

UNIVERSITE DE LAUSANNE

FACULTE DES SCIENCES

SYSTEME DE DECLENCHEMENT DE DEUXIEME
NIVEAU POUR LA RECHERCHE DE TRACES
CHARGEES, APPLIQUEE AUX PARTICULES Λ ,
DANS LE CADRE DE L'EXPERIENCE UA6 SUR
L'ACCELERATEUR $Spp\bar{S}$ DU CERN

THESE
présentée à la Faculté des Sciences
de l'Université de Lausanne
pour l'obtention du grade de docteur ès sciences

par
JOSE-LOUIS PAGÈS
Ingénieur-Physicien diplômé
de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Lausanne

Mai 1993

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00041344

23 03021

UNIVERSITE DE LAUSANNE

FACULTE DES SCIENCES

SYSTEME DE DECLENCHEMENT DE DEUXIEME
NIVEAU POUR LA RECHERCHE DE TRACES
CHARGEES, APPLIQUEE AUX PARTICULES Λ ,
DANS LE CADRE DE L'EXPERIENCE UA6 SUR
L'ACCELERATEUR $Spp\bar{S}$ DU CERN

THESE

présentée à la Faculté des Sciences
de l'Université de Lausanne
pour l'obtention du grade de docteur ès sciences

par

JOSÈ-LOUIS PAGÈS

Ingénieur-Physicien diplômé
de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Lausanne

Mai 1993

Imprimatur
Université de Lausanne
Faculté des Sciences

Vu le rapport présenté par le jury d'examen, composé de
M. le Prof. Claude JOSEPH, directeur de thèse, M. Robert W. DOBINSON,
M. Aurélio BAY, M. Helmut WENDLER, experts, M. le Prof. Peter VOGEL, président.

le Conseil de Faculté autorise l'impression de la thèse de Monsieur
José-Luis PAGES, ingénieur-physicien diplômé de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

intitulée SYSTEME DE DECLENCHEMENT DE DEUXIEME NIVEAU POUR LA RECHERCHE
DE TRACES CHARGÉES, APPLIQUÉE AUX PARTICULES Λ , DANS LE CADRE DE
L'EXPERIENCE UA6 SUR L'ACCELERATEUR SPS DU CERN.

Lausanne, le 11 mai 1993

pour *Le doyen de la Faculté des Sciences*
Professeur Peter VOGEL

P. Vogel

To my children, my wife and to all those who helped
along this adventure

For Ian, hope you will
enjoy the reading of the
crazy UAs adventure,

Jose

CERT / 10-8-93



Table des Matières

Résumé	1
3. Physique et Technologie	5
3.1. Symbiose	7
3.2. La technologie et ses applications	7
3.3. L'expérience UA6	7
3.3.1. Description du détecteur de UA6	8
3.3.2. Dispositif expérimental	8
Le jet-cible d'amas d'hydrogène moléculaire (<i>jet target</i>)	9
Le spectromètre	10
3.3.3. Les Lambdas [Λ]	10
3.3.4. Mécanismes de production	11
La cinématique du Lambda dans UA6	15
Plots de Poddansky et Armenteros	19
Distribution de Pondrom	20
3.3.5. La finalité de ce travail	20
Mise en évidence des Λ	21
Tentatives précédentes	22
Tentatives de sélection du Λ avec du matériel dédié	22
<i>Sippach's processor</i>	22
<i>P_i trigger</i>	22
FERA	23
Décompte des fils	24
Application d'une technologie originale	24
Orientation du travail	25
4. La Physique des Hautes Energies	27
4.1. Le fondamental et la théorie	29
4.2. Les accélérateurs	29
4.2.1. Contraintes	31
Taux	31
4.3. Détecteurs : principes et réalisation	32
4.3.1. Caractéristiques	32
Courant et champ électriques	34
Mélange gazeux des MWPC de UA6	35
Efficacités	36
4.4. Electronique : Buts et techniques	36
4.4.1. Principes	37
4.4.2. UA6 : Chambres proportionnelles et RMH	37
Formats	39
4.5. Bruit de fond des MWPC	39
4.5.1. Origine de la haute multiplicité	41
4.5.2. Traces fantômes	41
4.5.3. Simulations : Monte Carlo	41
4.5.4. Résultats	42
Conclusions	51
5. Le parallélisme en HEP	53
5.1. Concept	55
5.2. Concepts de déclenchement : <i>Triggers</i>	57
5.2.1. Temps mort	60
5.3. Flots de données	63
5.3.1. L'acquisition des données	63
5.4. Analyse des données	65
5.4.1. Contrôle et analyse en ligne	65
5.5. Le stockage des données	66
5.6. L'analyse des données	66
5.7. Parallélisme et Physique : Structure	66
6. <i>Occam</i> ® et <i>Transputer</i>	71
6.1. Concurrence et Parallélisme	73
6.2. Classification du parallélisme	73
6.2.1. Classes d'architecture	73
Architecture séquentielle : <i>SISD</i>	74
Architecture vectorielle : <i>SIMD</i>	74
Architecture duale : <i>MISD</i>	74
Architecture à multi-processeurs : <i>MIMD</i>	74

6.3. Type de réseaux	75
6.4. Matériel et Technologie	75
6.5. Logiciel	75
6.5.1. "Lois" du parallélisme	75
Conjecture d'efficience	75
Conjecture de Minsky	76
Loi d'Amdahl	76
6.6. <i>Transputer</i>	78
6.6.1. Architecture	79
6.6.2. Défauts et nouvelles évolutions	79
6.6.3. Temps réel	80
6.6.4. Performances	81
6.7. Le langage <i>Occam®</i>	81
<i>Occam®</i>	83
6.7.2. Parallélisme	83
6.7.3. Système de développement	84
Logiciel	84
Matériel	85
7. <i>Transputers</i> et UA6	87
7.1. Liens avec UA6	89
7.1.1. Contraintes	89
7.1.2. Essai de parallélisation	90
Simplicité	91
Organisation	91
Structure d'acquisition	92
Modes de fonctionnement	94
Mode d'acquisition	94
Mode <i>Trigger</i>	94
7.1.3. Développement	94
<i>Prétrigger</i> : <i>PADS</i>	95
Scintillateurs	98
7.1.4. La logique rapide de déclenchement	101
7.1.5. Structure de la logique d'initialisation (<i>resets</i>)	106
7.1.6. L'électronique : PCA et NSE	107
PCA	107
NSE	109
Système de contrôle	112
Code du PCA	113
Code du NSE	114
Protocoles	115
Performances	116
7.2. Fonctionnalités	117
8. Analyse en temps réel	119
8.1. La philosophie et la justification de l'approche choisie	121
8.2. Organisation : schémas blocs	123
8.2.1. Les algorithmes	123
Codage de l'algorithme	126
Paramètres de sélection	128
Analyse dédiée aux Λ	129
Multiplexage	130
8.2.2. Les réseaux	130
Le réseau d'analyse	130
Le réseau de surveillance	133
Structure de débogage	133
Arrêts et réinitialisation de l'analyse	134
8.3. Structure de <i>replay</i> des événements et de Monte Carlo	135
8.4. Les performances	137
8.4.1. Modélisation du réseau d'analyse	138
9. Données acquises avec le <i>trigger</i>	149
9.1. L'analyse des événements de biais minimum	151
9.2. La détermination des Vertex	153
9.3. Les coupures	153
9.4. La masse effective	155
9.5. Les conditions expérimentales : Multiplicités	156
9.6. La structure des événements	158
9.6.1. Alignement des Chambres	159
9.6.2. Recherche des Λ dans les données expérimentales	159

9.7. Comportement des réseaux d'acquisition et d'analyse	159
9.7.1. Comportement de l'acquisition	160
9.7.2. Mesures préliminaires du réseau d'analyse	160
Données brutes du <i>prétrigger</i>	161
Données filtrées par le NSE	162
Données passant par le réseau	163
9.7.3. Physique des Λ	167
Sélection	170
Efficacité de sélection du <i>pretrigger</i> Λ	170
Taux	171
Qualité du <i>Trigger</i>	171
Analyse préliminaire : Λ	171
Analyse Λ	173
Sélection du réseau <i>Transputers</i>	177
Résumé	179
Luminosité et section efficace	179
Conclusions	181
10. Evaluation du système	183
10.1. Problèmes	185
10.1.1. <i>Hardware</i>	185
10.1.2. <i>Software</i>	186
10.1.3. Cohérence interne du système	188
10.2. Avantages de la solution parallèle	190
10.2.1. Solution séquentielle vs solution parallèle	190
10.2.2. Fiabilité	192
10.2.3. Nouvelles options possibles	192
Autres processeurs que les <i>Transputers</i> ?	193
Flot dynamique de données	193
10.3. Dualité <i>Off-line</i> et <i>On-line</i>	193
10.3.1. Physique en temps réel : Base de données	194
11. Perspectives	197
11.1. Nouveaux Processeurs	199
11.1.1. Le T9000	200
Les communications	200
11.2. Le GP-MIMD	202
11.2.1. GP-MIMD : La machine	203
11.2.2. Le logiciel	203
UNIX	204
Le noyau mono-processeur et l'environnement	204
11.2.3. Les applications	205
11.3. Le GEST 9000	206
11.3.1. Description du GEST 9000	206
12. Conclusions	209
12.1. Tau Charm Factory	210
13. Glossaire	211
14. Termes anglais	215
15. Abréviations	219
16. Appendices	223
A Cinématique	223
B Vérification d'Analyse	224
C Mesures des <i>Timings</i> des associations sur un processeur	228
D. Introduction au Langage Occam®	231
Actions	232
Concurrence	232
Séquences	233
Temps	233
Sélection et décomposition	233
Décomposition	234
Structures	234
Déclarations	235
E. Valeurs pour les pavés scintillateurs	236

17. Remerciements	237
18. Curriculum Vitæ	239
19. Bibliographie	241
20. Addenda techniques	243
NSE I <i>New System Encoder module</i>	243
Front Panel signals	243
Fast logic	243
Control logic	244
List of used CAMAC functions	244
Electronics schematics NSE	244
PCA board technical description	252
20.2.1. Electronics schematics PCA	252
20.3. Le programme de <i>monitoring</i>	265
20.4. Les stations de travail	266
20.5. Mesures sur le réseau (simulation)	266
20.6. <i>Listings</i>	266

Résumé

Le développement d'un système parallèle dédié à la recherche de traces de particules élémentaires chargées, dans l'expérience UA6 au CERN, fait l'objet de cette thèse. Ce système est constitué d'un réseau de processeurs, les *Transputers*, qui analysent conjointement les données des chambres multifilaires en temps réel. Les possibilités d'interconnexions multiples et la simplicité d'utilisation des *Transputers* font de ceux-ci un élément de base pour la construction d'un système parallèle rapide d'acquisition et de traitement de données. La mise en évidence des particules Λ , produites dans UA6, constitue le but principal de ce travail.

Convention

Afin de faciliter la compréhension de ce mémoire, le lecteur pourra se référer au glossaire pour le vocabulaire technique ainsi qu'à la liste de termes anglais.

L'utilisation des termes en anglais est très fréquente dans les domaines qui nous occupent. Dans la mesure du possible, nous avons préféré utiliser les termes français correspondants. Néanmoins, si les mots traduits ne sont pas très usuels, ou ne recouvrent pas la même signification, le terme anglais technique a été adopté (en *italique* dans le texte).

Note

A french glossary can be found at the end of the present work as well as a list of the used abbreviations.

Ein französisches Glossarium, Tabellen für Abkürzungen und für englische Ausdrücke befinden sich am Ende der Arbeit.

Un glossario francese, le abbreviazione e i termini inglese si trovano alla fine di questo documento.

Un glosario francés, un cuadro con las abreviaturas y una relación de términos en lengua inglesa se encuentran encartados al final de este trabajo.

Un glossaire, un tableau des abréviations et une liste de termes anglais se trouvent à la fin de ce travail.

3. Physique et Technologie

Physics and Technology :

An introduction to the role of technology in Physics is given as well as an overview of the CERN experiment UA6, focusing on charged particles tracking.

Hier wird eine Einführung zur Technologie der Physik präsentiert und damit in das UA6 CERN Experiment, mit einer genaueren Beschreibung von den Bahnen der geladenen Teilchen.

Physik und Technologie :

Eine Einführung in die Bedeutung der Technologie in der Hochenergiephysik wird präsentiert mit einem Ueberblick über das CERN Experiment UA6, speziell mit einer genaueren Beschreibung der Bahnen von geladenen Teilchen.

Fisica e Tecnologia :

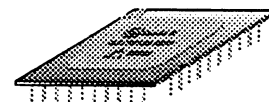
Una introduzione sull'importanza della tecnologia in Fisica delle alte energie, con piu dettagli per l'esperimento UA6 al CERN soprattutto monstrando le traiettorie delle particelle caricate.

Física y Tecnología :

Se comenta el papel de la Tecnología en la Física experimental, con más detalles se introduce el experimento UA6 del CERN describiendo la búsqueda de ciertas trayectorias de partículas cargadas.

Physique et Technologie :

Le rôle de la Technologie en Physique expérimentale est discuté. L'expérience UA6 au CERN est décrite et la recherche des traces de particules chargées abordée.



3.1. Symbiose

La Physique et les développements de la technologie sont, dans l'étude des particules élémentaires, intimement liées. C'est une interaction constante entre les besoins de l'expérimentation en Physique et les nouvelles idées théoriques qui ont fait progresser les connaissances sur la matière.

L'évolution de domaines tels que l'électronique et l'informatique s'est souvent basée sur les réalisations qui ont été rendues nécessaires pour la mise au point d'expériences en Physique Nucléaire. Récemment, au contraire, les derniers développements accomplis dans ces domaines ont ouverts de nouvelles perspectives à la recherche fondamentale. Cette situation de symbiose ne peut être que profitable pour les deux parties.

3.2. La technologie et ses applications

Un délai existe entre une découverte et son assimilation rendant possible son application à des situations pratiques. Le perfectionnement et le raffinement des techniques rehausse le degré de technologie, repoussant les limites de l'accessible. Il est frappant de constater à quel point la Physique des Hautes Energies (HEP) a fait appel aux techniques les plus récentes et a provoqué par sa demande incessante de performances la création de nouvelles techniques.

Ce cheminement s'est atténué récemment, dû principalement à une haute spécialisation et une diversification, rendues nécessaires pour la mise en oeuvre de moyens de plus en plus complexes. Actuellement, la HEP est un des utilisateurs privilégiés de nouveautés technologiques développées par l'industrie et les laboratoires spécialisés.

3.3. L'expérience UA6

UA6 est une expérience dite "cible fixe" comprenant un spectromètre magnétique. Elle emploie une cible interne de jets d'agrégats d'hydrogène moléculaire (H_2) interceptant les paquets de protons et d'antiprotons d'impulsion 315 GeV/c circulant dans le $Sp\bar{p}S$ du CERN durant le fonctionnement en mode collisionneur. Dans ces conditions, les collisions se produisent à une énergie dans le centre de masse de $\sqrt{S} = 24.3 GeV$.

La cible interne nous permet d'utiliser les faisceaux de haute intensité d'antiprotons ou de protons du collisionneur^{a)}. Le retournement du spectromètre rend possible l'étude successive des processus physiques, que ce soit dans les interactions pp et $p\bar{p}$, permettant ainsi des comparaisons précises des deux processus grâce à l'utilisation du même environnement expérimental, au niveau de l'appareillage, des détecteurs ou de l'électronique.

a) Dans l'étude des interactions antiproton-proton, cette méthode permet d'atteindre, avec une cible quasi-ponctuelle, une luminosité équivalente à ce qu'un faisceau de protons extrait ne permettrait d'atteindre que pour une cible d'hydrogène liquide d'environ 1 mètre de longueur.

Le programme de physique de UA6 comprend les domaines suivants (Table 1) :

• la production de π^0 , η et de γ directs
• la diffusion élastique à petits angles dans la région d'interférence coulombienne-nucléaire
• la production de paires e^+e^- à grande masse ($> 2.8 \text{ GeV}/c^2$)

Table 1

Dans la proposition d'expérience de UA6 [1], l'étude de la production de particules Λ était au programme. Le présent travail de thèse décrit l'une des tentatives pour leur mise en évidence. En particulier, la méthode originale ouvre de nouvelles perspectives pour d'autres applications et expériences.

3.3.1. Description du détecteur de UA6

Le spectromètre magnétique de UA6 permet de déterminer la quantité de mouvement \vec{p} des particules chargées qui le traversent avec un résolution $\sigma_p = 1.44 \cdot 10^{-3} [\text{GeV}]^{-1} \cdot p^2$.

Les MWPC nous permettent de localiser la trajectoire d'une particule chargée (*tracking*) dans un certain nombre de plans situés avant et après l'aimant. Grâce à la relation $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ on détermine l'impulsion. Le signe de la charge dépend de la direction de déflexion dans l'aimant. Le champ magnétique \vec{B} de UA6 est vertical.

L'information du calorimètre électromagnétique donne, pour des électrons, l'énergie de la particule E. Si la particule n'est pas chargée, comme un γ , seule son énergie nous est fournie par le calorimètre. Les particules de type hadronique ne sont en général pas détectées dans notre calorimètre (pas de calorimètre hadronique [2]). Finalement, le détecteur à transition de radiation (TRD) permet un certain degré d'identification du type de particules (séparation des e^- / π^-).

3.3.2. Dispositif expérimental

L'appareil expérimental de UA6 est situé dans une section droite du collisionneur du $S\bar{p}\bar{p}S$ au CERN, à environ 120 m de UA1. Le seul travail de génie civil nécessaire dans le tunnel du $S\bar{p}\bar{p}S$ a été le perçage d'un puits vertical de 25 m pour le passage des câbles et d'une niche pour les systèmes de contrôle de gaz et les panneaux des câbles.

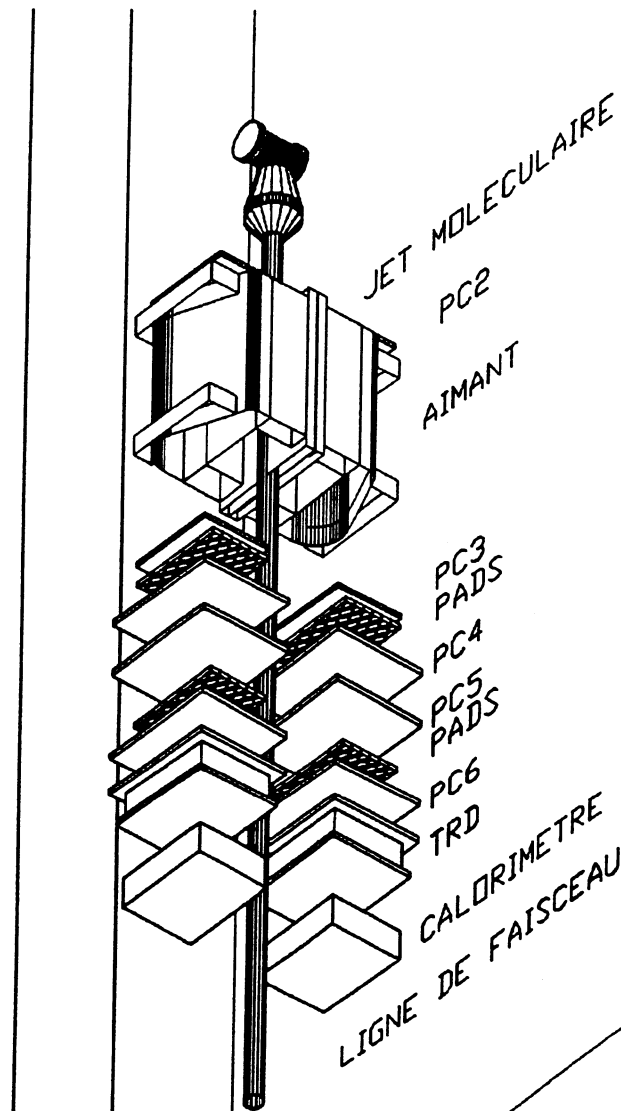


Fig. 1 : Spectromètre de UA6 dans le tunnel du $Sp\bar{p}S$, longueur totale de l'ensemble 12 m
(l'axe du montage expérimental est situé en position horizontale).

Le jet-cible d'amas d'hydrogène moléculaire (*jet target*)

Le *jet target* [3] est formé par des amas de H_2 purs d'environ 10^5 molécules fournissant une densité maximum de $4 \cdot 10^{14}$ atomes par cm^3 . Les avantages pour l'utilisateur d'un tel jet sont multiples :

- il peut fonctionner en mode parasite durant le fonctionnement du $Sp\bar{p}S$ en mode collisionneur permettant la conduite de l'expérience, en restant invisible pour l'accélérateur et les expériences, sans perturbation notable du faisceau.

- la faible densité de la cible [$< 10^{-5}$] garantit que la probabilité d'interactions secondaires dans la cible soit nulle; il est possible de mesurer avec une jonction au Silicium le proton de recul au voisinage de 90° , ce qui permet une mesure de la luminosité

- la taille effective de la cible, donnée par les dimensions du jet (0.8 cm de long par 0.3 cm de large) et la hauteur du faisceau (0.3 cm), est petite facilitant la reconstruction des chargés en donnant un point de pivot pour l'origine des traces des particules chargées, tels que les électrons et indirectement des *prompt* photons

- les effets nucléaires dépendant de A (nombre atomique) ne sont pas présents avec la cible d'hydrogène, simplifiant ainsi l'interprétation des résultats

- il permet une comparaison directe des réactions $p-p$ et $p-\bar{p}$

- la densité de la cible est réglable, permettant d'ajuster la luminosité au besoins de l'expérience et au fonctionnement de l'accélérateur

- la luminosité est grande due aux multiples passages du faisceau (~263 kHz) à travers la cible; avec le jet à l'intensité maximum et $6 \cdot 10^{11}$ protons ($3 \cdot 10^{11}$ antiprotons respectivement) dans la machine, la luminosité est de $8.4 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($4.2 \cdot 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Le spectromètre

La cible est suivie par un spectromètre à double bras, un placé en-dessus et l'autre en-dessous du conduit (*pipe*) contenant le faisceau du SPS. Les deux bras sont identiques, équipés de MWPC devant et derrière un aimant dipolaire de 2.4 m de long, un calorimètre électromagnétique formé par un empilement de sandwiches, formés de couches de plomb et de tubes proportionnels remplis de gaz pour échantillonnage, et enfin d'un détecteur à radiations de transition.

L'*acceptance* de chaque bras couvre des angles allant de 20 à 120 mrad pour l'angle polaire et de 75° pour l'angle azimutal, pour un flux intégré de 1.8 sr. Le flux magnétique des deux aimants dipolaires est largement dirigé autour du *pipe* par l'effet d'une pièce en fer séparant l'entrefer de l'aimant en deux parties. La petite déflexion magnétique, résultant du champ résiduel, subie par les paquets de protons et d'antiprotons est compensée par deux petits aimants dipolaires de correction aux deux extrémités de la zone expérimentale.

3.3.3. Les Lambdas [Λ]

La Table 2 fournit l'ensemble des propriétés de la particule Lambda qui vont être utilisées pour sa recherche dans le cadre de l'expérience UA6.

Etrangeté -1 BARYONS [$\Lambda = uds$]					
Particule Hypéron	$I(J^P)$	Masse (MeV/c ²)	Durée de vie moyenne τ (sec), $c \tau$ (cm)	Désintégrations les plus importantes	p (MeV/c)
Λ	$0(\frac{1}{2}^+)$	1115.63	2.631×10^{-10}	$p \pi^- : 64.1\%$	101
			$c \tau = 7.89$	$n \pi^0 : 35.7\%$	104

Table 2 (Particle Data Group 1992)

- où
- c vitesse de la lumière
 - p impulsion dans le référentiel du centre de masse

3.3.4. Mécanismes de production

Les Λ sont des baryons étranges produits dans les collisions de haute énergie par l'interaction forte. Leur désintégration implique un changement d'étrangeté et relève de l'interaction faible, ce qui explique leur relative longue durée de vie. Le pion peut être décrit comme un vecteur de force entre les constituants d'un noyau [4].

L'ensemble des particules (mésons, nucléons et leurs états excités) qui possèdent une interaction forte forment le groupe des hadrons. La grande diversité de hadrons fait douter de leur nature élémentaire et il est communément admis qu'ils sont formés de Quarks. Leur liaison à l'intérieur de hadrons résulte de l'échange d'un boson vecteur de spin 1, le Gluon. Le Gluon a un spin entier de 1 et peut être considéré comme le vecteur des forces nucléaires.

Historiquement, le Λ est apparu comme un baryon^(a) "étrange" vu son comportement [5], et pour le décrire, il a fallu introduire un nouveau nombre quantique, conservé pour les interactions électromagnétiques et fortes, mais pas pour les interactions faibles : l'étrangeté S . Les particules étranges appartiennent à deux familles :

- hypérons : leur désintégration conduit directement ou indirectement à un nucléon accompagné de mésons π ou de leptons $[e, \mu, \nu]$.
- mésons étranges : leur désintégration conduit directement ou indirectement à des mésons, des photons ou des leptons.

a) Et le K_s^0 aussi.

Aucune exception à cette règle n'a été constatée. Les Baryons ont un spin demi-entier ($1/2, 3/2, 5/2$). Ils ne peuvent disparaître au cours d'une réaction; un baryon peut par contre se transformer en un autre baryon de la famille. Ce fait expérimental s'exprime par la conservation du nombre baryonique B :

• B : nombre baryonique

$B = 1$ pour les baryons

$B = 0$ pour les autres particules

$B = -1$ pour les antibaryons

Les antibaryons, tels que $\bar{\Lambda}$, \bar{p} , ont la même masse que les baryons correspondants Λ , p , mais la charge et le moment magnétique sont opposés. Afin de réduire la grande multiplicité de baryons, plusieurs formalismes ont été introduits comme l'Isospin^(a) et le concept de *Quark* (ou partons). Les Quarks sont les blocs de construction élémentaires des mésons et des baryons. Les différents quarks doivent avoir les propriétés suivantes :

- un spin demi-entier afin de décrire les baryons, particules ayant un spin demi-entier
- un isospin demi-entier afin de décrire tous les isospins existants

Seuls les Quarks de la première génération (u, d) n'ont pas un isospin $I_3(S) = 0$. Un nucléon a un spin $1/2$ comme les quarks, donc ils ne peuvent être formés que d'un nombre impair de constituants, et cela fixe le nombre baryonique du quark à $B = 1/3$. Pour les antinucléons, il vient par symétrie $B = -1/3$ et des charges opposées. La charge du nucléon est la somme des charges (fractionnaires) des Quarks. Ces quelques contraintes définissent les quarks u "up" et d "down". Mais cela ne suffit pas pour la description du Λ qui a une étrangeté $S = -1$. Avec l'étrangeté $S = 0$, il est possible de former le proton, le neutron, les pions, les Δ . On introduit le quark s "strange" avec $S = -1$. Avec ces trois éléments, de nouvelles possibilités s'ouvrent :

- $p = (uud)$, $n = (udd)$, $\Lambda = (uds)$

Ayant expérimentalement $Q(\Lambda) = 0$, la somme des charges des quarks le constituant, $Q_u + Q_d + Q_s$, donne la charge du quark s égale à $Q_s = -1/3$. Le Λ a un isospin $I = 0$. La combinaison (ud) ayant un isospin entier (0 ou 1), il s'en suit que l'Isospin de s doit être 0 ou 1. Mais comme les états de charge qui devraient être produits à partir d'un quark s avec Isospin 1 ne sont pas observés, ceci force son Isospin à zéro. De manière analogue, on introduit encore le quark charmé c et le quark bottom b (bas). Un résumé de toutes ces propriétés est donné dans le tableau des Quarks (Table 3) :

a) E. Lohrmann, Hochenergiephysik, p. 62, Teubner Studienbücher, 1981.

Quarks	spin	B	I	I_3	C	S	B^*	Q
u	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	0	$Q_u = \frac{2}{3}$
d	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0	0	$Q_d = -\frac{1}{3}$
c	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0	0	1	0	0	$\frac{2}{3}$
s	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0	0	0	-1	0	$-\frac{1}{3}$
b	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0	0	0	0	-1	$-\frac{1}{3}$

Table 3

avec les symboles :

- C, charme
- I_3 , 3^{ème} composante de l'isospin
- Q, charge
- I, isospin
- B, nombre baryonique

Toujours par symétrie, il est possible d'introduire les anti-quarks avec leurs propriétés (Table 4) :

Quarks	S	C	I	I_3	B	Q
\bar{u}	0	0	1/2	-1/2	-1/3	$Q_{\bar{u}} = -Q_u$
\bar{d}	0	0	1/2	1/2	-1/3	$Q_{\bar{d}} = -Q_d$

Table 4

Il est possible de déterminer les masses des divers quarks considérés. Nous allons brièvement décrire les modèles des quarks des baryons. A partir des trois quarks u s d, 10 combinaisons différentes sont possibles avec $J^P = \frac{3}{2}^+$:

0) uds	1) uus	2) uuu	3) dds	4) ddd
5) dss	6) duu	7) ddu	8) sss	9) uss

Table 5

Elles forment le décuplet $SU_3^{(a)}$.

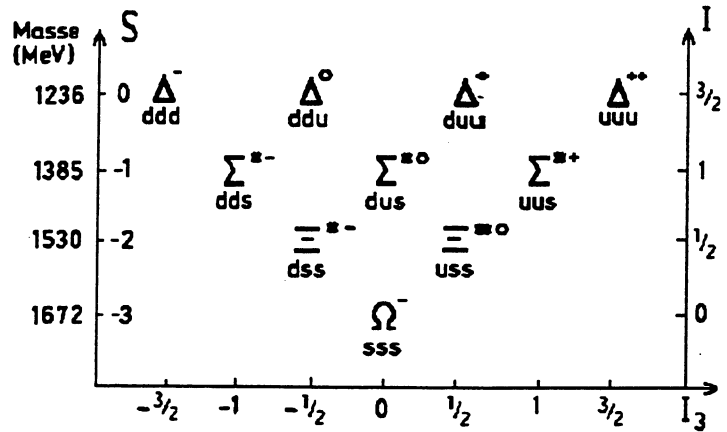


Fig. 2 : Particules constituant les baryons du décuplet SU_3 (S est l'étrangeté et I est l'isospin).

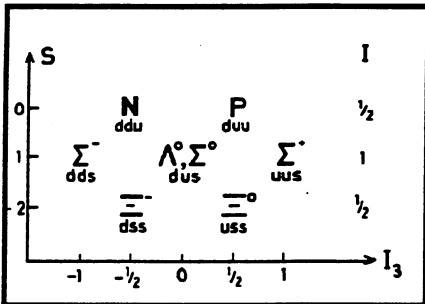


Fig. 3 : Représentation de l'octet baryonique.

Une autre combinaison des quarks donne des baryons de plus petite masse. Au nombre de 8, elles forment l'octet baryonique avec $J^P = \frac{1}{2}^+$ et le moment magnétique $l = 0$.

Pour des raisons de cohérence interne de la théorie, il est nécessaire d'attribuer aux quarks une propriété, un nombre quantique^(b) supplémentaire en fait, appelée "couleur". La charge de couleur est la source du champ de force responsable de l'interaction entre partons. Voici les couleurs:

- r = rouge (*red*)
- g = vert (*green*)
- b = bleu (*blue*)

et leurs anticouleurs [6] : $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$. Le Λ devient alors une combinaison linéaire :

Eq. (1):

$$\begin{vmatrix} u_r u_g u_b \\ d_r d_g d_b \\ s_r s_g s_b \end{vmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{6}}$$

a) Schiff, Quantum Mechanics, p.235, McGraw Hill (1955)

b) Les nucléons doivent suivre la statistique de Fermi et posséder une fonction d'onde antisymétrique.

qui s'exprime ainsi :

$$\text{Eq. (2):} \quad u_r \cdot [d_g s_b - s_g d_b] - u_g \cdot [d_r s_b - s_r d_b] - u_b \cdot [d_r s_g - s_r d_g]$$

Ce thème est traité par la *QCD* - ChromoDynamique Quantique (en analogie avec la *QED*, l'ElectroDynamique Quantique). La théorie contient 8 particules-vecteurs neutres de masse nulle, comme quanta du champs (le photon est le quantum du champs pour la *QED*). Ce sont les gluons, liés aux 8 générateurs du groupe SU_3 . D'autres travaux de thèse [7] [8] dans l'expérience UA6 ont abordé l'impact des mesures quantitatives de section efficace sur la *QCD*. En particulier, la mesure des fonctions de structure du gluon à travers l'analyse de nos données pour la production de photons directs.

Le but dans la mesure de la section efficace de production des Λ à UA6 est d'étudier la dépendance en énergie de leur asymétrie (gauche-droite) et de leur polarisation dans la région de fragmentation de la cible. A travers les modèles de *QCD*, aucune ou très peu d'explications sont données sur l'origine du spin. Nos mesures permettraient de formuler de nouvelles hypothèses sur son origine et sur le porteur de cette propriété. L'utilisation d'un faisceau polarisé de protons accentueraient les effets à mesurer.

A quoi devrait ressembler un Λ dans UA6? Quels sont donc les paramètres qui le caractérisent? Toute réponse au niveau expérimental passe par la connaissance de la cinématique.

La cinématique du Lambda dans UA6

Nous allons calculer les paramètres de désintégration du $\Lambda \rightarrow p \pi^-$ dans UA6. Il faut tenir compte des caractéristiques géométriques de l'appareillage. Le point où le Λ se désintègre s'appelle le vertex (V_x).

Dans le référentiel du laboratoire, les relations suivantes s'obtiennent pour la désintégration d'un Λ en $p\pi^-$ (collision en $pp, p\bar{p}$) où Θ est l'angle entre les vecteurs impulsions du proton et du pion :

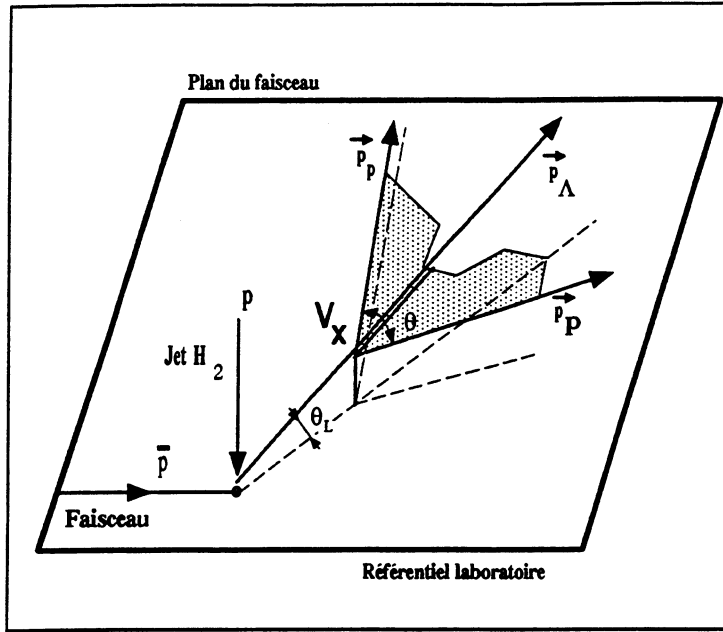


Fig. 4 : V_x est le vertex de désintégration du Λ vu dans le laboratoire. θ_L se mesure par rapport au plan du faisceau.

Eq. (3):
$$\cos \theta = \frac{(m_\Lambda^2 - (m_p^2 + m_x^2) - 2E_p E_x)}{-2p_x p_p}$$

La conservation de l'impulsion s'écrit $\vec{P}_p + \vec{P}_x = \vec{P}_\Lambda$. La représentation de l'interaction dans le référentiel du centre de masse proton (jet) - antiproton apparaît sur la figure 5 :

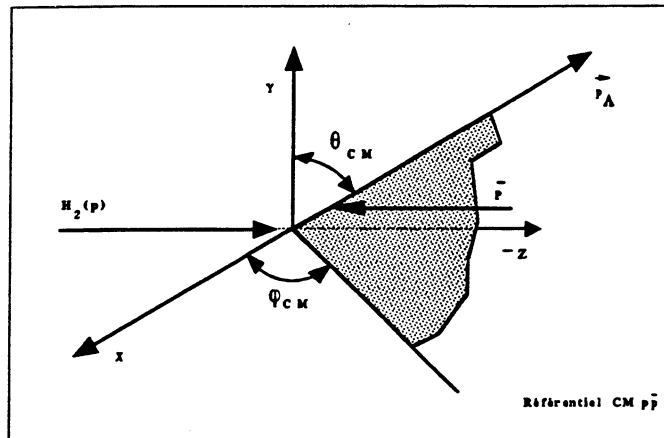


Fig. 5 : Vue dans le référentiel du centre de masse du Λ produit par l'interaction du faisceau et de la cible d'hydrogène (UA6).

Avec $p\bar{p} \rightarrow \Lambda + X$, $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$, et les relations de cinématique relativistes nous pouvons déduire les différentes valeurs nécessaires à la modélisation de la désintégration du Λ ^(a). L'énergie disponible au centre de masse au point d'interaction $p\bar{p}$ est de $\sqrt{S} = 24.3 \text{ GeV}$. Puis le Λ se désintègre en p et π^- . Les paramètres et valeurs suivants sont applicables :

$$\begin{aligned} \text{Eq. (4):} \quad m_\Lambda &= 1115.6 \text{ MeV}/c^2 & P_\Lambda &= (0, E_\Lambda, -M_\Lambda) \\ m_p &= 938.2796 \text{ MeV}/c^2 & P_p &= (\vec{P}_p, E_p) \\ m_{\pi^-} &= 139.57 \text{ MeV}/c^2 & P_{\pi^-} &= (\vec{P}_{\pi^-}, E_{\pi^-}) \end{aligned}$$

et le rapport des masses ^(b) :

$$\text{Eq. (5):} \quad m_p/m_{\pi^-} = 6.723$$

$$\text{Eq. (6):} \quad \left(m_\Lambda / \{ m_p + m_{\pi^-} \} \right) = (1115.6 / 938.2796 + 139.57) = 1.035$$

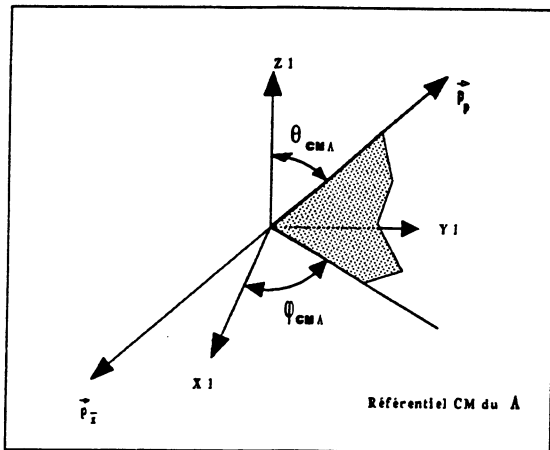


Fig. 6 : Les deux angles définissent de manière unique la désintégration du Λ en ses deux produits, le proton et le pion.

La troisième étape pour la désintégration du Λ est de considérer le référentiel de son centre de masse (CM). Dans le centre de masse, les lois de conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie sont à nouveau applicables :

$$\text{Eq. (7):} \quad M_\Lambda = E_p + E_{\pi^-} \quad , \quad \vec{P}_p = \vec{P}_{\pi^-} \quad , \quad |\vec{P}_p| = |\vec{P}_{\pi^-}|$$

et la première relation élevée au carré donne $M_\Lambda^2 = E_p^2 + E_{\pi^-}^2 + 2 \cdot E_p E_{\pi^-}$ et finalement après quelques développements, on obtient dans le centre de masse (CM) :

a) Voir appendice B, Cinématique.

b) La proximité de la somme des masses des constituants avec la masse de la particule mère peut produire des fantômes cinématiques. Ils sont introduits par des coupures arbitraires dans l'espace de phase, un pic de masse fictif étant créé.

Eq. (8):

$$|\vec{p}_p| = |\vec{p}_\pi| = \sqrt{\frac{(M_\Lambda^2 - (m_p^2 + m_\pi^2)) \cdot (M_\Lambda^2 - (m_p^2 - m_\pi^2))}{4 \cdot M_\Lambda^2}}$$

Soit S , l'énergie totale, P^2 , valant $m_1^2 + 2E_1M + M^2$, avec dans le $S p \bar{p} S$ ^(a) $m_1 = M_1$, donnant $\sqrt{S} = 24.3 \text{ GeV}/c$

où m_1 est la masse du proton et E l'énergie du faisceau.

Nous savons que dans le référentiel CM $\tau = 7.81 \text{ cm}$, et dans le laboratoire il faut appliquer une expansion (transformation relativiste) de Lorentz, avec $\gamma_\Lambda = \frac{E_\Lambda}{M_\Lambda} = \frac{24.3 \text{ GeV}}{1.115 \text{ GeV}} = 21.79$ dans le cas du Lambda. La relativité restreinte nous donne $t' = \tau \gamma_\Lambda = 2.867 \cdot 10^{-9} \text{ sec}$ avec $c \cdot t'_{lab} = 1.7194 \text{ m}$.

Soit l'énergie à disposition après la désintégration du Λ en p et π^- dans le centre de masse et donc $p_{CM} = c \cdot m/2 = 18.876 \text{ MeV}/c^2$ d'où $p = 100.45 \text{ MeV}/c^2$. La cinématique d'une particule peut être décrite par différentes variables. Une manière pratique de la faire est la suivante :

- y : rapidité
- p_t : impulsion transverse de la particule produite
- E : énergie totale de la particule produite
- p_L : impulsion longitudinale de la particule produite, composante dans la direction de la particule incidente avec l'impulsion :

Eq. (9):

$$p = \sqrt{p_L^2 + p_t^2}$$

$$E = \sqrt{p^2 + m^2} = \sqrt{p_L^2 + p_t^2 + m^2}$$

$$y = \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{E + p_L}{E - p_L} = \ln \frac{E + p_L}{\sqrt{p_t^2 + m^2}}$$

$$\frac{\partial y}{\partial p_L} = \frac{1}{E}$$

et avec le passage dans le référentiel du centre de masse, dans ce formalisme la transformation apparaît comme une translation :

Eq. (10):

$$y' = \ln \frac{E' + p_L'}{\sqrt{p_t'^2 + m^2}}$$

Eq. (11):

$$y' = \ln \frac{\gamma(E + \beta p_L) + \gamma(p_L + \beta E)}{\sqrt{p_t'^2 + m^2}}$$

$$y' = \ln \frac{\gamma(E + p_L) + \gamma\beta(p_L + E)}{\sqrt{p_t'^2 + m^2}}$$

$$y' = y + \ln \gamma \cdot (1 + \beta)$$

a) L'accélérateur du CERN utilisé dans cette expérience.

Il est possible de déterminer θ_L , voir fig.4, l'angle formé par le faisceau dans le laboratoire et par la direction du Λ produit :

$$\text{Eq. (12):} \quad \tan \theta_L = \left(\frac{p_t}{p_L} \right)_{lab}$$

$$\tan \theta_L = \frac{p^* \sin \theta^*}{\gamma(p^* \cos \theta^* + \beta E^*)}$$

Pour le proton et le pion dans le centre de masse du Λ , noté Σ_{Lambda} , nous avons :

$$\text{Eq. (13):} \quad |p_{\pi^-}^*| = |p_{p^-}^*| = 101 \frac{MeV}{c}$$

nous permet de déterminer l'angle de désintégration ψ_1 dans le laboratoire à partir des valeurs dans le centre de masse.

Plots de Poddansky et Armenteros

Il est parfois plus approprié de choisir un espace de paramètres spécifiques [9] pour décrire plus aisément ^(a) ou pour mettre en évidence certaines propriétés intéressantes, la cinématique de la désintégration du Λ ou de K_{0s} . Soit :

$$\text{Eq. (14):} \quad \Lambda \rightarrow p\pi^-, \quad \Lambda: \text{particule mère, } p, \pi^-: \text{particules filles}$$

Trois variables sont utilisées dans ce formalisme :

- p^{-1} , avec $|\vec{p}_\Lambda| = p$
- $\alpha = \frac{p_{p_L} - p_{\pi^-_L}}{p}$, avec p_{iL} : impulsion longitudinale de la particule fille i
- $\epsilon = \frac{2p_t}{p}$: p_t est l'impulsion transverse des particules filles

En représentant, dans le référentiel de centre de masse du Λ :

$$\text{Eq. (15):} \quad \alpha = \frac{p_{p_L} - p_{\pi^-_L}}{p_{p_L} + p_{\pi^-_L}} \quad \text{avec:}$$

$$\text{Eq. (16):} \quad \frac{(\alpha - \alpha^*)^2}{\left(\frac{2p^*}{\beta M}\right)^2} + \frac{p_t^2}{p^{*2}} = 1$$

a) L. Studer, IPNL, Communication privée

$$\text{Eq. (17): } \alpha^* = \frac{m_p^2 - m_x^2}{M_\Lambda^2}, \beta = \frac{\|\vec{v}\|}{c} = \frac{\|\vec{p}\|}{E}$$

cela nous donne une ellipse $c = \sqrt{a^2 - b^2}$, $a = 2p/\beta M_\Lambda$, $b = p$ dans le plan (α, p) .

