une remise à zéro qui libère le CHASSIS A_j considéré. Par contre, si le dispositif CALI retient l'événement, il y a inhibition des chassis A_j (blocage de leur entrée) et création d'un signal T (A_j) en phase avec F_k^1 (et donc avec a_j). Ces signaux T (A_j) permettent de réaliser des mesures de temps pour d'éventuelles corrections dans les chambres CERN. En fin du cycle d'acquisition de données, le dispositif CALI (toujours par l'intermédiaire des Modules RAZ) libère les CHASSIS A_j .

Hormis les fonctions particulières réalisées par les 2 modules RAZ et le Module de lecture, le fonctionnement du dispositif CALI suit les principes exposés aux chapitres précédents de notre étude : lorsque le système est libre, le premier signal F_k^1 déclenche les modules CALI R5 Entrées et les autres informations éventuelles (F_k^1 et F_{GL}) sont mémorisées. On obtient donc au bout du temps de coïncidence^a un code à 61 bits sur lequel une décision rapide doit être prise.

Pour analyser la fonction de décision, nous allons d'abord considérer un exemple : l'étude des résonances baryoniques Δ^+ dans la réaction $p + {}^3\text{He}$. La désexcitation de ces résonances peut se faire en différents modes, c'est-à-dire en différentes particules à sélectionner :

${}^3\text{He}$, ou pd (proton et deuton), ou pp (2 protons)

Si on associe au proton (p) le niveau de sélection $k = 1$, au deuton (d), le niveau $k = 2$ et à l'hélium 3 (${}^3\text{He}$) le niveau $k = 3$, la logique de décision doit être :

$$L = F_3^x + F_1^x \cdot F_2^y + F_1^x \cdot F_1^y \text{ avec } x = y = 1 \text{ à } 20 \text{ (} x \neq y \text{)}$$

Cet exemple permet de comprendre le rôle important des niveaux de sélection ($k = 1, 2$ ou 3), et il oriente le choix des fonctions à réaliser dans la logique de décision.

^aLe temps de coïncidence entre les voies F_k^1 est de l'ordre de 50 ns, ce qui donne une valeur de T voisine de 12 ns puisque les voies F_k^1 sont toutes de type D.

Nous pouvons maintenant généraliser les fonctions à réaliser en considérant qu'un événement a nécessairement la structure logique suivante* :

$$L_e = \prod_l [F_1^x]^l \cdot \prod_m [F_2^y]^m \cdot [F_3^z]^n$$

$$\begin{aligned} \text{où } l &= 0 \text{ à } 4 \\ m &= 0 \text{ à } 3 \\ n &= 0 \text{ ou } 1 \end{aligned}$$

$[F_k]^0$ signifie que le niveau de sélection k n'est pas considéré

$x = y = z = 1$ à 20 (indice l du CHASSIS A₁)
avec $x \neq y \neq z$ lorsque $l, m, n \neq 0$

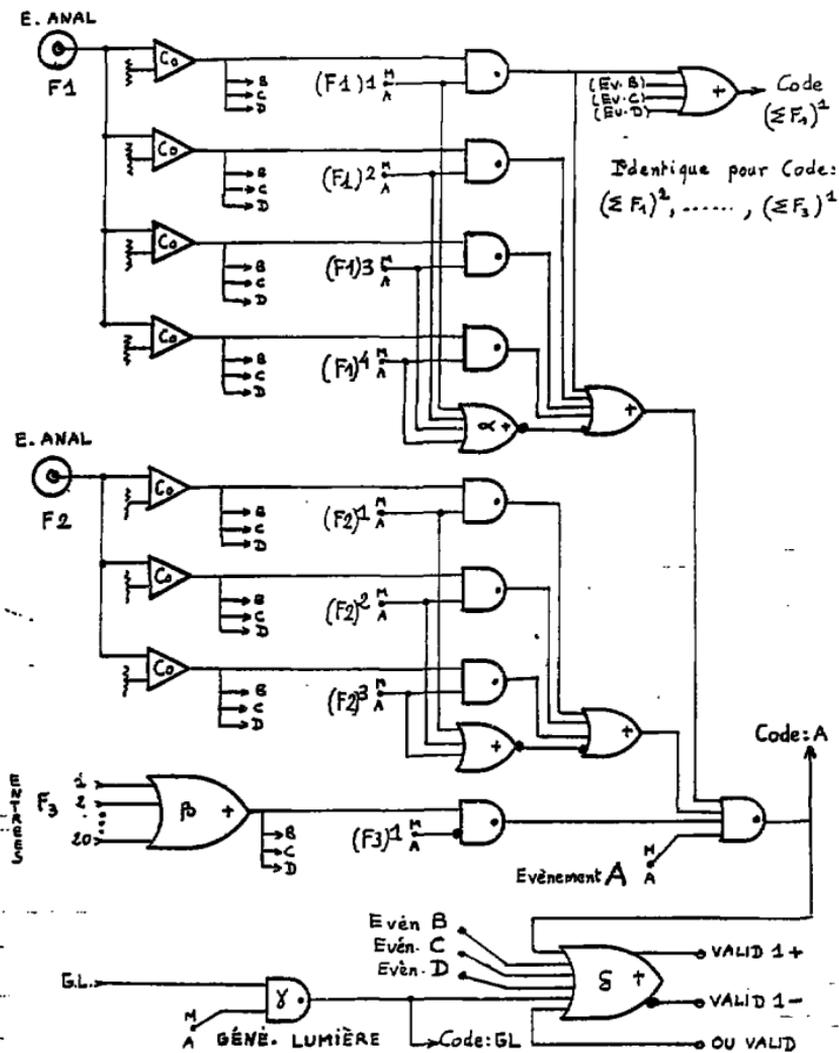
Au cours de la même expérience, on peut s'intéresser à différents événements et donc à différents L_e . Nous avons choisi de limiter ce nombre à 4, d'où la logique de décision suivante :