Distribution de Pondrom

Soit la fonction de distribution ^(a) des Λ en p_t et x , les fits effectués pour $x > 0.2$:

$$\text{Eq. (18): } f(x, p_t) = 0.58 - 1.28x^2 - 0.84x \cdot p_t - 2.96p_t^2 + 0.64p_t^4 - 0.15p_t^5 + 0.075x^4 + 2.695x - 1.54p_t x^5$$

$$\text{Eq. (19): } g(x, p_t) = \exp(f(x, p_t))$$

$$\text{Eq. (20): } P = g(x, p_t) \cdot (1-x)^{[0.641+0.302p_t^2]}$$

$$\text{Eq. (21): } \text{avec}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_F = [0.0 - 0.5] \\ p_t = [2 - 5] \end{array} \right\}$$

Ces distributions ont été utilisées pour générer des événements Λ par Monte Carlo. Certains critères cinématiques et géométriques ont pu être déterminés qui ont permis la création d'un système de *trigger* de premier niveau.

3.3.5. La finalité de ce travail

La finalité de ce travail est la mesure de la polarisation P du Lambda en fonction de l'impulsion transverse :

$$\text{Eq. (22): } P = P(p_t)$$

à travers la production de Λ : pp ou $p\bar{p} \rightarrow \Lambda + X$ avec $p_{t,\Lambda} \sim 1.0 \text{ GeV}/c$.

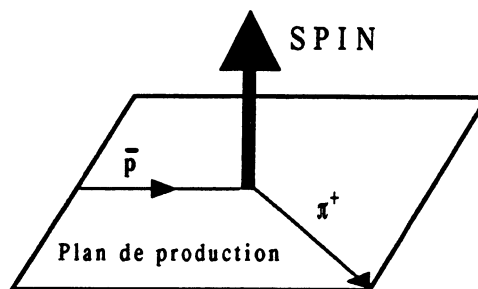


Fig. 7 : Le spin est perpendiculaire au plan de production.

^{a)} O. E. Overseth, Michigan Ann Harbour University, d'après L.G. Pondrom et al., Phys. Rep. 122 (1985) 58

L'obtention de P se fait par la mesure de l'asymétrie dans la production du Λ . On présume la cible et (ou) le faisceau polarisés [10]. Avec le spin up(+) ou down(-), il faut compter le nombre de particules produites vers la droite (gauche) pour le spin + (-) :

$$\text{Eq. (23): } A_n = \frac{1}{P} \cdot \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} \quad \text{et} \quad \delta A_n = \frac{1 - A_n P}{P} \cdot \sqrt{\frac{1 + 2\alpha}{L \sigma T}}$$

- où :
- L = luminosité
 - σ = section efficace par nucléon moyennée sur le spin
 - T = temps de prise de données
 - α = rapport de signal sur bruit moyenné sur les deux orientations de spin
 - P = polarisation du faisceau ou de la cible

L'intention est de mesurer les asymétries transverses d'un spin et les paramètres de transfert dans la région cinématique $-0.1 < x_F < 0.3$ ^(a). De plus, en changeant l'orientation de la polarisation de la cible pour être le long du faisceau, le transfert longitudinal de spin peut être mesuré ce qui permettrait de réaliser un test de la factorisation des partons en QCD [11].

Mise en évidence des Λ

Pour mettre en évidence les Λ , deux phases complémentaires sont nécessaires :

- *La première* est de définir l'appareillage et le *trigger* d'acquisition pour affiner la détection des particules filles. Cette méthode améliore les conditions d'acquisition et de sélection des données brutes. Celles-ci sont alors écrites sur support magnétiques. Grâce à l'enrichissement de ces échantillons d'événements, l'analyse des données se retrouve grandement facilitée. L'idéal est de procéder à une analyse complète lors de la sélection des données.
- *La deuxième* est de rechercher dans l'ensemble de données acquises une signature (masse effective) du Λ . L'écriture de programmes informatiques, procédant au traitement des données emmagasinées sur support magnétique, est nécessaire pour retrouver la signature. Un ensemble de routines dédiées à la description des caractéristiques des détecteurs de l'expérience, au décodage de l'information brute, à leur filtrage puis à leur représentation sous forme de paramètres physiques constitue le programme de reconstruction et d'analyse. L'art de l'analyse physique est contenu dans la manière d'interpréter les effets et résultats produits par différents filtres. Il faut alors décrire et comprendre les algorithmes qui ont été appliqués aux données.

a) $\left(x_F = \frac{2p_L}{\sqrt{s}}\right)$, p_L est l'impulsion longitudinale et \sqrt{s} l'énergie dans le centre de masse

Tentatives précédentes

La mise au point du *trigger* Λ décrit dans cette thèse est basée sur toutes les analyses qui ont utilisé les données acquises avec l'ancien *trigger* Λ . Les données récoltées avec le *trigger* γ ont d'ailleurs aussi été utilisées afin de disposer d'une statistique suffisante.

Afin de favoriser la sélection des hadrons, les dépôts d'énergie dans le module C du calorimètre (de 24 longueurs de radiation X_0) ont été associés avec des traces dans les MWPC. Deux analyses, l'une avec un programme d'identification de traces ^(a) [12], l'autre avec une répartition des données en des classes disjointes (composantes orthogonales), ont été menées :

- l'identification des traces n'a pas permis de mettre en évidence de manière irréfutable la présence de Λ dans les données. Les différentes étapes de filtrage ont permis de modéliser en première étape la sélectivité d'un *trigger* basé sur une recherche de traces.
- l'analyse en composantes principales a mené aux mêmes résultats que l'identification de traces. La cohérence des deux analyses indépendantes indique que la sélection des données brutes doit être améliorée.

Tentatives de sélection du Λ avec du matériel dédié

Diverses approches aussi au niveau matériel, dédiées à une recherche des lignes des traces candidates, ont été menées tout au long de l'expérience UA6.

Sippach's processor

Le statut du *trigger* Sippach ^(b) est le suivant :

- complément câblé (*OR machine*), dans des configurations de MWPC analogues à UA6, il reconstruit toutes les traces de chaque événement au rythme de 10^6 evts/s
- il n'a pas été installé sur une expérience dû à sa complexité d'utilisation (fiabilité, fonctionnement)
- la validation des décisions obtenues avec un tel *trigger* est à faire

Il a été testé avec des données Monte Carlo et optimisé de cette manière (simulations).

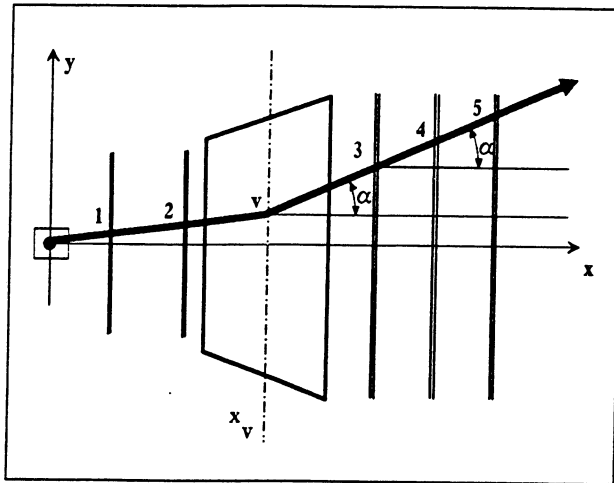
P₁ trigger

Un *trigger* rapide [13] sur le p_1 , avec un temps de décision de 150 ns, a été installé sur l'expérience UA6 :

a) Les PC1 ou PC2 n'ont pas été utilisées dans ce programme à cause de la haute multiplicité.

b) R. Rusack et R. Sippach, UA6, 1984.

- basé sur une reconstitution à gros grain par zone de OR sur les fils touchés de traces (lignes) derrière l'aimant.



Il est facile de corréler les pentes à l'aide des deux équations suivantes :

$$\tan \alpha = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3} = \frac{y_3 - y_v}{x_3 - x_v}$$

Fig. 8 : Les traces avant et après l'aimant se coupent en son plan médian. Les particules proviennent obligatoirement de l'intersection des faisceaux.

FERA

Un système ^(a) de recherche de particules chargées, les J/Ψ , a été mis au point à l'Institut de Physique Nucléaire de Lausanne. Il effectue la corrélation entre l'information des plans de fils z des MWPC et celle des modules du TRD. La trajectoire d'une particule est ainsi donnée par une trace dans les MWPC et un point d'impact dans le TRD, ainsi qu'avec un dépôt d'énergie dans le TRD compatible avec un pion.

Le système réside sur un module CAMAC, les combinaisons des bandes de fils formant une trace candidate ont été programmées dans un ensemble de PAL. La trace est définie par la coïncidence entre le recouvrement de bandes z (3 plans sur 4) et d'un bit indiquant le module du TRD touché. Ce *pattern* est transmis à l'électronique rapide (ECL) des modules LeCroy FERA qui, après le traitement de l'information analogique provenant du TRD par les ADC, associe l'information en énergie du TRD avec la trace candidate du module de PAL. Un événement est accepté si une trace est corrélée avec la déposition d'énergie dans le TRD. La granularité en z de l'association, qui est de 12 à 20 fils au mieux, n'est pas apte à assurer la sélectivité nécessaire. Ceci en raison de la haute multiplicité due au bruit de gerbes secondaires provenant de l'interaction avec les détecteurs du spectromètre.

a) Private Communication. L. Studer, Corrélation des traces de chargés avec le TRD en utilisant un système FERA.

Décompte des fils

Vu l'emplacement des chambres de devant durant les périodes 84-86, il était à priori possible d'imaginer un *trigger* basé sur la multiplicité. En effet :

$$\text{Eq. (24):} \quad \Lambda \rightarrow p \pi^-$$

avec n traces dans PC1 (le Λ a une charge 0) et deux traces supplémentaires dans PC2 (dues aux particules filles qui sont chargées). Soit :

$$\text{Eq. (25):} \quad n_{PC2}^{\min} - n_{PC1}^{\min} \geq 2$$

D'où en lisant en parallèle, l'information au niveau des *Crate Encoder*, il est possible d'additionner le contenu des bits dans MWPC 1 et MWPC 2, et ainsi d'avoir un signal rapide ^(a) de l'ordre de $1\mu\text{s}$ (logique câblée, OR et *shift registers*) de déclenchement sur les Λ . Il est clair que la granularité d'un tel *trigger* est réduite. Il est adapté pour les événements simples et propres, ce qui n'est pas notre cas (voir 4.5.1. Origine de la haute multiplicité).

Conclusion : $\lim_{n \rightarrow \infty} [n_{PC2}^{\min} - n_{PC1}^{\min}]$ n'est pas défini.

Application d'une technologie originale

La modification du dispositif expérimental en 1987 ayant permis une diminution relative du bruit de fond (4.5.1. Origine de la haute multiplicité), la réalisation d'un système permettant d'utiliser l'information des chambres proportionnelles en temps réel pour reconstruire des traces a été envisagé. Le système envisagé travaille sur des données digitalisées représentées par des mots binaires pouvant être traités à l'aide de processeurs. Le résultat ainsi obtenu fournit les caractéristiques de la trajectoire d'une particule chargée dans le spectromètre de UA6. L'originalité de la solution adoptée réside dans :

- l'emploi d'un parallélisme poussé, au niveau de l'acquisition et du traitement des données
- l'emploi du *Transputer* pour l'implémentation des concepts du parallélisme
- le langage *Occam*® utilisé pour l'écriture des algorithmes
- le développement d'un projet pluridisciplinaire

Le processeur *Transputer* et le langage *Occam*® sont des produits commerciaux de la firme *INMOS*®. De par le parallélisme intrinsèque des systèmes de lecture des informations fournies par les détecteurs en physique des particules, le traitement parallèle est l'une des réponses aux besoins croissants de performances des prochaines expériences sur les nouveaux accélérateurs ^(b).

a) Inférieur au temps de Bunch Crossing (3.8 μs)

b) Considérer les projets τ en Espagne et LHC au CERN.

Orientation du travail

Plusieurs étapes et tentatives ont conduit à la réalisation d'un système de déclenchement pour la sélection de traces liées à la désintégration d'un Λ .

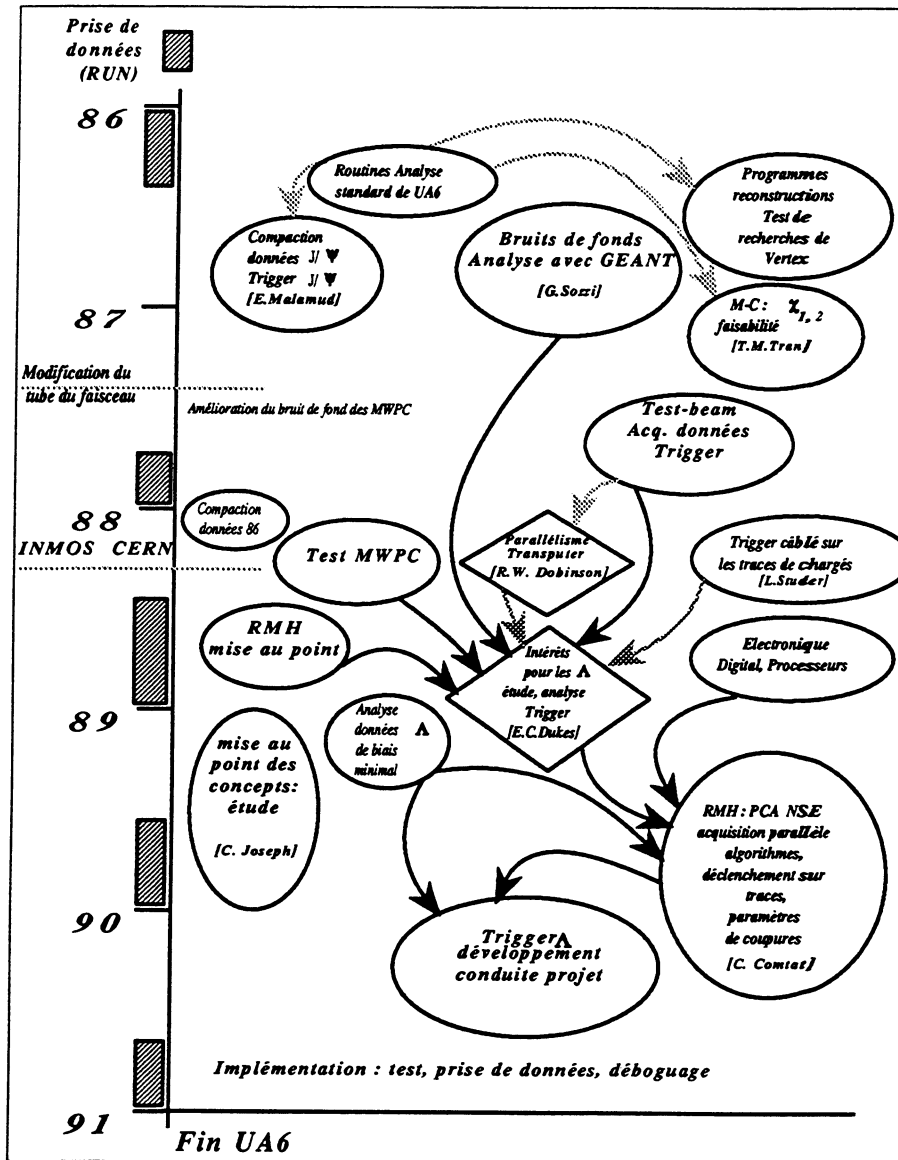


Fig. 9 : Convergence vers la mise au point d'un Trigger.

La plupart de ces points forment une unité, et touchent particulièrement le domaine de l'acquisition de données sur les particules chargées. Les chambres à fils ont d'ailleurs été développées à l'Université de Lausanne, par l'Institut de Physique Nucléaire.

[1] J. Antille et al., Proposal for the study of e^+e^- , γ , π^0 and hyperon production in $p\bar{p}$ reactions at $\sqrt{s} = 22.5$ GeV using an internal jet target at the SPS, SPSC/80-63, 1980, CERN, Genève, Suisse

- [2] K. Kleinknecht, Detektoren für Teilchenstrahlung, 1984, Teubner Physik, Stuttgart
- [3] L. Dick and W. Kubischta, Proc. of the Winter School held in Folgaria, Italy, February 17-22, 1986, Hadronic Physics at Intermediate Energy, T. Bressani, R.A. Ricci (editors)
- [4] Yukawa H. Proc. Phys. Math. Soc. Japan 17 (1935) 48
- [5] Rochester G.D., Butler C.C., Nature 160 (1947) 855
- [6] Greenberg O.W. : Phys.Rev.Letter 13(1964) 598
- [7] A. Bernasconi, Contribution à l'étude de la production de π^0 et γ de grande impulsion transverse dans les interactions $p\bar{p}$ et pp à $\sqrt{S} = 24.3$ GeV au SPS du CERN, Thèse Université de Lausanne, 1986
- [8] C. Morel, Mesure de la Section Efficace de Production du J/ψ dans les Collisions proton-antiproton à $\sqrt{S} = 24.3$ GeV, Thèse Université de Lausanne, 1990
- [9] J.Poddolansky et R. Armenteros, Phil. Mag. 45 (1954) 13
- [10] P. Skubic et al, Phys Review D, vol. 18, numb. 9, 1978
- [11] N.S. Craigie et al., Phys. Lett. 96 B (1980) 381
- [12] E.C. Dukes, TKL tracking Program, Mémorandum CLMR 333, Avril 1991
- [13] R. Rusack, The Calorimeter *Trigger*, Mémorandum CLMR 62, Mars 1983

4. La Physique des Hautes Energies

High Energy Physics :

Many fields of High Energy Physics (HEP) are covered, from the accelerators to the detectors; UA6 experiment and its first MWPC background problems are shown.

Hochenergie Physik :

Verschiedene Gebiete der Hochenergiephysik werden beschrieben, vom Beschleuniger bis zu den Detektoren; das UA6 Experiment und die "background" Probleme der MWPC werden angeführt.

Fisica delle Alte Energie :

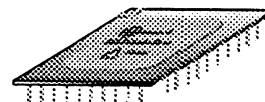
Diversi campi in Fisica delle Alte Energie sono descritti, partendo degli acceleratori fino a i rivelatori; UA6 viene spiegato con i problemi di "background" dei MWPC.

Física de Altas Energías (FAE) :

Se describen distintos campos de Investigación en la Física de Altas Energías, empezando con los Aceleradores y terminando con los Detectores. Se circunstancia los problemas iniciales de contaminación de señales de las MWPC de UA6.

Physique des Hautes Energies :

Les domaines de recherche en Physique des Hautes Energies sont décrits, des accélérateurs aux détecteurs. Le problème de bruit de fond des chambres multifilaires de UA6 sont expliqués.



4.1. Le fondamental et la théorie

Dualité entre expérience et théorie. Les théories en Physique doivent être vérifiées ou infirmées, que ce soit partiellement ou complètement, par l'expérience. C'est à l'explication de phénomènes fondamentaux et à la formalisation de lois que s'adresse la théorie. Il s'agit de comprendre la réalité des phénomènes invisibles du monde des particules élémentaires!

En retour, certaines expériences mettent en relief des faits nouveaux, non prévus par une quelconque théorie, et suscitant ainsi un foisonnement d'idées nouvelles.

4.2. Les accélérateurs

Vu que l'on considère les problèmes de traitement de données en temps réel, une connaissance approfondie des caractéristiques de l'accélérateur sur lequel s'est déroulée l'expérience UA6 s'impose. Le $Sp\bar{p}S$, Super Proton Synchrotron, est un collisionneur proton-antiproton circulaire.

Diamètre : D	2200m
#aimants de déviation	744
#quadripôles	216
E_{initiale}	10 GeV
E_{finale}	630 GeV (2 · 315 GeV/c)
Particules stockées	$10^{14}p$ et $10^{13}\bar{p}$
Durée du cycle d'accélération	8 - 12 s
Zones d'accélération	4 de 20 m de long
# de paquets	6 p (\bar{p})
Δt entre paquets	$3.8 \mu\text{s} \Rightarrow 263 \text{ kHz}$

Table 1

Le contrôle de l'effet synchrotron permet d'atteindre les plus hautes énergies ^(a) grâce à l'asservissement des oscillations longitudinales, les oscillations dans le plan normal au déplacement étant définies par l'effet

a) Lorchman, p. 12-17, Editions Teubner

bêatron ^(a). Les discussions sur les stabilités de trajectoire et les paramètres de construction sont données dans les références. Un autre paramètre essentiel de performance pour la physique est la luminosité fournie par l'accélérateur :

$$\text{Eq. (1): } N_{\alpha} = \sigma \cdot L^* \quad \text{où}$$

$$[L^*] \text{ en } cm^{-2}s^{-1}: \text{ luminosité}$$

$$\sigma: \text{ section efficace considérée}$$

et N_{α} est le nombre de réactions d'un type obtenue par seconde lors de la collision des deux faisceaux. La luminosité se calcule à partir des caractéristiques de l'anneau du $Sp\bar{p}S$ avec :

c : vitesse de la lumière
 $L : \pi \cdot D$, D est le diamètre
 Nombre de protons par paquet injecté : N_+
 Nombre d'antiprotons par paquet injecté : N_-
 Nombre de paquets injectés (*bunches*) : n_b
 $f = \frac{c}{L}$
 A : section efficace de collision entre les deux paquets

$$\text{Eq. (2): } L^* = \frac{N_+ \cdot N_- \cdot f \cdot n_b}{A}$$

Avec 6 *bunches* dans l'accélérateur (période 1987-1990), le temps minimal entre deux interactions est de $3.8\mu s$ ^(b). Dans le cas de UA6, la luminosité obtenue dépend des caractéristiques du jet d'hydrogène moléculaire comme la densité, ρ , et les dimensions de la cible, principalement de l'épaisseur le long du faisceau $l_{j\alpha}$. Elle s'exprime alors :

$$\text{Eq. (3): } L^* = \rho_{j\alpha} \cdot l_{j\alpha} \cdot N_p \cdot v$$

$$\rho_{j\alpha} = 4 \cdot 10^{14} \frac{\text{protons}}{cm^3} \quad l_{j\alpha} = 8 \text{ mm}$$

La luminosité atteinte dans le cas de UA6 est importante, comparée aux autres expériences cible fixe, et vaut $L^* = 1.1 \cdot 10^{30} cm^{-2}s^{-1}$

a) Cf. Cours sur les accélérateurs du CERN, et Mouvement des particules chargées dans des champs E et B, L. Artsimovitch et S. Loukianov, Editions Mir, 1975

b) E. Lohman, Hochenergiephysik, p. 12-17, Teubner Studienbücher

4.2.1. Contraintes

Le temps de traitement de l'information provenant de chaque collision au point d'interaction, représente une contrainte importante imposée à l'ensemble des étages dédiés à l'analyse, particulièrement pour le temps réel. Ce temps est lié à la taille de l'information, à la fréquence des interactions, à la finesse de l'analyse et aux facteurs d'ordre financier (coût, personnel).

Une contrainte supplémentaire apparaît avec la dépendance de l'évolution des technologies, et donc avec la vitesse de développement d'un système de traitement de l'information.

Rien de plus facile que de réaliser un système complexe spécialisé dédié à un seul type de problème qui est démodé avant même sa mise en oeuvre à cause de l'arrivée de nouvelles technologies.

Taux

Plusieurs facteurs permettent de paramétrer les taux à supporter par une chaîne d'acquisition :

- $\Delta t_{\text{interaction}}$: 3.8 μ s
- Nombre d'étages de *bufferisation* = N_{stock}
- temps mort : = Δt_{dead}

Le nombre d'étages de bufferisation affecte le nombre d'événements qui peuvent attendre un traitement différé, nous n'en tiendrons pas compte ici, vu que dans le cas de UA6 cette action n'est pas possible. Le temps mort est la période nécessaire à la lecture d'un événement pendant lequel l'appareillage ne peut plus prendre de données. D'autre part, les taux d'acquisition dépendent aussi des :

- Niveaux de décision et finesse : nécessaire dans la définition d'un bon événement.
- Types d'événements :
bon événement détecté et étiqueté comme mauvais : fraction α
mauvais événement détecté et étiqueté comme bon : fraction β
- Résolutions intrinsèques temporelles de l'appareillage :
 deux particules détectées comme une (électronique + détecteur)
- Efficacités : pertes au niveau du fonctionnement (pannes, erreurs)
- Puissances de traitement : nombre d'opérations faisables dans un intervalle de temps
- Tailles de l'information à traiter : nombre de mots (*#words*)

L'importance de chacun de ces termes apparaît dans la formulation :

$$\text{Eq. (4):} \quad \Delta t_{\text{décision}, \alpha, \beta} (\Delta t_{\text{int}}, \# \text{words}) \propto \Delta t_{\text{deadtime}} \cdot \frac{1}{N_{\text{décision}}} \cdot \text{finesse} \cdot \text{Puissance}$$

Le temps de décision global, que ce soit pour un rejet ou une acceptation d'événement, est proportionnel à l'ensemble des termes du membre de droite. $N_{\text{décision}}$ est le nombre de décisions intermédiaires nécessaires pour former une réponse finale. Δ_{m} et $\#words$ sont des paramètres qui déterminent le comportement du temps de décision. De la finesse et du niveau de décision dépendent le degré de validation d'un événement : les critères imposés comprennent la physique recherchée soit par la détermination des grandeurs soit par la présence de configurations candidates (*patterns*). Une approche plus quantitative sera formulée par la suite.

4.3. Détecteurs : principes et réalisation

Les deux sous-chapitres suivants décrivent la structure et le fonctionnement des MWPC et de l'électronique qui leur est associée. Des références détaillées sont données à la fin des chapitres pour un approfondissement des principes théoriques et des différentes méthodes d'interfaçage de l'électronique [1]. D'une manière générale, les phénomènes d'interaction avec la matière peuvent être étudiés dans plusieurs références.

4.3.1. Caractéristiques

Une chambre multifilaire proportionnelle (MWPC ou PC dans le texte) consiste en un ensemble de fils d'anode fins, parallèles et équidistants les uns des autres situés entre deux plans de cathodes (voir schéma MWPC).

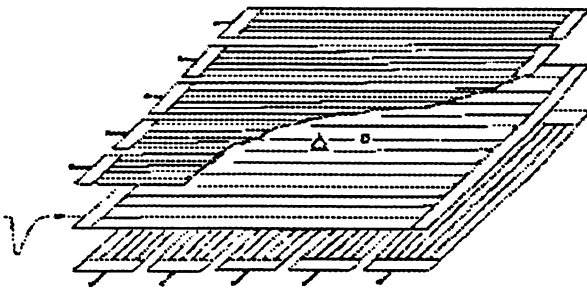


Fig. 1 : Principe [2] de la lecture des signaux de cathodes pour les chambres multifilaires proportionnelles. Le plan central constitue le plan d'anodes.

Pour repérer le point de passage d'une particule dans la chambre, trois ou quatre plans d'anodes, formés par des fils d'orientation différente, permettent de corréler les fils atteints et de déterminer les coordonnées du point d'impact dans le plan de la chambre. Le choix de la géométrie (espacement des fils) et des angles d'inclinaison des fils dépendent des résolutions spatiales désirées.

Les MWPC constituent les éléments sensibles du spectromètre magnétique. Nous donnons ci-dessous leurs paramètres de fonctionnement, leurs dispositions (bras supérieur). Les fils d'anode sont en tungstène doré (W-Au) et ceux de cathode en acier inoxydable.

PC	Dim. : H·L (cm)	Nombre de fils zluvlvly	fils(cm) $\delta_{inter-fils}$	Position (m) (depuis le jet)
1	39.2 · 57	128 288 288 288	0.2	2.45
2	67.9 · 95	160 256 256 224	0.3	5.68
3	67.9 · 95	224 384 384 0	0.3	6.56
4	87.5 · 144	224 384 384 0	0.3	7.45
5	87.5 · 144	224 384 384 0	0.3	8.35

Table 2

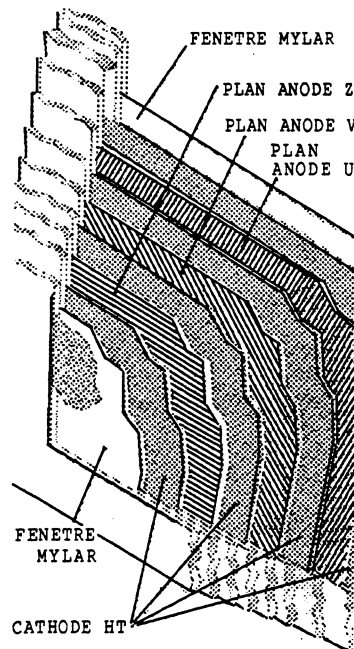


Fig. 2 : Coupe d'une chambre de UA6. La fenêtre de mylar™ protège les plans sensibles des fils. Cette chambre est constituée de trois plans de fils (cathodes) de directions différentes.

MWPC	cathode $U_{cathode}$	anode ϕ_{anode}	$\phi_{filcathode}$	Ar/Ar-Fréon/Isobutane/Ar-Méthylal (%)
1-5	3600-3500-3500-3500-3450	20 μm	50 μm	28.4 / 6.6 / 27.6 / 37.2

Table 3

La résolution ^(a) géométrique attendue sur le point de passage d'une particule sur une direction seulement dans les chambres est donnée par :

$$\text{Eq. (5): } \sigma = s/\sqrt{12}$$

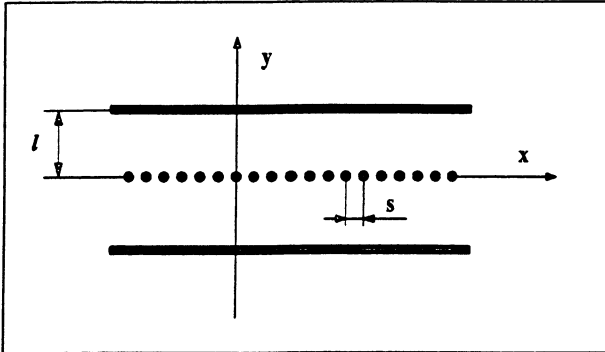


Fig. 3 : l est la distance entre le plan de cathode et les fils d'anodes, qui sont espacés entre eux de s .

Le principe de fonctionnement des MWPC se base sur la mesure du signal électrique [3] recueilli sur les fils sensibles d'anode formant une surface de détection importante, signal proportionnel au premier ordre à la perte d'énergie de la particule chargée incidente. L'angle d'incidence est quasi normal (conditions d'acceptance géométrique) pour des particules issues du point d'interaction (grande énergie, grande impulsion). Les particules de basse énergie, produites par des gerbes secondaires se développant dans le matériel des détecteurs de l'expérience (bruit de fond), peuvent avoir n'importe quel angle d'entrée dans la chambre et ainsi fortement perturber les mesures en déposant toute leur énergie [voir 4.5. Bruit de fond des MWPC].

Courant et champ électriques

Les gains maximum de fonctionnement des MWPC sont recherchés, les valeurs de tension de cathode appliquées dans notre cas sont de l'ordre de :

$$\text{Eq. (6): } \sim 3200 \text{ V} \rightarrow 3650 \text{ V}$$

a) L'erreur de mesure, c , dépend du *binning* de la chambre (distance s entre les fils d'anodes), avec la densité de probabilité normalisée $f(c)$ valant $1/s$ pour l'intervalle $(-s/2, +s/2)$ et $f(c)$ valant 0 ailleurs. La résolution (écart quadratique moyen) de la chambre est alors :

$$\langle c^2 \rangle = \int_{-\frac{s}{2}}^{+\frac{s}{2}} (c)^2 f(c) \left(\frac{dc}{dt} \right) dt$$

$$\text{avec } \left(\frac{dc}{dt} \right) = v_{\text{drift}} \sim 50 \mu\text{m} \cdot \text{ns}^{-1}$$

$$f(c) = \frac{1}{\Delta s} \text{ et } \langle c^2 \rangle = \frac{d^2}{12} = \frac{(v_{\text{drift}} \cdot \Delta t)^2}{12}, \text{ où } \Delta t = \text{résolution en temps}$$

Ce sont ces valeurs qui ont été appliquées dans l'expérience UA6. Le développement du signal est de moins de 100 ns, la migration des e^- vers l'anode étant rapide, et les ions $^+$ décélèrent vers la cathode. Le temps de migration est inversement proportionnel à la masse de la particule. Pour la tension $v(t)$ induite sur l'anode :

$$\text{Eq. (7):} \quad v(t) = - \int_0^t dv = - \frac{q}{2\pi\epsilon_0 l} \cdot \ln \left(r \frac{r(t)}{a} \right)$$

avec a ($\sim 20\mu\text{m}$) : le diamètre du fil, l : la longueur du fil, ϵ_0 : la constante diélectrique du gaz, $r(t)$: le parcours des électrons.

En différenciant le signal avec une constante de temps $\tau = RC$ (par la terminaison du fil avec une résistance R), on obtient des impulsions très courtes et on augmente le taux admissible du compteur. Pour $R \rightarrow 0$, la relation obtenue est pour un courant à la place d'une tension :

$$\text{Eq. (8):} \quad i(t) = IC \cdot \frac{dv(t)}{dt} = - \frac{QC}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{t+t_0}$$

et pour le courant :

$$\text{Eq. (9):} \quad i_{\max} = i(0), \text{ où } Q = 10^6 e, \text{ on obtient } i_{\max} = 13\mu\text{A}$$

Cette valeur est essentielle lors du réglage des courants de seuils à imposer aux valeurs recueillies par l'électronique d'acquisition.

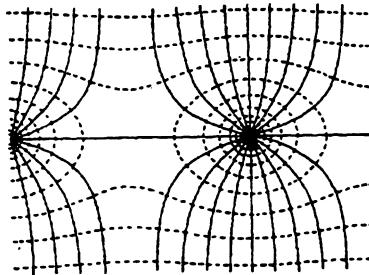


Fig. 4 : Lignes équipotentielles (traitillées) et lignes de champ électrique autour de deux fils d'anode dans le plan perpendiculaire à la direction des fils. Les électrons suivent approximativement les lignes de champ électrique lors de leur migration vers les fils d'anode.

Mélange gazeux des MWPC de UA6

Plusieurs contraintes apparaissent pour la mise au point d'un mélange gazeux pour les MWPC. Un mélange idéal adapté aux MWPC pour UA6 a été trouvé. L'argon, gaz noble, s'impose par le gain élevé à de petites valeurs de champs. Les gains typiques obtenus avec l'argon sont de l'ordre de 10^3 à 10^4 . Lors d'une ionisation, la désexcitation se passe uniquement par l'émission d'un photon de 11.6 eV d'énergie minimum, bien en dessus du potentiel d'ionisation du matériel de la cathode (7.7 eV pour le cuivre), provoquant une avalanche,

alors que concurremment les ions migrent vers la cathode et sont neutralisés en extrayant un électron. L'excédent d'énergie est soit rayonné comme un photon, soit par une émission secondaire. Un régime de décharge permanent est alors probable.

Si l'on rajoute des molécules polyatomiques, plusieurs modes de désexcitation sont permis, comme des modes rotationnels ou vibratoires. Parmi les candidats (*quencher*), nous trouvons l'isobutane C_4H_{10} . Ces gaz permettent de modérer le phénomène d'avalanche en capturant des électrons, permettant ainsi d'élever les gains à 10^6 environ.

L'adjonction de faibles quantités de gaz électronégatifs, tels que le fréon (CF_3Br), permet l'obtention de gains maxima avant la décharge Geiger-Müller, dans le mode de fonctionnement saturé. De plus, le fréon restreint la zone de multiplication à proximité des fils d'anode. Malheureusement, la présence de ces gaz provoque un vieillissement accéléré du détecteur (effet Malter). Pour palier cet effet, il faut introduire un nouveau composant pour altérer le mécanisme d'échange des ions : le méthylal $[(OCH_3)_2CH_2]$. Les proportions de ces différents gaz varient en fonction de la nature exacte des matériaux et des régimes de fonctionnement des détecteurs.

Efficacités

La taille des amas de fils (*clusters*), allumés par le passage d'une particule, est fonction de la largeur de la porte temporelle de l'électronique d'acquisition sur les chambres (*gate width*). En effet, il faut considérer le temps de migration des électrons, à la vitesse de 1 mm par 20 ns, ce qui donne pour un espacement de 8 mm un temps de 160 ns. Une autre condition d'efficacité se formule par :

$$\text{Eq. (10):} \quad \lambda_c \geq \frac{1}{2} \cdot s$$

avec s = espacement entre les fils et λ_c = chemin moyen pour la capture électronique

afin d'éviter un surnombre de recombinaisons dû à la présence d'un gaz électronégatif.

4.4. Electronique : Buts et techniques

Les signaux analogiques de courant recueillis au niveau du fil d'une MWPC doivent être transformés en information digitale afin d'être analysés et stockés. Une chaîne de traitement du signal a été mise en place,

premièrement pour l'amplification du signal obtenu sur le fil, fait directement au niveau de la chambre ^(a), puis pour la saisie sous forme de mots numériques des configurations de fil touchés au niveau d'un système d'acquisition [4].

4.4.1. Principes

L'électronique associée à un fil est schématisée dans la figure suivante :

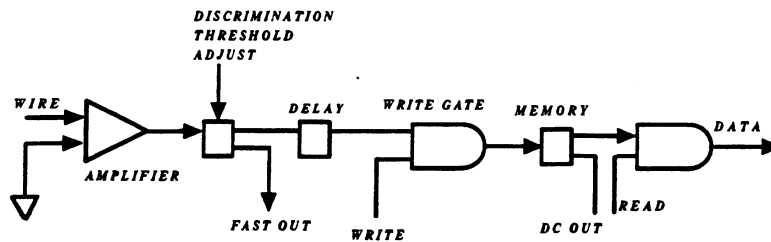


Fig. 5 : Le signal analogique recueilli est amplifié, discriminé et mémorisé pour sa lecture.

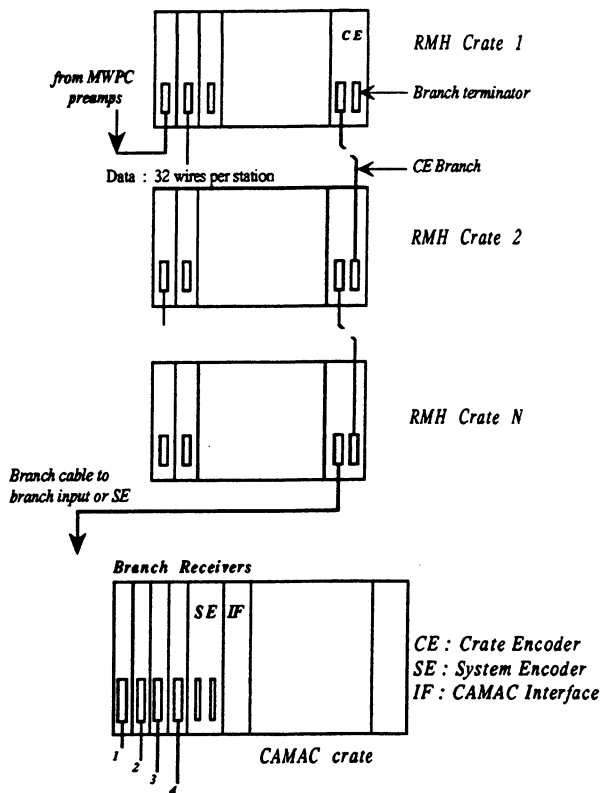
Le niveau de discrimination s'obtient par l'application d'un niveau continu à partir d'un convertisseur analogue digital ^(b). Un OR logique est fait sur les fils ou un groupe de fils dans un module d'acquisition, pour donner un signal rapide de sortie (*Fast Out*). La configuration des fils est mémorisée à l'aide de bascules, à deux états (*latch*), qui doivent être remises à zéro (*reset*) pour toute nouvelle acquisition. La lecture de ces configurations est faite de manière séquentielle.

4.4.2. UA6 : Chambres proportionnelles et RMH

Le système de lecture de l'information des fils touchés des chambres utilisé sur l'expérience UA6 provient d'un développement du CERN : le Receiver-Memory-Hybrid (RMH). Ce système est souvent utilisé en HEP pour la lecture de chambres à fils. L'information stockée dans un module RMH est un *pattern* de fils touchés, l'état des fils touchés en coïncidence avec un signal de strobe provenant d'un *trigger* de premier niveau était indiqué par 1. Chaque chambre comporte trois plans d'orientation différentes. Les PC1 et PC2 comportent en plus un plan y. Les modules correspondant à un plan de fils sont groupés dans un seul *crate* RMH et lus par un *Crate Encoder (CE)*.

a) Développement des préamplificateurs des chambres proportionnelles multifilaires, Prof. J.F. Loude, Département d'électronique Nucléaire, IPN-Lausanne, 1983

b) Distribué dans tous les modules RMH individuels.



La lecture normale du RMH utilise un système de marcottage (*daisy chain*) contrôlée par un unique *System Encoder* (SE). Les plans de fils sont lus de manière séquentielle. Un *pattern* de 16 bits avec son adresse peut donner la configuration des fils touchés à un rythme de 120 ns par l'intermédiaire du CE.

Fig. 6 : Système RMH traditionnel

Le système RMH dans UA6 est constitué de quatre branches indépendantes contrôlée chacune par un *Branch Receiver*. Il y a deux branches par bras de spectromètre. Un module dédié assure le passage des données RMH du bus actif vers l'ordinateur en ligne à travers le bus CAMAC [5]. Ce module est l'Interface CAMAC (IF). Le SE ainsi que les *Branch Receiver* résident dans un *crate* CAMAC. Les RMH sont insérés dans un *crate* de mécanique CAMAC, équipé d'un bus actif contenant les lignes d'alimentation, de communication et du réglage du seuil (*Threshold*).

La vitesse des signaux sur le bus actif *CE-branch* implique l'utilisation de la logique rapide *ECL* (*Emitter Coupled Logic*), afin de minimiser les problèmes de couplages inductifs ou capacitifs et les réflexions sur les lignes. Le rayonnement dû aux hautes vitesses de transmission doit être limité, les longueurs d'ondes des signaux n'étant plus infinies par rapport aux dimensions des éléments mis en jeu [6].

Les terminaisons dans le bus *CE-branch* est indispensable. Les seuils de déclenchement des registres associés à chaque fil est réglable par *crate*. Un signal de *reset* extérieur doit être fourni pour remettre à zéro les bascules ("*flip-flop*") pour un nouvel événement. Un commutateur (*flag*) permet d'activer un bit de contrôle du mot RMH (disponible dans chaque module *RMH*).

Formats

Le mot de sortie du module CE (*CE-branch*) a le format suivant :

²⁶ Cr. ADD ²³	²² St. ADD ¹⁸	UH ¹⁷	Flag ¹⁶	¹⁵ W.P. ⁰
-------------------------------------	-------------------------------------	------------------	--------------------	---------------------------------

Table 4

où :

- ADD est l'adresse
- UH est *Upper Half (top half)*, moitié supérieure
- W.P. est le *pattern* de fils
- Cr. est le *Crate*
- St. est la station
- *Flag* est le bit de contrôle (drapeau)

Ce mot est transmis au SE, qui va encoder les fils touchés du *pattern* des bits 0-15 dans un mot de sortie avec le format suivant :

Flag ¹⁵	Not used ¹⁴	¹³ Stat.Adr. ⁵	⁴ wire.nber ⁰
--------------------	------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------

Table 5

Les bits 0 à 4 contiennent le codage binaire de la position du fil touché combinant la valeur du bit UH avec la position relative dans la moitié lue. *Stat.Adr.* (8 bits) est la concaténation de *St.ADD* et de *Cr.ADD* (5+3 bits). Ce mot de 16 bit est prêt pour la transmission vers l'interface CAMAC.

4.5. Bruit de fond des MWPC

La principale innovation de UA6 a été d'utiliser en mode parasite une cible interne à jet placée dans les faisceaux stockés (collisionneur). Malgré la faible densité de la cible, la traversée multiple des particules du faisceau stocké permet d'atteindre de hautes luminosités. Dans un premier temps, l'expérience a mis en évidence des problèmes importants de bruit de fond : arrosage des détecteurs par des gerbes de particules, principalement de basses énergies, associées ou non aux événements recherchés. Ces gerbes, de grande multiplicité souvent, (ou un excès de signaux) déclenche l'acquisition d'un événement non intéressant. Les détecteurs les plus sensibles à ce bruit de fond ont été les MWPC, vu leur grand nombre de fils, donnant naissance à une explosion combinatoire lors de l'association des fils touchés :

Voici quelques termes utilisés dans l'analyse globale des événements, et qui s'appliquent aussi au bruit de fond des MWPC :

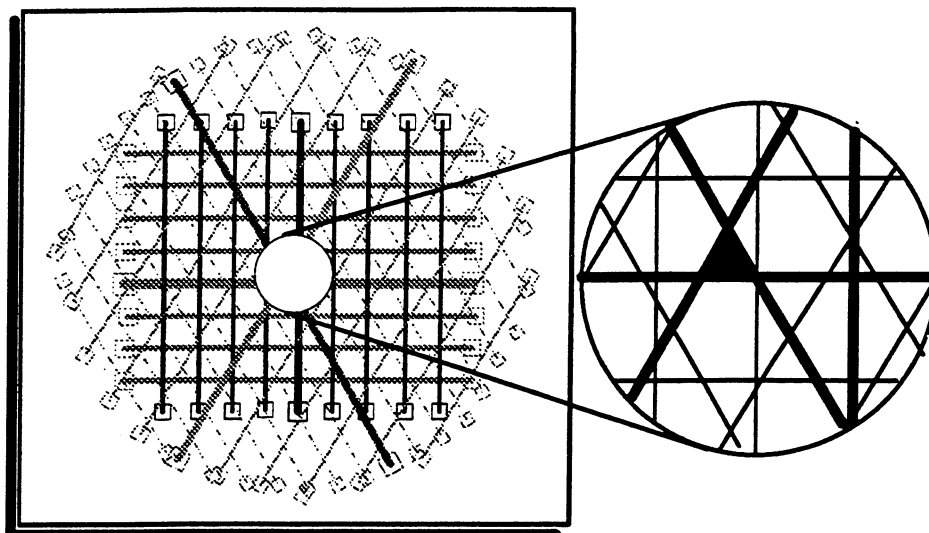


Fig. 7 : Vue du grillage de détection d'une MWPC formée par 4 plans de fils.

- point de passage spatial (*pass point*) :

intersection définie par 2, 3 ou 4 fils de directions différentes limitant une zone (triangle) voisine du lieu de passage de la particule. Il faut ajuster la taille maximale des triangles correspondant à un point de passage pour rejeter au mieux les traces parasites

- ligne :

ensemble de points d'une vue (projection parallèle à la direction d'un plan de fils) formant une droite et susceptible d'appartenir à une trajectoire d'une particule physique

- trace :

points de passage d'une trajectoire d'une particule physique avec les changements de direction résultant de la déflexion dans l'aimant ^(a).

- amas de fils (*clusters*) :

groupes de fils contigus d'un plan pour des particules issues de la cible, (voir Efficacités ^(b)), la taille des *clusters* physiques associés au passage d'une particule chargée est de 2 (maximum 3). Or, il est fréquent ^(c) d'observer des amas contenant plus de 4 fils ce qui signifie effectivement que plus d'une particule a traversé la chambre. Les multiplicités physiques moyennes dans l'*acceptance* de UA6 ^(d) sont de l'ordre de quatre particules dont environ trois particules chargées. Les amas de taille beaucoup plus grande ne peuvent s'expliquer que par le bruit de fond.

a) La trajectoire est approximée par une fonction cubique.

b) F. Sauli, pp. 61-62, *Principles of operation of MWPC and Drift Chambers*, A. T. Prgm. 76, CERN, 77

c) D'après l'étude d'une bande de données Λ et γ .

d) L. Studer, communication privée, *Calcul sur la section efficace totale*.

4.5.1. Origine de la haute multiplicité

Ces gerbes proviennent de l'impact de particules secondaires issues de la cible avec de la matière rencontrée le long de leurs trajectoires, et qui y perdent leur énergie suivant les processus d'interaction nucléaire ou électromagnétique.

4.5.2. Traces fantômes

De manière analogue, ces points ou fils peuvent être alignés et simuler des lignes ou des trajectoires (*ghost*). On suppose que les trajectoires des particules sont issues du point d'interaction alors que les trajectoires des gerbes secondaires proviennent plutôt de "points" chauds (localisés à l'aide de la simulation). Certaines études ont été effectuées sur des événements réels pour essayer de déterminer, à l'aide de programmes de reconstruction "*off-line*", l'origine des gerbes de bruit de fond. Les grandes multiplicités [nombre de fils et amas] n'ont pas permis de tirer de conclusions définitives ^(a). Ces essais ont néanmoins permis de montrer que des particules étaient diffusées depuis l'aimant vers la première chambre et depuis le calorimètre vers la cinquième chambre (*back scattering*).

4.5.3. Simulations : Monte Carlo

Seule une simulation adéquate de Monte Carlo [7] peut fournir des indications quant à l'origine du bruit de fond rencontré. La librairie de routines du programme GEANT [8] a été utilisée pour décrire :

- le dispositif de UA6 (détecteurs, matières, géométrie)
la carte du champs magnétique et les *triggers* désirés
- la cinématique et les paramètres des particules produites au point d'interaction

La plupart des processus d'interaction de particules primaires avec la matière sont inclus. La génération des particules considérées a été réalisée avec une distribution uniforme en y et p_t . Chacune des interactions réalisées est calculée puis suivie à travers l'expérience, les images nous fournissant ainsi une "radiographie" des zones les plus touchées de l'appareillage et nous permettant d'observer le comportement des détecteurs dans ces situations.

- les zones sensibles sont mises en évidence
- il est possible de tester plusieurs configurations, géométries pour réduire les sources de bruit de fond. En particulier, le profil de nouveaux tubes à vide (voir 3.3.1. Description du détecteur de UA6).

a) C. Morel, CLMR Memorandum 1987

Tous les interfaces standards de HBOOK [9] pour la confection d'histogrammes et les outils de présentation des événements Monte Carlo, générés à l'aide de GEANT, sont à disposition dans la librairie d'analyse ANL version UA6.

GEANT a été utilisé pour le calcul de l'acceptance des J/Ψ produits, dont les résultats sont en accord avec d'autres méthodes. Le suivi des particules dans le calorimètre, bien que possible, n'a pas été réalisé, une modélisation supplémentaire pour les interactions dans le calorimètre ^(a) étant nécessaire.

- le temps de calcul est limité par la puissance de la Nord 540 utilisée (~ 3 MIPS) pour la simulation, le temps moyen pour 1000 événements étant de 72 heures effectives comprenant l'affichage de l'événement.

4.5.4. Résultats

Plusieurs configurations géométriques des tubes à vide et plusieurs matériaux ont été considérés pour réduire le bruit de fond. Les comparaisons sont données par rapport à la géométrie existante en 1986. Il est clair que la configuration idéale serait l'absence de matière, de cadres, de support!

Configuration	Description
1	Géométrie 84-86 [10] PC1 → PC2 ↑ Aimant ↑ PC3 → PC4 → PC5
2	Géométrie ouverte; pas de <i>beam pipe</i> , pas de plaque centrale de fer de l'aimant
3	Géométrie ouverte; <i>beam pipe</i> devant l'aimant; pas de plaque centrale de fer de l'aimant; pas de <i>beam pipe</i> arrière
4	Géométrie ouverte; <i>beam pipe</i> derrière l'aimant; pas de plaque centrale de fer de l'aimant; pas de <i>beam pipe</i> devant
5	Géométrie ouverte; <i>beam pipe</i> derrière l'aimant seulement; plaque centrale de fer de l'aimant; pas de <i>beam pipe</i> devant
6	Géométrie 84-86 sans champ magnétique
7	Géométrie avec trompette; <i>beam pipe</i> devant court en aluminium

Table 6

a) EGS, Geisha, voir Bick et al., CERN LIB, 1992

Ces différentes configurations ont été testées pour deux types d'événements aux quels UA6 est sensible : les *triggers* Λ et les γ , déclenché par le calorimètre. Le nombre d'événements générés pour chaque type de *trigger* sont limités à cause du temps de calcul disponible et donc différent pour chaque configuration. Si le type de *trigger* n'est pas signalé, la somme des contributions de deux types d'événements est tabulée. Dans la table ci-dessous, le nombre d'événements ayant déclenché l'acceptation est donné. Il permet d'estimer l'erreur statistique pour chaque configuration. Les résultats pour chaque type d'événements sont ensuite normalisés à ce nombre d'événements (%).

# d'événements ayant déclenché le trigger de type	Conf.1	Conf.2	Conf.3	Conf.4	Conf.5	Conf.6	Conf.7
Λ	100	77	90	151	94	125	93
Calorimètre	51	67	65	57	49	53	54

Table 7

On définit les événements propres (*clean events*) qui comptent 2 particules au plus dans les MWPC, et les événements chargés (*dirty events*) qui ont plus de trois impacts dans un détecteur dûs à de nouvelles particules.

% <i>clean events</i>	Conf.1	Conf.2	Conf.3	Conf.4	Conf.5	Conf.6	Conf.7
PC1	70	91	65	88	84	70	0
PC2	48	85	39	83	68	54	67
PC3	34	89	73	66	25	16	36
PC4	30	55	44	18	18	23	37
PC5	26	35	31	13	18	24	36

Table 8

Fraction d'événements propres (%)

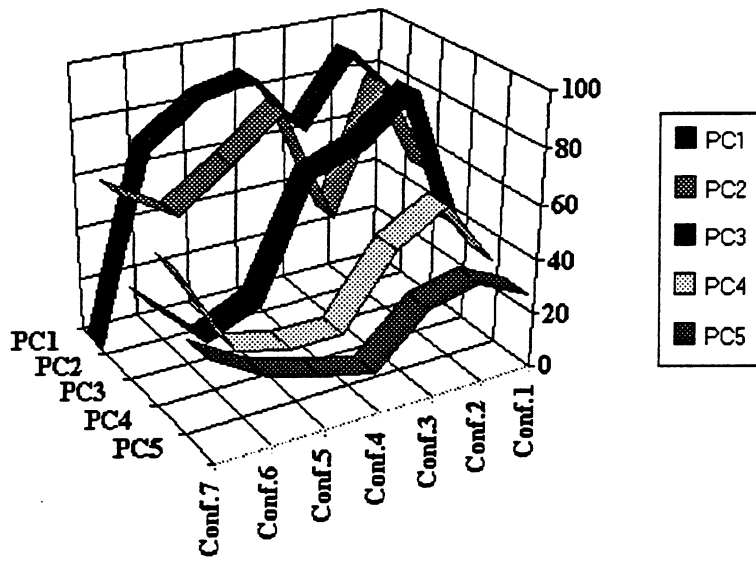


Fig. 8 : Proportions d'événements propres

<i>% dirty events</i>	Conf.1	Conf.2	Conf.3	Conf.4	Conf.5	Conf.6	Conf.7
PC1	13	0	8	1	0	11	0
PC2	29	0	28	0	1	18	6.6
PC3	30	0	2	5	24	44	24
PC4	36	3	10	50	35	39	39
PC5	37	12	18	63	39	34	35

Table 9

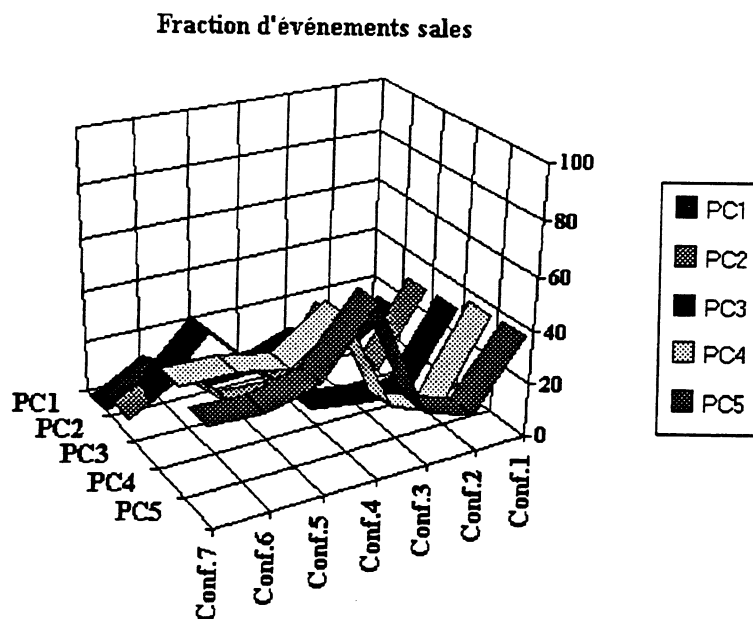


Fig. 9 : Proportions d'événements sales

La multiplicité moyenne représente le nombre de fils touchés dans les chambres concernées par un événement.

Multiplicités moyennes	Conf.1	Conf.2	Conf.3	Conf.4	Conf.5	Conf.6	Conf.7
PC1	10	0	15	4	0	14	0
PC2	11	0	10	0	4	11	8
PC3	7	2	5	6	8	9	8
PC4	11	6	6	11	11	11	10
PC5	10	6	5	17	11	10	9

Table 10

Le nombre de fils touchés par événement représente le nombre de particules incidentes dans le plan sensible de mesure de chambres. Une séparation selon le type de *trigger* permet de quantifier l'effet suivant la particule générée.

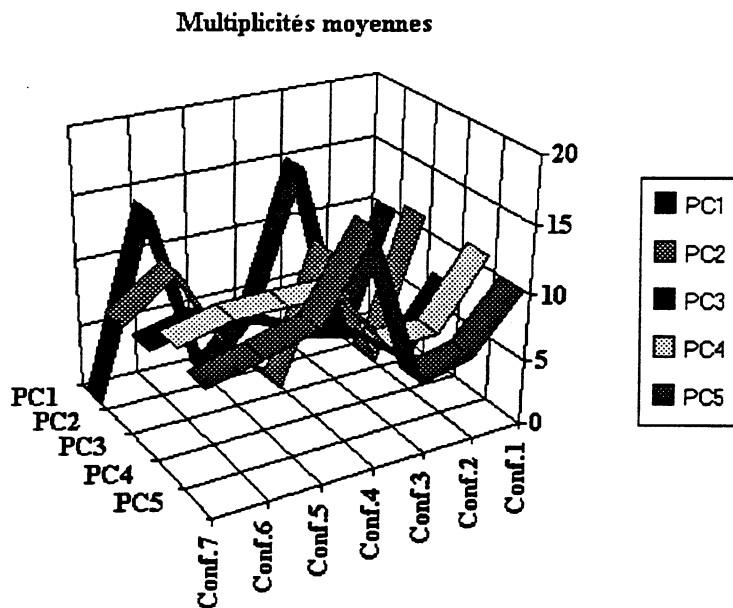
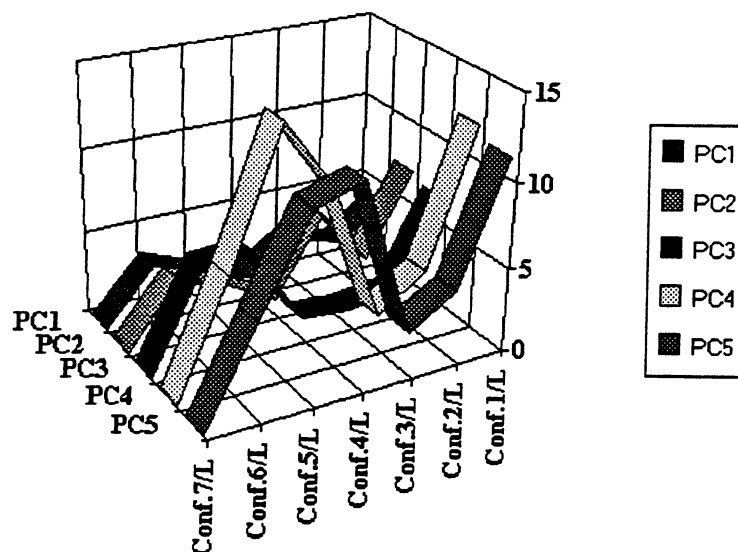


Fig. 10 : Nombre moyen d'impacts de particules

#de touchés/evt.	Conf.1/Λ	Conf.2/Λ	Conf.3/Λ	Conf.4/Λ	Conf.5/Λ	Conf.6/Λ	Conf.7/Λ
PC1	3.9	1.9	2.9	1	2	3.2	0
PC2	7	2.1	5.6	1	2.6	3.7	0
PC3	6.5	1.3	0.9	1.2	6	5.8	0
PC4	12	4	2	10.3	14.5	6.7	0
PC5	11.3	4.2	2.5	11.9	11	5.5	0

Table 11

Nombre de particules (hits) / Trigger Lambda

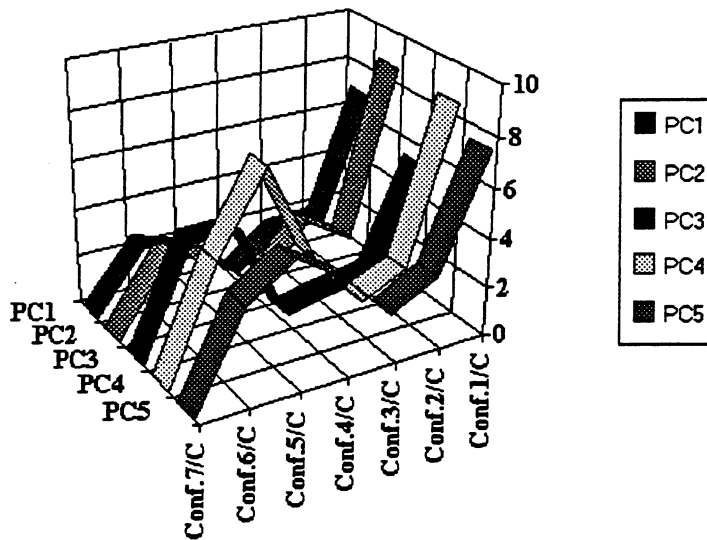
Fig. 11 : Multiplicités moyennes pour le *trigger* Λ

#de touchés/evt	Conf.1 / Cal	Conf.2 / Cal	Conf.3 / Cal	Conf.4 / Cal	Conf.5 / Cal	Conf.6 / Cal	Conf.7 / Cal
PC1	6.8	1.8	1.7	0.3	1.9	2.5	0
PC2	8.6	1.8	3	0.4	2.4	3	0
PC3	5.3	1.1	0.8	0.4	4.5	4.4	0
PC4	8.5	2.2	1.4	3.6	7.8	4.6	0
PC5	7.4	2.8	1.8	3.8	5.1	3.8	0

Table 12

La configuration 7 a été finalement considérée comme le meilleur compromis pour réduire le bruit de fond aussi bien derrière que devant. La forme du *beam pipe* est de section trapézoïdale derrière la trompette évasée. La matière choisie est l'aluminium pour des raisons de coût, bien que le carbone aurait apporté des améliorations notables. La pièce centrale de l'aimant est conservée car elle réduit fortement la multiplicité derrière l'aimant.

Nombre de particules (hits) / Trigger calorimètre

Fig. 12 : Multiplicités moyennes pour le *trigger* Calorimètre

- Conséquences : la PC1 est supprimée car soumise à un bruit de fond excessif de *back-scattering*, et le dispositif expérimental devient celui décrit au chapitre 3.3. L'expérience UA6.
- les A deviennent plus difficiles à détecter malgré la diminution de bruit de fond obtenue, il ne reste plus qu'une chambre pour nous donner un point de passage pour les deux particules filles avant l'aimant.

Pour la conf. 7 choisie, les points d'impact des particules et l'effet des gerbes de secondaires permettent de révéler des points chauds. Les cumuls dans les plans horizontal et vertical sont donnés pour les deux types de *trigger*, Λ et γ (électromagnétique), ainsi que la projection sur l'axe x , le long du faisceau. La direction z est perpendiculaire aux fils horizontaux des MWPC. La direction y est perpendiculaire au plan $\{x,z\}$.

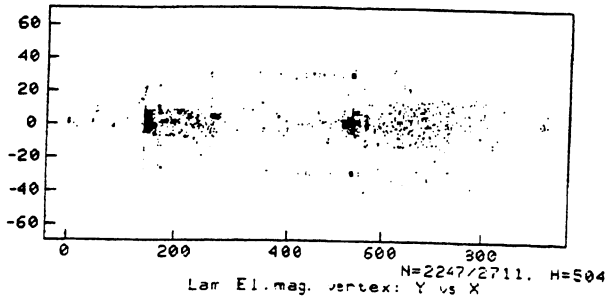


Fig. 14 : Vue de la position des vertex électromagnétiques pour le *trigger* Λ dans le plan $\{x, y\}$.

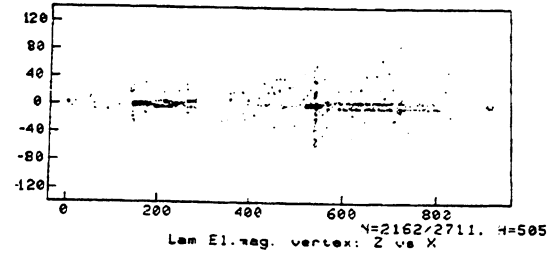


Fig. 13 : Vue de côté (plan x, z) des vertex électromagnétiques pour le *trigger* Λ

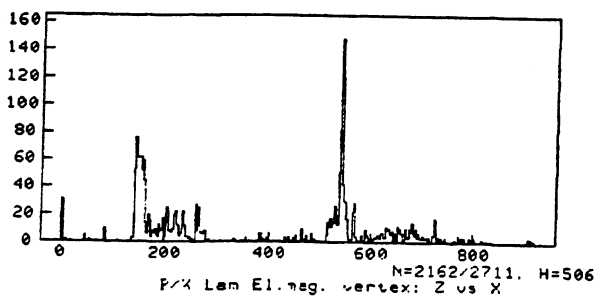


Fig. 15 : Projection sur le plan vertical (z) des vertex électromagnétiques pour le *trigger* Λ

Cette radiographie de l'expérience révèle des points chauds localisés par le cumul de vertex secondaires électromagnétiques situés principalement aux points d'attache des MWPC sur le *beam-pipe*, révélant sa structure, et la plaque centrale devant l'aimant (en position 240 à 440 environ). Il n'y a pratiquement pas de vertex secondaires à l'intérieur de l'aimant.

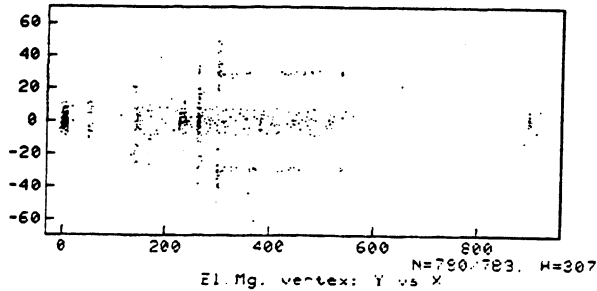


Fig. 17 : Vue de dessus (plan x, y) des vertex électromagnétiques pour le *trigger* CALorimètre

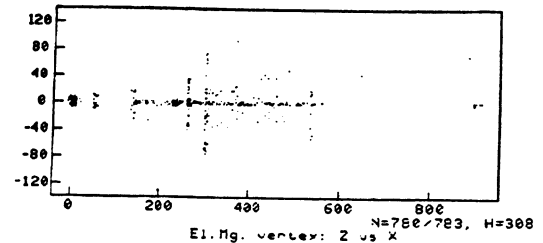


Fig. 16 : Vue de côté (plan x, z) des vertex électromagnétiques pour le *trigger* CALorimètre

En plus des modifications dans la géométrie de UA6, les conditions de *trigger* ont aussi changé entre les périodes 1986 et 1987. La comparaison des deux périodes, pour être exacte, devrait tenir compte du réarrangements des scintillateurs *T0* ayant servi comme *trigger* de premier niveau pour les *triggers* sur les photons directs et différencier des événements en plusieurs classes, comme par exemple de considérer la multiplicité dans les événements sélectionnés pour l'analyse finale des photons directs. Néanmoins, une analyse sommaire permet de quantifier assez précisément le gain obtenu. La fraction d'événements gardés

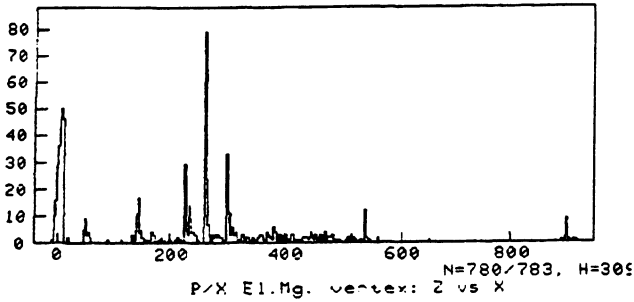


Fig. 18 : Projection sur le plan vertical (z) des vertex électromagnétiques pour le *trigger* CALorimètre

pour une analyse finale est très faible et la plupart des événements ayant passé le *trigger* de premier niveau correspondent à de hautes multiplicités, ce qui minimise l'influence du type de *trigger* sur les améliorations. La sélectivité de nos *triggers* est de toute façon très vulnérable au bruit de fond. La plus grande partie des événements acceptés est du bruit de fond dans une proportion Signal/Bruit de $\sim 0.1 + 0.01$

Une première indication pour les améliorations dues à la modification de l'appareillage expérimental, basée sur l'étude avec GEANT, est fournie par la comparaison du nombre total de clusters, de fils touchés et de mots RMH lus en 1986 et 1987 :

	1986		1987	
	maximum	moyenne	maximum	moyenne
<i>Clusters</i>	600	600 (35%)	250	200 (10%)
<i>Wires</i>	600	600 (35%)	300	225 (10%)
<i>RMH words</i>	700	700 (35%)	350	250 (10%)

Table 13

Entre parenthèses est donnée en pourcentage la fraction d'événements pour lesquels les nombres d'objets comptés dépassent la capacité des échelles (*overflow*). Le gain est appréciable : un facteur 2 à 3. Celui-ci se retrouve d'ailleurs aussi sur les valeurs moyennes. L'amélioration recherchée a été atteinte par la modification de la géométrie choisie. Le nombre d'événements fortement contaminés a été réduit. Les événements sont aussi en moyenne plus propres. Il semblerait y avoir maintenant une possibilité de rechercher des traces de particules chargées puisque la multiplicité moyenne est moins élevée et que le bruit de fond est réduit.

Conclusions

La plaque centrale de l'aimant constitue un élément indispensable dans cette étude. La présence de la plaque écrante les effets du bruit de fond dû aux chambres situées devant l'aimant. Le nouvel usinage des chambres multifilaires a permis de réduire le bruit de fond provenant des zones sensibles (points chauds). Certaines interactions au niveau de la trompette du jet ont prouvé la nécessité d'évaser celle-ci jusqu'au niveau de la première chambre devant l'aimant (moins de matière traversée). Il reste néanmoins un bruit de fond non négligeable.

Le bruit de fond perturbe particulièrement la mesure des interactions produisant des particules chargées, mais son effet doit aussi être considéré pour une mesure soignée de la section efficace des photons directs.

-
- [1] F. Sauli, Academic Training Program 76, CERN, 1977, Principles of operation of MWPC and Drift Chambers
 - [2] G. Charpak et al., Nucl. Instr. Meth. 148 (1978) 471
 - [3] E. Winkelmann, Capture Radiative des π^- par le noyau de ${}^6\text{Li}$, Thèse, Université de Lausanne, 1978
 - [4] J.B. Lindsay et al., A fast and flexible data acquisition system for multiwire proportional chambers and other detectors, Nucl. Instr. And Meth. 156 (1978), 329-333
 - [5] CAMAC, A modular Information System for Data Handling, revised description and specification ESONE committee, EUR 4100e, (1972)
 - [6] Rapport interne P. Schweizer, *Une bonne vieille logique : ECL*, EPFL, 1989
 - [7] M. Regler et R. Frühwirth, Schliessende Statistik im Experiment, Molden Schulbuch-Verlag, ISBN 3-217-02023-3
 - [8] GEANT3, R. Brun et al., CERN Data Handling Division, DD/EE/84-1, 1987
 - [9] Brun R. and Lienart D., CERN Program Library Y250, HBOOK User guide, Version 4, 1988
 - [10] A. Bernasconi, Contribution à l'étude de la production de π^0 et γ de grande impulsion transverse dans les interactions $p\bar{p}$ et pp à $\sqrt{s} = 24.3$ GeV au SPS du CERN, Thèse Université de Lausanne, 1986

5. Le parallélisme en HEP

Parallelism and HEP experiments :

How parallelism is present in HEP experiments, followed by an introduction to the trigger concept.

Parallelismus in HEP :

Beschreibung der Einführung des Parallelizität in HEP Experimenten, gefolgt von einer Definition des Begriffs "Trigger".

Parallelismo en FAE :

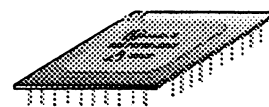
Si describe la presenza del parallelismo negli esperimenti in FAE, spiegando il concetto di "Trigger".

Paralelismo en la FAE :

Se evidencia de que manera el paralelismo se encuentra presente en los experimentos de la FAE y se expone el concepto de trigger.

Parallélisme en HEP :

La présence et l'importance du parallélisme dans les expériences sont mis en évidence. Le concept de trigger est développé.



5.1. Concept

Le principe du parallélisme est applicable à plusieurs niveaux dans les expériences de HEP, sous des formes différentes au niveau du :

- matériel (électronique, détecteurs)
- logiciel (algorithmes, programmes)
- de l'organisation (travail, information)

Les informations sont produites simultanément pour les diverses particules et doivent être stockées immédiatement dans des registres. Ces données sont toutes (ou presque) acheminées simultanément (en parallèle dans le temps!) vers des cartes de traitement séparées (le couplage entre les cartes est faible, il y a peu d'échanges d'information entre elles). Le parallélisme, de par la puissance mise à disposition, permet de traiter des événements en temps réel "au vol" pour donner une réponse rapide quant à la validité des données. Il est ici de type géographique.

Suivant la manière dont ces données sont acheminées et la façon dont elles sont traitées, le parallélisme peut devenir algorithmique, événementiel ou un mélange des deux. Le plus courant est de trouver un mélange de ces trois types de parallélisme dans un contexte réel, appelé parallélisme total.

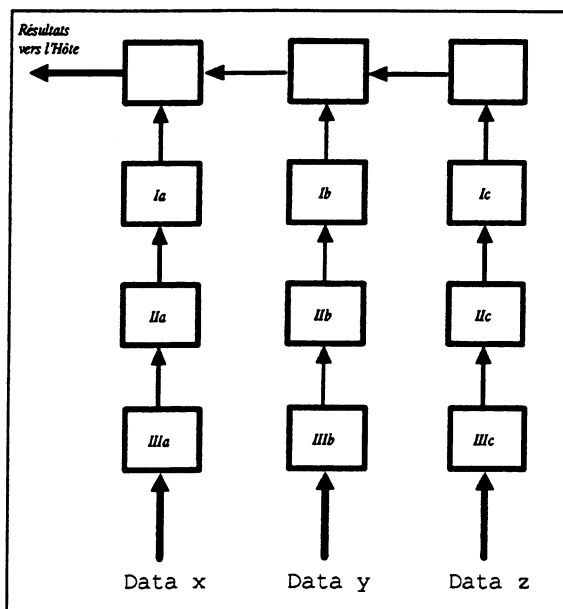


Fig. 1 : Parallélisme total (*Data* = données)

Chacun des étages (rectangles) I, II ou III peuvent représenter un processeur ou un ensemble complexe d'unités de traitement travaillant en parallèle. Les flèches indiquent le sens du flot de données (résultats et données). L'étage de traitement supérieur transmet les données finales vers l'ordinateur *Hôte*. L'ordinateur *Hôte* décrit habituellement le système principal qui assure le traitement centralisé des données et le chargement des programmes sur des unités attachées. Il correspond à une station de travail ou à un ordinateur central. Les *Data x,y,z* peuvent former un événement complet ou représenter trois événements distincts.

Le parallélisme géométrique permet de partager des données entre les processeurs. La difficulté d'utilisation de cette structure est liée aux contraintes de connexions. Sa représentation se fait dans le cas à une dimension et à deux dimensions dans les deux figures ci-après :

Le parallélisme événementiel permet le traitement des données x, y, z différentes par des processeurs qui exécutent le même programme ou des programmes spécifiques :

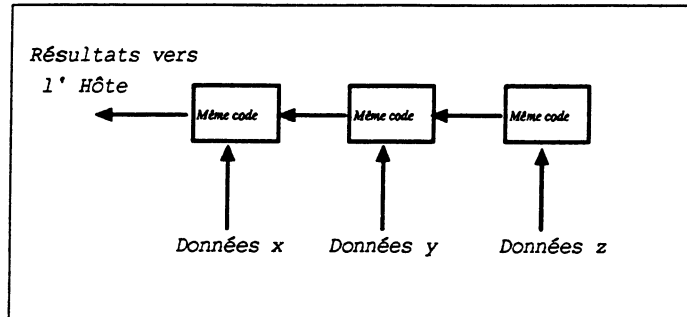


Fig. 2 : Parallélisme événementiel

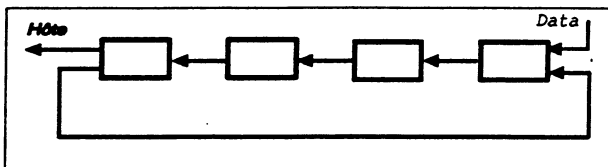


Fig. 3 : Parallélisme géométrique à une dimension

Les données et les résultats produits en parallèle sont partagés entre toutes les unités de traitement, en les faisant circuler dans chaque unité à tour de rôle (anneau).

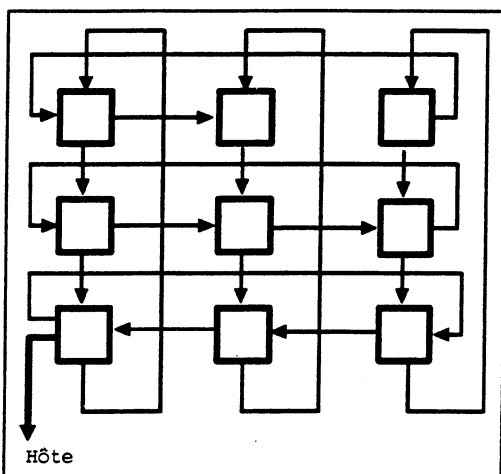


Fig. 4 : Parallélisme géométrique à deux dimensions

La connectivité entre les différentes unités permet un échange efficace des données ou résultats. Le nombre d'étapes nécessaires à la transmission d'une information entre deux unités de traitement de ce réseau est égale à 2, si chaque unité possède 4 lignes de communication.

Le parallélisme algorithmique est basé sur le flux de données à travers plusieurs étages de traitement :

Le parallélisme vient du fait que chaque étage, dès qu'il est libre, peut processor un autre paquet de données en I pendant que le traitement des données précédentes continue en amont à l'étage II. La réplique du *pipe-line* introduit un parallélisme supplémentaire.

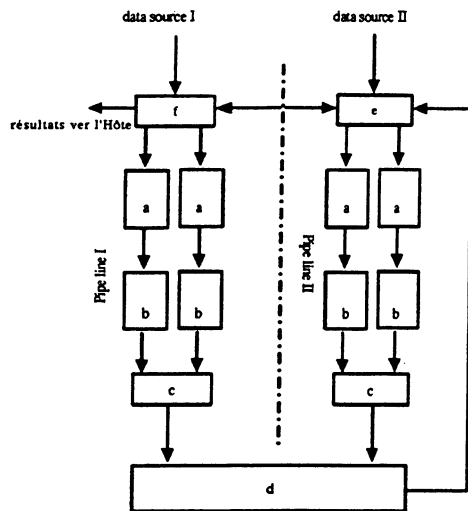


Fig. 5 : Parallélisme algorithmique

Il y a deux *pipe-line* (I et II) identiques, travaillant en parallèle, où les données et l'information produite par les étages de traitement a, b, c sont transférées vers l'étage d puis acheminée vers l'ordinateur *Hôte*.

Ces différents types d'architecture se retrouvent dans le système de traitement des données des MWPC de UA6. Cette étape s'appelle déclenchement sélectif de haut niveau (*trigger*). De manière générale, certaines complications pour les connections apparaissent quand le système de traitement doit être tolérant aux fautes :

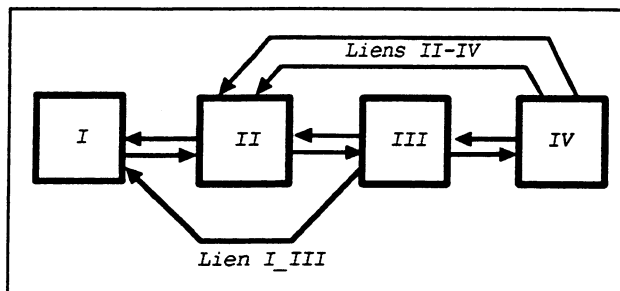


Fig. 6 : Tolérance aux fautes

Le lien entre les unités I et III permet de palier une panne de l'unité II, qui empêcherait toute transmission. De même entre II et IV, en cas de panne de III.

Néanmoins, la tolérance aux fautes n'a jamais été une priorité en HEP. Seule la vitesse d'exécution prime dans la réalisation des systèmes de traitement pour les expériences.

5.2. Concepts de déclenchement : *Triggers*

Un *trigger* est un signal créé après une analyse plus ou moins raffinée, mais en temps réel, de l'information disponible au sujet d'un événement. Il déclenche l'enregistrement de celui-ci.

Il est sensé réduire le nombre final de données écrites sur un support d'archivage (bandes, par exemple) et permettre d'augmenter la proportion d'événements contenant les structures recherchées (enrichissement). Il faut veiller à ce que le traitement de l'information ne conduise pas à rejeter des événements candidats

intéressants par un défaut de conception consistant à avoir ignoré l'existence d'un certain type d'événement. Il peut exister plusieurs niveaux de *triggers* dépendant de la complexité de leurs tâches et, point crucial en HEP, du temps nécessaire à leur élaboration, dans le but de réduire le temps mort.

Il y a une corrélation entre le temps nécessaire à un rejet et l'efficacité de rejet. En effet, ce sont ces deux paramètres qui doivent être optimisés, mais qui ne sont pas indépendants : une analyse complexe permet de rejeter beaucoup de bruit de fond mais requiert plus de temps. La qualité Q du *trigger* peut se définir comme :

$$\text{Eq. (1):} \quad Q^{-1} = \frac{\nu_{acc}}{\nu_{in}} \cdot \Delta t_{acc}$$

avec ν_{in} étant le taux d'événements à l'entrée du *trigger*, ν_{acc} le taux d'événements acceptés et Δt_{acc} le temps nécessaire à l'acceptation.

Soit un événement caractérisé par la production de particules au point de rencontre entre le faisceau du $S\bar{p}\bar{p}S$ et du jet d'hydrogène moléculaire, le passage de celles-ci dans les divers détecteurs génère quasiment instantanément en plusieurs points du spectromètre de UA6 (12 m de long) des signaux. Ceux-ci sont générés en approximativement :

$$\text{Eq. (2):} \quad \frac{L_{spectro}}{c} = \frac{12m}{3 \cdot 10^8 \cdot ms^{-1}} = 4 \cdot 10^{-8}s = 40 ns$$

ce qui représente le temps de vol maximum de ces particules entre les deux extrémités du spectromètre et auquel on ajoute le temps propre de chaque détecteur pour obtenir la valeur de déclenchement de l'électronique (*gates*). Cette durée est négligeable par rapport à l'échelle de temps nécessaire à l'acquisition des données, de l'ordre de plusieurs ms.

Selon un certain nombre de critères, imposés par l'étude de la physique à considérer, la décision peut se prendre au niveau des signaux analogiques individuels, bruts ou d'une combinaison de plusieurs. A un niveau antérieur, cette décision peut devoir être prise après digitalisation des informations, au niveau de processeurs, de réseaux de neurones ou de systèmes dédiés (sous forme de logique câblée généralement ou de *GAL*). Le niveau de détail, de finesse à atteindre, dépend de la complexité de la signature d'un événement intéressant (ou sans intérêt) comme de contingences liées au temps nécessaire pour donner une réponse.

Le parallélisme du fonctionnement de chaque détecteur est intrinsèque à toute les expériences et il peut être prolongé au niveau du traitement évolué par l'usage de processeurs travaillant en parallèle. Dans la plupart des expériences vieux style, la structure parallèle s'arrête au matériel. La figure "Structure d'acquisition générale" montre un système conçu pour le traitement d'un événement à la fois.

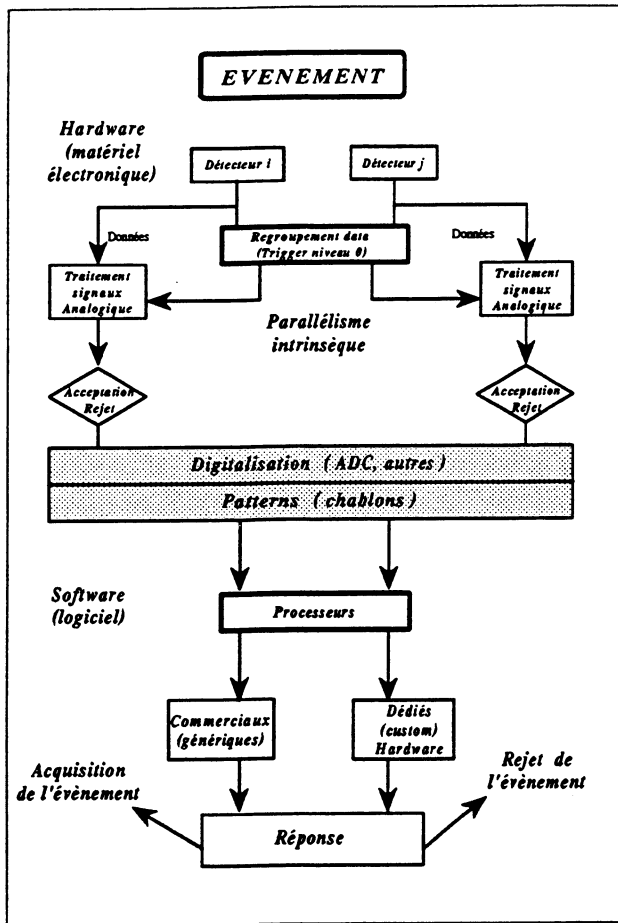


Fig. 7 : Structure d'acquisition générale

Ce schéma permet d'apprécier la complexité des moyens mis en oeuvre pour la réalisation d'un système d'acquisition de données. La diversité des méthodes utilisées rend ce domaine de recherche des plus intéressants.

Un parallélisme simple (*pipe-line* et ferme, *farming*) peut être considéré pour des événements successifs que l'on étiquette (*label*) selon l'ordre de leur arrivée. Cela exige que toute l'information suive le même chemin (ou que l'on soit capable de reconstituer l'événement original au cas où la structure de traitement considérée implique un mélange des données). Dans le *pipe-line*, les événements subissent successivement les traitements A,B et C alors que dans la "ferme" les événements sont envoyés vers des centres indépendants effectuant les opérations (A•B•C). Une unité maître détermine quel centre est prêt pour la réception d'un nouvel événement. Après le traitement, la validation ou rejet de l'événement est faite.

Plusieurs niveaux de *trigger* peuvent intervenir dans une expérience. La table suivante présente une classification hiérarchique possible :

Niveaux	Taux	$\Delta_{\text{décision}}$	Type de données	Facteur de réduction (ordre de grandeur)
zéro	$\rightarrow \text{MHz}$	$< 1\mu\text{s}$	Analogique	$\rightarrow 2-10$
un	$< \text{MHz}$	$< 10 - 20\mu\text{s}$	<i>Patterns</i> Analogique <i>Fast digital</i>	$\rightarrow 2-10$
deux	$\sim \text{kHz}$	$< 1\text{ms}$	Digitale	$\rightarrow 100$
trois	$\sim \text{Hz}$	$< 10\text{ms}$	Digitale / Objets	$\rightarrow 100$

Table 1

Un système de reconstruction de traces dans UA6 ne pourrait se situer qu'aux niveaux 2 et 3, car il y a convolution des facteurs de réduction de données et des taux admissibles. Le temps de décision est contraint par la minimisation du temps mort, ce qui augmente la luminosité atteinte (et donc la statistique et qualité des mesures). Une représentation des différents paramètres met en évidence le comportement du *trigger track* mis au point dans le cadre de l'expérience UA6 (voir chapitre 9.4. Les performances). Le taux final au niveau trois est actuellement borné par la vitesse maximale d'acquisition des données, car le transfert des données vers le support magnétique est relativement lent et d'habitude centralisé (donc pas parallèle).

5.2.1. Temps mort

Des pertes d'événements intéressants sont dues au temps mort du système de lecture ou de digitalisation. Les événements, pas toujours uniformément répartis dans le temps ^(a), se produisent suivant une loi de Poisson de moyenne μ . Soient γ le nombre moyen d'interactions par seconde, μ le nombre d'interactions dans un temps donné t et r le nombre d'interactions mesurées, et T est le temps mort, $\gamma \cdot T$ événements sont perdus en moyenne.

Soit α le nombre d'événements acceptés par seconde et q le rendement de l'acquisition, le comportement du temps mort est donné sur la figure *Nombre d'événements acceptés*. Si deux critères i et j sont combinés, de temps mort respectifs T_1 et T_2 , avec des coefficients de réduction β_i et β_j , avec $\beta_{[i,j]} \ll 1$, alors la combinaison des deux sélections agit comme suit :

a) Ceci en raison de la structure de faisceau (*bunches*) et des pertes continues de luminosité.