$$L = \sum_{e=1 \text{ à } 4} L_e \text{ (différents)} + F_{GL}$$

où F_{GL} est le bit de code associé au générateur de lumière*.

Ayant défini la logique de décision, il faut maintenant la réaliser avec des modules électroniques. Pour les voies F_1^x et F_2^y , il faut une décision de multiplicité jusqu'à l'ordre 4 ($l = 0$ à 4) ou 3 ($m = 0$ à 3). Ceci peut être réalisé avec les 2 fonctions disponibles dans le module CALI R5 Multiplicité. Le code des voies F_1^x (20 bits) sur un groupe de multiplicité (32 voies disponibles) et les 20 bits de code des voies F_2^y sur l'autre groupe (figure 42). La nécessité de programmer des niveaux différents conduit à ne pas utiliser les sélections internes (Roue codeuse et BUS COUPLE) du CALI R5 Multiplicité, mais uniquement les sorties ANAL. Ces sorties ANAL 1 (pour le groupe F_1^x) et ANAL 2 (pour le groupe F_2^y) sont envoyées dans un module développé pour l'expérience SPES 3 : le "CALI R5 SPES 3 DECISIONS". Outre ces 2 entrées ANAL, ce module reçoit les 20 bits de code des voies F_3^z et celui de la voie F_{GL} . Pour la voie F_{GL} , la décision à prendre est très simple et se fait par un interrupteur : acceptation (M.) ou rejet (A.) du "générateur de lumière". Une sortie associée à F_{GL} (en NIM rapide) permet de compter sur une échelle le nombre d'acceptation du "générateur de lumière" (par comparaison au nombre de F_{GL} envoyées dans le système, on obtient ainsi une indication du temps mort global de l'expérience). Quant à la sélection sur les "événements réels" de l'expérience, elle se fait par 4 groupes d'événements possibles (A, B, C, D) aux fonctions identiques (Figure 43)

*Dans cet exposé, nous n'avons pas introduit de nouvelles notations pour les voies. Il s'agit évidemment des voies mémorisées (code) dans les CALI R5 Entrées.



Code : A ; B ; C ; D ; GL ; $(\sum F_1)^4$; $(\sum F_1)^3$; $(\sum F_1)^2$; $(\sum F_1)^1$; $(\sum F_2)^4$; $(\sum F_2)^3$; $(\sum F_2)^2$; $(\sum F_2)^1$; $(\sum F_3)^4$

Figure 43 : Fonctions logiques du module CALI R5 SPES 3 Décisions

L'entrée ANAL F1 est suivie de 4 comparateurs rapides SP 9687 (Circuits Co) qui fournissent (pour les 4 événements A, B, C, D) les niveaux de multiplicité 1, 2, 3 et 4. La sélection s'effectue par les 4 interrupteurs $(F_1)^1$, $(F_1)^2$, $(F_1)^3$ et $(F_1)^4$. Un OU (Circuit α) permet d'inhiber le fonctionnement de la sélection sur F_1 (cette fonction correspond à $(F_1)^0$). La sélection sur F_2 se fait comme celle sur F_1 avec 3 interrupteurs : $(F_2)^1$, $(F_2)^2$ et $(F_2)^3$. La sélection sur F_3 ne nécessite qu'un circuit OU à 20 entrées (circuit β). La fonction "générateur de lumière" (GL), se fait par un circuit ET (γ). Le résultat des 4 types d'événements et de la fonction GL se fait dans un OU (circuit δ) relié au BUS COUPLE de manière analogue à tous les modules du groupe de décision CALI R. (Fonctions VALID1+, VALID1- et OU VALID). Les sorties S_Y (pour A, B, C et D) permettent de compter les différents événements retenus qui s'affichent également sur une visualisation à 5 voyants (A, B, C, D et GL).