Eq. (3):

$$\gamma_j = \frac{\beta_i \cdot \gamma}{1 + \gamma \cdot T_i} \text{ et}$$

$$\gamma_k = \frac{\beta_j \cdot \gamma_j}{1 + \gamma_j \cdot T_j} = \frac{\beta_i \cdot \beta_j \cdot \gamma}{1 + \gamma(T_i + \beta_i T_j)}$$

Le temps mort de la deuxième sélection est à présent réduit de β_i fois par rapport au temps mort de la première sélection, d'où l'intérêt de former des décisions à plusieurs niveaux, au lieu de ne garder qu'un seul temps mort avec un taux de réduction de $\beta_i \cdot \beta_j$. Une souplesse accrue est donc permise pour la mise au point des systèmes du *trigger*.

Il est aussi possible de considérer un temps mort intrinsèque dû à l'électronique, par exemple le temps nécessaire à l'initialisation des parties d'une chaîne d'acquisition ^(a).

$$\begin{array}{lll} \text{Hz} := \text{sec}^{-1} & t := 1 \cdot \text{sec} & \gamma := 50 \cdot \text{Hz} \\ \text{MHz} := 10^6 \cdot \text{Hz} & r := 0..100 & \mu := \gamma \cdot t \end{array}$$

$$P(r) := \frac{\mu^r \cdot \exp(-\mu)}{r!}$$

$$H := \sum_r P(r)$$

$$H = 1$$

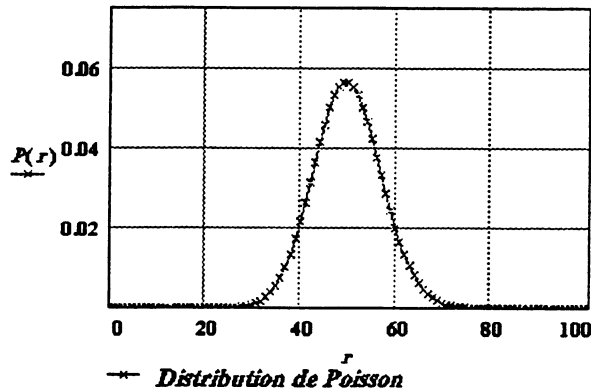


Fig. 8 : Distribution de Poisson, r est le nombre d'événements

Soit μ , le nombre moyen d'interaction par secondes, alors $P(r)$, la probabilité d'avoir r événements (interactions mesurées) durant 1 seconde, suit une distribution de Poisson. La somme H de toutes les probabilités nous donne 1. Il est clair que le rendement de l'acquisition et le nombre d'événements acceptés en fonction de la fréquence dépendent fortement du temps mort (paramètre) et que les taux d'interaction

^{a)} T.- M. Tran, Université de Lausanne, *Notices des Travaux pratiques de Physique Nucléaire*, 3ème. année, 1990

admissibles sont contraints par la durée des temps morts. Le nombre d'événements acceptés est donné en fonction des taux d'interaction. Pour un temps mort de 10 μ s, le rendement de l'acquisition ρ est de 50% pour un taux d'interaction de 10^5 Hz, alors que cette valeur est atteinte pour un taux d'interaction de $2 \cdot 10^6$ Hz avec un temps mort de 500 ns. Le rendement de l'acquisition, ρ , et le nombre d'événements, α , sont donnés pour plusieurs valeurs de temps mort.

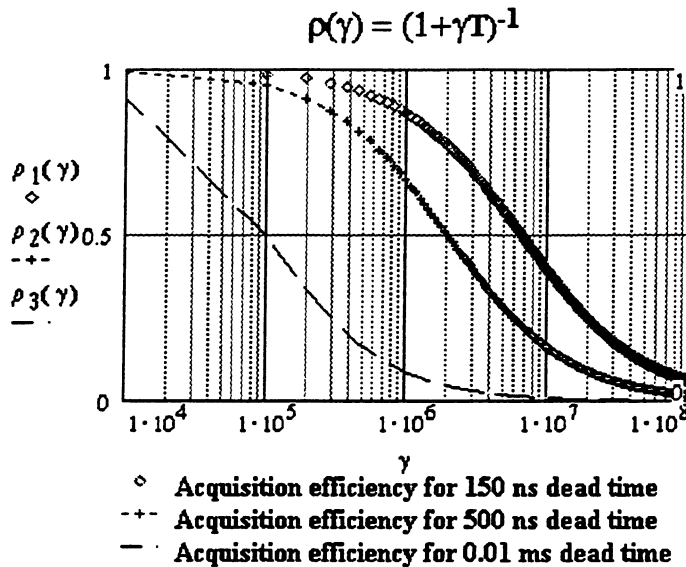


Fig. 9 : Rendement de l'acquisition ρ (temps mort), γ fréquence en Hz

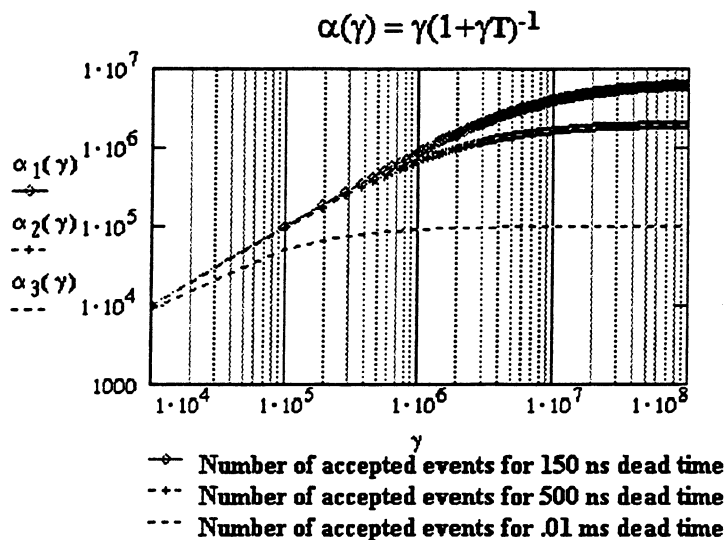


Fig. 10 : Nombre d'événements acceptés (temps mort), γ fréquence en Hz

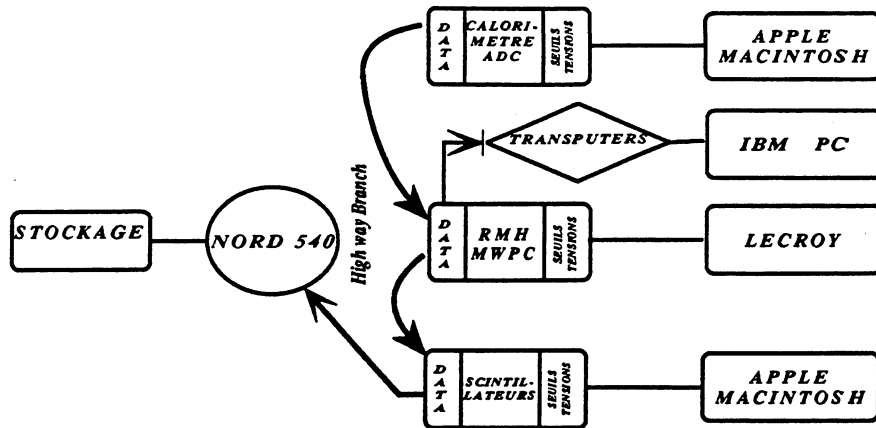


Fig. 11 : Chaîne d'acquisition standard de UA6

(*bottleneck*) découle de la structure de "Highway branch", un retard de plusieurs millisecondes étant introduit au niveau des contrôleurs. Les caractéristiques principales de UA6 pour une acquisition sont fournies dans la table ci-après :

Taille d'un événement (<i>trigger</i> γ)	4 KB/evt
Calorimètre-RMH-autres de la taille d'un événement (%)	33%-33%-33%
Interrupt $\Delta t_{Nord 540}$	600 μ s à 1 ms
DMA Δt_{RMHDMA}	3.3 μ s
<i>trigger</i> $\Delta t_{trigger \rightarrow \text{écriture bande}}$	t_{moyen} : 17 ms ^(a) t_{min} : 10ms pour un événement vide
Ordre de lecture des détecteurs par le <i>High Way branch</i> ^(b)	RMH bot- RMH top- Calorimeter top- Calorimeter bot- Calup pattern- Calup addresses- Monitor- SPS buffer- RR-debug- TO scintillators- autres

Table 2

a) Il est possible d'écrire plus de mots sur la bande magnétique sans pour autant introduire plus de temps mort dû à la lecture de l'événement, ceci en raison de notre dépendance vis-à-vis de l'organisation en blocs de l'acquisition.

b) Voir thèse de A. Bernasconi, Université de Lausanne, 1986. p. 66

Un facteur limitant la performance provient du temps de commutation des tâches dans la Nord 540 (~600 μ s-1ms) lors d'une interruption requise par les systèmes de décision demandant la lecture de l'événement.

5.4. Analyse des données

Le traitement des données s'effectue à deux niveaux :

- un contrôle (*monitoring*) sert à vérifier le fonctionnement et l'état de l'expérience. Cette analyse peut aller jusqu'au traitement complet d'une partie des événements (échantillonnage et analyse en ligne "*on-line*")
- l'analyse proprement dite après l'acquisition des données sur les unités de stockage, "*off-line*"

Ces analyses révèlent le contenu physique des données, on en déduit aussi le comportement des détecteurs et de l'électronique. Grâce à ces informations, le physicien peut agir sur certains paramètres (*feedback*) (calibrations, seuils). A ce niveau, la représentation graphique des données, l'étude des algorithmes et des critères constituent la pièce maîtresse du traitement. Une description des algorithmes parallèles utilisée dans UA6 est donné dans le chapitre 9.2.1. .

5.4.1. Contrôle et analyse en ligne

La mise en service de tout nouveau *trigger*, comme celui décrit dans cette thèse, doit être accompagnée d'un système de contrôle adéquat qui permet de vérifier son fonctionnement ainsi que la validité des décisions prises. Le contrôle de toute l'expérience UA6 est faite à travers trois systèmes indépendants de contrôle :

- la Nord 100 est utilisée pour vérifier le comportement des plans du calorimètre, la distribution d'énergie déposée dans les tubes de celui-ci, et visualiser le comportement des plans de scintillateurs du nouveau *trigger* T0 [5]
- deux MacIntosh™ SE surveillent et mettent à jour les valeurs de tension des plans du calorimètre ainsi que les seuils à imposer sur les pavés du scintillateur T0 ainsi que les valeurs des seuils des *triggers* Λ et η .
- un IBM®-PC compatible permet de connaître la distribution des fils individuels sur chaque plan de chambre, ainsi que le nombre total de fils touchés par événement.

Les paramètres de fonctionnement des chambres [voir section 4.3.1. Caractéristiques] tels que les concentrations des mélanges des gaz, tension, seuils sur les fils et alimentation des cartes de l'électronique sont contrôlés par des systèmes dédiés (LeCroy, RMHIF module). L'affichage des informations des chambres est faite par la Nord 540 et par le système du PC installé avec le nouveau *trigger* (fig. Chaîne standard d'acquisition de UA6). Certaines des informations de contrôle peuvent être envoyées en direction du système

central (Nord 540) pour évaluer les ajustements nécessaires à apporter à l'analyse *off-line* des données. Un contrôle en continu avec l'enregistrement permanent des conditions expérimentales permet de réduire fortement les incertitudes sur les mesures physiques dues à des instabilités du dispositif expérimental [6]. Un ensemble de routines en assembleur pour le temps réel (DAS) sont à disposition sur la Nord pour la description des structures de données (pointeurs), pour l'initialisation de l'électronique (ZBEGIN) et pour la lecture séquentielle des blocs des détecteurs. Le mode de transfert DMA est utilisé pour permettre une lecture rapide des mots. La lecture du bloc RMH est faite de cette manière.

5.5. Le stockage des données

Le stockage de données est réalisé sur deux unités ^(a) de bandes magnétiques de 160 MB de capacité ayant un temps de latence en écriture de l'ordre de 10 ms. Le standard d'écriture des données suit les protocoles EPIO [7]. La structure de l'information écrite sur bande est pour chaque événement constituée d'un ensemble de blocs, comprenant une entête de longueur fixe, contenant la longueur, le type et le numéro de l'événement ainsi que d'un corps de longueur variable, contenant généralement les données des détecteurs. En option, il est possible de stocker des événements intéressants sur le disque dur de la Nord 540 pour une analyse immédiate.

5.6. L'analyse des données

Un programme d'analyse est construit sur un système modulaire ANL ^(b) qui permet l'intégration de code utilisateur sous forme de routines accessibles depuis le coeur du programme. L'accès à toutes les routines est séquentiel et la configuration pendant l'analyse des données est statique, ce qui exige lors de modifications la recompilation du code et l'arrêt de l'exécution des tâches. Cet inconvénient ne permet pas d'utiliser ANL pour le contrôle de processus de *triggers*.

5.7. Parallélisme et Physique : Structure

Les étapes nécessaires pour le passage au parallélisme en physique des hautes énergies sont résumées ci-après. La détermination de la section efficace de production d'une réaction donnée conditionne tous les outils qui peuvent être mis à disposition.

a) Un stockage distribué de données est possible si l'on inclut dans l'expérience des interfaces (SCSI par exemple) au niveau de toute l'électronique de lecture, permettant ainsi la distribution sur des unités séparées en ayant soin au préalable d'étiqueter (label) l'événement partitionné pour sa reconstitution ultérieure (*event builder*). Des unités rapides à haute capacité telles que les Exabyte sont des candidats possibles.

b) B. Gabioud, Lawrence Berkeley Laboratory et IPN-Lausanne, 1978-1985

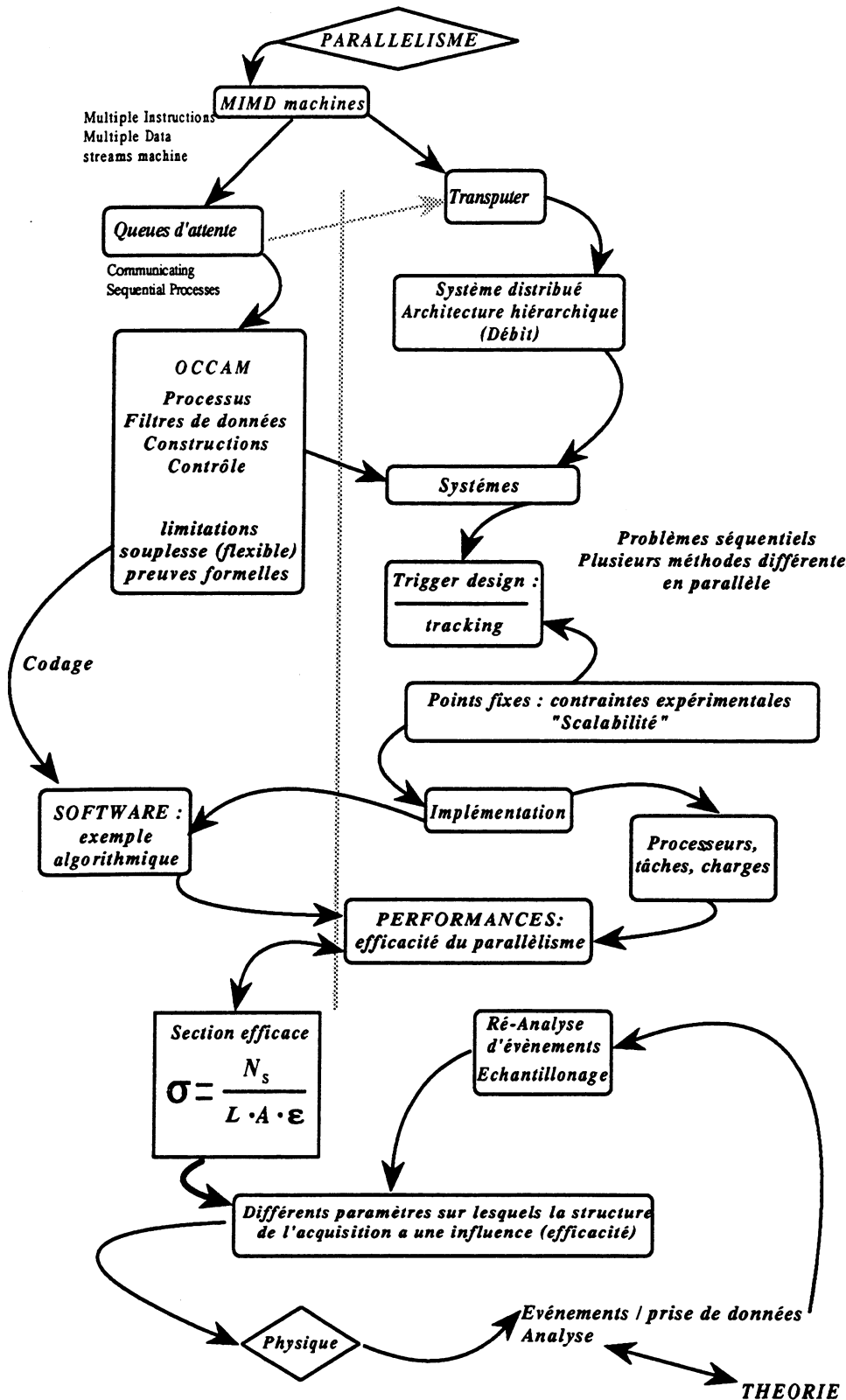


Fig. 12 : Parallélisme et physique : une vue personnelle

Dans le cas présent, une architecture de parallélisme total (*MIMD*) est mise au point. D'un côté, les outils correspondant à ce type de parallélisme, comme *Occam*® et le CSP, qui mènent à l'écriture de programmes (*Software*). De l'autre côté, le système qui va exécuter le programme parallèle, et qui doit aussi répondre aux contraintes architecturales de l'expérience. La "*scalability*", caractéristique inhérente à un ensemble d'unités de traitement travaillant en parallèle, définit les limites de gain en performance par l'adjonction d'unités supplémentaires. Le but essentiel est le gain de performance qui conduit à une luminosité *L* plus importante. Le second objectif est d'avoir une meilleure connaissance des autres termes de la section efficace, grâce à la puissance de calcul disponible. De plus, le système parallèle peut être réutilisé pour l'analyse "*off-line*" des données.

-
- [1] R.W. Dobinson (1982), *Bus Basics*, CERN Computer School, Geneva, CERN 83-03
FASTBUS (1983): *A Modular High Speed Data Acquisition System for High Energy Physics and Other Applications*.
Esone Committee, Esone/FB/01
FASTBUS (1985): *IEEE Standard FASTBUS Modular High-Speed Data Acquisition and Control System*. The Institute
of Electrical and Electronic Engineers, Inc, ISBN 0-471-84472-1
- [2] EUR 4600 1972
- [3] VMEbus 1985, VMEbus specification Manual (1985), *The Parallel Sub System Bus of the IEC 821 Bus*, Revision
C, November 1986.
- [4] J.P. Vanuxem, *A modular CAMAC system controller for the NORD-10*, CERN CAMAC note 60-01, 1978
- [5] G.R. Snow, A novel triggering system for the UA6 Electromagnetic calorimeter, International Conference on
Calorimetry in HEP, 29 October 1990, Fermi National Laboratory, Chicago, USA
- [6] R.K. Bock et al., *Data Analysis Techniques for High Energy Physics Experiments*, Cambridge UP, 1990
- [7] H. Grote et I. McLaren, *EPIO - Experimental Physics Input Output Package*, CERN, I101 EPIO, 1981, 1989
-

6. Occam ® et Transputer

Occam and Transputers :

Basics of parallelism in Computer Science. Role of Occam language in Parallelism, its influence in the Transputer chip design.

Occam und Transputer :

Grundlagen der Parallelizität in Computern. Einfluß der Occam Programmiersprache auf die Entwicklung des Transputers Designs.

Occam e Transputer :

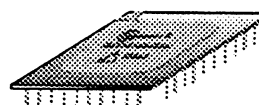
Base de parallelismo nel' Informatica, l'influenza del linguaggio di programmazione Occam nella realizzazione de Transputer.

Occam y Transputer :

Bases del paralelismo en Informática. Influencia del lenguaje de programación Occam en la concepción del Transputer.

Occam et Transputers :

Bases du parallélisme en Informatique. L'influence du langage de programmation Occam sur la conception du Transputer.



Diviser le travail et faire que les différentes unités s'occupant du traitement de l'information collaborent efficacement sur un seul et même problème constitue le défi du parallélisme. C'est la seule manière d'augmenter les performances d'une application et de répondre ainsi aux besoins accrus de calcul et d'acquisition dans les futures grandes expériences auprès des nouveaux accélérateurs (SSC, LHC).

Pour tout problème de complexité élevée, il existe une solution parallèle. S'il est naturel de diviser un problème en une dizaine de tâches parallèles (*coarse grain parallelism*), il est plus difficile de le diviser en centaines ou milliers de tâches (*fine grain parallelism*). Des méthodes et des théories sont développées pour automatiser la décomposition optimisée en tâches et sous-tâches de problèmes [1]. En physique des hautes énergies, la plupart des problèmes rencontrés au niveau expérimental sont de nature "coarse grain" à cause de la décomposition obligée des données provenant des détecteurs ^(a).

6.1. Concurrence et Parallélisme

Deux tâches sont concurrentes si elles se partagent (concourent) les ressources d'un processeur. La concurrence ne permet pas de diminuer le temps de calcul d'un problème mais garantit une meilleure occupation des processeurs.

Deux tâches sont parallèles si elles s'exécutent en même temps sur deux processeurs différents. Les tâches doivent communiquer de processeur à processeur. Le temps de calcul global peut être diminué si les communications nécessaires à obtenir un résultat ne dominent pas les opérations des processeurs.

6.2. Classification du parallélisme

Il est possible de créer un classification ^(b) de systèmes parallèles afin de mettre en évidence les différences des caractéristiques de chacun d'entre eux. Néanmoins, un système peut appartenir à plusieurs de ces classes, surtout s'il possède plusieurs unités de traitement.

6.2.1. Classes d'architecture

La classification des diverses architectures donnée ci-après est classique. Elle permet néanmoins d'apprécier les différentes formes de parallélisme et de s'y rapporter selon les problèmes à traiter comme d'évaluer les performances de nouvelles machines parallèles.

a) Des outils de programmation, mais aussi (et surtout) des concepts, pour un environnement de parallélisme s'avèrent indispensables pour la mise en oeuvre d'un réseau de *Transputers*. Effectivement, ce sont les concepts qui ont menés au développement du *Transputer*. En particulier, les processus séquentiels communicants (CSP), qui posent les règles d'une communication entre processus par envoi de messages d'un point à un autre, concept qui, explicité au niveau du hardware, se retrouve par l'envoi d'information à travers les lignes sérielles du *Transputer* (links). En plus de ce partage de données (opposé au partage de mémoire), le langage qui a donné naissance au *Transputer*, Occam®, possède les constructions de base essentielles au parallélisme et à la concurrence.

b) M. J. Flynn, "Very High Speed Computing Systems" Proc. IEEE, vol. 54, 1966, pp. 1901-1909

Architecture séquentielle : *SISD*

Un système de cette classe ne présente qu'un seul chemin (flux) aux données comme aux instructions (*Single Instruction stream Single Data stream*). Les machines classiques appartiennent à cette catégorie, à un instant donné une seule instruction est exécutée sur une seule donnée. Cela correspond à une fonction de transfert avec une entrée et une sortie.

Architecture vectorielle : *SIMD*

La catégorie parallèle la plus connue dans le domaine des simulations de processus physiques est celle des machines où une seule instruction porte sur plusieurs données (*Single Instruction stream Multiple Data stream*). Une telle architecture est appelée vectorielle ^(a), car elle est bien adaptée aux opérations vectorielles et matricielles.

Architecture duale : *MISD*

La catégorie duale consiste à avoir de multiples instructions qui s'exécutent en parallèle sur un unique flux de données (*Multiple Instruction stream Single Data stream*). Le travail à la chaîne appartient à cette catégorie, comme le traitement en cascade (*pipe line*) ou par étage.

Lorsque le temps de traitement d'un étage n'est pas constant, le débit peut être optimisé grâce à l'usage de mémoires tampons (FIFO, *buffers*) entre étages. Au niveau d'une expérience en physique, cette propriété se connaît sous le nom de "dérandomisation", qui améliore les taux de rejet. Soit une distribution linéaire des temps de traitement $t_{\min} \dots t_{\max}$ et un débit constant D de l'étage. Un tampon de longueur suffisante peut être assuré avec $D_{\text{moy}} = 1/t_{\text{moy}} = 2/(t_{\max} + t_{\min})$. Sans tampon, D n'est pas fixe au cours du temps, et le *pipe-line* serait ralenti.

Architecture à multi-processeurs : *MIMD*

Le parallélisme est utilisé au maximum dans cette dernière catégorie, où plusieurs instructions sont exécutées simultanément sur des données propres à chacune d'entre elles (*Multiple Instruction stream Multiple Data stream*). Les processeurs travaillent séparément mais avec des connexions ^(b), introduisant ainsi la nécessité de couplage poussé dans le système.

a) Cray X-MP®, 1983, CRAY™ Corporation, USA et Nec SX3®, NEC™ Corporation, Japan

b) Voir glossaire

6.3. Type de réseaux

Plusieurs topographies de réseaux ont été étudiées pour différentes applications et pour différents tests de modèles de parallélisation. Elles s'insèrent dans la représentation des architectures vues sous 6.2.1. . En particulier, des architectures à matrices de commutation (centraux téléphoniques à connectivité complète) et des architectures à connectivité incomplète (réseaux à échange et à permutations) sont abordés. Une étude détaillée de ces diverses architectures peut être trouvée dans plusieurs ouvrages [2] .

6.4. Matériel et Technologie

Le parallélisme peut être décrit aisément du point de vue du matériel, cette évolution technologique accélère l'éclosion de nouveaux systèmes dédiés qui lui sont spécifiques ^(a). Rendre ces systèmes facilement utilisables et adaptés à un grand nombre de problèmes génériques requiert de grands efforts, la programmation de puissances de calcul aussi importantes exige des systèmes d'exploitation et de développement avancés. A ce niveau, le logiciel joue un rôle essentiel et le plus grand effort de recherche se porte sur ce domaine.

6.5. Logiciel

Il est avantageux de pouvoir déclarer explicitement le parallélisme pour cela il est nécessaire de disposer d'un langage de programmation parallèle : c'est l'approche logicielle. *Occam*® est l'une des constructions les mieux réussies pour exprimer des composantes parallèles d'un programme. L'une des barrières de la programmation parallèle réside dans la partie séquentielle inhérente à toute application réelle qui limite la parallélisation; une décomposition entre parties parallèles et séquentielles doit être trouvée.

6.5.1. "Lois" du parallélisme

Certaines suppositions et certaines lois ont été énoncées pour supporter le parallélisme ou pour en limiter l'application.

Conjecture d'efficience

Si l'on considère le taux d'occupation des processeurs, l'utilisation la plus efficace est l'exécution de tâches séquentielles. Elle seule assure à l'utilisateur le 100% du temps du processeur.

^{a)} CRAY® Alpha chip based Massive Parallel Machine, Digital® Massive Parallel Machine DECmpp 12000 , IBM® Vulcan Project.

Cette efficacité de 100% n'est qu'asymptotique pour une structure parallèle, le parallélisme est cependant la seule manière, à égalité de performance de processeurs, de diminuer le temps effectif de traitement. Dans une structure parallèle, une part de la puissance de calcul effective doit être consacrée à la gestion du parallélisme (*overhead*). Néanmoins certains processeurs peuvent rester, par moments, inactifs.

Conjecture de Minsky

L'augmentation de performance obtenue avec une configuration parallèle ne croît que comme la racine carrée du nombre de processeurs.

Il existe toutefois des algorithmes parallèles n'ayant pas d'équivalent séquentiel, et les gains sont super-linéaires [3].

Loi d'Amdahl

Cette loi constitue l'une des raisons pour lesquelles le parallélisme a été fortement dénigré. Son énoncé est le suivant :

∀ application #3, ∃ *fraction*_{code séquentiel}, $f \in [0,1]$ et l'amélioration S de performance avec N processeurs est au mieux :

$$\text{Eq. (1):} \quad s = \frac{1}{\left(f + \frac{1-f}{N}\right)}$$

La fraction f représente le pourcentage d'instructions qui ne peuvent s'exécuter que de manière séquentielle, dû à l'obligation ^(a) d'avoir les résultats du calcul de l'étape précédent (données).

On présente le cas d'un nombre de processeurs N variant de 25 à 500, et une part de d'exécution séquentielle dans l'application, f , variant de 5 à 100%. Si, par exemple, nous avons un programme dont 10% des opérations doivent être exécutés de manière séquentielle, alors le facteur de gain maximum sera 10 indépendamment du nombre de processeurs qu'un ordinateur parallèle possède. La loi d'Amdahl permet de déterminer les applications qui se prêtent à une parallélisation aisée.

^{a)} Il faut cependant noter que cette obligation n'est pas vérifiée pour tous les problèmes. La recherche en parallélisme a permis de trouver des méthodes parallèles même dans des domaines que l'on croyait uniquement réservés aux méthodes séquentielles, comme les tris.

$$\begin{aligned}
 n &:= 20 \\
 i &:= 1..n & N_i &:= i \cdot \frac{500}{n} \\
 j &:= 1..n & f_j &:= \frac{1}{n} \cdot j \\
 S(f, N) &:= \frac{1}{\left(f + \frac{1-f}{N}\right)} \\
 \text{Accélération}_{(i,j)} &:= S(f_j, N_i)
 \end{aligned}$$

N est le nombre de processeurs, variant de 25 à 500.
 f est la fraction séquentielle, variant de 5% à 100%.
 S est le Speedup, accélération, dû à l'augmentation du nombre de processeurs pour plusieurs valeurs de fraction séquentielle. Le Speedup maximum s'obtient pour des valeurs de fraction séquentielle peu élevées. La courbe $1/f$ marque le Speedup asymptotique pour N tendant vers l'infini.

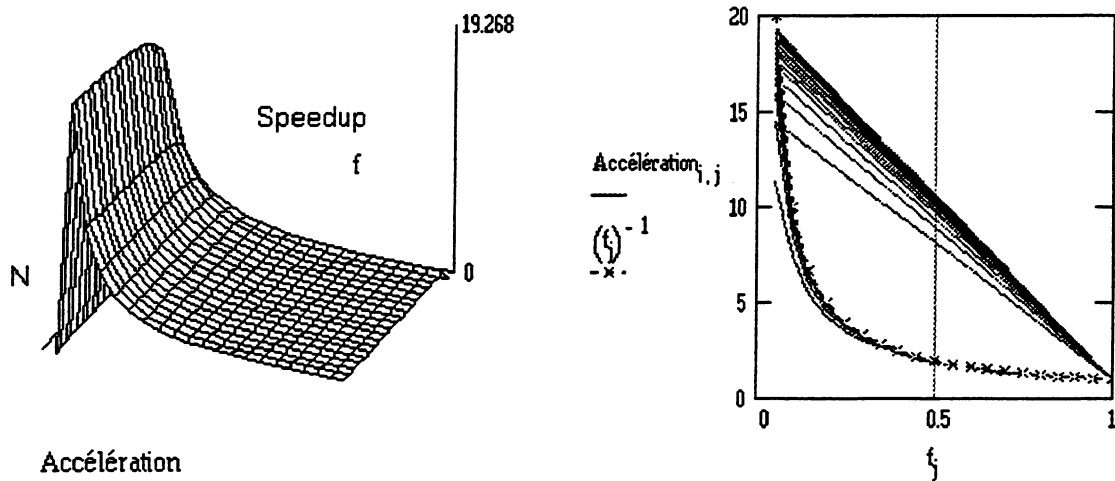


Fig. 1 : Loi d'Amdahl

Ceci est vrai si f ne dépend pas de N . En effet, l'utilisation du parallélisme pour la résolution d'un problème augmente avec le nombre d'unités de traitement utilisées. En particulier, des problèmes qui font appel à une structure de grille (réseau), comme des résolutions d'équations de diffusion sur une maille ou des problèmes d'éléments finis, se résolvent de manière plus efficace sur un grand nombre de processeurs. Ce n'est pas la fraction séquentielle des instructions qui limite le problème, mais le nombre d'unités à disposition. La taille du problème croît avec le nombre de processeurs. Une alternative à la représentation classique d'Amdahl est de représenter s unités de temps sériel et p unités de temps parallèle sur le système parallèle alors un processeur sériel nécessiterait $s+p \cdot N$ unités pour accomplir la tâche.

6.6. Transputer

Le *Transputer* est un composant électronique monolithique fabriqué par la firme britannique *INMOS*® [4], de conception révolutionnaire à l'époque de sa création (1984). Il se caractérise par l'intégration de toutes les parties nécessaires à la mise au point d'un système :

- processeur arithmétique (CPU) 32 bits [16 bits pour certains modèles], horloge jusqu'à 30 MHz
- coprocesseur mathématique optionnel (FPU) 64 bits
- 2 ou 4 kB de mémoire interne rapide (SRAM), de 16 ns de temps d'accès
- interface pour la mémoire externe (*External Memory Interface*), adressant jusqu'à 4 Gigaoctets de mémoire externe (DRAM) [64 Koctets pour un *Transputer* 16 bits]
- 4 liens sériels bidirectionnels (links) à 5/10/20 Mbits/s, pouvant transférer par lien un mot de 32 bits en 1.2 μ s, après un temps de configuration de 3 μ s pour le DMA
- broche de contact pour une interruption extérieure, pouvant être directement décodée par le logiciel (*event pin*)
- temps réduit de commutation entre tâches (*context switching*), grâce à un micro-contrôleur (*scheduler*) d'exécution

De grands réseaux de calcul peuvent être formés grâce aux possibilités offertes par les liens, qui permettent la connexion à d'autres *Transputers*. Un point intéressant pour la physique est la capacité de gérer des systèmes en temps réel, due à la simplicité d'interfaçage du *Transputer* et à sa réponse rapide en cas d'interruption extérieure (630 ns). Ces divers caractéristiques font de lui un candidat idéal (mais pas unique) pour la construction de systèmes parallèles. Il y a un système d'exploitation minimal au niveau d'un seul circuit ^(a) qui gère les différentes activités et processus exécutés par le *Transputer* et supporte les liens de communication.

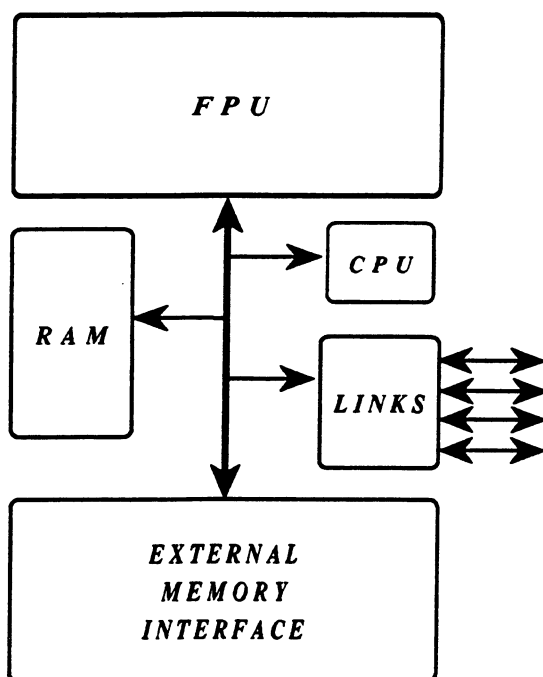
Il existe des modules *Transputers* commerciaux [5] (TRAMS) comprenant un *Transputer* et de la mémoire dynamique ou statique. Ils s'insèrent sur des cartes mères par un système de broches. Ces cartes mères *Transputer* s'insèrent dans des bus commerciaux tels que l'ISA de l'IBM-PC et le bus VME.

Divers essais fonctionnels ont été réalisés sur les *Transputers* pour évaluer leur puissance de calculs et la facilité avec laquelle on peut les intégrer dans notre système d'acquisition.

^{a)} Ce qui est à contraster avec la notion de Single System Image de Chorus®.

Lors de la création de cartes spécifiques, des programmes pour les tests ont dû être mis au point pour la vérification des mémoires installées sur les cartes. *INMOS®* fournit un logiciel générique pour tester les structures des divers réseaux et analyser leurs configurations et connexions. Les résultats sont donnés sous forme de table, décrivant le type de *Transputer*, les connexions entre processeurs et la mémoire disponible. Ce logiciel ne s'est pas révélé suffisant en particulier pour détecter des erreurs au niveau des pistes (court-circuits).

6.6.1. Architecture



Le bus interne du *Transputer* a une vitesse de 80 MOctets/s. Deux types de *Transputer* ont été utilisés dans le cadre de l'expérience UA6 :

- le T425-25, qui possède 4 kBytes de mémoire interne mais pas de FPU et une fréquence d'horloge de 25 MHz
- les T800-20 et T800-25, qui ont 4 kBytes de mémoire interne, un FPU et tournent respectivement à 20 et 25 MHz

Fig. 2 : Structure interne du Transputer

Les liens de communication peuvent être utilisés à des vitesses de transmission de 10 Mb/s ou 20 Mb/s. La technologie d'implantation utilisée sur le circuit est le CMOS à 1.5 μm d'intégration.

6.6.2. Défauts et nouvelles évolutions

Certaines limitations apparaissent lors de l'emploi intensif du *Transputer*. Les preuves formelles d'exécution correcte d'un programme écrit en *Occam®* ont pour contre partie une configuration statique, tant du point de vue matériel que du point de vue logiciel. Pour le temps réel, la présence de deux seuls niveaux de priorité

complique certaines gestions d'exécutions (*multi-threading*^(a)). Le débogage est réduit à une activation "post-mortem", il n'est pas possible d'insérer des *break-points*. Le suivi des valeurs des variables est virtuellement impossible (*tracing*). Il est nécessaire pour faire cela de réécrire complètement le noyau du *Transputer* et de se baser sur un modèle de programmation différent^(b).

Le *Transputer* ne gère pas la mémoire virtuelle au niveau matériel. Ceci réduit fortement son emploi dans le monde des stations de travail et autres systèmes de l'environnement UNIX.

Le système *Transputer* s'avère facile d'emploi, mais l'absence d'un véritable système d'exploitation distribué sur un grand nombre de noeuds de calcul constitue un handicap certain pour l'utilisateur moyen.

6.6.3. Temps réel

La conception du processeur a privilégié la simplicité. D'elle découle le mécanisme de traitement des interruptions extérieures par l'intermédiaire d'un contact dédié, *event pin*, ainsi que la possibilité d'adresser en mémoire des périphériques externes. Le programme de test suivant démontre la simplicité d'emploi d'*Occam*® pour accéder le niveau matériel et gérer des interruptions en temps réel (explication sur la colonne de droite) :

- PROC *RMH.test* (CHAN OF INT *de.hote, vers.hote*)

PORT OF INT <i>rmh</i> :	-- processus
CHAN OF INT <i>event.in</i> :	-- déclarations
INT <i>reset, pattern, event</i> :	-- canal (CHAN)
	-- port (PORT)
	-- variables
PLACE <i>event.in</i> AT 8 :	-- PLACE instruction de
SEQ	placement pour le canal
<i>rmh ! reset</i>	<i>event.in</i> sur l'aposition
	mémoire 8 qui correspond
WHILE TRUE	au contact <i>EVENT</i> .
SEQ	--boucle d'interrupt sur le
<i>pattern := 0</i>	contact <i>EVENT</i> et d'envoi
<i>event.in ? event</i>	de l'information lue dans
WHILE ((<i>pattern</i> ^ #C0000000) <> 0)	<i>pattern</i> sur le port <i>.rmh</i>

a) Co-routines

b) Un tel système, *Inquest* de la firme INMOS, a nécessité 100 hommes-années de travail.

SEQ
rmh ? pattern
to.host ! pattern

Le canal *event.in* est placé explicitement en position mémoire absolue du *Transputer 8*. Il attend des entiers 32 bits, comme indiqué lors de la déclaration CHAN OF INT. Celui-ci reçoit un signal qui initie la lecture des mots du RMH sur le canal *rmh*, puis l'envoie vers le processeur host sur le canal *to.host*. De la même manière, un signal de *reset* extérieur peut être activé par une instruction du programme. L'une des tâches les plus exigeantes est la surveillance permanente d'une adresse mémoire pour la détection d'un changement d'état (transition d'un bit à 1 par exemple) : c'est du *polling*. Elle monopolise le processeur. Ceci est évité la plupart du temps en *Occam®* par l'utilisation de la construction ALT liée à l'utilisation d'un TIMER. Le PORT^(a) est un type utilisé pour les communications avec des périphériques placés en mémoire et ayant un protocole analogue à ceux des links (*polling*). Un TIMER est une horloge interne au *Transputer* qui permet le contrôle de processus internes. Le PORT est destiné à gérer des objets non-*Transputers* qui n'ont pas un protocole de liens.

6.6.4. Performances

La latence de la réponse à une interruption externe est un facteur primordial dans le comportement des systèmes temps réel. Le temps nécessaire à la sauvegarde du contexte d'exécution est de l'ordre de la microseconde pour le *Transputer*. Une valeur typique d'accès mémoire dynamique est de 250 ns. Une autre valeur typique est le temps d'exécution d'un passage dans une boucle (WHILE), qui vaut 900 ns. D'autres mesures de performances sont données en annexe [6].

6.7. Le langage Occam®

Pour réaliser une application parallèle, les communications entre tâches doivent être assurées par un protocole; la part d'exécution séquentielle et le partage des données doivent être contrôlés. Les communications ont un coût, variable suivant que celles-ci se font directement ou virtuellement, par matériel ou par logiciel. Un optimum pour la taille des paquets d'information échangée peut être trouvé. Une limitation de la décomposition est donnée par le temps de communication. Un mécanisme de synchronisation doit assurer la validité de l'état de l'information accédée par des tâches s'exécutant en parallèle. Plusieurs méthodes de synchronisation sont disponibles :

a) Le pin Event peut être considéré soit comme un canal soit comme un PORT. S'il est déclaré comme un PORT, aucun signal de réception de message n'est renvoyé sur le pin. Par contre, s'il est déclaré comme CHAN, ce signal est généré comme confirmation de réception. Cette caractéristique est vraisemblablement une erreur de conception, bien que la logique veuille que pour avoir une confirmation de réception sur un PORT matériel, il faut explicitement donné le signal de retour, et ce mécanisme n'est automatique que si le CHAN est employé.

- attente active (test de variables)
- sémaphores (noyau pour commutation de tâches avec *Signal/Wait*)
- moniteurs (noyau pour l'exclusion mutuelle de procédures concurrentes d'un même module)

Celle que nous allons aborder en détail est la méthode utilisée pour la synchronisation entre les processus du langage *Occam*®. Elle est réalisée par la transmission de données (*message passing*), un message ne pouvant pas être reçu avant d'avoir été envoyé! Il suffit de raisonner au niveau des flux de données. Cette méthode est appelée processus communicants séquentiels (*CSP*) [7] et a été reprise par *ADA* et par *Occam*®, et le nom de **RENDEZ-VOUS** lui a été associé. Les opérations de base sont :

- envoi de message : *Send (messageBuffer, toDestination)*

un message est transmis par un processus, dit *producteur*, vers un autre processus, dit *consommateur*

- réception de message : *Receive (messageBuffer, fromSource)*, l'opposé

Cette communication et cette synchronisation point à point ont plusieurs conséquences :

- le processus consommateur est placé sur la liste d'attente par un noyau de contrôle jusqu'à ce qu'un message soit reçu à son intention de la source choisie et il est ainsi réactivé par l'arrivée du message du processus producteur
- le processus producteur suspend son traitement jusqu'à ce qu'il ait été notifié que le processus consommateur a bien reçu le message (rendez-vous)

Ce passage de message est synchrone, impliquant un blocage du couple producteur-consommateur jusqu'à l'accomplissement de la communication. Une généralisation de ce concept pour un message non-bloquant est réalisée avec les "boîtes aux lettres" (*mailbox*) si l'on dispose d'une mémoire tampon (*asynchronous message passing*). Cette méthode est souvent utilisée dans les réseaux locaux lors des échanges de données entre client-serveur.

La synchronisation provoque une perte de performance de par l'attente dans l'exécution des tâches qu'elle entraîne. De plus, une attente infinie peut se produire dans les cas où une tâche (*tâche 1*) attend un événement devant être produit par une autre (*tâche 2*), qui elle à son tour attend un message de *1* pour déclencher cet événement. C'est une situation d'**interblocage**.

Ces risques peuvent être diminués en rendant les ressources accessibles dès que possible, ou ils peuvent même être annulés si l'on peut s'assurer de la disponibilité des ressources avant de se les attribuer, c'est à dire en forçant leur ordre d'allocation de manière à garantir l'absence de tout cycle d'attente. L'introduction de temporisation (*time out*) peut aider à la détection des interblocages.

Une application devient un ensemble de processus (tâches) séquentiels répartis sur différents processeurs, les tâches dialoguant entre elles par ces canaux de communication unidirectionnels. Une sortie ne peut être reliée qu'à une seule entrée et réciproquement. Les tâches individuelles ne peuvent être exécutées que de manière séquentielle ou concurrente (sur un seul processeur) alors que les processus peuvent être exécutés en parallèle (sur différents processeurs).

Occam®

Le langage *Occam* a été créé pour la programmation de systèmes parallèles. Il tient compte des besoins de communication entre processus, ainsi que de tous les aspects de synchronisation entre tâches et de temps réel. Il permet de configurer un ensemble de processeurs. *Occam* s'utilise pour des systèmes monoprocesseurs (concurrency) aussi bien que pour des systèmes multiprocesseurs (parallélisme). Pour une définition formelle du langage, on peut consulter la section D. Introduction au Langage Occam®.

6.7.2. Parallélisme

Le parallélisme intervient au niveau de la distribution des procédures sur différents processeurs connectés par leurs liens. La procédure doit comporter des canaux de communication en paramètre. L'instruction **PLACED PAR** permet d'attribuer les processus aux processeurs, et des noms logiques pour ses canaux sont donnés. Les canaux sont aussi explicitement connectés à des liens par l'instruction **PLACE AT**, *compris*, *cesse*, *lecture*, *pretrigger*, *resultat*. *Trigger* sont les noms logiques des canaux placés sur les liens, *test.NSE* est une procédure qui communique au travers des canaux précités et qui est placée sur le processeur 1 :

```

VAL lien0.in IS 3 :                -- 2,3,6,7 sont les numéros
VAL lien0.out IS 7 :              -- physiques des liens
VAL lecture.pretrigger IS 2 :
VAL resultat.Trigger IS 6 :

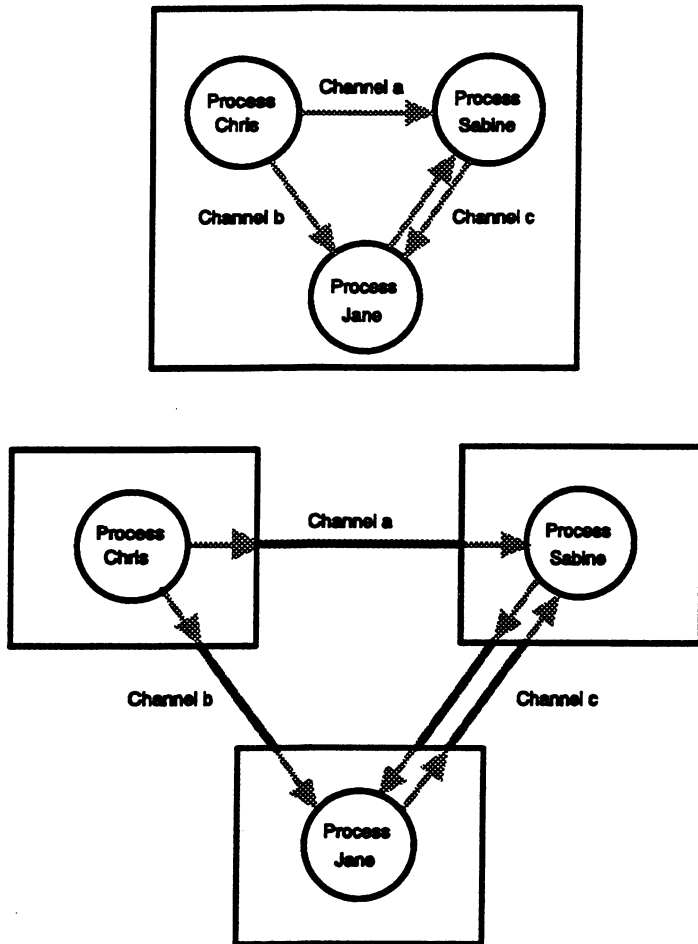
PLACED PAR
  PROCESSOR 1 T8                  -- signifie que le processeur 1
                                  -- est un T800

  PLACE compris AT lien0.in :
  PLACE cesse AT lien0.out :
  PLACE lecture.pretrigger AT vers.C011 :
  PLACE resultat.Trigger AT de.C011 :

  test.NSE (compris,cesse,lecture.pretrigger,resultat.Trigger)

```

Le passage de processus concurrents sur un même processeur à la distribution de ces mêmes processus sur des processeurs différents est schématisé sur la figure "Processus et canaux en Occam®". Les *Transputers* sont les rectangles, les processus sont représentés par les cercles. Les canaux sont en gris clair et les canaux passant par les liens sont en noir.



Cette possibilité permet de développer un programme parallèle sur un seul processeur et, une fois la mise au point réalisée, de le faire migrer sur un réseau.

Fig. 3 : Processus et Canaux en Occam

6.7.3. Système de développement

Des produits d'*INMOS*® ont été utilisés pour l'écriture des programmes et pour la configuration des réseaux du système [8].

Logiciel

INMOS® fournit deux environnements de développement. Le premier est le TDS, ou *Transputer Development System*, le deuxième est le *Toolset*. La principale différence réside dans le processeur hôte :

pour le *Toolset*, un IBM®-PC compatible est utilisé pour l'écriture et la compilation de programmes alors que pour le TDS il est nécessaire d'avoir une TRAM^(a) de mémoire suffisante pour lui permettre d'exécuter les programmes de développement et de compiler du code.

Plusieurs langages sont supportés tels le C, le Fortran 77 et Occam®. L'emploi d'un protocole fixe (*harness*), propre à INMOS, permet de faire coexister ces différents langages à l'intérieur d'une même application.

Pour la connexion avec l'écran, le clavier et le système de fichiers de l'hôte, INMOS® a développé un serveur, *Iserver*, dont les sources sont fournies afin de permettre l'adaptation à de nouvelles machines, tels les stations de travail ou les Apple® MacIntosh™. Une autre possibilité est de compléter l'interface de base en le couplant à un environnement graphique tel que *MS-Windows* [9].

Matériel

Deux types de cartes de support ont été utilisées pour le développement de UA6. Une IMS-B008 d'INMOS®, installée dans un PC et une carte basée dans un Apple MacIntosh™, MTX1 [10]. La carte B008 peut supporter jusqu'à 10 TRAMS. La carte MTX1 comporte un unique *Transputer* mais inclut un interface graphique et supporte des liens optiques.

[1] A. Schneider, *Automatic Code restructuration*, CERN, 1991

[2] K. Hwang, F.A. Briggs, *Computer Architecture and Parallel Processing*, McGraw-Hill International Editions, Computer Science Series, 1985

M.J. Quinn, *Designing efficient algorithms for Parallel Computers*, McGraw-Hill Inc., 1987

[3] John L. Gustafson, *Reevaluating Amdahl's Law*, Communications of the ACM, May 1988 Volume 31 Number 5.

[4] INMOS® Limited, 1000 Aztec West, Almondsbury, Bristol BS12 4SQ, UK.
TelePhone (0454) 616616, Telex 444723

[5] IQ Systems, INMOS®, Prentice Hall, London

[6] R.W. Dobinson, D. Jeffery et J.L. Pagès, *The application of Transputers in Data acquisition systems*, 1988, CERN

[7] Robert H. Kuhn & David A. Padua, *Tutorial on Parallel Processing*, IEEE Computer Society, IEEE Catalog Number EHO 182-6 C.A.R. Hoare, *Communicating Sequential Process*.

[8] IQ systems

[9] W. Lu, Division ECP, CERN, Rapport interne, 1990

[10] Ergonomics AG, CH-8037 Zürich

a) Transputer Module

7. Transputers et UA6

Transputer and UA6 :

Parallelisation upgrade of normal RMH chamber readout in UA6 using Transputers. Description of PCA and NSE Transputer boards created for the upgrade to a second level charged track trigger.

Transputer und UA6 :

Parallele Erweiterung der Eingabesysteme für MWPC für die zweite Stufe des Triggers für das Auffinden von Bahnen geladener Teilchen. Beschreibung der NSE und PCA Transputer Karten welche speziell für das Trigger-Niveau 2 entwickelt wurden.

Transputer e UA6 :

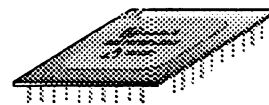
Sviluppo di un sistema parallelo per la lettura dei dati MWPC per un Trigger di secondo livello, dedicato alla ricerca delle particelle caricate. Presentazione dei nostri Transputer boards, i PCA e NSE.

Transputer y UA6 :

Dedicado a la búsqueda de partículas cargadas, desarrollo de un sistema paralelo de lectura de datos de las MWPC constituyendo un trigger de segundo nivel. Descripción de las tarjetas electrónicas creadas : la PCA y la NSE.

Transputers et UA6 :

Développement d'un système parallèle pour l'acquisition des données des MWPC et pour la recherche de traces de particules chargées constituant un trigger de deuxième niveau. Description de nos modules électroniques : PCA et NSE.



7.1. Liens avec UA6

Les unités (*crates*) de lecture de l'information des chambres à fils ont été conçues ^(a) (voir section 4.4.2. UA6 : Chambres proportionnelles et RMH) afin de permettre une lecture en parallèle des multiples plans de fils. Cette particularité, propre à l'expérience UA6, apparaît dans l'architecture du bus de données et de contrôle reliant les modules RMH au contrôleur du *crate*, le *Crate Encoder (CE)*. Afin de minimiser le temps de lecture des différents modules contenant de l'information, le bus d'un *crate* a été séparé pour permettre l'insertion d'un contrôleur supplémentaire. Celui-ci gère alors le nombre exact de modules correspondant à un plan de fils. Il est dès lors possible de sortir l'information de manière rapide et efficace pour une utilisation indépendante à des fins de *trigger*.

Une innovation est l'utilisation de processeurs commerciaux et largement diffusés afin de réaliser un système complexe de *trigger*.

L'interconnexion du système de *Transputer* avec l'électronique hétéroclite de UA6 constitue le premier défi. Le système nouvellement installé est un ordinateur complexe et ne peut pas seulement être considéré comme un simple module électronique supplémentaire. Ceci en raison de la présence de programmes de contrôle résidant dans la mémoire des *Transputers*.

7.1.1. Contraintes

Diverses contraintes de compatibilité du dispositif à lecture parallèle avec le mode de fonctionnement normal limitent la réalisation et l'implémentation du projet. Le système d'acquisition parallèle doit s'insérer dans l'environnement expérimental existant et se comporter du point de vue des programmes courants d'analyse et de contrôle, pendant les prises de données, de la même manière que le système qu'il remplace (*émulation*). Les fonctionnalités de parallélisme et de traitement accrus ne doivent en aucun cas pénaliser l'acquisition, donc ne pas introduire un temps mort notable dans les processus de *trigger* existant et ne pas ralentir l'écriture des événements.

Une autre contrainte critique a résulté de l'échéance du fonctionnement du collisionneur dans l'expérience UA6 en automne 1990. Le projet, aussi bien du point de vue matériel que logiciel, devait donc être opérationnel durant cette période. Ces contraintes et l'aspect pluridisciplinaire des développements à réaliser, qui ont permis de réunir dans une même équipe des informaticiens, des électroniciens et des physiciens, ont imposé une définition précise et claire des tâches à réaliser. Cette situation est typique des expériences en HEP.

a) L. Dick, C. Joseph et H. Wandler, *RMH splitted crates*, UA6 internal development, 1983, CERN

Le flot d'information à traiter ^(a) définit strictement les performances à atteindre. Les données des chambres peuvent être fractionnées de diverses façons pour permettre un traitement parallélisable. Toute modification du niveau de parallélisme implique des restructurations en profondeur de l'électronique de l'expérience installée. Cette contrainte est de type architecturale. Le système une fois achevé doit pouvoir permettre un traitement optimal et parfaitement contrôlé du parallélisme. Le système doit être ouvert et extensible. La conception du logiciel ^(b) ne devrait en aucun cas dépendre du matériel utilisé. Le travail réalisé permet de réutiliser les concepts logiciels et *hardware* développés. Seules les parties spécifiques au système cible, ici le RMH, et les parties propres au *Transputer* dépendent du matériel.

La possibilité d'exécuter en parallèle plusieurs codes séquentiels permet de vérifier la validité des décisions, qui doivent être les mêmes pour deux analyses indépendantes. Les traitements en parallèle sur des mêmes données impliquent que ces données soient dédoublées (copiées vers les destinataires).

Cette caractéristique a été utilisée dans UA6 pour augmenter les performances de traitement. Les données sont copiées dans la mémoire interne du *Transputer* puis envoyées sur des réseaux dédiés à des analyses différentes. Si l'un des liens d'un plan de fils reste inutilisé, il est possible de réduire les temps de transfert à l'intérieur d'un même réseau d'analyse en utilisant ce lien pour acheminer les données de ce plan de fils vers un processus consommateur en attente.

7.1.2. Essai de parallélisation

L'introduction du parallélisme dans UA6 peut s'imaginer à divers niveaux et de diverses manières. Un parallélisme de style massif est possible au niveau du groupement de tous les fils en un vecteur unique. Cette structure est alors traitée dans une succession de *GAL* ^(c) qui réalisent une combinaison logique des fils touchés par une méthode de recouvrement de zones à un ou deux fils (tangentes) associée à une méthode de recherche en arbre. L'avantage de cette méthode est la rapidité atteinte, décision obtenue en moins d'un cycle (*bunch crossing time* de 3.8 μ s). Le désavantage est la nécessité de modifier toute l'électronique des modules RMH pour disposer des réponses individuelles des fils ^(d).

a) Avec les contraintes temporelles imposées par la fréquence de répétition des interactions, compte tenu de la possibilité de réduction de cette fréquence par à un déclenchement sélectif de niveau inférieur.

b) Evidemment, cela dépend du niveau d'abstraction considéré.

c) J.L. Pagès, meeting interne IPNL, 1989, Sortie des OR sur les fils à partir des modules RMH et implémentation d'un *trigger hardware* basé sur des Alterra GAL.

d) Ce type de *trigger* a d'ailleurs été réalisé, voir P.Battaiotto et al., The tree-search processor for real-time track pattern recognition, Nucl.Instr. And Meth., A287 (1990) 431-435

Une transformation moins radicale serait de récupérer les *patterns* de fils touchés par module RMH individuel. On connecterait le bus 32 bits d'un *Transputer* au connecteur du module RMH (qui comprend l'information de la station, avec ses 19 bits sortis, 16 pour les fils, deux pour *UH/LH* et un pour le *flag F*). L'information de la position absolue du module serait codée dans le *Transputer*, puisque l'on ne dispose pas de l'adresse donnée normalement par le *CE*. Le gain en performance à ce niveau-là n'est pas évident. En effet, le niveau de parallélisme introduit est trop élevé. L'information partielle d'un module n'a que peu de signification physique, et le seul traitement possible en parallèle serait de trouver le centre de gravité d'un groupe de fils touchés, de coder cette position absolue dans la chambre, puis d'effectuer un transfert d'information ou celui d'un regroupement significatif des informations pour un traitement cohérent ultérieur. Un obstacle pratique est le coût lié au nombre de modules d'interface à installer (134).

Le niveau plus simple de parallélisme recherché est associé à l'unité logique que constitue un plan de fils. Cette unité logique correspond dans l'organisations "*hardware*" au *CE* qui contrôle la lecture d'un plan de fil. Un interface peut être réalisé qui récupère l'information pourvue par le *CE*. Cette solution constitue un excellent compromis, car elle ne requière que le développement de deux modules d'interface. Du point de vue des performances, elle peut paraître moins efficace; néanmoins, le bus *CE-branch* est rapide (deux fois environ la vitesse d'un bus *VME* [1] et équivalente à celle d'un bus *FASTBUS* [2]). Pour un nombre moyen de mots à lire par *CE*, le degré de parallélisme introduit est suffisant.

Simplicité

Une étroite correspondance existe entre le choix de l'architecture matérielle et le type de traitement de données à effectuer. Ceci est d'autant plus vrai que le système matériel choisi repose sur des *Transputers* qui sont une image bijective d'*Occam*®. La simplicité résulte de l'exploitation du grand degré de parallélisme intrinsèque de l'expérience, qui réalise une adéquation idéale entre le matériel et le logiciel.

Organisation

Une fois le problème posé, il devient clair que pour acquérir et traiter les données des plans des chambres en parallèle, le système de lecture séquentielle doit être modifié de manière à ce que chaque *CE* soit lu par un module basé sur un *Transputer* dédié, le *Parallel Crate Acquisition (PCA)*. Tous les *PCA* sont connectés par marcottage (*daisy chain*) à travers des liens de *Transputer* pour reproduire la topographie d'acquisition du système traditionnel. Ceci bloque déjà deux des quatre liens du *Transputer* du *PCA*.

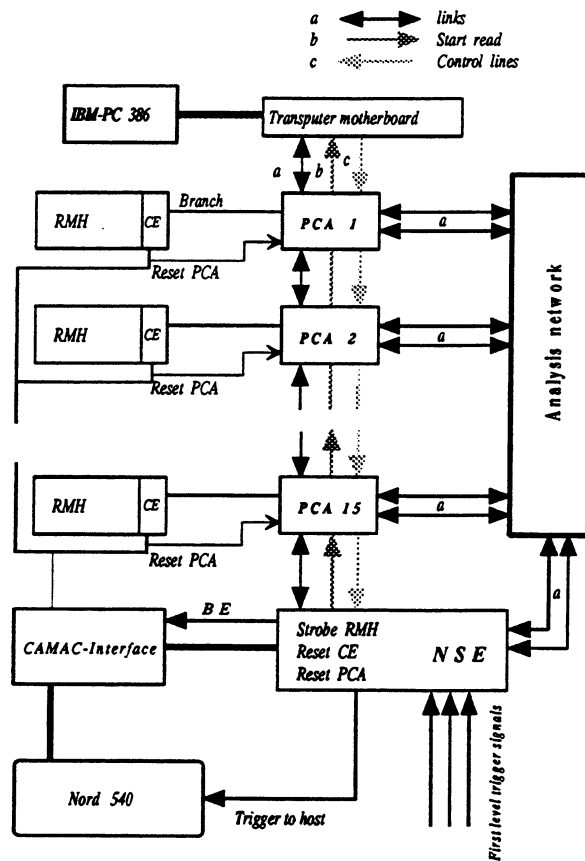


Fig. 1 : Architecture du système parallèle avec le détail des connexions

Pour garder la compatibilité avec l'environnement expérimental existant, telle que la connexion avec le *High-way Branch* vers l'ordinateur central d'acquisition, un passage vers le CAMAC doit être assuré. De plus, il faut introduire un contrôleur de la chaîne. Ce rôle est joué par le *New System Encoder (NSE)*, qui présente un *InterFace CAMAC (IF)* similaire à l'ensemble *System Encoder* et *IF* originaux.

Structure d'acquisition

Le système complet avec l'ensemble des connexions et des signaux de contrôle est montré dans la figure "*Connexions du système parallèle*".

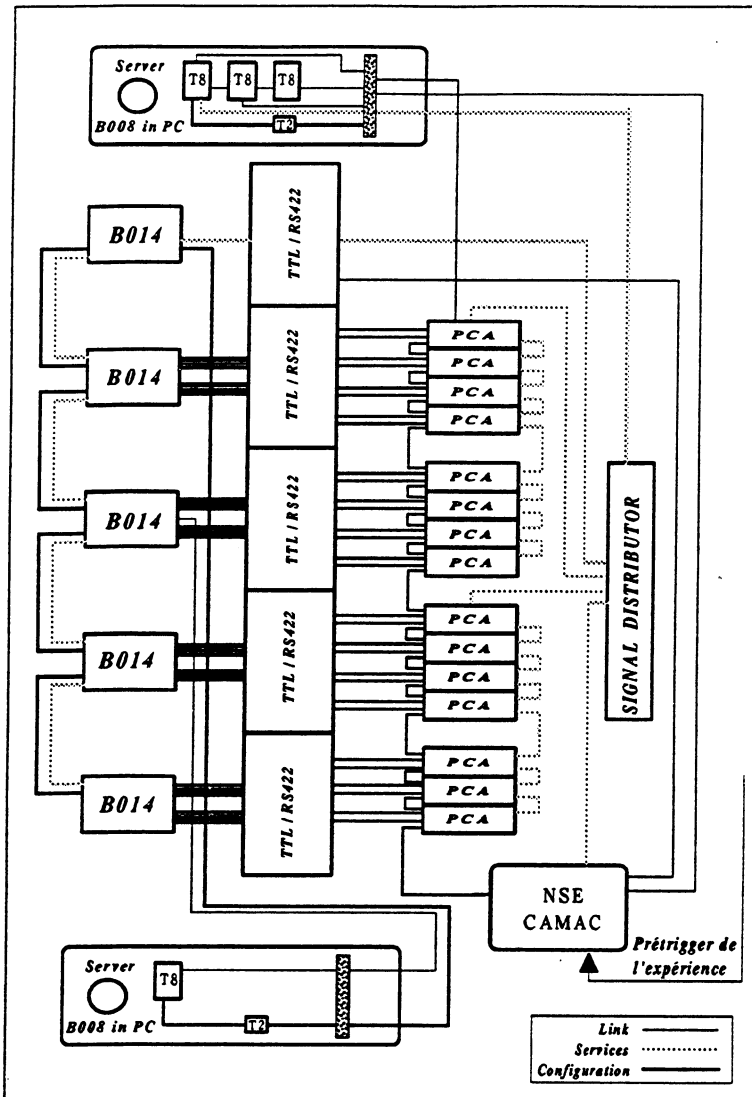


Fig. 2 : Représentation détaillée des diverses connexions du système parallèle, où apparaissent les signaux de Service (*Transputer avec Analyse, SubSystem, Error*) et la configuration des liens dédiés, qui permettent la mise à jour statique des connexions par les matrices de commutation (IMS C004).

Une image de la configuration matérielle réelle installée dans l'expérience doit être fournie aux divers programmes s'exécutant dans les *Transputers*. Ceci nécessite la mise en place d'une base de données, qui peut être extrêmement simple et ne pas posséder une structure d'interrogation standard ^(a); pour nous elle est incluse dans un fichier texte ASCII formaté. Ce sont les fichiers à extension "cfg".

a) Cette structure devient nécessaire quand la taille de l'expérience ne permet plus une gestion linéaire de la configuration. En particulier, la lecture des configurations doit pouvoir être sélective et des interrogations complexes doivent pouvoir être réalisées avec un langage de type SQL ou QBE.

Modes de fonctionnement

Le système fonctionne suivant deux modes complémentaires. Le premier mode est dit mode d'acquisition (passif). Ce mode s'active en cas d'ordre extérieur après la validation de l'événement par un système autre que le système *Transputer*. Le mode *Trigger* est plus complexe. Le système *Transputer* fournit dans ce mode de fonctionnement une réponse interne sur la validité de l'événement.

Mode d'acquisition

Dans ce mode, le système fait l'acquisition de tous les événements acceptés par les *triggers* rapides de premier niveau, il génère les signaux de contrôle à l'électronique d'acquisition et gère le transfert au computer d'acquisition.

Mode *Trigger*

Le but principal de ce nouveau système est de permettre le contrôle d'un déclenchement *trigger* de second niveau. C'est l'ensemble des commandes et des envois de données vers le réseau d'analyse qui sont réalisés et pris en charge par le système. Dans ce mode maître, le dispositif génère une interruption vers l'ordinateur principal dans le cas où un événement est accepté par le *trigger* de second niveau de recherche de traces chargées. Dans le cas d'un *trigger* de ce type, les données brutes des MWPC, qui pendant le même temps sont provisoirement emmagasinées dans le NSE, sont transférées sur bande, de même que les résultats de l'analyse en temps réel du réseau. Dans le cas où la décision de *trigger* est négative, deux cas usuels se présentent. Dans le premier cas, correspondant à un *prétrigger* unique Λ , les données sont simplement perdues. Dans le deuxième cas, un *trigger* (ou *prétrigger*) autre que Λ , ou alors accompagnant le *prétrigger* Λ , a déclenché la lecture de l'événement, la procédure normale du mode d'acquisition est alors activée. Il est bien évidemment possible de réaliser un test de l'efficacité du *Trigger* en modifiant les paramètres d'acceptation dans le logiciel.

7.1.3. Développement

Le développement du matériel et du logiciel, ainsi que les tests relatifs à l'expérience, sont décrits dans le chapitre "*Structure de l'analyse en temps réel*". Le test du *trigger* Λ s'est fait sur le bras supérieur (*Top*) du spectromètre. L'électronique des modules *Transputer* (PCA et NSE), la mise au point du *prétrigger* Λ et l'étude des algorithmes de physique choisis seront abordés dans les chapitres suivants. Un nouveau *prétrigger* sensible aux produits de désintégration pour le processeur de deuxième niveau a été développé. Il est basé sur deux plans formés de pavés de scintillateurs (*PADS*), qui constituent la méthode la plus aisée et rapide de sélectionner une paire de traces de particules de charges opposées.

Prétrigger : PADS

Un calorimètre hadronique ^(a) serait le moyen le plus sûr d'associer, sans grande précision, des gerbes hadroniques à des traces chargées. Néanmoins, le temps de développement et le coût d'un tel équipement s'avèrent prohibitifs pour le projet que nous conduisons. Un compromis envisagé pour définir un signal brut de *prétrigger* est basé sur l'utilisation de la technologie des scintillateurs. Une trace chargée est donnée par une coïncidence entre deux détecteurs ayant enregistré un dépôt d'énergie.

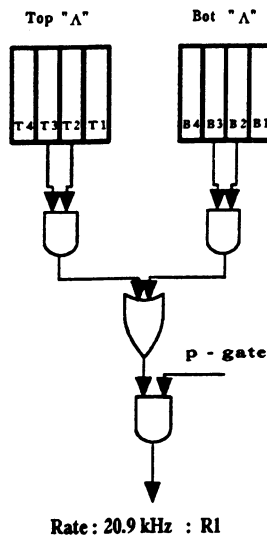


Fig. 3 : Système de *trigger* utilisé pour l'obtention d'événements de biais minimum

Le (*pré*) *trigger* Lambda 1984-1986 a permis l'obtention d'événements de biais minimum, correspondant à toutes les combinaisons de traces ayant déclenché sur une coïncidence de deux bandes verticales, $(B2 \wedge B3) \vee (T2 \wedge T3)$. Ses limitations géométriques et donc sa finesse ont conduit au développement présenté ci-après.

Une amélioration de ce système de *prétrigger* a été amenée par l'installation de deux plans de scintillateurs formés de pavés trapézoïdaux, un derrière la chambre 2 (derrière l'aimant) et un devant la chambre 5. Une simulation tenant compte des conditions cinématiques et dynamiques de la production des Λ ^(b) (voir chapitre Distribution de Pondrom), permet de fixer les dimensions des pavés de scintillateurs ainsi que de définir la corrélation à imposer entre pavés touchés dans les deux plans pour une paire de traces provenant d'un Λ . Remarquons que les points de passage des produits de désintégration du Λ ($\text{anti-}\Lambda \rightarrow p\pi^-$ (antiproton π^+), sont corrélés angulairement (angle θ) au niveau d'un même plan de pavés de scintillateurs, la distance entre les deux particules étant donnée par δ :

a) K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, Teubner Studienbücher, page 164.

b) Ainsi que de l'acceptance géométrique (angle de 20 à 100 milliradians)

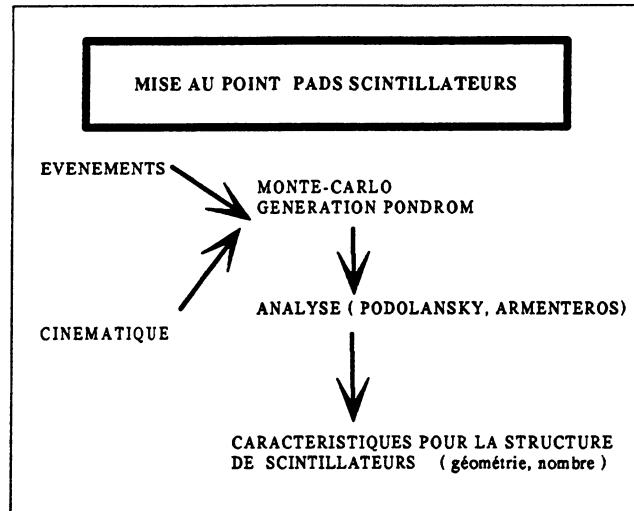


Fig. 4 : Mise au point des pavés scintillateurs : étapes

Eq. (1):

$$\delta(p, \pi) \begin{bmatrix} \text{MWPC} & 2 \\ \text{MWPC} & 5 \end{bmatrix} \equiv \begin{pmatrix} 12 & \text{cm} \\ 30 & \text{cm} \end{pmatrix}$$

$$\theta(p, \pi) \begin{bmatrix} \text{MWPC} & 2 \\ \text{MWPC} & 5 \end{bmatrix} \equiv \begin{pmatrix} 19 & ^\circ \\ 30 & ^\circ \end{pmatrix}$$

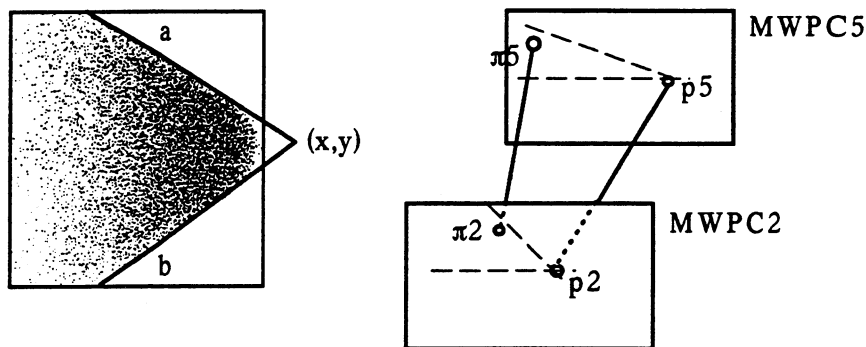


Fig. 5 : A gauche : Impacts des pions dans le plan de la chambre 2 ou 5, lorsque tous les impacts des protons sont ramenés au point (x,y) , angle d'ouverture 30° . A droite : impacts des deux traces des particules filles dans les chambres 2 et 5 derrière l'aimant, elles doivent aussi être corrélées dans le plan, et plan à plan (lignes).

L'angle θ , donné par $\{(Xa, Yb)\}$, définit le secteur angulaire dans lequel se trouve l'impact du pion, l'impact du proton étant fixé. Cette valeur est différente pour la chambre 2 et 5. L'intersection des lignes $p2-p5$ et $\pi5-\pi2$ définit le vertex du Λ .

Les populations de protons et pions sont bien séparées, leurs charges différentes provoquant une déflexion par le champ magnétique, dans des sens opposés. L'effet est particulièrement visible dans la dernière chambre multifilaire (5). Il est alors possible d'en déduire les corrélations entre pavés pour signaler la détection d'un Λ dans cette chambre.

Dans ce qui suit, Λ et $\bar{\Lambda}$ sont considérés. Néanmoins pour le câblage des configurations [patterns], nous avons choisi les Λ pour le test, ceci pour des raisons pratiques. Une normalisation des taux de *triggers* obtenus par un facteur 2 devra être réalisée.

Une symétrie, provenant du Λ et de son anti-particule, est mise à profit pour la définition des *patterns* candidats. L'assemblage des pavés scintillateurs a été réalisé dans un cadre de support en aluminium. L'acceptance est couverte par 65 pavés en position 2 et par 40 en position 5.

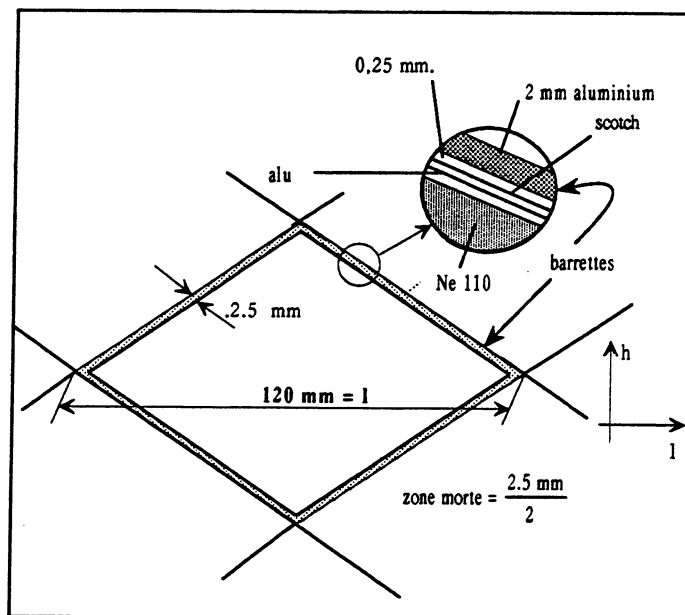


Fig. 6 : Coupe d'un des pavés du plan de scintillateurs du *pretrigger*

La présence de matière passive entre les pavés, 1,25 mm pour chacun, entraîne une inefficacité de 5,6% d'après la simulation complète de ~700 événements (voir Table dans appendice E. Valeurs pour les pavés scintillateurs).

En effet, on peut calculer l'acceptance géométrique par le rapport des surfaces couvertes respectivement par les zones mortes, S_{deadzone} , et par les zones actives, $S_{\text{zoneactive}}$. On suppose une distribution uniforme pour la production des Λ :

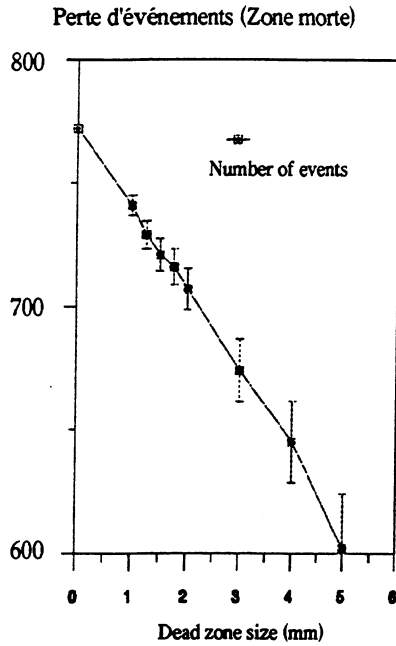


Fig. 7 : Largeur zone morte vs événements acceptés

Eq. (2):

$$S_{pads} = l_v \cdot l_h \text{ et } l_v = \text{tg } \alpha \cdot l_h$$

$$S_{zoneactive} = (l_v - 2b) \cdot (l_h - 2a) \text{ avec } a = \sin \alpha \cdot h, b = \cos \alpha \cdot h$$

$$S_{deadzone} = l_v \cdot l_h - (l_v - 2 \cdot \cos \alpha \cdot h) \cdot (l_h - 2 \cdot \sin \alpha \cdot h)$$

$$S_{deadzone} \begin{bmatrix} \text{Plane 2} \\ \text{Plane 5} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 2.52 \text{ cm}^2 \\ 6.89 \text{ cm}^2 \end{pmatrix}$$

d'où: $\frac{S_{deadzone}}{S_{pads}} \begin{bmatrix} \text{Plane 2} \\ \text{Plane 5} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 5.1\% \\ 1.3\% \end{pmatrix}$

où S_{pads} représente la surface totale d'un pavé. Ces valeurs sont compatibles avec celles de la *Table 1*.

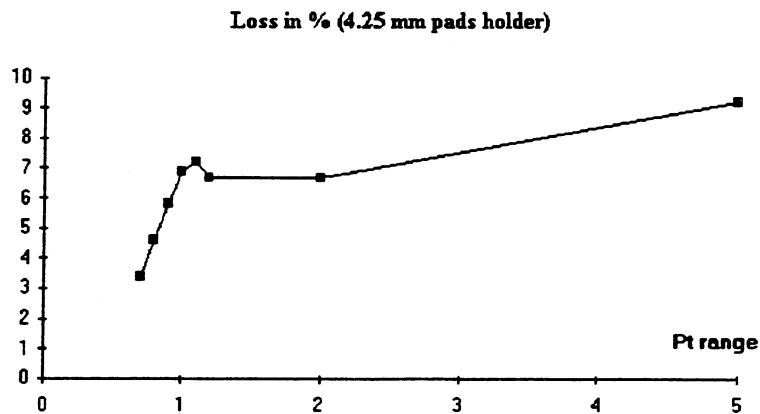
Scintillateurs

Le choix du matériel du scintillateur est régi par la résistance aux radiations, une bonne sensibilité et un prix raisonnable. De plus, ils doivent être facilement usinables. Le type choisi est le scintillateur plastique NE110. Leur résolution a été testée à l'aide de particules du rayonnement cosmique avec le souci de pouvoir déterminer un seuil inférieur de sensibilité (*threshold*) pour le déclenchement sur des protons ou des pions de bas p_t . La récollection de lumière dans les pavés de scintillateur [3] se fait par trois fibres porteuses (*wave length shifters*) de fréquence absorbant les longueurs d'onde dans le bleu UV et réémettant dans le domaine visible (480 à 550 nm, vert), insérées dans le plastique NE110. Elles sont noyées dans la masse de pavés puis sorties groupées derrière le plan formé par ceux-ci. Le signal est transporté vers un

photomultiplicateur multicanaux. Une logique rapide (FERA Lecroy) associe les signaux et compare le *pattern* détecté avec des configurations demandées, déduites de simulations Monte Carlo, résidantes dans une "look-up table" des FERA. L'acceptance du trigger en fonction de l'impulsion transverse du Λ :

Valeurs du Pt (GeV/c)	Perte en % pour supports de pavés de 4.25 mm	Erreur
0.7	3.4	± 5.7
0.8	4.6	± 4.2
0.9	5.8	± 4.2
1.0	6.9	± 4.8
1.1	7.2	± 6.0
1.2	6.7	± 8.6
2.0	6.7	± 8.6
5.0	9.2	± 2.1

Table 1

Fig. 8 : Pertes en % d'événements Λ en fonction du p_t

Trois pour-cents de perte sont dus à l'impossibilité de détecter à la fois le proton et le pion si les deux particules sont trop proches. L'étude de l'efficacité du *prétrigger* Λ installé sur l'expérience UA6 a été menée sur les données réelles acquises avec le *prétrigger* initial. Elle comporte les étapes suivantes :

- étude Monte Carlo pour définir les coupure cinématiques, analyse des événements de biais minimum
- vérification du déclenchement du *prétrigger* pour des particules suivies dans les chambres multifilaires
- mise en évidence d'une efficacité de 100% à partir d'une multiplicité donnée (qualité du *prétrigger*)
- détermination du spectre d'énergie dans le calorimètre et association de cette information avec les traces dans le spectromètre (MWPC)

Les conditions de coupure imposent que le proton vienne de la cible. Une analyse en composantes principales sur des données Monte Carlo a été réalisée dans une première étape. La même analyse a été menée sur les données de biais minimum. Elle a permis d'apporter des éléments supplémentaires de réponse ^(a). L'analyse en composantes principales définit un espace où les événements d'une même classe (même type) sont rapprochés et où la distance avec tous les autres événements est maximisée, permettant ainsi une interprétation plus aisée des événements acquis. Une fonction discriminante a ainsi été créée avec 8 variables, représentant les impacts des protons dans les chambres 2 et 5 :

$$\text{Eq. (3):} \quad \begin{bmatrix} y_{2\pi} & y_{5\pi} \\ z_{2\pi} & z_{5\pi} \\ y_{2p} & y_{5p} \\ z_{2p} & z_{5p} \end{bmatrix}$$

pour permettre de déterminer une signature claire du Λ . Il est possible de distinguer proton et pion en considérant la fraction de la quantité de mouvement totale emportée par chacune des particules filles.

Il y a deux sous-ensembles de combinaisons A et B qui ont été câblées. La variante A comprend les combinaisons les plus probables pour toute la distribution en p_t . La variante B constitue le plus grand nombre de combinaisons accessibles, typique des événements à grand p_t . Des raisons pratiques ont fait que seul la variante A soit utilisée.

^{a)} R.K. Bock et al., *Data Analysis techniques for High Energy Physics Experiments*, p. 149, p. 225, Cambridge University Press, 1990

7.1.4. La logique rapide de déclenchement

Cette logique a été décrite dans divers documents déjà publiés sur UA6 ^(a). La structure générale s'articule autour des *triggers* rapides de premier niveau. Ceux-ci correspondent aux informations obtenues à partir de divers plans de scintillateur, lorsque deux particules chargées ont déposé des énergies supérieures aux seuils pré-définis et que l'une des combinaisons géométriques entre pavés (coïncidences) est vérifiée.

Cette exigence s'ajoute aux *triggers* correspondants à la détection de particule neutre ou de paires d'électrons massives détectées dans le calorimètre. Les événements γ , π^0 et J/ψ suivent cette chaîne. Lorsqu'un déclenchement de premier niveau est accepté un OR-*trigger*, les données sont transférées vers le système de décision du deuxième niveau. Les temps de décision sont de l'ordre de la μs , et le seul temps mort introduit est dû à l'écriture sur support magnétique. Des modifications minimales ont été introduites au niveau de la logique pour intégrer le nouveau système de *prétrigger* pour les chargés. Les signaux d'ouverture (*gates*) pour les chambres sont données à chaque passage d'un paquet de particules du faisceau ($3.8 \mu\text{s}$ entre eux), afin d'assurer la validité de l'information (pas de délai et de déformation du signal recueilli au niveau des préamplificateurs des *MWPC*, voir la section 4.4.2. UA6 : Chambres proportionnelles et RMH).

a) Thèse Andrea Bernasconi, Université de Lausanne, p. 66- p. 70

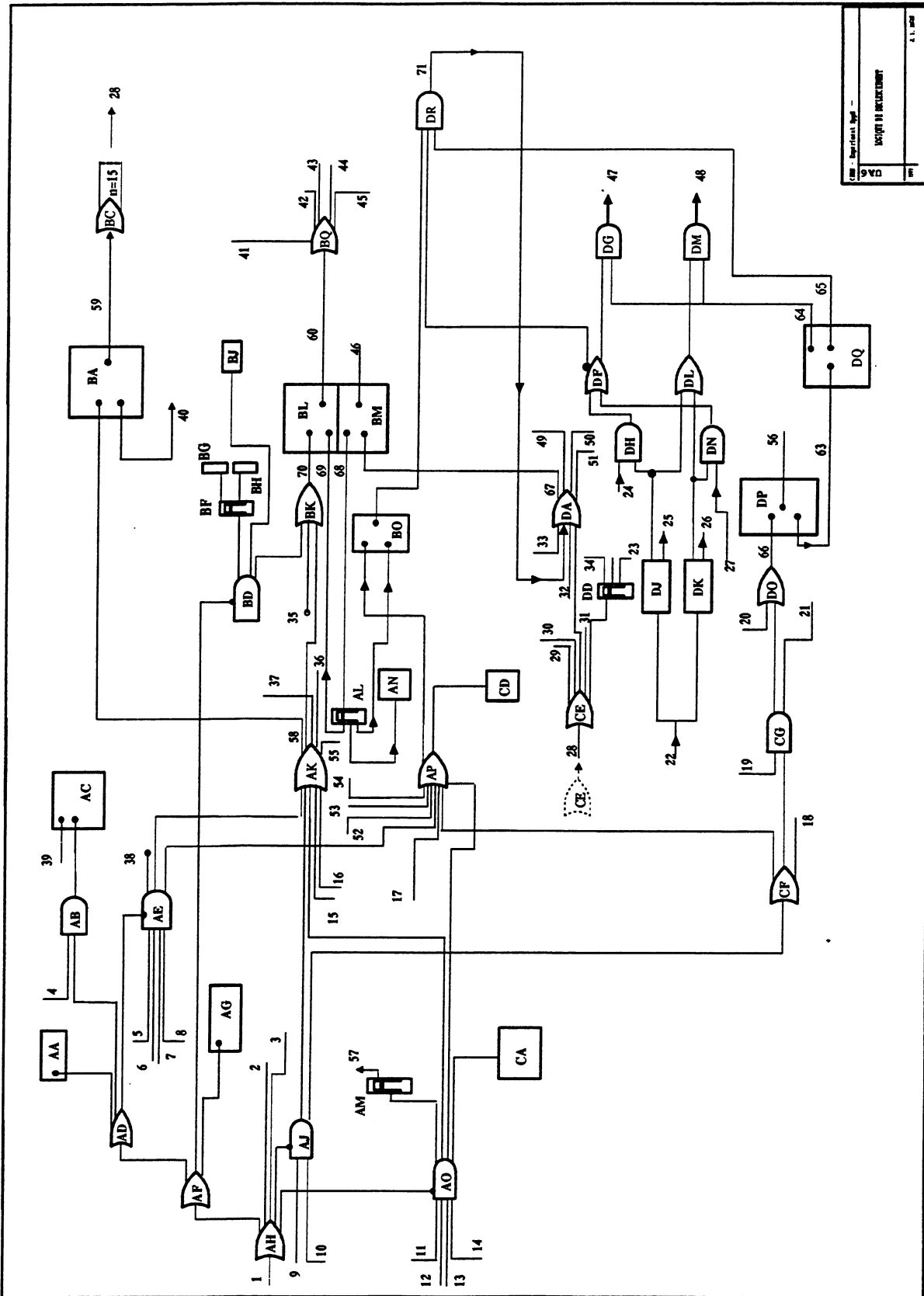


Fig. 9 : Logique rapide de déclenchement (1990)

Légende du schéma de la logique rapide de UA6 d'avant 1990 ^(a)

#	Signaux
1	Busy
2	to C veto mass
3	to B veto mass
4	Lambda 4-fold
5	Test DEDX enable
6	pbar gate
7	Eta OR
8	MWPC test pulser
9	p gate
10	T0 OR
11	Enable
12	Pulser
13	Gamma-Gamma
14	Pbar gate
15	Pedestals
16	Mass
17	Cal
18	to Cal Pattern Unit
19	Bit A
20	Mass
21	empty
22	2280 ADC gate
23	Start Run shaped
24	I
25	Busy (Acc1)
26	Busy (Acc2)
27	J
28	Start Run
29	Scaler Clear
30	Pulser
31	Event clock Warning
32	Free running
33	End of event
34	Start Run shaped
35	End of Run
36	Strobe MWPC
37	T0 CAL , TRD, ADC gate
38	Linear Output Test DEDX P.U.
39	Lambda 4-fold * pbar

Fonctions	Description
AA	Inhibit
AB	Lambda 4-Fold Scaler
AC	Scaler
AD	Veto
AE	Eta
AF	OR logique
AG	Inhibit NORD Scaler
AH	BUSY
AJ	Calor
AK	OR <i>trigger</i>
AL	Pulse Shaper
AM	Pulse Shaper
AN	Timing Unit (T.U.) Fast clear inhibit
AO	Test-Cal
AP	OR interrupt
BA	ADC Pattern Unit (P.U.) Gate
BC	Linear FanIn-FanOut
BD	Monitor 90°
BF	Pulse Shaper
BG	Scaler
BH	Scaler
BJ	P.U. Monitor 90°
BK	Linear FanIn-FanOut
BL	T.U. Veto Inhibit
BM	T.U Fast Clear Wait
BO	T.U. Fast Clear Inhibit
BQ	Linear FanIn-FanOut
CA	Pattern Unit 3
CD	Cadet Scaler
CE	Linear FanIn-FanOut
CF	Linear FanIn-FanOut
CG	Cal Enable
DA	OR Clear
DD	Pulse Shaper
DF	NotBusy
DG	AND logique
DH	AND logique
DJ	Cal Processor
DK	Mass Processor

a) Pour le run *Transputer* il faut substituer le Mass Processor par le réseau d'analyse de *Transputers*, qui vis-à-vis de l'électronique rapide a le même comportement.