Le module CALI R5 SPES 3 Décisions fournit également un code (13 bits sur une prise CANON identique à celle des sorties Code des CALI R5 Entrées) qui donne des indications très utiles au système d'acquisition de données.

Le temps de transit total de la logique de décision ne devrait pas excéder 40 ns : ≈ 15 ns pour le CALI R5 Multiplicité + ≈ 20 ns pour le CALI R5 SPES 3 Décisions + ≈ 5 ns de câbles de connexion. Rappelons (cf. fin du § 2b du chapitre II) que l'instant de sortie du signal OPA (en NIM) du CALI R5 Entrées intervient à $T + D + 36$ ns par rapport au signal qui a déclenché le système. A ce temps, il faut ajouter le temps de transit dans le Transposeur NIM/ECL et les câbles de connexion au CALI R5 Entrées (≈ 12 ns), ce qui donne pour l'instant de sortie du signal OPA par rapport aux entrées en NIM :

$$T + 40 + 36 + 12 = T + 88 \text{ ns}$$

Avec la valeur de $T \approx 12$ ns, on obtient une valeur de 100 ns qui compte tenu du temps de fonctionnement des CHASSIS A_1 (≈ 130 ns) est acceptable pour le dispositif expérimental.

Pour illustrer le fonctionnement de la logique de décision du CALI R5 SPES 3 Décisions, considérons à nouveau l'exemple de la sélection dans l'expérience p + ^3He . La programmation des CHASSIS A_1 conduit à l'identification suivante :

p dans le groupe F_1 (k = 1)
d dans le groupe F_2 (k = 2)
 ^3He dans le groupe F_3 (k = 3)

3. d - Eléments de discussion

Si l'on excepte les modules spécifiques (2 modules RAZ et Module de lecture) liés au fonctionnement particulier des CHASSIS A₁, on peut dire que le "deuxième étage" du système de déclenchement de l'expérience SPES 3 peut être réalisé avec 7 modules standards de la famille CALI (2 Transposeurs NIM/ECL, 4 CALI R5 Entrées et 1 CALI R5 Multiplicité) et un module étudié spécialement pour ce système (CALI R5 SPES 3 Décisions). L'utilisation du système CALI au sein du dispositif expérimental SPES 3 montre qu'il ne faut pas reculer devant la construction d'un module spécifique pourvu que celui-ci conduise à une grande souplesse dans la conduite de l'expérience.

D'un point de vue plus général, on peut remarquer que nous avons choisi le standard NIM (Famille CALI 5) associé à un module de conception très simple (Module de lecture) qui assure l'interface avec le système d'acquisition de données en standard CAMAC. Dans les systèmes à grand nombre de voies en coïncidence, cette solution peut être retenue lorsque l'utilisation de modules CAMAC (Modules Le Croy par exemple) n'est pas nécessaire.

C O N C L U S I O N

Commencées à l'été 1982, les études d'un nouveau dispositif à coïncidence de type CALI ont conduit à la réalisation d'un système composé de 6 modules disponibles en standard NIM (famille CALI 5) ou standard CAMAC (famille CALI 6). Les fonctions réalisées peuvent être complétées (ou même, dans certains cas, remplacées) par des modules de la famille ECL line développés par la Société Le Croy (cf. Chap. III).

Avec les dispositifs CALI 5 et CALI 6 (et leurs extensions possibles), on retrouve non seulement les propriétés essentielles des dispositifs précédents, mais on peut également résoudre les problèmes de "coïncidence" dans des expériences de physique nucléaire à grand nombre de détecteurs. (cf. chap. IV).