40	Event to Cadet	DL	Busy OR
41	empty	DM	AND logique
42	C	DN	AND logique
43	B	DO	Linear FanIn-FanOut
44	A	DP	T.U. Time Out Delay
45	Veto	DQ	Time Out Generator
46	CAMAC Fast Clear Wait	DR	AND logique
47	Time Out Accept to OR interrupt		
48	Time Out Bit to P.U.		
49	Processor Clear		
50	Fast Clear CAMAC		
51	RMH Clear		
52	Mass		
53	Mass Accept		
54	T0 int		
55	TDC Start		
56	End of Time Out		
57	Test Cal shaped		
58	Start ADC P.U. gate		
59	ADC gate		
60	Busy		
61	Busy		
62	Busy		
63	End Marker (E.M)		
64	E.M.		
65	Out		
66	Start		
67	Fast Clear		
68	E.M.		
69	Reset		
70	Set		
71	Processor Clear (to OR clear)		

Table 2

De manière schématique, la logique rapide de UA6 peut se décomposer en quelques blocs :

- les unités de décision (*triggers*)
- les signaux assurant la synchronisation de unités de décision et de calibration (pédestaux, gains)

Les *triggers* vont vers le OR *trigger* (ou logique) et les signaux de synchronisation vers le OR sync (ou logique), les deux signaux de sortie formant une coïncidence finale pour le premier niveau de *trigger* (niveau 0). Une logique de contrôle de premier niveau active simultanément un *Busy* (évitant de redéclencher la prise de données dans les détecteurs avant que le traitement ne soit fini).

Le schéma simplifié de distribution des signaux permet de suivre le signal *Strobe* qui commande la mémorisation des *patterns* des fils après le passage des paquets de particules du faisceau dans notre appareillage. Le *Strobe* est synchronisé sur le signal (p,pbar) afin d'emregistrer l'état des fils lors du passage du faisceau.

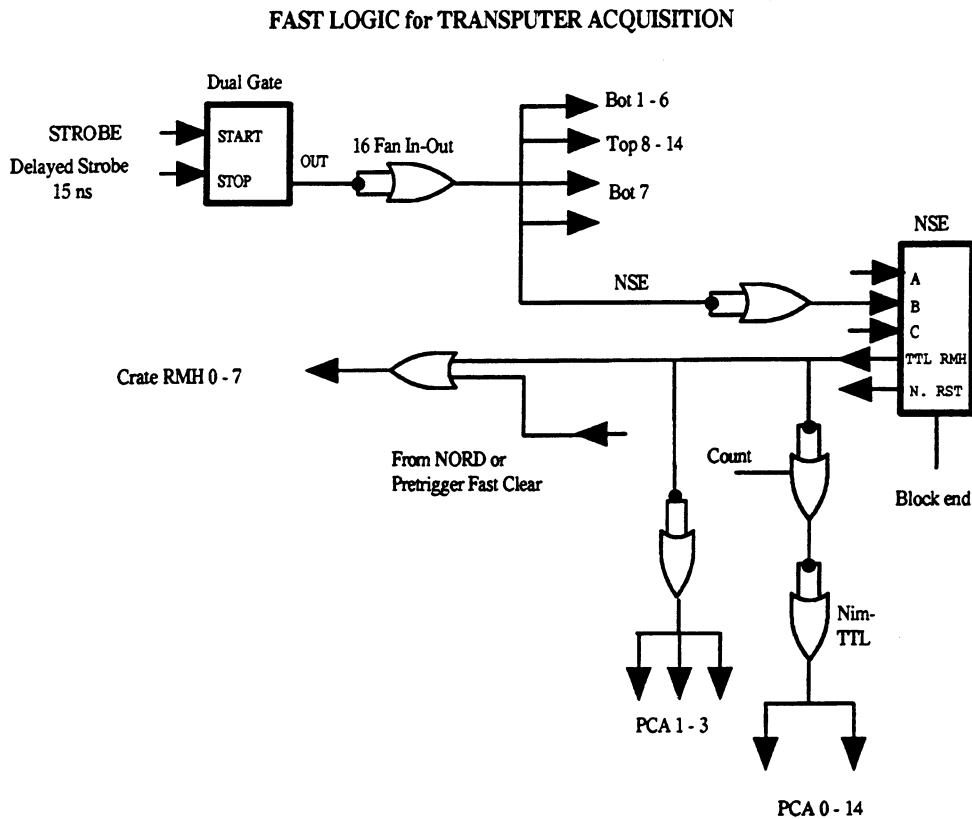


Fig. 10 : Logique rapide du *RMH-Transputer*, distribution du signal *Strobe* provenant de tous les *triggers* premiers niveaux (*OR Trigger*) vers les unités *Transputers*.

Une fois la main donnée au système de *trigger* de deuxième niveau, celui-ci contrôle la séquence de terminaison des procédures d'acquisition en ne relâchant le signal occupé (*busy*) que si l'événement est déclaré accepté ou rejeté. Dans ce dernier cas l'électronique est initialisée. Cet enchaînement de signaux est donné ci-après.

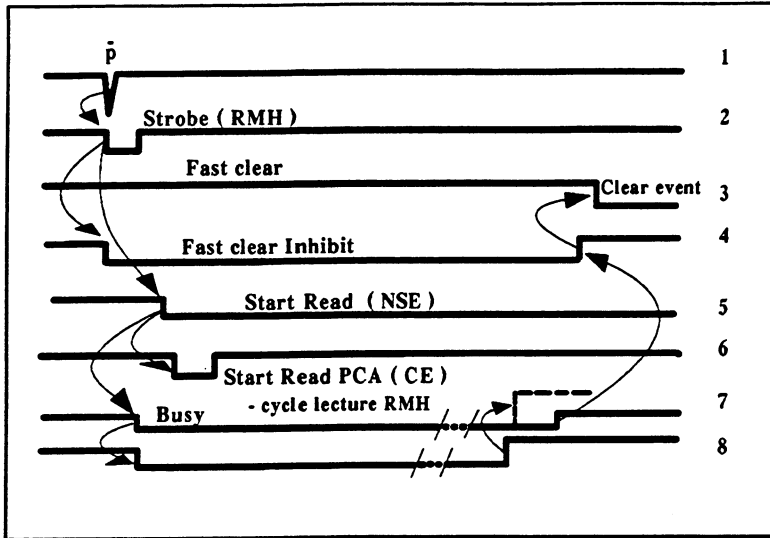


Fig. 11 : Corrélations temporelles entre les signaux, le \bar{p} gate donnant le passage d'un paquet de particules. Le *busy* est retenu jusqu'à ce qu'une décision soit prise au niveau du *trigger Transputer* (signal 8).

Grâce à l'existence d'un processeur de deuxième niveau des données calorimètres, le circuit de l'électronique rapide possédait toutes les connexions pour une intégration aisée du système *Transputer* (*resets*, table des *triggers*).

7.1.5. Structure de la logique d'initialisation (*resets*)

Portons maintenant notre attention sur l'architecture des *resets*, et sur la robustesse du système à supporter les mauvais fonctionnements externes, comme par exemple le non-respect des protocoles ou un comportement indéterminé des appareils.

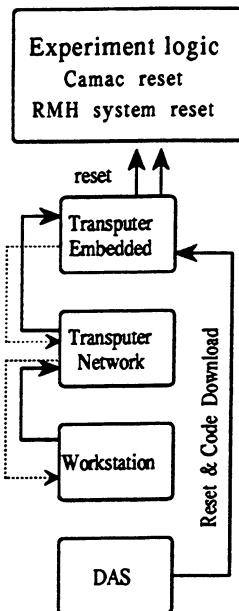


Fig. 12 : Logique globale des *resets* dans l'expérience (*DAS* est le système d'acquisition de données)

- un *reset* général est donné juste avant le démarrage d'une prise de données (*Start Run*), après lequel nous téléchargeons le code des *Transputers*
- les *Transputers* ne sont plus initialisés jusqu'au démarrage d'un nouveau *run* (le *reset Transputer* est issu de la station de travail maître et distribué sur les différentes cartes)
- l'électronique des détecteurs est initialisée après chaque *prétrigger* sans acceptation ou après le traitement d'un événement
- un *reset* externe est généré vers l'expérience par le réseau de *Transputers*

7.1.6. L'électronique : PCA et NSE

Chaque PCA contrôle la lecture d'un CE et supervise le transfert de données entre les PCAs vers le réseau d'analyse. Le NSE contrôle les PCAs, acquière leurs données et les transfère à travers un port CAMAC vers l'ordinateur.

PCA

Ce module utilise le T425-25. Ce *Transputer* ne comporte pas de FPU, il a été choisi car aucune opération sur des variables de type réel n'est nécessaire à ce niveau ^(a). La carte peut inclure jusqu'à 128 kBytes de mémoire statique et 512 kBytes d'EPROM (voir section 20.2 *PCA board Technical description*). Notre application ne nécessite que 64 kBytes de mémoire installée.

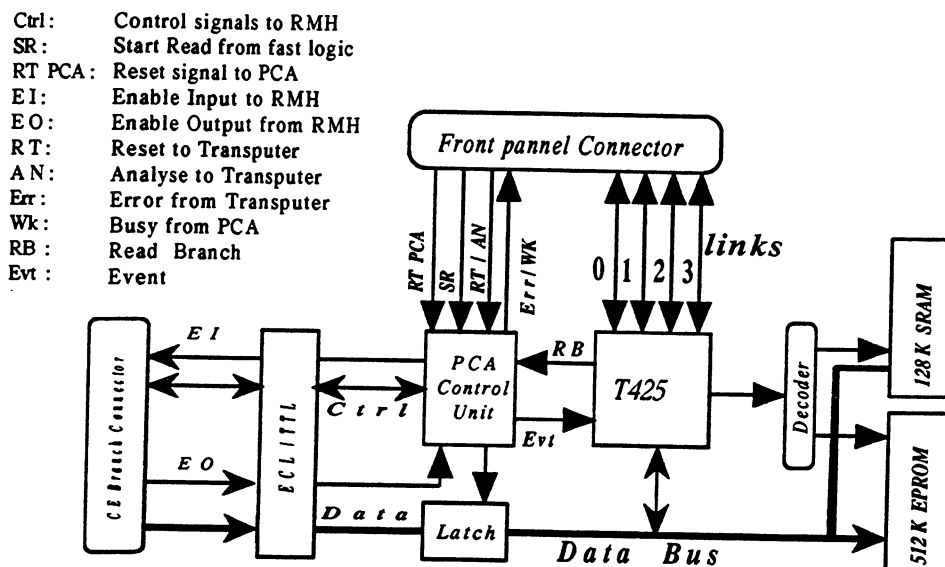


Fig. 2 : Diagramme bloc de la PCA

a) A ma grande surprise, le *Transputer* se comporte bien mieux lors d'opérations FPU que sur des opérations relatives aux bits et aux entiers, ceci étant principalement dû à un manque d'opérations dédiées.

Les mots CE de 27 bits (à la CAMAC) sont écrits dans un registre 32 bits placé à une adresse mémoire du *Transputer*. Les cinq bits restant sont utilisés pour décrire l'état du système RMH. Le format des données est le suivant, *New-RMH Word (NRW)* :

31 Ctl ²⁷	26 Cr. ADD ²³	22 St. ADD ¹⁸	UH ¹⁷	Flag ¹⁶	15 W.P. ⁰
----------------------	--------------------------	--------------------------	------------------	--------------------	----------------------

Table 1

avec *Ctl* signifiant Contrôle, *Cr. ADD* Crate Address, *ST. ADD* Station Address, *UH* Upper Half, *Flag* bit de contrôle du commutateur de test, *W.P.* est le *Wire Pattern* de la moitié du module considéré. Ces cinq bits les plus significatifs sont utilisés comme suit :

- le bit 31 est activé par le bloc de contrôle de la PCA pour indiquer que le dernier mot a été reçu. Ce bit sert à identifier la fin de la lecture pour un CE et à générer le signal *Enable Output (EO)* pour terminer le cycle de lecture du CE.
- les bits 27 à 30 sont utilisés pour identifier l'état de l'acquisition tels que : signaler une temporisation (*timeout*) sur l'arrivée d'un mot du CE (700ns d'attente) (bit 29), un signal de reset non-synchrone produit par un appareil extérieur (bit 30), le type de données (données simulées par Monte Carlo et données réelles) (bit 27) et la signalisation d'une commande provenant de la station de travail (bit 28).

Tous les *timings* sont contrôlés par deux PALs. Le premier décode les cycles d'écriture/lecture du *Transputer*. Le second commande l'interface au CE. Les signaux sont convertis de ECL en TTL, et stockées dans un registre tampon dans la mémoire externe du *Transputer*. Ils sont ensuite transmis à la PCA suivante via la *daisy chain*. Le transfert d'information vers le réseau d'analyse utilise un format différent. Le *pattern* de fils des PCAs est transformé en une série de mots qui sont les adresses des fils touchés et qui représentent la position absolue du fil dans la chambre.

Par mesure de précaution, vu l'environnement électrique de l'expérience, les connexions de liens *Transputer* utilisent un mode de transmission différentiel dès que la distance de liaison excède 30 cm.

Quelques modifications ont été apportées à la logique initiale de la carte PCA. A l'usage, il s'est avéré nécessaire d'ajouter un signal supplémentaire pour forcer une terminaison de lecture afin d'éviter ainsi un blocage de toute la lecture au cas où le signal *EO* n'arrive pas. Ceci a été réalisé par l'adjonction d'un monostable redéclenchable de 700 ns après l'arrivée de *l'Encode*, les PALs de la carte ont dû aussi être modifiés en conséquence. De plus, certaines cartes attachées à des crates sensibles ont dû être équipées de potentiomètres réglables ^(a), permettant d'ajuster la sensibilité aux signaux provenant des CE.

a) Les cycles de transfert ne sont plus suspendus avant l'arrivée du signal de fin de lecture.

Les relations temporelles entre les divers signaux de contrôle de la carte PCA sont montrées sur le diagramme ci-après. L'intervalle de temps entre deux *Read Branch* est de 5 μ s, cette durée est requise par le logiciel de contrôle.

Chan.0	Chan.1	Chan.2	Chan.3	Chan.4	Chan.5	Chan.6	Chan.7
Bus open	Start read	Enable in first	Encode	Reset	EO	CE data Strobe	Read branch

Table 4

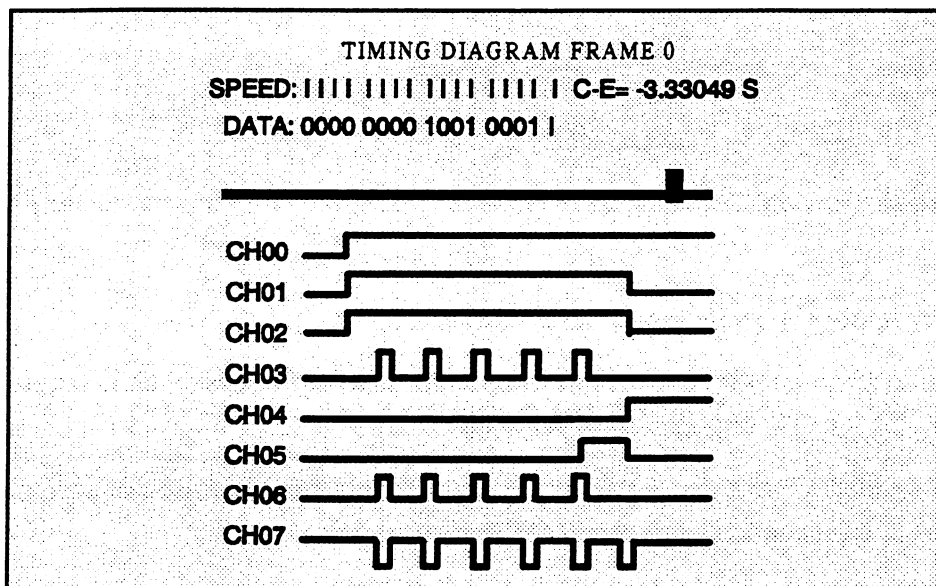


Fig. 14 : Diagramme des temps de la PCA (test en laboratoire)

Le logiciel permet de forcer un nombre prédéterminé du nombre maximal de lectures d'un module RMH (le signal sur le bus du *Crate Encoder* étant toujours actif). Cela permet de conserver l'événement, même s'il ne contient qu'une information partielle et de l'écrire sur bande magnétique.

NSE

Le NSE est le module maître du système, il possède les caractéristiques suivantes :

- en réponse à un *trigger* de premier niveau, il commande la séquence de contrôle de la lecture des MWPC, et déclenche l'exécution du code dans le réseau d'analyse
- il acquière les données brutes des PCAs et les résultats du réseau d'analyse
- il transfère les données vers un NORD 540 via l'interface CAMAC

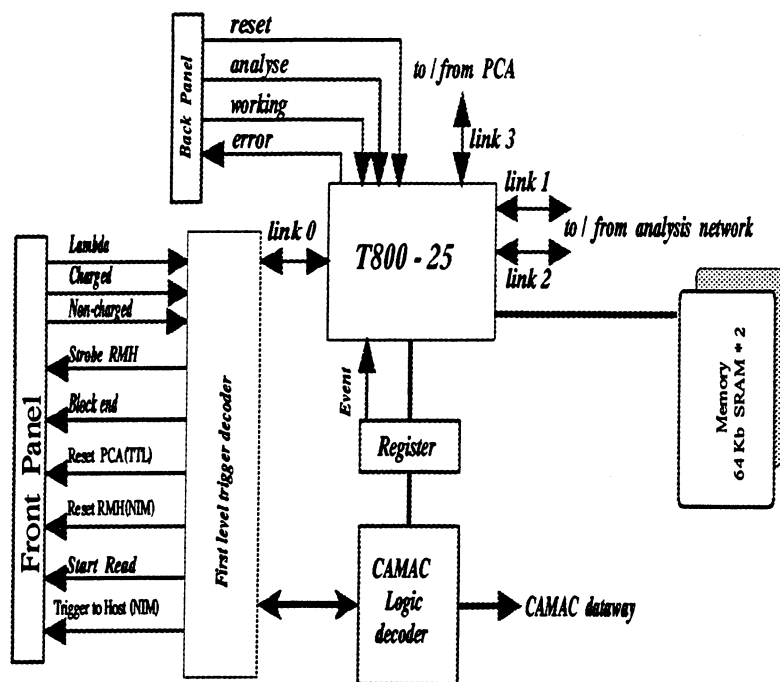


Fig. 15 : Diagramme NSE : les signaux Lambda, Charged, Non-charged sont les *prétriggers* (premier niveau).

Le NSE est constitué de trois parties indépendantes :

- le *Transputer* T800-25, coeur du module, a sur la carte 64 kBytes de SRAM et trois liens différentiels disponibles pour la transmission de données
- le lien 0 du *Transputer* maître lit un *pattern* de trois bits correspondant à trois *triggers* de premier niveau, il est connecté à un adaptateur de ligne sériele ^(a)
- une interface de bus dédié, dans notre cas le CAMAC; une PAL exécute le décodage des fonctions CAMAC et synchronise les opérations de lecture-écriture du *Transputer*. Il est interrogé sur son contact "event" et il sert la requête en écrivant un mot de 16 bits dans un registre. Deux opérations sont nécessaires pour transférer un seul mot New-RMH (32 bits) au CAMAC. La première transfère un mot contenant le pattern de 16 fils, suivi par le transfert d'un deuxième mot de 16 bits contenant les adresses et les informations relatives aux bits de contrôle.

Le NSE commande le *Start Read* de toutes les PCAs, génère un *reset* à la fin du cycle de lecture, et dans le cas d'une décision positive prise par le réseau d'analyse, d'acceptation d'un *trigger* de second niveau, elle interrompt l'ordinateur d'acquisition et lui demande d'effectuer la lecture de l'événement.

a) INMOS® C011

L'ensemble des signaux et leurs relations temporelles sont représentées sur la figure ci-dessous. Pour la signification des signaux CAMAC, consultez la *NSE I New System Encoder module*. Les canaux de l'analyseur logique de signaux sont définis pour les *timings* du prétrigger sont données sur la table ci-après (voir signaux IMS C001, *INMOS Databook* et schémas électroniques des addenda techniques).

Chan.0	Chan.1	Chan.2	Chan.3	Chan.4	Chan.5	Chan.7
Clock pretrg.	du !Q (Ivalid)	Iack	Prtrg. A	Prtrg. B	Prtrg. C	Reset

Table 5

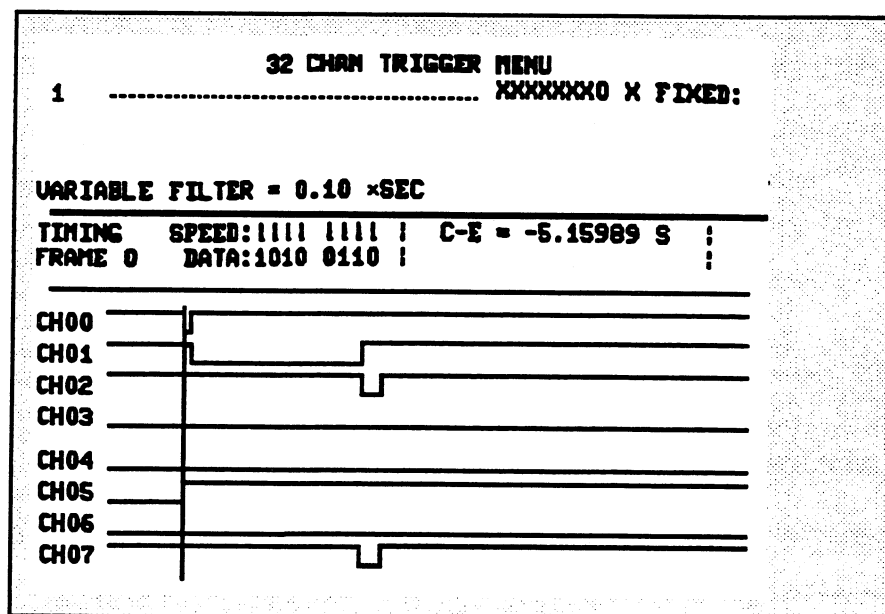
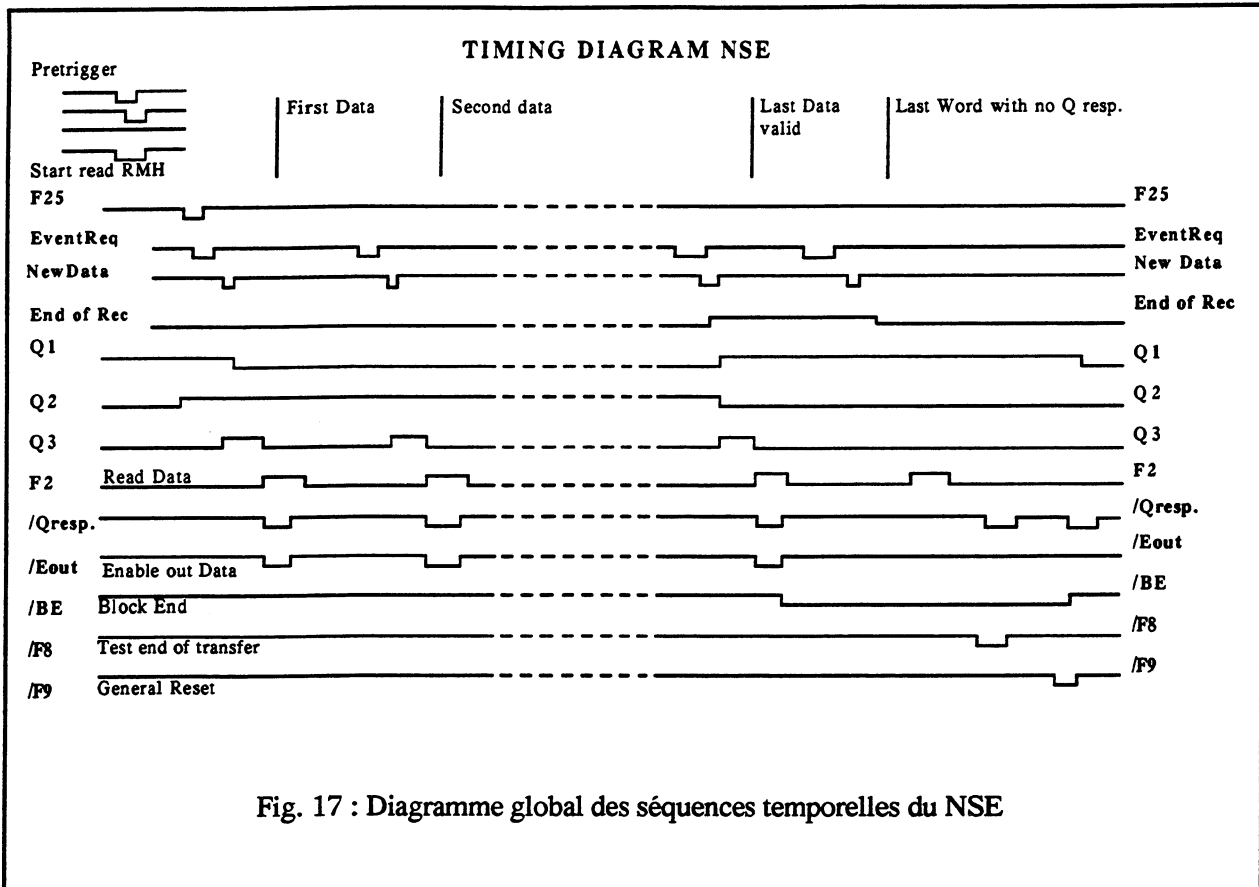


Fig. 16 : Diagramme des séquences temporelles des prétriggers dans le NSE (à travers le IMS C011 pour le décodage des bits du registre)

Le NSE ne comporte pas de composants dédiés à l'encodage prioritaire des fils touchés comme sur le SE ^(a). Cette caractéristique peut être incorporée dans le programme de surveillance exécuté par le *Transputer* du NSE.

^{a)} Les programmes de recherche de traces de l'expérience UA6, tels que TKL (C. Dukes, UVA, Charlottesville, USA) et Mambo (J.-P. Perroud, Université de Lausanne), utilisent des patterns contigus de fils reconstruits à partir de l'information encodée.



Système de contrôle

La carte *Transputer* résidante dans l'IBM® PC compatible supervise le comportement de tout le système pendant l'acquisition de données et l'analyse des traces de particules chargées.

Elle comporte trois modules *Transputer* avec 4 MB de mémoire qui sont utilisés pour la surveillance du système. Ils donnent des représentations graphiques des fils touchés pour un événement et les histogrammes de la distribution des fils obtenues pendant la prise de données. Des descriptions plus détaillées peuvent être trouvées dans les "Addenda Techniques" en fin de ce travail.

Au niveau du RMH, certaines facilités de "débugage" sont incluses dans le code d'exploitation. Les PCA contrôlent le CE correspondant et leurs modules RMH. Des dysfonctionnements de la lecture RMH sont détectables tels que :

- demande permanente de lecture de la part d'un module RMH ^(a)
- fils chauds (toujours activés)
- erreurs d'adressage des modules
- modules en panne

Des messages d'avertissement et d'erreurs sont fournis au PC et affichés sur le moniteur. Ces possibilités simplifient par rapport au système traditionnel de fonctionnement la localisation des modules fautifs.

Du point de vue fonctionnel, chaque PCA agit comme un "routeur" de données vers le NSE pour la lecture, vers le PC compatible pour la surveillance et vers le réseau d'analyse pour la reconstruction et la décision de *trigger*.

Code du PCA

Le routage des données pour leur distribution vers les autres PCA et vers le réseau d'analyse après un encodage logiciel (à l'inverse de l'encodage prioritaire réalisé dans le SE) correspond à l'organisation de la figure suivante :

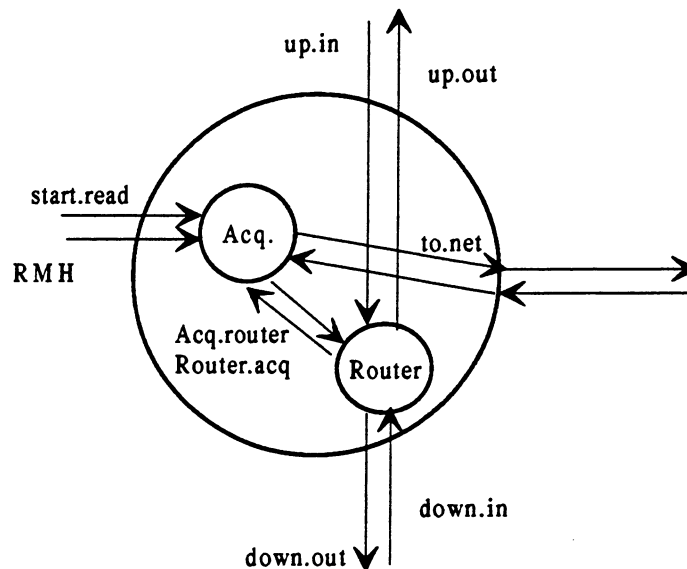


Fig. 18 : Processus actifs dans la PCA

Une carte virtuelle de l'emplacement absolu des fils est formée dans les PCAs pour permettre l'utilisation dans le réseau d'analyse de la règle de somme des numéros de fils ($u+v+z = 0$). Cette carte se trouve dans les PCAs pour des raisons d'efficacité (traitement distribué en entrée).

a) Ce problème ne devient qu'apparent avec la lecture parallèle. En effet, une coupure software est réalisée dans le système traditionnel RMH au niveau du nombre maximum de lectures CAMAC faites par la NORD 540. S'il existe un blocage au niveau d'un fil, la limite sera atteinte et le reste de l'événement ignoré.

Code du NSE

Le code de base pour l'envoi vers le CAMAC du NSE peut se représenter comme suit :

```

PROC nse.test (CHAN OF INT de.pca, vers.pca)
  CHAN OF ANY event.in :
  PORT OF INT camac :
  VAL terminate IS #80000000 :
  INT ok, pattern :

  PLACE event.in AT 8 :
  PLACE camac AT ((#70000000>< MOSTNEG INT) >>2) :

  WHILE TRUE
    SEQ
      de.pca ? pattern
      WHILE (pattern <> (-1))
        SEQ
          event ? ok
          .camac ! pattern
          de.pca ? pattern
        event ? ok
        camac ! terminate
        event ? ok
        camac ! terminate
        event ? ok
        vers.pca ! ok

```

La réception des données des PCA et leur mémorisation dans le NSE constitue le coeur du fonctionnement du système, qui agit aussi comme centre de triage d'information. Les données arrivant des PCA sont transformées en format CAMAC 16 bits, le NSE fournit tous les signaux de contrôle vers le réseau d'analyse et vers les PCA lors de l'acquisition. Des fonctions de *monitoring* sont assurées par le NSE et l'information envoyée vers un IBM®-PC, ou vers les étages d'acquisition si nécessaire (cette caractéristique n'est pas utilisée dans notre montage). Le décodage de l'information du *prétrigger* est faite par logiciel dans le NSE.

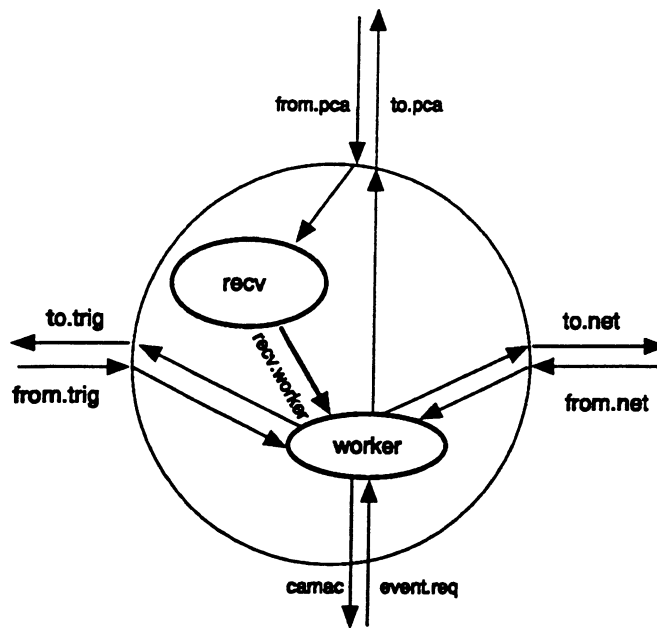


Fig. 19 : Processus dans le NSE : deux unités principales se partagent les ressources disponibles, le receveur (*recv*) et le producteur (*worker*), faisant l'interface entre les prétriggers, le bus CAMAC, la chaîne des PCA et le réseau d'analyse.

Protocoles

Vu le nombre d'informations différentes devant passer à travers les liens, différents protocoles permettent de communiquer entre les parties distinctes du réseau : entre le réseau d'entrée des PCA et le réseau d'analyse, entre le réseau d'analyse et le moniteur du PC et pour les différents sous-réseaux de l'analyse.

Ces définitions sont statiques, et l'identification du type d'information reçu est faite par l'instruction "CASE" associée à l'écriture sur le canal.

Exemple :

```

from.link1 ? CASE
  logique; noassUV
  SKIP
  table; size.table::result1
  SEQ
  to.next ! table; size.table::result1
  
```

Le protocole doit inclure la définition du type de message reçu. Voici la définition d'un protocole de transmission :

Exemple :

PROTOCOL NET.MON IS [numbers+2]INT;
 [numbers+2][4] INT;
 [numbers+2][4] INT; [numbers+2][4]INT;

Performances

Dans le système traditionnel en *daisy chain* du RMH, chaque mot RMH d'un module contenant les fils touchés est disponible dans le CE après ~100 ns. Il est envoyé au SE sur demande après la fin du cycle transfert CAMAC précédent. Les fils touchés du *pattern* RMH de 16 bits sont encodés par un circuit encodeur à priorité. Le goulet d'étranglement (*bottleneck*) dans ce système traditionnel se trouve, dans UA6, au niveau du transfert de données entre le SE et l'interface CAMAC. Chaque mot CAMAC de 16 bits transféré correspond à l'adresse d'un seul fil touché et seules des opérations de transfert séquentiel sont possibles. Le taux de transfert vers l'ordinateur d'acquisition est alors d'un mot par cycle CAMAC (3.3 μ s pour l'interface CAMAC de la NORD).

Dans le système RMH parallèle, le temps mesuré pour lire un *pattern* de données du CE dans la mémoire du *Transputer* est de 480 ns (temps comprenant l'interruption sur le contact *event*, la latence pour passer d'une tâche à l'autre [changement de contexte] et le cycle de lecture lui-même). Les vérifications au niveau du logiciel effectuées sur les données lues allongent ce temps à 2.6 μ s (test de fin de lecture, *reset*, test de répétition de même mot lu). L'acquisition de tous les CE étant simultanées, le temps maximum pris pour la lecture de tous les CE est de l'ordre de 0.065 ms (pour 12 stations RMH par *crate*). Les modules RMH sont alors prêts pour enregistrer de nouvelles données, car la fin de lecture d'un *crate* individuel active le *reset* de l'état des bascules des circuits hybrides ^(a) RMH. Cette durée doit être comparée aux 6 ms employés pour le transfert des données vers l'ordinateur d'acquisition, ceci agit comme un premier étage pour une acquisition non-aléatoire par l'effet du recouvrement temporel que permet une mémorisation précoce.

Il y a 134 modules RMH individuels par bras du spectromètre. Pour un bras, les performances comparatives des systèmes d'acquisition RMH traditionnels et parallèles à *Transputer* sont résumées dans la table 26.

	$\Delta t_{1,max}$ (ms)	Fils touchés	Mots New RMH	Mots Camac	$\Delta t_{2,max}$ (ms)	$\Delta t_{1,min}$ (ms)	$\Delta t_{2,min}$ (ms)
Traditionnel	14.2	4288	-	4288	-	~0	~0
Parallèle	5.9	268-4288	268	536	2.4	0.42	0.3

Table 6

a) Ce fait a rendu difficile le débogage du système dans un premier temps, le signal de *reset* étant commun aux deux parties d'un *crate* partagé, la PCA du premier *crate* ayant transmis toutes ses données générant un *reset* qui va aussi réinitialiser les modules de l'autre moitié du *crate*, faisant ainsi croire à une inefficacité de lecture.

Tous les temps sont mesurés entre l'occurrence du signal de *trigger* de premier niveau demandant la lecture et celle du stop du CAMAC donné par le signal BE (*Block End*) qui termine la transmission, avec :

- $\Delta t_{1,\max}(ms)$ est le temps maximum écoulé pour effectuer le transfert vers l'ordinateur d'acquisition à travers le CAMAC quand tous les fils sont touchés.
- $\Delta t_{2,\max}(ms)$ est le temps maximum écoulé pour que tous les mots RMH soient transférés des PCAs dans la mémoire du NSE.
- $\Delta t_{1,\min}(ms)$ est la perte de temps mesurée pour le transfert de l'information de zéro mots RMH ou d'aucun fil touchés vers l'ordinateur d'acquisition à travers le CAMAC.
- $\Delta t_{2,\min}(ms)$ est la perte de temps mesurée pour transférer zéro mots NEW-RMH vers le NSE pour la lecture parallèle et celle qu'aucune information de fils touchés ne soit transmise vers le SE pour le système de lecture traditionnel.

Une analyse plus fine au niveau du type de contrôle de la validité des mots révèle les temps d'exécution suivants :

- acquisition avec une boucle WHILE et une comparaison de 1 bit ^(a) à l'aide d'un masque pour un *crate* RMH complet en 55 μs pour 44 mots transférés.
- acquisition sans test de terminaison dans la même situation en 21.1 μs .

Le coût d'une sécurité totale à ce niveau est important. Il nous a pourtant semblé essentiel de pouvoir connaître l'état de l'acquisition pendant le déroulement de l'expérience afin de contrôler sur la qualité des données à analyser en temps réel comme à posteriori. Vu l'importance accrue attribuée aux contributions des erreurs systématiques [4], la connaissance en continu de l'état de l'appareillage se justifie (temps réel).

7.2. Fonctionnalités

Les performances des deux systèmes peuvent être comparées pour l'acquisition des données des MWPC. Ils sont équivalents pour le nombre de fils touchés à lire dans le cadre de l'expérience UA6, le temps mort global pour l'acquisition demeure donc inchangé.

La principale innovation réside dans l'exécution en parallèle de l'analyse des données par le réseau et l'acquisition des données proprement dites, ceci permet de minimaliser la contribution aux temps morts provenant du *trigger* sur les traces des chargés.

a) Dans la version définitive, la comparaison porte sur tous les bits 27 à 31.

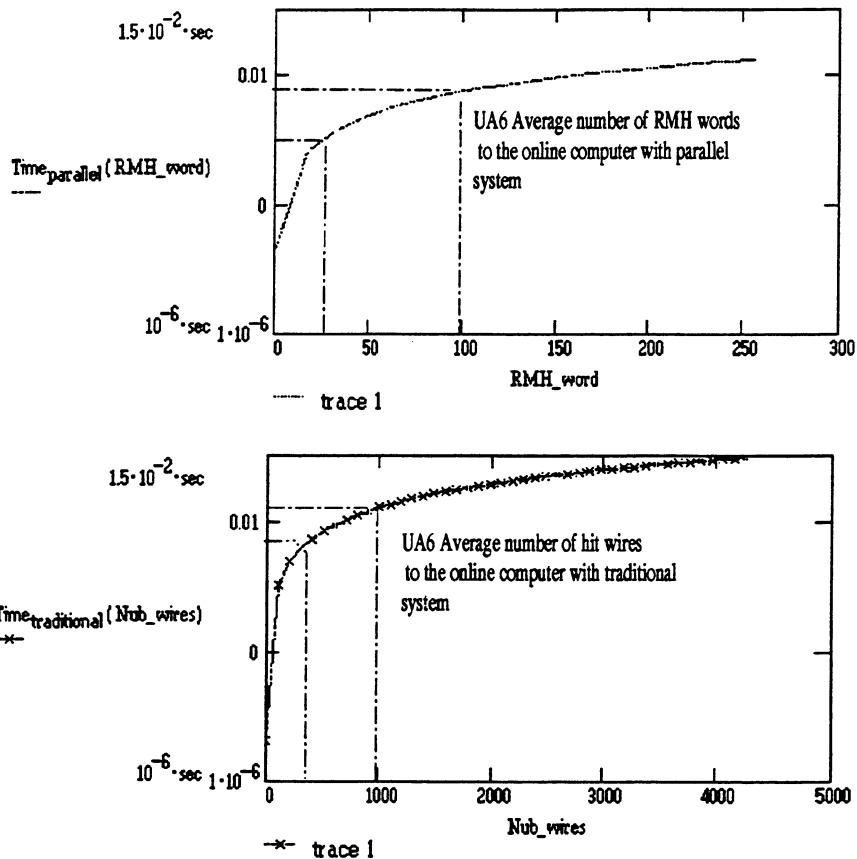


Fig. 20 : Performances comparatives entre les systèmes traditionnels et parallèles, qui montre leur équivalence pour ce qui est de la contribution au temps mort de la prise de données (pas de décision).

[1] EUR 4600 1972 et VMEbus 1985.

VMEbus specification Manual (1985): *The Parallel Sub System Bus of the IEC 821 Bus*. Revision C, November 1986.

[2] R.W. Dobinson (1982), *Bus Basics*, CERN Computer School, Geneva, CERN 83-03

FASTBUS (1983): *A Modular High Speed Data Acquisition System for High Energy Physics and Other Applications*. Esone Committee, Esone/FB/01

FASTBUS (1985): *IEEE Standard FASTBUS Modular High-Speed Data Acquisition and Control System*. The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc, ISBN 0-471-84472-1

[3] G.R. Snow, A novel *triggering* system for the UA6 Electromagnetic calorimeter, International Conference on Calorimetry in HEP, 29 October 1990, Fermi National Laboratory, Chicago, USA

[4] *Tau-Charm Factory Detector Workshop*, Note : TCF-90-9, 9 October 1990

8. Analyse en temps réel

Real Time Analysis :

Parallel Algorithm and Transputer network, Monte Carlo and normal events replay structure for UA6 tracking in Real Time. Basic performance.

Echt-Zeit Analyse :

Parallele Algorithmen und Transputer Netzwerke, Struktur für die Ereignisse aus Monte Carlo Simulationen und aus normalen experimentalen Dateien, die nach dem Experiment wieder analysiert werden können. Grundlegende Leistungen.

Analisi in tempo reale :

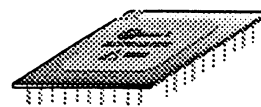
Algoritmi paralleli e reti di Transputers, struttura per la rianalisi degli eventi provenendo da Monte Carlo o da esperimenti. Prime prestazioni.

Análisis en tiempo real :

Algoritmos paralelos y red de Transputers, estructura de reanálisis de los acontecimientos producidos por Monte Carlo o por los detectores del experimento. Comportamiento básico.

Analyse en temps réel :

Algorithmes parallèles et réseau de Transputers, structure de réanalyse des événements provenant des détecteurs ou produits par Monte Carlo. Evaluation du comportement.



Obtenir une décision sur la validité d'un événement requiert une analyse des données provenant des chambres à fils. Plusieurs approches s'avèrent possibles :

- le traitement basé sur la représentation de l'événement
- l'analyse numérique, après reconstruction, des diverses caractéristiques physiques

Pour la topologie d'un candidat, son acceptation doit être établie par des critères de comparaison avec une base de données. Ce type de décision se fonde sur l'emploi de banques mémorisant des "patterns" candidats. Les réseaux de neurones [1] pourraient apporter une solution originale, pleines de promesses. La décision consiste dans l'acceptation ou le rejet de l'événement (à partir des données binaires brutes non traitées). Les comparaisons peuvent porter sur des dépassements de seuils ou/et des structures.

Exemple : décompte du nombre d'impacts, vérification de topologie de zones touchées par les particules, énergie mesurée supérieure à un seuil

L'analyse numérique permet la quantification des valeurs sur lesquelles se fondent la décision. Elle exige des méthodes souvent complexes, dans le but d'optimiser les algorithmes exécutés en temps réel [2].

Exemple : analyse en composantes principales, ajustements (*fits*) de traces, transformation des paramètres (espace de phase), impulsion de traces, masse effective

8.1. La philosophie et la justification de l'approche choisie

Dans le flot d'informations de UA6, seules les données des MWPC ne participaient pas à l'établissement d'une décision sur la qualité de l'événement. Les grandes multiplicités dues au bruit de fond ne permettent pas facilement une décision basée sur la géométrie des traces (topographie), mais obligent à la recherche d'une méthode orientée vers la mise en évidence des caractéristiques numériques des traces de particules chargées.

La nécessité d'utiliser les informations associées aux fils touchés pour établir les trajectoires dans un laps de temps court oriente la recherche d'une solution utilisant le parallélisme ou une méthode *hardware* très poussée. Les *Transputers* s'adaptent bien à cette situation. Dans une approche séquentielle, les optimisations ne se font qu'au niveau de l'algorithme choisi et sont généralement limitées par la puissance de calcul à disposition.

UA6 n'est pas la seule expérience à utiliser des *Transputers*, l'expérience Zeus [3] sur DESY à Hambourg emploie 9 étages (*pipe-line* et/ou *farming*) de *Transputers* pour l'acquisition et l'analyse de leurs données, constituant ainsi un parc d'environ 700 processeurs. Sous l'impulsion de l'institut de physique des hautes énergies NIKHEF d'Amsterdam, Pays-Bas, la solution parallèle avec des *Transputers* a été préférée à la méthode américaine ACP [4].

Le flot de données des chambres est déjà partiellement parallélisé. Comme vu à la section *Structure d'acquisition*, les différents plans de fils sont traités à la lecture indépendamment les uns des autres et cette configuration est fixée par l'environnement expérimental. Cette structure est sous-jacente à l'approche de parallélisation.

Le projet s'appuie sur la distribution de la puissance de calcul aux endroits névralgiques de l'expérience, ainsi que sur la facilité de programmation permettant une analyse fine en temps réel, se rapprochant de l'analyse conventionnelle "hors contraintes temporelles". Il y a ainsi convergence entre les *triggers* de haut niveau (2 ou 3) et l'analyse standard.

Une autre originalité est de permettre en même temps, avec des *Transputers*, le contrôle de l'expérience, les décisions de *trigger*, l'analyse des données et celles des simulations Monte Carlo de l'expérience (voir *Structure de replay* des événements et de Monte Carlo). Un tel système programmé peut assurer le suivi des paramètres expérimentaux et corréler par la suite les résultats des différentes analyses.

Pour des raisons de simplicité, le choix s'est porté sur le développement et l'implémentation d'un unique algorithme et d'une structure de base capable de s'adapter aux différentes distributions de traces. Le développement et le test des algorithmes ont alors pu être réalisés dans les temps.

L'organisation du *trigger* de second niveau pour les trajectoires de particules chargées, basé sur l'emploi d'un réseau de *Transputers*, correspond au parallélisme hiérarchique, où plusieurs niveaux de traitement parallèles sont mis en cascade (pyramide inversée).

Au moment de l'acquisition (voir le chapitre 7.2. *Fonctionnalités*), plusieurs processus sont entrepris en parallèle au niveau des *Transputers* :

- corrélation plan à plan des positions des fils touchés, ainsi que le décompte du nombre de fils touchés
- reconstruction de points de passage de particules, locaux à une chambre

Les étapes ultérieures sont constituées par le traitement complet de la distribution des lignes afin de former des lignes, puis de reconstruire des traces. Si besoin est, des coupures peuvent être imposées sur les paramètres physiques calculés, tels que les impulsions ou la masse effective d'une paire de traces.

Il apparaît que le coeur de l'algorithme, dans une configuration statique et déterministe comprend d'abord un tri de données ^(a) brutes de chaque sous-détecteur. La flexibilité d'un système parallèle programmé permet d'ajuster en tout temps les configurations et les paramètres de fonctionnement du réseau ^(b) sans modifications importantes au niveau du matériel ou de l'environnement.

8.2. Organisation : schémas blocs

La recherche de traces a été considérée comme une décomposition par dichotomie où les informations sont partagées et corrélées deux à deux, problème que l'on peut adapter aisément sur une architecture de réseau en arbre.

La connectivité d'une telle topologie est faible, mais elle s'adapte aux nombre de liens des *Transputers*. L'utilisation d'une matrice de commutation ^(c) qui permette l'augmentation du nombre de liaisons n'est pas possible en raison des temps prohibitifs de connexion, pendant lesquels toute communication est rendue impossible. Une telle reconfiguration dynamique ne peut d'ailleurs pas être réalisée avec les *Transputers* de la génération T800 (voir 11.1.1. *Le T9000*).

8.2.1. Les algorithmes

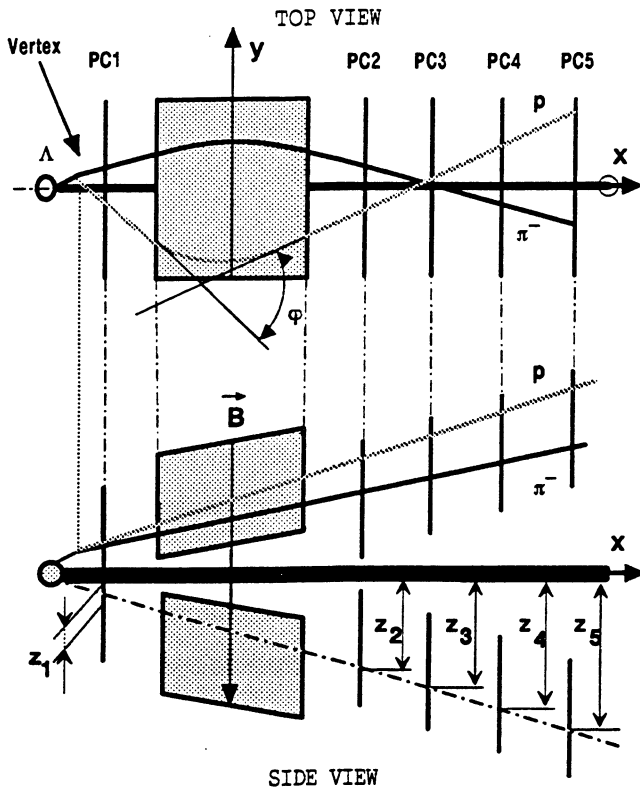
Les vues correspondant aux projections sur 2 (ou 3) plans sont données par des informations indépendantes et peuvent être traitées en parallèle. Compte tenu des différentes possibilités permises par la géométrie et par les moyens de calcul locaux disponibles, plusieurs méthodes parallèles peuvent s'appliquer. Le parallélisme ici se comprend à trois niveaux :

- plusieurs programmes séquentiels différents vont s'exécuter en parallèle (système)
- un programme séquentiel est transformé ou complété en programme parallèle (algorithmique)
- de nouvelles méthodes de calcul parallèle s'appliquent, qui n'ont pas leur origine dans un programme séquentiel

a) Programme *Transputers*, Tracking UA6, disponible sur Floppy Disk (IBM®-PC ou Apple MacIntosh™)

b) Dans cet ordre d'idée, une mise au point d'un système auto-adaptatif en temps réel en fonction des données externes est envisagé. Plusieurs outils sont considérés, comme l'emploi de réseaux de neurones interfacés aux réseaux de *Transputers* (mondes analogique et digital). L'enjeu est de récupérer complètement pour l'analyse les informations analogiques obtenues avec un réseau de neurones, par exemple.

c) IMS C004, *INMOS Databook*, Prentice Hall, 1991



Le problème revient à trouver les projections des droites dans l'espace. Dans le plan orthogonal au champ \vec{B} du spectromètre, la trajectoire d'une particule issue du point d'interaction est une courbe du troisième degré, raccordées à deux droites situées l'une avant l'aimant et l'autre après. Dans l'autre vue, la trajectoire est une droite.

Fig. 1 : Lignes et traces dans le spectromètre, les valeurs z donnent la pente de la trajectoire dans le plan vertical

Dans le cas de la *HEP*, il est toujours possible lorsqu'une solution efficace sur N processeurs a été réalisée de mettre à profit $M \cdot N$ processeurs en distribuant les événements à chaque étage (*farming* et/ou *pipe line*). Il est néanmoins nécessaire de considérer la latence de traitement d'un événement. Dans le cas de UA6, un seul étage de traitement a été réalisé et optimisé.

Dans la vue z (plan vertical $\{x,z\}$), le point pivot est l'intersection du jet et du faisceau. Une droite étant définie par sa pente, celle-ci est donnée, pour l'ensemble des cinq chambres, par $\tan \alpha_j = (x_j, y_j)$ pour la jème particule.

Pour les vues u et v , une corrélation des fils touchés plan à plan est faite ^(a) d'abord. Les droites dans le plan horizontal ($\{x,y\}$), derrière l'aimant, incluent les points des 4 plans u des chambres, respectivement v . Une intersection (u, v) fournit une coordonnée (y, z) dans une des chambres.

a) Ce type d'association en profondeur est indiqué dans les cas où la multiplicité au niveau des fils touchés dans une chambre est élevée. Le nombre de combinaison fortuites est réduit. Par la suite, on peut associer les fils candidats des deux plans u, v dans la même chambre, pour déterminer le point de passage puis la trajectoire.

La première chambre située devant l'aimant possède 4 plans de fils (u, v, z, y). Au cas où la particule est originaire de l'intersection, une reconstruction sans l'information de cette chambre est possible, mais si la particule que l'on veut reconstruire se désintègre entre la cible et l'aimant, par exemple dans notre cas le Λ , il faut lever une indétermination sur la position transverse du vertex dans le plan horizontal $\{x, y\}$. L'information donnée par la reconstruction dans le plan vertical fournit la position x le long de l'axe du faisceau ^(a). Dû à la déflexion dans l'aimant, la position y n'est pas connue. Il faut donc utiliser les points de passage dans la première chambre et les corrélérer avec les traces provenant de derrière l'aimant. Le problème de recherche de traces revient à reconstruire des droites dans un plan en associant les différentes informations sur les pentes données par les paires de fils touchés dans toutes les vues (figure Lignes et traces dans le spectromètre, z_1 à z_5).

Deux types principaux d'événements avec des particules chargées doivent être considérés :

- ceux qui comportent une paire massive d'électrons (J/Ψ par ex.), une trace dans chaque bras, originaire du point d'intersection du jet et du faisceau de l'accélérateur
- les événements comportant deux traces dans le même bras, non originaires de l'emplacement du jet (présence d'un vertex secondaire pour des K_s^0 et des Λ)
- les valeurs de Monte Carlo de $\cos(\theta_{\max}^-)$ et pour $\cos(\theta_{\max}^p)$ pour les Λ acceptés sont de 2.1; les valeurs les plus probables sont 1.9 et 0.4 respectivement.

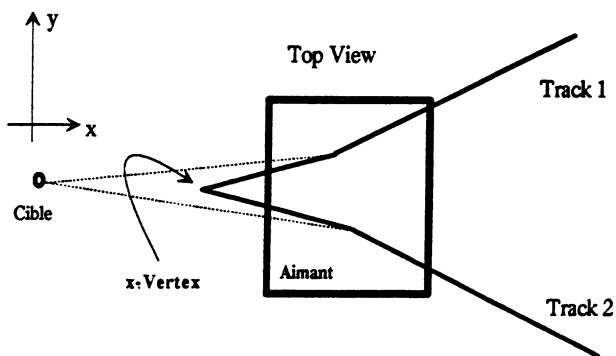


Fig. 2 : Projections des traces sur la cible, recherche du plan de vertex

Les simulations par Monte Carlo ^(b) fournissent des valeurs de coupure pour l'alignement avec la cible des traces des protons et des pions issus, par exemple, d'une désintégration de Λ . Dans ce cas, par la cinématique, le proton emporte la plus grande part de l'impulsion du Λ et sa trajectoire est quasiment alignée sur la cible. Pour les K_0 , les valeurs sont distribuées différemment.

a) Calcul de l'erreur sur x une fois les erreurs sur les pentes déterminées

b) L. Studer, E.C. Dukes, Private communications, 1989-1990

Codage de l'algorithme

L'implémentation des diverses conditions pour sélectionner les Λ en temps réel et pour tester l'efficacité de rejet du *trigger* exige une simulation précise de l'information des chambres. On a vérifié la qualité de la simulation par comparaison avec des distributions des données réelles enregistrées avec des *triggers* différents, tel les *triggers* calorimètres ou le *trigger* de biais minimum.

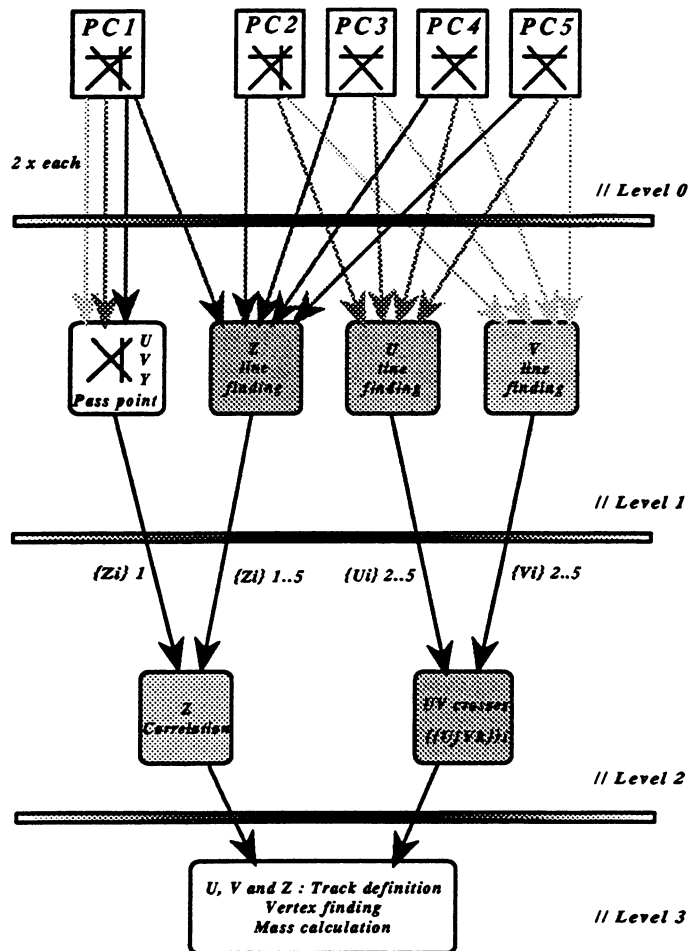


Fig. 3 : Etages de l'analyse parallèle, les données proviennent des 5 chambres PC1 à PC5 et tous les processus d'un même étage sont exécutés en parallèle, à partir des mêmes données (algorithmes complémentaires) ou de données d'origines différentes.

Le codage de l'algorithme pour les recherches de ligne se base sur la structure suivante (voir figure *Etages de l'analyse parallèle*) :

- initialisation d'un tableau de références pour la carte des fils
- réception, écriture et classement des positions des fils touchés
- calcul des pentes pour les plans deux à deux, en calculant toutes les combinaisons, dans les différentes vues, en incluant les tolérances (*roadwidth*) pour la définition d'une ligne
- comparaisons des tableaux des pentes en mémoire (analogue à une *look-up table*), tri dans une liste ordonnée après une coupure préalable sur la validité des pentes (*acceptance*)
- regroupement des ensembles de résultats pour la définition des traces, avec un modèle simple de déflexion dans l'aimant (champ uniforme limité dans le volume de l'aimant)

Les valeurs de coupures sont aussi sévères que possible compte tenu de la cinématique des Λ afin d'assurer un rejet maximal [5]. La dispersion acceptée des traces extrapolées au niveau du jet, est donnée par la simulation Monte Carlo. Les chambres de derrière et la chambre de devant sont traitées différemment.

Cette description des tâches se projette sur une configuration de réseau qui épouse les contraintes de la physique demandée (bien que plusieurs possibilités soient envisageables). L'avantage des *Transputers* est de permettre une extension progressive du réseau au fur et à mesure de l'évolution des divers algorithmes. D'autres distributions de tâches sont possibles ^(a), celle choisie ici a l'avantage de la simplicité par sa parfaite bijection avec la description du problème.

Le regroupement des données se fait au niveau des réseaux baptisés *Multi.C* et *Multi.D*. La recherche des lignes en z dans les événements Λ pour les protons et pour les pions se fait également en parallèle. De même, les associations plan à plan pour les fils u et v se fait en parallèle. Enfin la recherche des croix sur la première chambre se fait avec les fils u, v, y . Une vérification ultérieure permet d'associer les croix de passage avec les traces en z . La décision de ne pas prendre les directions z pour définir les croix est d'ordre pratique.

Dans les *PCAs*, deux liens sont dédiés à l'envoi des informations vers le réseau d'analyse, les deux autres sont utilisés pour l'envoi des données encodées vers le NSE en *daisy-chain*. Les données sont encodées pour le réseau d'analyse sous forme du numéro absolu de fil dans le plan lu. Elles sont alors dupliquées dans la mémoire du *Transputer* pour rendre accessible rapidement les *patterns* de fils touchés aux différents algorithmes. Les deux copies des informations z de la première chambre sont déjà réservées, par lien direct, à la recherche des lignes de proton et de pion (*association en Z à $\pm 5mm$ et association en Z à $\pm 15mm$ de la cible*). Normalement, cette information z est nécessaire pour définir une croix dans la chambre de devant,

a) Thèse Ph. Schweizer, Lausanne EPFL, 1988, *Architecture graphique 3-D parallèle*, Chap.6

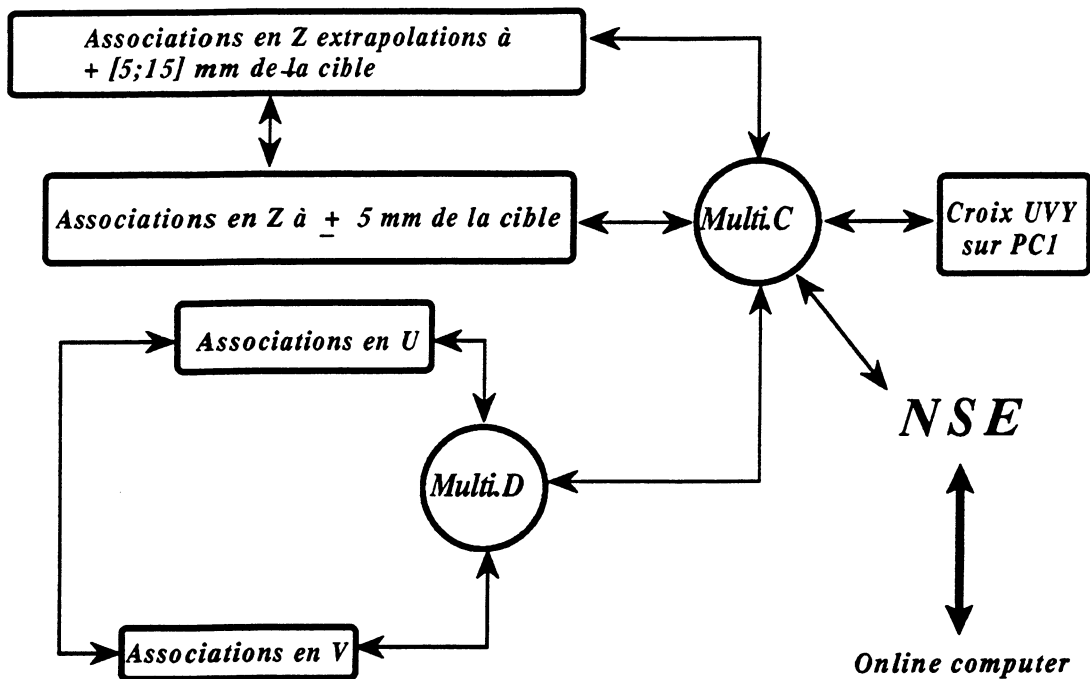


Fig. 4 : Distribution des tâches sur les sous-réseaux d'analyse

et nous n'avons plus de lien à disposition. Ceci n'est pas pénalisant puisqu'il est suffisant de disposer de trois directions pour définir cette croix (point de passage). Dans notre cas, le plan y de la chambre I devant l'aimant a été utilisé avec les plans u et v . Les mesures utilisant ce plan y ont été perturbées par du bruit de fond électronique.

Paramètres de sélection

Les conditions suivantes sont imposées pour la définition de lignes candidates comme trajectoire des particules filles d'un Λ :

- une ligne en u ou en v peut avoir 1 fil manquant au maximum derrière l'aimant, c'est à dire 3 chambres sur 4, doivent donner des points de passage bien définis
- une ligne z peut avoir 1 fil manquant au maximum pour la définition de la trace sur l'ensemble des chambres
- pour la chambre de devant, un point de passage est défini avec les trois directions (u , v , y) et les trois doivent être présents pour éviter l'explosion combinatoire dans le cas où deux fils de directions différentes imposent un point de passage spatial
- pour un Λ il est exigé de trouver deux traces correspondant à des particules de charges opposées, et donc les pentes dans le plan horizontal de signes opposés

- aucune coupure dans cette étape n'a été imposée sur la taille des amas de fils touchés ^(a), le programme de traitement considérant tous les fils comme acceptable pour une trace
- on impose des coupures (avant l'analyse proprement dite) sur le nombre minimal de fils touchés
- on impose une coupure sur le nombre minimal de lignes trouvées
- des coupures sont imposées sur l'acceptance géométrique des lignes trouvées, définissant des valeurs extrêmes pour les pentes acceptables

Cette suite de critères a été proposée et étudiée sur des événements de biais minimum et des événements de Monte Carlo [6]. L'ordre d'emploi et l'application de ces critères est décrit dans la section "Codage de l'algorithme".

Analyse dédiée aux Λ

Après l'obtention des lignes, des zones fiducielles peuvent être imposées dans les chambres PC2 et PC5 suivant les valeurs définies par un Monte Carlo. Une coupure sur les positions des points de passage (fils touchés) est appliquée qui correspond à une coupure sur les valeurs d'impulsion des particules filles (dans un tableau en mémoire).

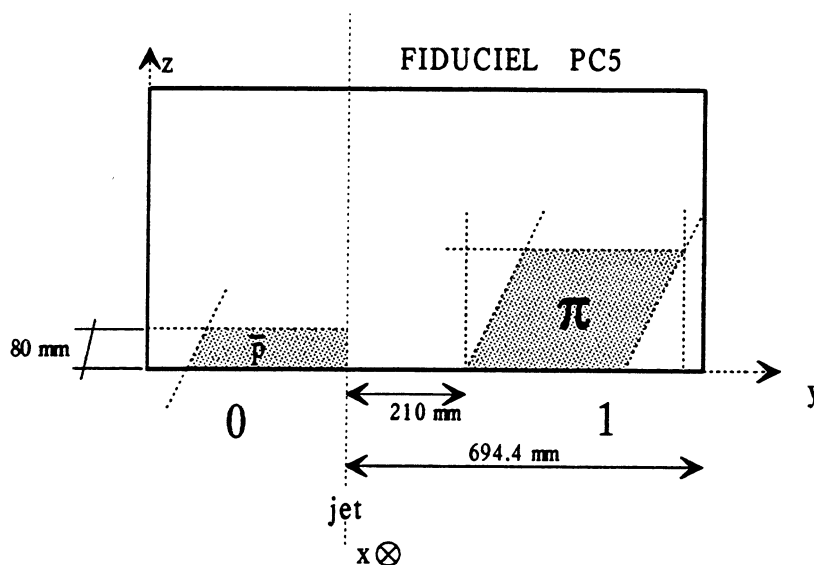


Fig. 5 : Zones fiducielles dans PC2 et PC5 pour protons et pions^(b)

^{a)} Une coupure possible s'appuie sur la définition d'une taille maximum de *cluster*. Une autre s'appuie sur des classes d'équivalence où les éléments contiennent le centre de gravité du *cluster* et son nombre de fils. On peut alors combiner ces super-lignes.

^{b)} L. Studer, communication privée, 1990.

Combinée aux coupures sur la cible, nous obtenons deux contraintes pour l'identification des Λ . Il est possible d'aller pour l'étiquetage d'un événement jusqu'au calcul explicite du vertex ^(a) et ainsi de la masse effective reconstruite. Il n'est pas recommandé en première étape d'instituer ce critère comme une sélection, par le danger d'introduire des biais incontrôlés trop importants.

Multiplexage

Le flot fixe de données et le nombre fini de liens matériels entre les *Transputers* (4) implique un multiplexage des données au niveau du réseau d'analyse, en particulier pour le passage d'information entre les sous-réseaux dédiés chacun à des vues différentes. Certains *Transputers* dans le réseau vont être réservés à la corrélation des données, comme l'intersection des traces trouvées, leur coïncidence avec des points de passage spatiaux et au stockage des résultats partiels. Ils agiront comme des aiguilleurs.

8.2.2. Les réseaux

Notre système de *Transputers* comporte plusieurs réseaux correspondant aux diverses tâches décrites précédemment. Ce sont :

- le réseau d'acquisition
- le réseau d'analyse
- le réseau de surveillance (*monitoring*)

Ces trois réseaux sont testés indépendamment. On admet que les liens matériels fonctionnent sans faute de transmission. Cela évite la surcharge de codage qu'exigerait une sécurité absolue qui n'est pas justifiée dans un environnement purement *Transputer* [7]. Le réseau d'acquisition constitué par l'ensemble des PCA et du NSE a été décrit. Ce réseau assure aussi certaines des tâches nécessaires à la surveillance. Etant donné le flux de données des PCA vers le NSE, les liens ne sont utilisés dans ce cas que dans un sens. Il est cependant raisonnable d'utiliser occasionnellement le sens de transfert vers le "haut" pour les données à afficher sur le PC de *Monitoring*, la transmission bidirectionnelle ne ralentissant que légèrement les débits [8]. Ainsi, une boucle est réalisée en connectant le NSE en fin de chaîne avec le PC en début de chaîne.

Afin de limiter le nombre de *Transputers* à analyser, il est possible de faire le débogage de mise au point du réseau d'analyse à partir d'un IBM®-PC supplémentaire.

Le réseau d'analyse

Le paramètre u [opérations], défini ci-dessous, décrit les performances d'un réseau en terme de mesures objectives de ses caractéristiques :

a) Non implémenté pendant la période de prises de données

Eq. (1):
$$u = \frac{D_k \cdot w \cdot r_{inf}}{2 \cdot m_{inf}}$$
 avec

- D_k : distance maximale dans le réseau (8 dans notre réseau d'analyse)
- w : longueur du mot transmis (32 bits pour les *Transputers*)
- r : taux de calcul asymptotique pour un processeur
- m : taux de communication asymptotique pour un processeur

Le taux de calcul asymptotique peut être estimé en prenant la puissance unitaire d'un processeur (~ 10 MIPS pour un *Transputer*) et en la pondérant par un facteur d'efficacité estimé à 50%^(a). Pour celui de communication, la valeur estimée correspond à la bande passante maximale pondérée par une efficacité de 50% (~0.8 MByte/s · 4 liens = 3.2 MBytes/s). Plusieurs projections sont données ci-dessous pour différentes valeurs de ces taux.

D et w sont connus pour notre réseau :

$$\eta_i := i \cdot 0.2 \quad \eta_j := j \cdot 0.2 \quad i := 1..5 \quad j := 1..5$$

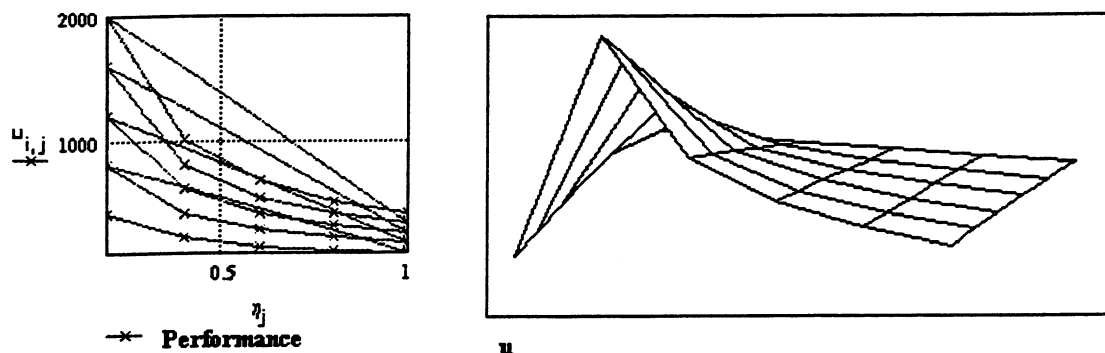
$$D_k := 8 \quad w := 32$$

Le taux de calcul asymptotique r (MIPS) et le taux de communication asymptotique m (bytes/s) sont paramétrisés par l'efficacité η qui varie de 10 à 100% :

$$r_{inf_i} := \eta_i \cdot 10 \cdot 10^6 \quad m_{inf_j} := \eta_j \cdot 3.2 \cdot 10^6$$

$$u_{i,j} := \frac{w \cdot r_{inf_i} \cdot D_k}{2 \cdot m_{inf_j}}$$

La performance u dépend des taux asymptotiques de communication et de calculs. Notre réseau se trouve dans la zone des 50% d'efficacité. Le diagramme représente une simulation correspondant aux valeurs de notre réseau pour D et w . La performance u est donnée en fonction du taux asymptotique de communication η_j variant de 10 à 100% pour plusieurs valeurs de taux de calcul η_i



Dans la représentation de la surface, l'axe ouest représente le taux de calcul et l'axe est le taux de communication. Pour le transputer, les deux taux sont indépendants. Il existe une zone où la performance est maximale pour des valeurs de communications faibles.

Fig. 6 : Modélisation du réseau

a) Nous tenons ainsi compte du temps d'occupation des processeurs. Si un processeur reçoit des données chaque ms et a besoin de 100 μ s pour les analyser, alors son taux d'occupation est de 10% et sa valeur de taux de calcul asymptotique est de 1 MIPS. Il faut néanmoins encore considérer le cas où un processeur nécessite 2 ms pour analyser et les données arrivent chaque ms. Bien que l'efficacité du processeur soit de 100%, les performances globales du système sont

La structure détaillée du réseau montre l'ensemble de toutes les connexions nécessaires pour les signaux de contrôle tels que les *resets* et les lignes de configurations (qui mettent à jour les connexions internes des matrices de connexion *crossbar switch*).

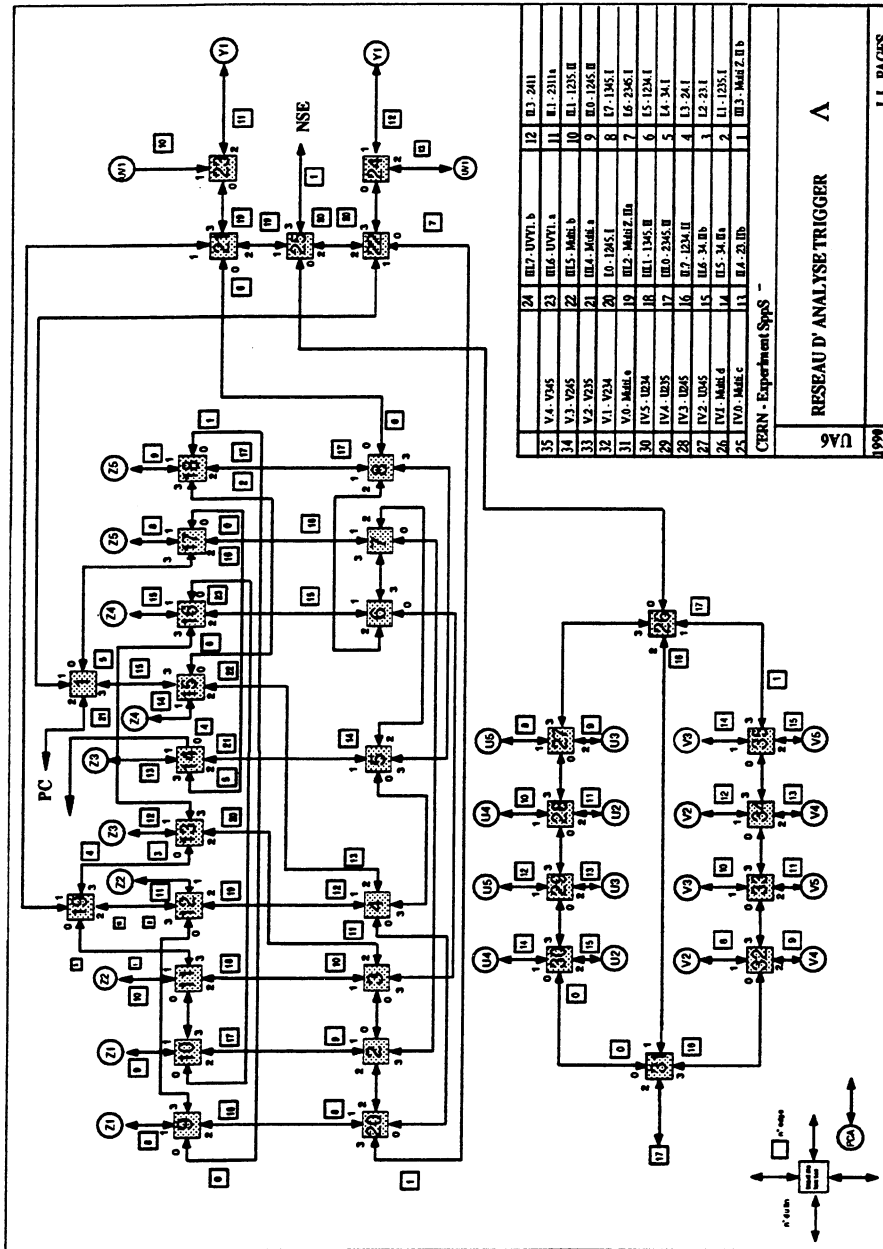


Fig. 7 : Détail du réseau d'analyse et des processus attachés à chaque *Transputer*, visualisation des unités de multiplexage.

médiocres.

La complexité du réseau provient de la connectivité incomplète qui nécessite la mise en place de processeurs dédiés aux communications (multiplexage et résultats). Pour notre système d'analyse parallèle, il existe une hiérarchie de décisions concernant les sous-réseaux d'analyse en charge de la recherche des traces de particules chargées :

- a) l'absence de croix UVY1 (UVY dans chambre 1) entraîne le rejet de l'événement
- b) deux traces chargées selon z (Z1 et Z2) dont l'une pointe sur la cible sont exigées
- c) des croix U et V doivent être associées derrière l'aimant
- d) deux traces doivent traverser la dernière chambre à l'intérieur des zones fiducielles déterminées

Si ces quatre conditions sont remplies, l'événement est accepté et écrit sur la bande magnétique avec un *label*.

Le réseau de surveillance

Une carte *Transputer* (IMS B008 [9]) incorporée dans un IBM®-PC compatible contrôle le comportement de tout le système pendant l'acquisition et l'analyse de traces. Ces outils font partie de la panoplie nécessaire pour déboguer nos réseaux. L'affichage graphique de l'IBM PC compatible ralentit considérablement les processus de multiplexage car un seul lien est accessible pour faire passer l'information vers le bus ISA du PC puis vers le disque dur pour le système de fichiers.

Structure de débogage

Pour la mise au point des algorithmes, particulièrement avec les contraintes de temps réel, des outils doivent être mis à disposition. Ceux existants dans le cadre du système de développement d'*INMOS*® sont très rudimentaires. Comme la configuration du réseau et le code à charger sont statiques, on peut tabuler le status du réseau avant l'exécution du programme. Néanmoins, pendant l'exécution du programme, l'asynchronisme des tâches implique que la situation du flux de données n'est pas prédictible. De possibles interblocages ne peuvent donc pas être détectés ^(a).

En cas d'erreur dans le réseau, ou lorsque se produit une situation de blocage, un signal *Error* est donné et les processus sont bloqués. Le contrôle est passé au système de développement ce qui permet à l'utilisateur d'avoir accès à une carte complète des mémoires, des registres et des pointeurs des *Transputers* dans un fichier pour une analyse statique post-mortem.

a) L'utilisateur doit tester les cas possibles un à un, et événement par événement.

Vu la complexité du réseau global dans UA6, deux systèmes de chargement de code ont été installés qui permettent un débogage indépendant des deux réseaux, celui d'analyse et celui d'acquisition. Le mode de fonctionnement du réseau d'analyse permet cependant de continuer l'acquisition des données commandées par les *triggers* de premier niveau (NSE et PCAs) même si des problèmes surviennent au niveau de l'analyse. Quand le réseau d'analyse est activé par un *trigger* de premier niveau Λ , le NSE est en position d'attente, limitée par un *time-out*, pour une réponse du réseau d'analyse sur l'acceptation ou non de l'événement. Si le réseau dépasse le temps alloué, l'événement est dans un premier temps accepté et marqué "*Time-out analyse*". De manière analogue au processeur *hardware* des données Calorimètre de UA6, il est possible de rejeter les événements en "*time-out*" après avoir analysé les données "*off-line*" et avoir compris les raisons du délai. Le choix se fera aussi suivant le taux des événements en "*time-out*" (l'écriture sur bande de ces événements est-elle compatible avec le temps mort ?).

Arrêts et réinitialisation de l'analyse

En programmation séquentielle, la fin d'un programme est donnée par l'exécution de la dernière instruction. En programmation parallèle, un programme est fini quand tous les processus ont terminé l'ensemble de leurs instructions. Il faut explicitement signaler la fin d'une séquence d'instructions et s'assurer qu'aucun autre processus ne requerra des ressources de la part du processus qui vient de s'achever. Ce cas provoque un interblocage (*deadlock*).

Supposons qu'un processus décide que l'événement ne satisfait pas les critères d'acceptation (*bad event*). Dans ce cas, le flot de l'analyse doit être totalement interrompu afin de minimaliser le temps de traitement. Il faut pouvoir assurer que tous les autres processus ont reçu l'ordre d'arrêter les calculs courants et sont remis en état d'attente d'un nouvel événement. Le temps nécessaire à cette réinitialisation constitue l'inefficacité liée au parallélisme. Avec un système à connectivité incomplète, le message d'interruption devrait être propagé sur les liens normaux avec un protocole spécial. Toutefois, des signaux de synchronisation peuvent être conçus par lesquels un processus examine l'état d'une variable qui indique si l'exécution doit s'arrêter (sémaphore). Cette pratique n'est pas efficace, mais le comportement du programme est prévisible. La difficulté principale se rencontre lors de l'interruption d'un processus qui communique des longs paquets de données, ce qui entraîne de longues attente ^(a). Dans notre cas, cette solution a été choisie

a) En effet, avec le modèle de communication d'*Occam* implémenté sur les *Transputers*, une fois la transmission de données commencée sur les liens, il est nécessaire d'attendre sa fin.

par souci de simplicité et de facilité d'implémentation ^(a) ^(b).

L'ignorance de l'état (*status*) des différents processus actifs dans le réseau est dangereux dans le sens que lors du rejet du $j^{\text{ème}}$ une partie des processeurs du système pourraient encore être occupés à l'analyse partielle de cet événement alors que le réseau est chargé avec le $j+1^{\text{ème}}$ événement.

Les processus d'interruption doivent être conçus de manière formelle avant toute implémentation des algorithmes spécifiques de traitement. Ensuite, une optimisation de l'échelonnement des démarrages des tâches (synchronisation) peut être étudié. Ceci n'exclut pas la possibilité de recouvrir le temps d'analyse d'un processus rapide avec le chargement des données des processus retardés.

8.3. Structure de *replay* des événements et de Monte Carlo

Une caractéristique importante à la méthode employée est la possibilité d'utiliser le même système dédié à l'analyse en temps réel pendant la prise de données, pour traiter après l'expérience des événements réels (ou de Monte Carlo) et tester ainsi le mode de fonctionnement du système.

La programmation du réseau permet de distinguer les événements analysés selon trois catégories :

- les événements acceptés
- les événements rejetés
- les événements échantillonnés

Cette possibilité de retraitement permet d'évaluer pour les événements rejetés le biais introduit par les différents critères de décision appliqués aux différents niveaux. L'écriture d'une fraction échantillonnée des événements permet de déterminer de manière objective (sans Monte Carlo) l'efficacité de rejet et d'acceptation. Tous les événements sont écrits avec l'information caractérisant leur rejet comme l'étage de l'analyse responsable de la décision de rejet et le temps nécessaire à prendre la décision. Le suivi permanent durant toute la prise de données permet de contrôler l'évolution des conditions expérimentales, ce que des tests ponctuels dans des conditions spécifiques ne donnent pas. Les événements échantillonnés fournissent une représentation non biaisée du bruit de fond qui a déclenché le *trigger* de premier niveau.

a) Une autre manière de procéder est d'imaginer que tous les *Transputers* du réseau d'analyse ont leur contact *Event* reliés (OR de tous les contacts). Lorsqu'un processus fournit une décision de rejet rapide, son contact *Event* est activé lors de l'écriture à un emplacement dédié de mémoire interrompant immédiatement tous les processus. Ceci exige que tous les processus d'analyse soient capables d'exécuter une construction "*PRI ALT*" dont le premier élément est l'attente avec haute priorité de l'interruption de l'*Event pin*. Cette construction *hardware* correspond à l'instruction "*Broadcast*", diffusion. En logiciel, un grand travail de multiplexage est nécessaire à cause du nombre fixé de canaux de communication.

b) Une autre solution apparemment contradictoire est envisageable. L'attente au début de certaines tâches qui nécessitent un long temps d'arrêt peut permettre à un processus rapide de donner une éventuelle réponse négative sur la validité d'un événement. Le choix entre les diverses méthodes dépend de la physique et des configurations particulières de l'acquisition.

Les événements acceptés sont écrits avec la liste des paramètres physiques résultants de l'analyse faite par le réseau de *Transputers*, qui peuvent être utilisés dans une analyse sélective rapide après l'acquisition. Les informations écrites comprennent aussi le temps nécessaire à la prise de décision, le nombre de fils touchés et le nombre de traces trouvées dans l'événement.

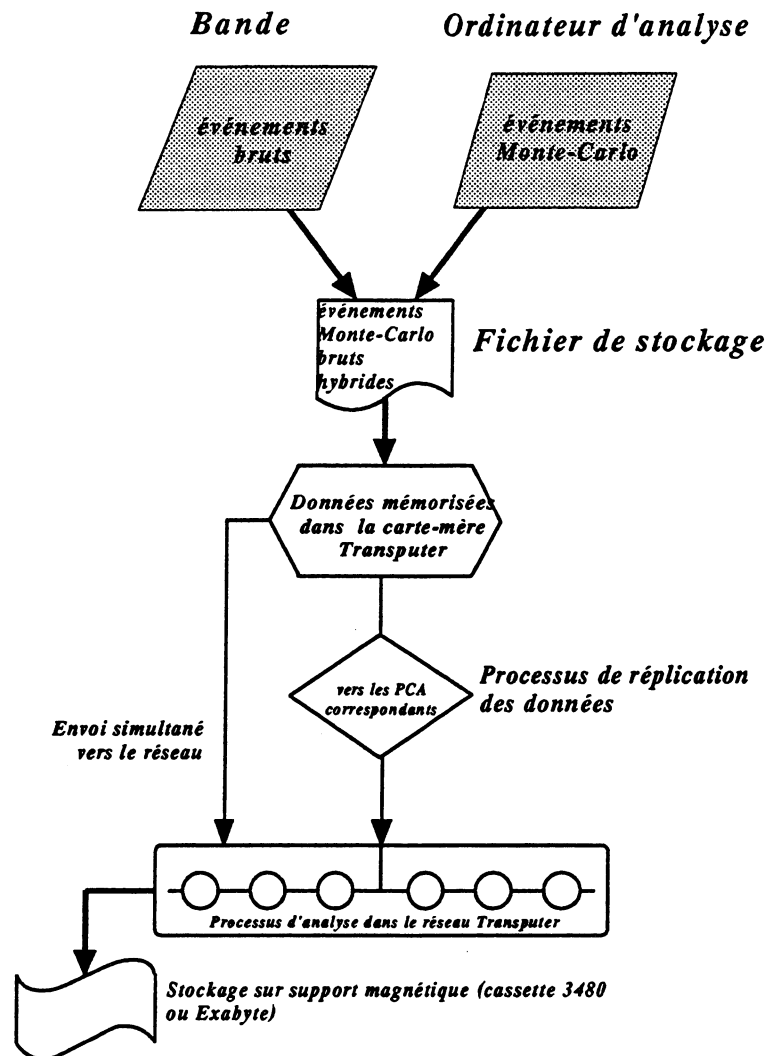


Fig. 8 : Réanalyse des événements

Les événements hybrides formés en superposant un événement Monte Carlo à un événement brut permettent de déterminer l'efficacité d'identification d'événements candidats Λ parmi un bruit de fond réel. En conclusion, il faut remarquer que pour une analyse de ce type, il n'est pas nécessaire de reproduire dans le Monte Carlo le fonctionnement du *trigger* car celui-ci devient l'instrument d'analyse ^(a).

a) Par l'adjonction d'un module *Transputer* contenant une interface SCSI, il est maintenant possible de reprendre les bandes magnétiques IBM® 3480 sur des bandes à déroulement Exabyte de grandes capacités, dont les unités possèdent un bus SCSI, permettant le transfert direct sur le réseau d'analyse pour traiter (*replay*) les événements bruts.