Actuellement, en mars 1984, il a été réalisé pour des équipes de physiciens de l'IPN d'Orsay, du C. S. N. S. M. d'Orsay, du GANIL de Caen et de l'Université de Mac Gill au Canada, les modules suivants :

- 10 Transposeurs NIM/ECL en standard NIM
- 10 Transposeurs NIM/ECL en standard CAMAC
(Etude à l'IPN d'Orsay. Construction au GANIL pendant le 2ème trimestre 1984)

- 10 CALI R5 Entrées
- 5 CALI R5 Décisions
- 1 CALI R5 Multiplicité

Depuis décembre 1983, les études du module CALI R Extension Entrées sont achevées. L'implantation sur circuit imprimé et les plans de la mécanique sont prêts : ils attendent qu'un groupe de physiciens en demande la réalisation ! Quant au module CALI L5, retardé de trois mois en raison de programmes prioritaires au service d'Electronique de l'IPN d'Orsay, il est actuellement en cours de réalisation et un premier module devrait être disponible pour les expériences de physique en juillet 1984. Dans la mesure où l'étude de ce module est très proche de réalisations antérieures (CALI L4) et étant donnée la technologie utilisée (TTL), on peut penser que le CALI L5 ne posera pas de gros problèmes électroniques lors de sa mise en service.

*Les utilisateurs habitués au CALI 4 auront peut être noté la disparition de la fonction "mesures de temps". Cette fonction annexe (un aiguillage de signaux rapides vers un convertisseur temps/amplitude en fonction du code généré par le CALI R) peut facilement être réalisée dans un module complémentaire puisque les modules CALI R Entrées fournissent une sortie code en 3 ns.

Bien qu'un module CALI R5 Entrées ait été utilisé à Saturne (Expérience Spes 3) dès novembre 1983, on peut véritablement dire que l'utilisation du dispositif CALI R5 a commencé en mars 1984 dans une expérience au Tandem d'Orsay (1 Transposeur NIM/ECL, 1 CALI R5 Entrées et 2 CALI R5 Décisions) et dans les essais de l'expérience Spes 3 à Saturne (2 Transposeurs NIM/ECL et 4 CALI R5 Entrées). Ces expériences se sont déroulées sans difficultés notables et le dispositif CALI R5 peut être considéré comme opérationnel. S'il est trop tôt pour évaluer la fiabilité des nouveaux dispositifs de type CALI, on peut espérer qu'elle ne sera pas inférieure à celle des réalisations antérieures : le système CALI 4 qui date de 1977 est toujours couramment utilisé et, pendant la première année de fonctionnement du GANIL (1983), aucune intervention n'a été nécessaire.

Les dispositifs CALI 5 et CALI 6 échappent maintenant à leur équipe de réalisation. Nous espérons qu'ils entreront dans une longue phase d'utilisation ...

A cette bibliographie sommaire, on peut ajouter les catalogues des constructeurs de circuits intégrés :

Pour les circuits ECL :

- MECL high-speed integrated circuits Motorola Semiconductors, 1978.
- MECL DATA BOOK 1982/83, Motorola Semiconductors, 1982.

Pour les circuits TTL (par exemple) :

- The TTL Data Book for Design Engineers (2 volumes) TEXAS INSTRUMENTS, 1983.

Pour tenir compte des conditions d'édition de ce mémoire, les schémas électroniques ont été réduits (Echelle 1/2). Les originaux peuvent être obtenus auprès du Service d'Électronique Physique de l'IPN d'Orsay:

TRANSPOSEUR NIM/ECL plan n° T 29013
CALI R5 Entrées plan n° C 12030 B
CALI R5 Extension Entrées plan n° C 12030 E
CALI R5 Décisions plan n° C 12030 C
CALI R5 Multiplicité plan n° C 12030 D,
CALI L5 plan n° C 12030 F

RESUME

Le système CALI a pour fonction principale de réaliser des "coïncidences" entre des signaux logiques issus des détecteurs d'une expérience de physique nucléaire. Il permet également une sélection rapide des événements, leur identification par un code associé et la "conversation" de l'expérience avec le système d'acquisition de données.

Ce système est composé de 6 modules (chapitre I et II) disponibles en standard NIM (famille CALI 5) ou CAMAC (famille CALI 6). Le traitement des "coïncidences rapides" se fait par la liaison en bus de modules d'entrées (CALI R Entrées : 16 voies, et CALI R Extension Entrées : 32 voies) et de modules de décision (CALI R Décisions : 16 voies, et CALI R Multiplicité : 32 voies). Les modules CALI L (16 voies) assurent le traitement des "coïncidences lentes".

Les fonctions du système CALI peuvent être complétées par celles de modules ECL line développés par la Société Le Croy (chapitre III). Le chapitre IV décrit quelques applications du système CALI dans des expériences multi-détecteurs (de 16 à 128 voies en coïncidence rapide).

ABSTRACT

In an experimental set up, the main function of the "CALI system" is to achieve "coincidence" between logic channels. This system also provides a fast selection of the events and their identification by a digital word, and the connection to the data acquisition system.