8.4. Les performances

Une des performances principales du système est le temps de calcul absolu nécessaire à l'analyse d'un événement, conduisant à son rejet ou à sa validation pour l'écriture sur support magnétique.

Plusieurs critères interviennent dans l'évaluation d'un réseau. Le taux d'occupation d'un processeur dans notre cas est faible, mais il doit être tenu compte du prix relativement peu élevé d'une unité de calcul (*Transputer*), qui permet d'augmenter autant que nécessaire le nombre de noeuds de calcul. Les algorithmes concernant le traitement des données physiques sont les mêmes, mais leur distribution réelle dans le réseau est différente ce qui implique des différences de performances.

Les durées présentées correspondent à des unités de traitement (*sub-network*). Dans une première étape, le code a été testé sur un seul processeur, il traite les données de deux chambres. Son optimisation au niveau d'un seul processeur simplifie le développement et le débogage tout en assurant l'optimisation au niveau global pour la méthode choisie. Seul le temps de communication va affaiblir le comportement. L'envoi de blocs de taille conséquente (~50 mots) minimise le temps de préparation des liens, mais permet de rendre le temps de communication faible par rapport au temps de calcul global. La topologie de base des communications est fixée par les connexions physiques des liens aux PCA. Une analyse détaillée dans diverses conditions de *trigger*, avec divers types de données et l'estimation des facteurs d'efficacité physique des algorithmes fait l'objet d'un article [10].

Il n'y a pas besoin de communiquer de grandes quantités d'informations au début de l'acquisition (couplage initial relâché). Le traitement par tri et l'accès à des informations contenues dans des tables est un problème purement séquentiel et une abondante littérature couvre le sujet. Dans notre cas, les données parviennent en parallèle sur les deux liens connectés aux PCA. Le temps écoulé pour l'exécution tient compte du temps de transfert des données dans le *Transputer*.

Le temps de recherche dans un arbre peut être estimé à l'aide du nombre d'opérations nécessaires. Soient N éléments, correspondant à 20 associations absolues de fils dans une chambre (points de passage), dont il faut trier la table puis comparer à des valeurs de seuils, il faut donc faire N fois le parcours d'une liste longue de $N/2$ éléments, ce qui nous donne $N/4$ comparaisons et $N/4$ éléments à déplacer dans la liste. D'où le nombre total d'opérations est de :

$$\text{Eq. (2):} \quad N \cdot \left(\frac{N}{4} + \frac{N}{4} \right) = \frac{N^2}{2}$$

Le temps nécessaire pour une opération est de l'ordre de 750ns, d'où un temps total de 150 μ s pour les associations.

Ceci nous donne une limite inférieure de $150\mu\text{s}$ au temps nécessaire dans un processeur pour la corrélation entre plans. Une fois les lignes associées en profondeur dans les différentes vues, des points spatiaux de passage (croix) sont reconstruits en imposant une coupure sur la taille des triangles définis par les trois fils.

8.4.1. Modélisation du réseau d'analyse

Plusieurs unités de calcul sont présentes dans le réseau d'analyse. Nous les énumérons ci-dessous et leur associons un temps d'exécution en *ms*, mesuré pour des distributions, pour une multiplicité moyenne de 15 fils, distribués aléatoirement suivant une répartition conforme aux données expérimentales. Les valeurs pour les fils *u* et *v* (derrière l'aimant) sont estimées à partir des valeurs sur les fils *z*, l'algorithme est le même que celui pour les *z* et le nombre de corrélations à faire est de 3 et se situe entre le temps pour obtenir des corrélations 2 à 2 avec des fils dans la direction *z*, Z_{ij} , et à 4 plans, Z_{ijkl} . Les indices des différentes durées correspondent au sous-réseau, comme signalé dans la figure "Détail du réseau d'analyse". Ils décrivent le type d'information traitée dans le sous-réseau, par exemple pour $v345$ ce sont les fils touchés de direction *v* pour les chambres 3, 4 et 5 qui sont associés et corrélés. Les indices *a* et *b* dénotent deux traitements différents sur des données identiques, et les indices I et II des traitements identiques avec des valeurs de coupures différentes, (par exemple la recherche de traces suivant *z*, pour le proton et pour le pion):

Timings pour les sous-réseaux (U et V, Z1 et Z2, croix UVY)		
$\Delta t_{v345} = 0.9$	$\Delta t_{v245} = 0.9$	
$\Delta t_{v235} = 0.9$	$\Delta t_{v234} = 0.9$	
$\Delta t_{u234} = 0.9$	$\Delta t_{u235} = 0.9$	
$\Delta t_{u245} = 0.9$	$\Delta t_{u345} = 0.9$	
$\Delta t_{uvy1a} = 5.2$	$\Delta t_{uvy1b} = 5.2$	
$\Delta t_{z1245I} = 1.3$	$\Delta t_{z1345I} = 1$	$\Delta t_{z2345I} = 0.65$
$\Delta t_{z1234I} = 1.1$	$\Delta t_{z1235I} = 1.2$	
$\Delta t_{z1345II} = 1$	$\Delta t_{z2345II} = 0.65$	$\Delta t_{z1234II} = 1.1$
$\Delta t_{z1235II} = 1.2$	$\Delta t_{z1245II} = 1.25$	
$\Delta t_{z34I} = 0.42$	$\Delta t_{z24I} = 0.49$	$\Delta t_{z23I} = 0.48$
$\Delta t_{z34IIa} = 0.42$	$\Delta t_{z23IIa} = 0.48$	$\Delta t_{z24IIa} = 0.49$
$\Delta t_{z34IIb} = 0.42$	$\Delta t_{z23IIb} = 0.48$	

Il faut aussi considérer les unités de multiplexage qui sont en charge de corréler les données et de transmettre

les informations partielles, ainsi que de distribuer les signaux de contrôle. On fixe le temps d'exécution correspondant à 1 ms, nous verrons que ce paramètre n'est pas essentiel. Les indices correspondent à figure "Détail du réseau d'analyse", et au type d'information (z.IIb) :

Timings pour les sous-réseaux de multiplexage		
$\Delta t_{multi\ a} = 1$	$\Delta t_{multi\ b} = 1$	$\Delta t_{multi\ c} = 1$
$\Delta t_{multi\ d} = 1$	$\Delta t_{multi\ e} = 1$	$\Delta t_{multi\ z.IIb} = 1$

Pour comprendre le comportement du réseau, il nous faut encore préciser certaines variables et comparer nos résultats théoriques avec le comportement réel.

Les performances du réseau doivent comprendre les temps de transfert des données dans le réseau ainsi que le nombre moyen de transfert le long des *links*. Dans le cas expérimental, le temps de transfert des données vers le réseau comprend le temps d'acquisition des données dans le PCA, leur transfert vers le NSE et le temps de décompte du nombre de fils touchés réalisé par le NSE, qui donne l'ordre de commencer l'analyse. Il faut tenir compte du temps de latence dû au mécanisme d'arrêt et de re-synchronisation du réseau après le rejet ou l'acceptation d'un événement pour l'analyse :

Valeurs de base pour la rentrée des données dans le réseau d'analyse	
Nombre_liens = 15 · 2	De 15 PCA et 2 liens vers le réseau par PCA
Taille_data \cong 200	200 mots de 32 bits environ
Débit_lien = 1 / 0.0032	1 mot de 32 bits chaque 3.2 μ s (<i>link setting time</i>)
$\Delta t_{data_in} = (Taille_data / Nombre_liens) \cdot (D\acute{e}bit_lien)^{-1}$	avec $\Delta t_{data_in} = 0.021$ ms
$\Delta t_{wire_counting} = 0.4$	Temps de décompte des fils dans le NSE
$\Delta t_{resynch_latence} = 2$	Temps de latence de resynchronisation

Le gain en temps dû au parallélisme est obtenu en sommant le temps de transfert de toutes les données à travers 3 liens disponibles pour un seul processeur et le total de tous les calculs individuels de différents algorithmes logiques pour les orientations de fils (U,V,Y,Z) :

$$\Delta t_{data_in_1_processor} = Taille_data \cdot (D\acute{e}bit_lien \cdot 3)^{-1}$$

Donnons maintenant le temps total d'analyse pour un seul processeur, les $\Delta t_{partiel\alpha}$ représentent la somme des temps d'exécution des divers constituants des sous-réseaux :

Détermination du temps d'analyse total par un seul Transputer

$$\Delta t_{\text{partiel } a} = \Delta t_{v345} + \Delta t_{v245} + \Delta t_{v235} + \Delta t_{v234} + \Delta t_{u345} + \Delta t_{u245} + \Delta t_{u235} + \Delta t_{u234}$$

$$\Delta t_{\text{partiel } b} = \Delta t_{uvy1a} + \Delta t_{uvy1b}$$

$$\Delta t_{\text{partiel } c} = \Delta t_{z1245I} + \Delta t_{z1345I} + \Delta t_{z2345I} + \Delta t_{z1234I} + \Delta t_{z1235I}$$

$$\Delta t_{\text{partiel } d} = \Delta t_{z1245II} + \Delta t_{z1345II} + \Delta t_{z2345II} + \Delta t_{z1234II} + \Delta t_{z1235II}$$

$$\Delta t_{\text{partiel } e} = \Delta t_{z24I} + \Delta t_{z34I} + \Delta t_{z23I}$$

$$\Delta t_{\text{partiel } f} = \Delta t_{z34IIa} + \Delta t_{z23IIa} + \Delta t_{z34IIb} + \Delta t_{z23IIb} + \Delta t_{z24IIa}$$

$$\Delta t_{\text{ana_tot_1_processor}} = \sum_{\alpha=a}^f (\Delta t_{\text{partiel } \alpha}) + \Delta t_{\text{data_jn_1_processor}} + \Delta t_{\text{wire_counting}}$$

Il ne faut pas tenir compte des temps de multiplexage et de transfert dans ce cas.

$$\Delta t_{\text{ana_tot_1_processor}} = 32.343 \text{ ms}$$

Ce temps est évidemment le temps maximum nécessaire à conduire toutes les analyses avec un nombre moyen de fils de 15. En réalité, après le *pretrigger* le nombre moyen de fils à considérer est de 23, ce qui conduit à une explosion combinatoire. Le temps minimum en ms pour un processeur est donné pour un rejet immédiat après réception des fils sur l'absence de croix UVY1 :

$$\Delta t_{1p_min_reject} = \Delta t_{\text{wire_counting}} + \Delta t_{\text{data_jn_1_processor}} + \Delta t_{\text{partiel } b} = 11.103 \text{ ms}$$

Ce temps minimal dépend fortement des multiplicités réelles dans la première chambre, en effet un événement peut être propre devant l'aimant (<10 fils) et avoir une multiplicité globale moyenne élevée et malgré tout donner des temps de rejet de l'ordre (voir tables temps d'analyse du réseau dans les appendices) de 1 à 4 ms.

Au niveau du réseau, la distribution des tâches permet un gain de temps, bien qu'il faille tenir compte des temps de multiplexage et de communications. Le réseau peut se partager logiquement en 5 sous-réseaux d'analyse :

- 1) Z-line (algorithm 1)
- 2) Z-line (algorithm 2)
- 3) U line
- 4) V line
- 5) Space points

auxquels il faut associer les trois étages de multiplexage générique :

- i) Multiplexer (U, V) à double
- ii) Multiplexer (Z, U, V)

Ces réseaux reçoivent les informations et résultats partiels des différents sous-réseaux de calcul. Ils associent les traces partielles des vues u, v u, v et z entre elles, puis redistribuent les résultats vers le NSE ou vers d'autres centres de multiplexage.

Nous pouvons définir les temps locaux d'analyse. Dans un premier temps, ceux-ci sont calculés pour chaque noeuds en parallèle sans tenir compte des communications. Celles-ci seront introduites par la suite comme un facteur d'inefficacité dépendant des chemins à parcourir par sous-réseaux. La structure adoptée permet un recouvrement effectif du temps de communication et d'analyse, en particulier quand le temps d'analyse devient important à cause de la combinatoire (à partir de 15 fils, ce qui est le cas des événements réels), nous pouvons dire que le système est dominé par le calcul. Nous donnons maintenant une estimation simple des quantités de données transférées, ainsi que la puissance de calcul global à disposition pour la taille moyenne d'événement. Les calculs commencent simultanément dans les sous-réseaux *Z1*, *Space points*, *U line* et *V line*. Seul le sous-réseau *Z2* commence après la réception des données par *Z1* :

Estimation des temps de calcul en parallèle par sous-réseau considéré	
$\Delta t_{double_z1} = 0.49$	$\Delta t_{double_zII} = 0.49$
(calcul d'une pente, plan à plan [1-2])	
$\Delta t_{A_z1} = 1.3$	$\Delta t_{A_zII} = 1.3$
(corrélation des pentes, [1-2-3-4, par exemple])	
$\Delta t_{delay_zo_zII} = 30 \cdot 0.0032$ (Environ 30 mots à transférer)	
$\Delta t_{z1} = \Delta t_{A_z1} + \Delta t_{double_z1}$	$\Delta t_{z1} = 1.79$
$\Delta t_{z2} = \Delta t_{delay_zo_zII} + \Delta t_{double_zII} + \Delta t_{A_zII}$	$\Delta t_{z2} = 1.886$
$\Delta t_u = 0.9$	$\Delta t_v = 5.2$

Il faut ajouter les effets des étages de multiplexage et un temps de communication moyen à chaque processus. On suppose que le processeur n'est pas ralenti par les communications, cette hypothèse est acceptable avec les *Transputers* (lorsque les communications sont saturées sur les 4 liens le processeur est ralenti de 10% au plus).

Estimation des temps de multiplexage à rajouter au temps de calcul

$$\Delta t_{z1} = \Delta t_{z1} + \Delta t_{multi\ b} + \Delta t_{multi\ z\ 11b} \quad \Delta t_{z1} = 3.79$$

$$\Delta t_{z2} = \Delta t_{z2} + \Delta t_{multi\ a} \quad \Delta t_{z2} = 2.886$$

$$\Delta t_u = \Delta t_u + \Delta t_{multi\ d} \quad \Delta t_u = 1.9$$

$$\Delta t_v = \Delta t_v + \Delta t_{multi\ e} \quad \Delta t_v = 1.9$$

$$\Delta t_{space_points} = \Delta t_{space_points} + \Delta t_{multi\ c}$$

$$\Delta t_{space_points} = 6.2$$

La distance moyenne à parcourir pour un message entre deux processus se calcule comme la plus grande distance en nombre de liens divisée par 2 dans chaque sous réseau. Le nombre de mots moyens transférés dépend du contenu physique de l'analyse, ce nombre est estimé dans les relations ci-dessous entre 50 et 300 mots :

Estimation du chemin moyen par sous-réseau pour les communications

$$Nbre_liens_z1 = 5 \quad Nbre_liens_z2 = 4 = N_1$$

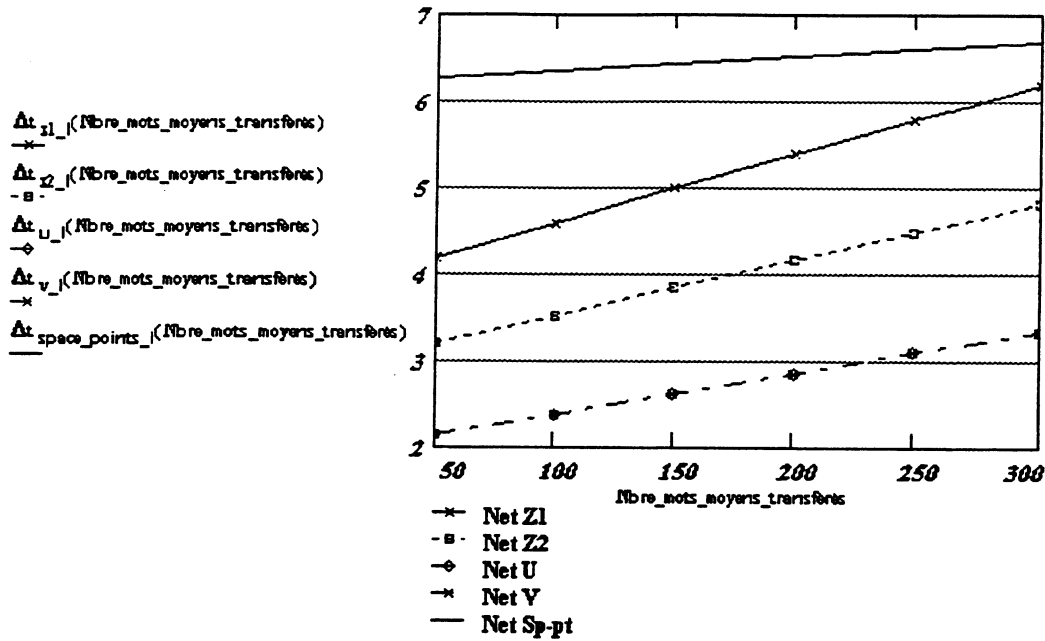
$$Nbre_liens_u = 3 \quad Nbre_liens_v = 3 = N_2$$

$$Nbre_liens_space_points = 1 = N_3$$

$$Nbre_mots_moyens_transférés = 50, 100 \dots 300$$

Alors l'estimation supérieure du temps total d'analyse d'un événement dans le réseau peut être donné et le facteur d'accélération trouvé, l'axe d'ordonnée étant le temps :

$$\Delta t_i(\text{nombre_mots_moyens_transférés}) = \Delta t_i + \frac{1}{2 \cdot \text{Débit_lien}} \cdot (N_i \cdot \text{Nombre_mots_moyens_transférés})$$



$$Timings = \begin{bmatrix} \Delta t_{z1} \\ \Delta t_{z2} \\ \Delta t_u \\ \Delta t_v \\ \Delta t_{space_points} \end{bmatrix}$$

$$\text{Max}(Timings) = 6.2$$

$$\Delta t_{wire_counting} = 0.4$$

$$\Delta t_{data_in} = 0.021$$

$$\Delta t_{resynch_latence} = 2$$

Pour avoir le temps de calcul parallèle pour ces divers algorithmes, il nous faut prendre en effet le maximum des *timings* individuels de chacun des sous-réseaux [$\text{max}(Timings)$] ci-dessus.

$$\Delta t_{global} = \text{max}(Timings) + \Delta t_{wire_counting} + \Delta t_{data_in} + \Delta t_{resynch_latence}$$

$$\Delta t_{global} = 8.621$$

Cette durée est donnée normalement pour le rejet d'un événement, l'acceptation nécessite l'attente de la terminaison de tous les algorithmes des sous-réseaux et peut multiplier cette valeur par un facteur compris entre 2 à 4 en fonction des distributions des fils touchés.

$$Comm(Nbre_mots_moyens_transférés) = \frac{1}{2 \cdot \text{Débit_lien}} \cdot (5 \cdot Nbre_mots_moyens_transférés)$$

$$\Delta t_{global}(Nbre_mots_moyens_transférés) = \Delta t_{global} + Comm(Nbre_mots_moyens_transférés)$$

Δt_{global} (Nbre_mots_moyens_transférés)					
50 mots	100 mots	150 mots	200 mots	250 mots	300 mots
9.021 ms	9.421 ms	9.821 ms	10.221 ms	10.621 ms	11.021 ms

Le temps dû aux communications influence faiblement le comportement global de l'analyse, le nombre de mots transférés étant généralement inférieur à 50.

La valeur moyenne expérimentale mesurée est d'environ 8 à 12 ms pour les événements refusés, et de 35 ms pour les événements acceptés (incluant des cas anormaux où la multiplicité conduit à une combinatoire élevée), difficile à comparer avec cette simulation vu la spécificité des événements à nombre de fils élevés. Il n'est pas étonnant d'avoir un temps d'acceptation grand, les événements à haute multiplicité étant acceptés avec une grande probabilité, sans être autre chose que du bruit de fond, mais les critères finaux nécessitent un grand nombre de corrélations.

La valeur minimale du temps de décision conduisant à un rejet est donnée par une analyse rapide des croix UVY1, avec un temps minimal de re-synchronisation :

$$\begin{aligned} \Delta t_{min_croix} &= 0.72 & \Delta t_{min_resynch} &= 1 \\ \Delta t_{minimal} &= \Delta t_{data_in} + \Delta t_{min_resynch} + \Delta t_{min_croix} \\ \Delta t_{minimal} &= 2.141 \end{aligned}$$

Cette valeur minimale correspond à la valeur expérimentale mesurée. Elle est donnée dans notre cas pour une multiplicité de 15 fils, qui correspondent après l'encodage dans les PCA à exactement 15 mots. Toutes ces valeurs ont été données pour un nombre moyen de 15 fils par plan traité. L'accélération de performances est donc la suivante :

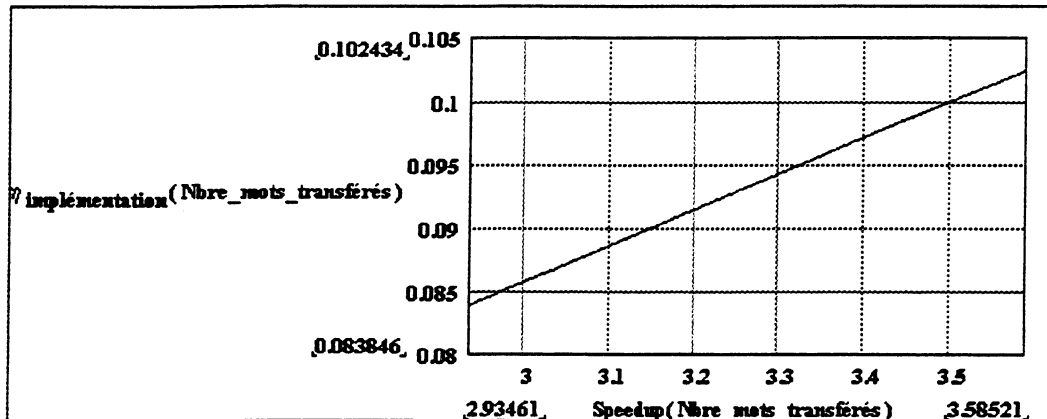
$$Speedup(Nbre_mots_moyens_transférés) = \frac{\Delta t_{ana_tot_1_processor}}{\Delta t_{global}(Nbre_mots_moyens_transférés)}$$

<i>Speedup en fonction du nombre de mots transférés</i>					
50 mots	100 mots	150 mots	200 mots	250 mots	300 mots
4.167	3.99	3.828	3.678	3.539	3.411

Ceci est le gain effectif pour une analyse parallèle dédiée. L'efficacité d'implémentation peut alors s'obtenir facilement en regardant le nombre de processeurs dédiés à l'analyse qui ont été employés pour avoir ce gain :

$$Nbre_processeurs_an_net = 35$$

$$\eta_{implémentation}(Nbre_mots_moyens_transférés) = \frac{Speedup(Nbre_mots_moyens_transférés)}{Nbre_processeurs_an_net}$$



Il semble que l'efficacité ne soit pas trop élevée, mais si la structure expérimentale le permet, il serait possible de l'améliorer en utilisant un étage de mémoire tampon à l'entrée du système, puis d'ajouter plusieurs étages d'analyse identiques à celui présenté dans ce travail. Une architecture hybride comportant une ferme de réseaux parallèles d'analyse peut alors répondre à toutes les contraintes temporelles pour la rapidité. Il est de même possible de considérer une architecture en *pipe-line* avec nos mêmes sous-réseaux, en optimisant la recherche sur les points de passage (qui est le plus lent de tous nos sous-réseaux).

Comme indiqué au chapitre 8, le nombre moyen était 55 fils dans les événements bruts et 23 dans les événements sélectionnés sur une coupure arbitraire à 510 fils (correspondant à 30 fils par plan). Si l'on considère le temps de calcul nécessaire pour 30 fils, le gain absolu est appréciable. En effet, après avoir ajusté les valeurs des sous-réseaux pour chaque algorithme, le temps de calcul est approximativement multiplié par un facteur 50 à 200, 100 en moyenne. Les communications ne sont plus importantes et le temps de calcul prédomine. Pour le temps moyen pour un seul processeur, on obtient :

$$\Delta t_{ana_tot_1_processor} = 3.234 \cdot 10^3$$

Pour le système parallèle, tous les facteurs peuvent être recalculés pour obtenir à nouveau les facteurs d'accélération et de gain :

$Timings = Timings \cdot 100$	$\max(Timings) = 620$
$\Delta t_{global} = \max(Timings) + \Delta t_{wire_counting} + \Delta t_{data_in} + \Delta t_{resynch_latence}$	$\Delta t_{global} = 622.421$
$Speedup = \frac{\Delta t_{ana_tot_1_processor}}{\Delta t_{global}}$	$Speedup = 5.196$
$\eta_{implémentation} = \frac{Speedup}{Nbre_processeurs_an_net}$	$\eta_{implémentation} = 0.148$

La puissance de calcul disponible dans ce réseau est approximativement de 35·10 MIPS, c'est à dire 350 MIPS! Rappelons que cette puissance est utilisable non seulement pour du *on-line*, mais aussi pour une analyse poussée *off-line*. D'ailleurs, l'efficacité de rejet et d'acceptation des algorithmes pour la physique est étudiée de cette manière.

Une efficacité absolue doit aussi tenir compte du temps d'utilisation de ces éléments de calcul ainsi que de leur prix. En effet, le prix d'un TRAM T800 avec 1MB de mémoire correspond environ à 1000.- US\$, prix qu'il faut majorer de 20% pour tenir compte des cartes qui supportent les TRAMS ainsi que des *crates*. Ce prix relativement modique, mettant le MIPS à 100.- US\$, relativise l'efficacité d'implémentation. Le facteur le plus important est alors le gain absolu de temps. Il va s'en dire que tous ces chiffres peuvent être extrapolés avec le processeur nouveau venu de INMOS, le T9000, ainsi que la venue du circuit de communication le C104, et avec la même organisation de réseau, le *Speedup* et l'efficacité deviennent :

$\Delta t_{global_T9} = 0.845$
$Speedup_{T9} = 4.4$
$\eta_{implémentation} = 0.2$

Le gain avec le T9000 dans notre système est principalement dû au calcul et marginalement au gain de vitesse des liens. Il est clair (voir Thèse de Doctorat de C. Comtat, IPNL, Université de Lausanne) que les algorithmes et autres critères doivent être réévalués, en particulier le passage dans l'espace de phase pour la recherche de traces et les conditions de rejet basées sur l'ensemble des données.

[1] B. Müller & J. Reinhardt, *Neural Networks : An Introduction*, Springer-Verlag, 1990.

[2] R.W.Dobinson and D.Jeffery, CERN, J.L.Pagès, University of Lausanne, *The application of Transputers in Data Acquisition systems*, CERN R&D proposal, 21 June 88

[3] L. W. Wiggers et J. C. Vermeulen, *The use of Transputers in the Zeus third level trigger system*, Comp. Phys. Comm. 57 (1989) 321

[4] T. Nash, *Event parallelism: distributed memory parallel computing for high energy physics experiments*, Comp. Phys. Comm. 57 (1989) 47.

[5] Thèse de Claude Comtat, IPNL, *Application de processus parallèles utilisant des Transputers à la reconstruction de données et d'images*, 1993

[6] C.Dukes, CLMR Memo 89, UA6

[7] Expérience JetSet, CERN, A.Bizeau et al., 1989

[8] The *Transputer* applications notebook, Systems and performance, *INMOS®*, *INMOS®* Data Books series, 1989

[9] *INMOS®* IQ Systems Databook, *INMOS®*, 1991

[10] C. Comtat et al., *Parallel algorithms on transputers for a second level track trigger in UA6 experiment*, to be submitted to Journal of parallel and distributed Computing.

9. Données acquises avec le *trigger*

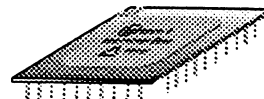
Acquired Data during experiment run with Transputer trigger :
first preliminary results for real events, study of topography.

Experimentdata mit Transputer Trigger :
Erste Resultate für echte experimentale Messungen, Studium der Topologie.

Dati acquistati dal l'esperimento con il "Trigger" da Transputer :
Prima prestazione per gli eventi reali, studio della topografia.

Datos adquiridos con el trigger Transputer :
Primeros resultados con acontecimientos reales, estudio de la topografía

Données acquises avec le Trigger Transputer :
Premiers résultats avec des événements réels, étude de la topographie



Le but de ce projet est de mettre en évidence les Λ produits dans l'expérience UA6. Le *trigger* Λ sera formé par une combinaison du signal de *trigger* de premier niveau. Il résulte de la coïncidence entre des scintillateurs *PADS* situés dans 2 plans (voir figure expérience UA6) et la réponse du réseau en temps réel sur l'analyse des informations des *MWPC*. La mise au point de ce *trigger* implique le fonctionnement de l'acquisition des informations *MWPC* puis l'implémentation du logiciel d'analyse pour le rejet ou l'acceptation de l'événement.

La prise de données de l'automne 1990 a révélé divers problèmes liés à l'environnement réel. La durée disponible pour le test de l'analyse en temps réel a été fortement limitée, dû aux problèmes d'interfaçage du système *Transputer* avec l'environnement installé. D'autre part, l'accélérateur a connu des problèmes de fonctionnement vers la fin de la période de prise de données.

Les données expérimentales présentées ici constituent une analyse préliminaire, elles ont été acquises durant la dernière semaine de fonctionnement du *Sp \bar{p} S* en mode collisionneur. La réalisation du programme UA6-*Transputer* 90 coïncide avec les deux dernières heures de faisceau, spécialement dédiées au groupe *Transputer*, pendant lesquelles quelques événements du *trigger* Λ ont été enregistrés.

9.1. L'analyse des événements de biais minimum

Pour déterminer la faisabilité d'un système d'analyse et vérifier le bien-fondé de la parallélisation envisagée, quelques dizaines de milliers d'événements ont été enregistrés avec un *prétrigger* de biais minimal basé sur les compteurs Λ originaux.

Plusieurs informations proviennent de ces tests :

- taux de déclenchement
- tailles des événements
- distributions des fils touchés
- proportions d'événements propres
- tests des critères de sélection simples

Le comportement des divers taux de *trigger* impose des contraintes sur les facteurs de réduction afin d'être compatible avec l'acquisition. Ils sont présentés avec Δt le temps nécessaire pour obtenir un taux de *trigger* v *trigger*, ce qui donne un facteur de réduction \mathfrak{R} :

Δt [μ s] nécessaires pour atteindre une décision	ν trigger (kHz)	\mathcal{R}
1	246 (<i>bunch crossing</i>)	1
100	5	~ 5000
1000	0.05	100

Table 1

Les conditions de *trigger*, très larges pour les mesures sans biais, ont conduit au taux de :

- ~20 kHz d'événements pour les deux bras confondus (haut et bas)

ce qui à priori nous met dans des conditions acceptables. La distribution moyenne de fils par plan pour de tels événements est de 8 (environ 5 à 8 *clusters*).

Le programme de recherches de traces TKL ^(a) permet de déterminer la structure des événements. Une bande test avec ce type de données permet d'estimer l'effet avec les coupures définies au chapitre 8 et les facteurs de réduction à espérer sont :

- pour 40'000 événements analysés, la distribution des événements en fonction du nombre de traces est la suivante, la différence *TOP-BOTTOM* provient des efficacités des chambres :

Nbre.traces	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bras haut	10302	11408	6858	2708	880	226	50	12	7	2
Bras bas	16247	9654	4346	1584	451	118	40	10	2	1

Table 2

L'exigence de traces de particules chargées provenant de la cible a été rendue moins stricte et la distance de la trace à la cible limitée à 6 cm. Cette valeur est cohérente, comme le montre un calcul de Monte Carlo pour les particules filles du Λ qui passent à moins de 0.5 cm de la cible pour le proton et à moins de 1.5 cm pour le π . Le nombre de fils manquants toléré par trace est de deux. Les résultats pour les sélections successives donnent :

a) E.C. Dukes, Division PPE, CERN

• haut	10743	bas	6552	avec au moins deux traces
• haut	12954	bas	727	combinaisons 2 traces signes opposés
• haut	3812	bas	2226	combinaison, $0 \text{ cm} < \text{vertex} < 263 \text{ cm}$ (x longitudinal)
• haut	679	bas	462	$75 \text{ cm} < \text{vertex} < 238 \text{ cm}$, avec traces à $\pm 0.75 \text{ cm}$ de la cible
• haut	64	bas	18	coupure sur le rapport des impulsions des particules filles

Le calcul des masses effectives ne permet pas d'isoler les candidats Λ , car la statistique est insuffisante. Ces chiffres nous montrent qu'il est possible, avec une analyse simple, d'imposer des conditions géométriques qui réduisent notablement le nombre de candidats. Il faut donc demander des conditions similaires pour un *trigger* sur des trajectoires de particules chargées dans le cas des Λ .

9.2. La détermination des Vertex

Pour la recherche des vertex de la particule mère Λ , plusieurs méthodes équivalentes sont possibles. Celle que nous avons considérée est la suivante :

- grâce aux chambres situées derrière l'aimant, l'intersection de deux lignes permet de déterminer dans le plan (x,z) la position du vertex
- la coordonnée y pour le vertex s'obtient en admettant que la particule mère provient de la cible
- les impulsions des particules filles se calculent en imposant une contrainte sur le vertex en lieu et place de la cible

La coordonnée y doit se trouver entre les interceptions en y des traces positives et négatives avec la position en x du vertex, si on admet que la quantité de mouvement la particule mère pointe vers la cible. La valeur y est alors déterminée en pondérant les deux interceptions en y par les impulsions respectives.

9.3. Les coupures

Le vertex en x doit se trouver entre la cible et la première chambre située devant l'aimant, c'est à dire entre 75 cm et 238 cm . Les deux traces doivent avoir des charges opposées. Une impulsion minimum est requise pour chaque trace : $p > 3 \text{ GeV}$. Le Λ doit pointer sur la cible à une distance inférieure à $\pm 0.75 \text{ cm}$. De plus, le rapport des impulsions p^+/p^- doit être supérieur à 3, pour sélectionner un événement de type Λ dont le proton emporte la plus grande partie de la quantité de mouvement.

Cinématiquement, le signal Λ est contaminé par les K_s^0 qui se désintègrent en $\pi^+\pi^-$. Les valeurs Monte Carlo sont données pour ces deux populations.

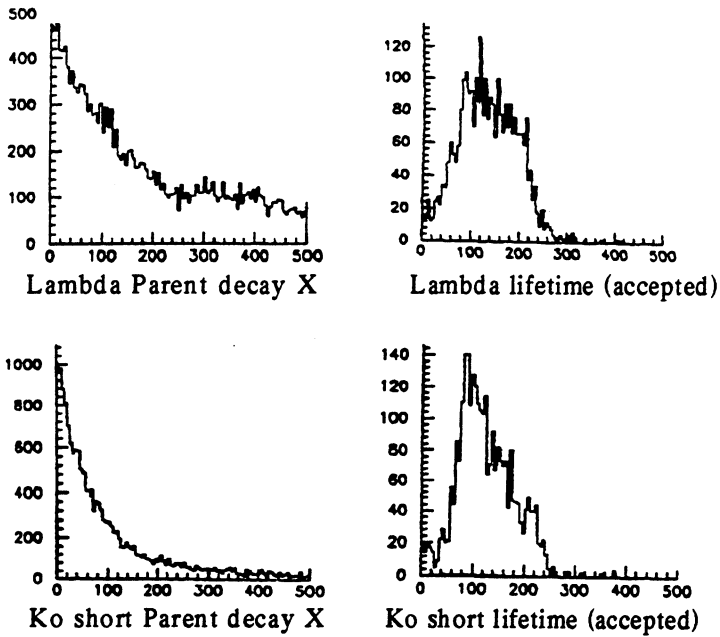


Fig. 1 : Valeurs Monte Carlo pour le vertex des Λ et des K_s^0 , valeur abscisse en cm. Les Λ acceptés sont compris entre 0 et 300 cm. La coupure sur le vertex en x sélectionne 90% des événements.

Ces coupures sont celles faites dans le programme de reconstruction TKL et VGS ^(a) (routine de Monte Carlo). Elles correspondent à celles réalisées dans le réseau. Une contrainte supplémentaire dans le réseau est donnée par la présence obligatoire dans la dernière chambre des fils touchés associés aux deux traces (le plus grand bras de levier) situés à l'intérieur de zones fiducielles prédéfinies, tenant compte de la corrélation entre la position du proton (antiproton) et celle du π^- (π^+). Une coupure semblable a été appliquée dans la première chambre en imposant une zone de passage.

Les erreurs de reconstruction sont importantes aussi bien pour l'utilisation de TKL que pour l'emploi de l'algorithme du réseau. Les différences sont surtout appréciables pour l'obtention du vertex en x, jusqu'à 1 mètre. L'erreur provient des faibles valeurs des pentes en z.

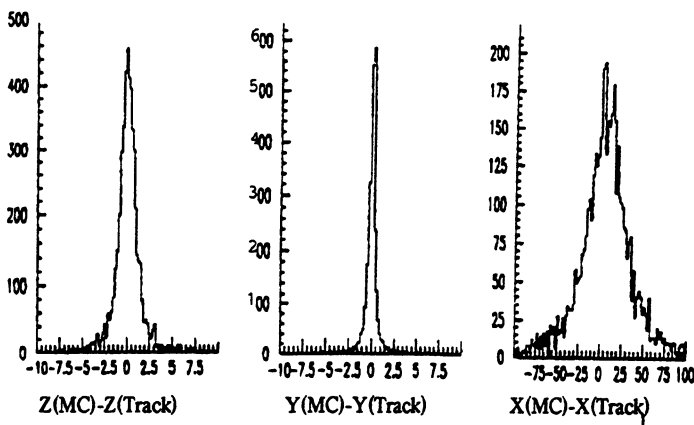


Fig. 2 : Erreurs sur la reconstruction du vertex d'un Λ pour x, y et z (en cm).

a) Paramétrisation de Bourquin-Gaillard

Pour discriminer les Λ des K_s^0 , une coupure sur le rapport des quantités de mouvement peut être effectuée, pour autant que la statistique considérée soit importante.

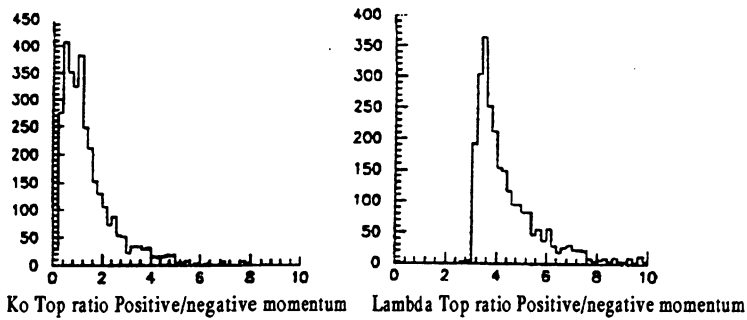


Fig. 3 : Rapport des impulsions positives et négatives pour les Λ et les K_s^0

Les quantités de mouvement des particules filles des Λ et des K_s^0 constituent d'autres facteurs d'appréciation pour la sélection d'événements.

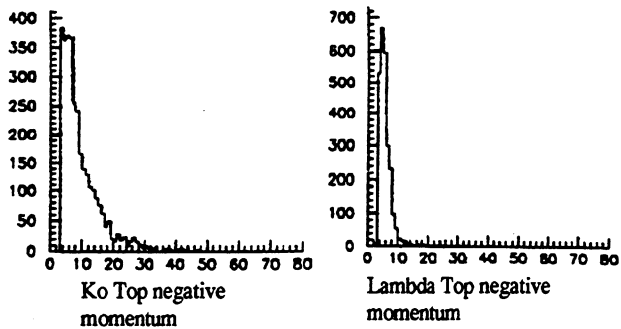


Fig. 4 : Quantités de mouvement négatives des particules filles des Λ et des K_s^0

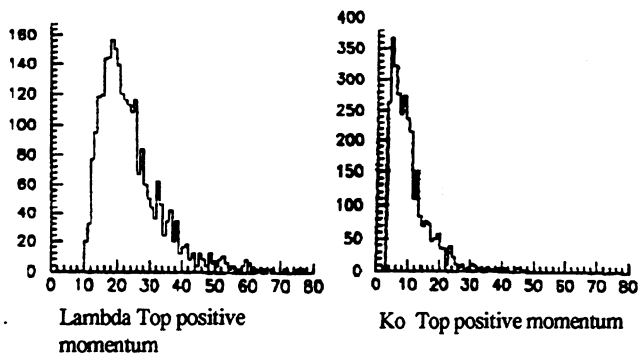


Fig. 5 : Quantités de mouvement des particules filles positives des Λ et des K_s^0

Les événements Λ Monte Carlo acceptés après l'analyse avec TKL ont un p_t compris entre 0.5 et 2.0 GeV/c. La largeur à mi-hauteur du pic de masse effective reconstruite par TKL est de ~ 8 MeV/c (à titre de comparaison la largeur à mi-hauteur pour le pic de masse du K_s^0 est de ~ 20 MeV).

9.4. La masse effective

Il est possible de reconstruire la masse effective du Λ à partir des données géométriques obtenues pour les protons et pions. Une approximation du champ magnétique à l'ordre zéro ($p, kick$) est utilisée :

$$\text{Eq. (1):} \quad M_{\Lambda^c}^2 = E_{CM_{\Lambda}}^2 = |(E_p + E_x, \vec{P}_p + \vec{P}_x)|^2 = (E_p + E_x)^2 - (\vec{P}_p + \vec{P}_x)^2 \quad \text{avec}$$

$$\text{Eq. (2):} \quad B \cdot dl = 0.675 + |\phi| \cdot 0.15 \quad \text{et} \quad P_{xy} = \frac{B \cdot dl}{|\phi - \psi|}$$

$$\phi = \angle_{Oxy} \quad \text{et} \quad \psi = \angle_{Oxz}$$

Ces relations permettent de calculer toutes les composantes de l'impulsion des particules ^(a) et la masse invariante de la particule mère. Néanmoins, cette méthode n'a pas été réalisée pendant la prise de données. Pour son utilisation, une confirmation des points de passage devant l'aimant est indispensable pour une détermination précise de l'impulsion. Il faut en effet connaître l'angle d'incidence dans l'aimant et donc la position du vertex.

9.5. Les conditions expérimentales : Multiplicités

La prise de données a révélé les premières distributions réelles de fils touchés et donné les taux de déclenchements du *trigger* de premier niveau.

Suite aux trop hautes multiplicités dans les chambres, les événements comptant un trop grand nombre de fils touchés ont été supprimés par une coupure dans le programme. La somme du nombre de fils touchés est réalisée dans le NSE, cette solution est la plus naturelle, car le NSE est le premier module à recevoir toutes les données pour mémorisation temporaire.

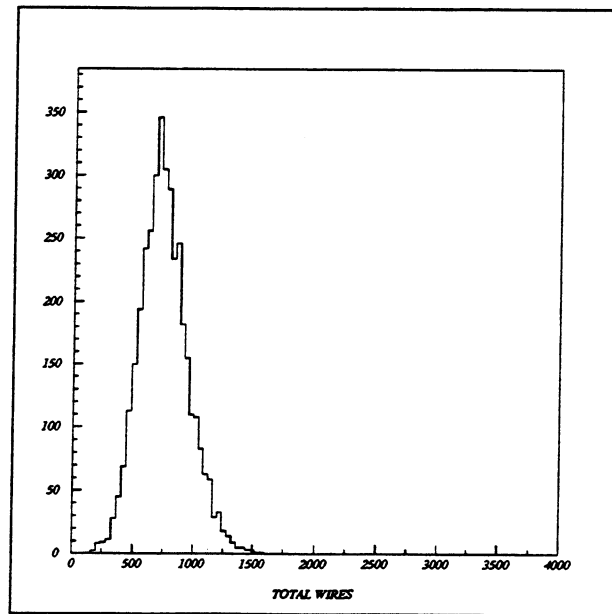


Fig. 6 : Distribution totale des fils touchés pour le *prétrigger* Λ

^{a)} C. Morel, Mesure de la Section Efficace de Production du J/ψ dans les Collisions proton-antiproton à $\sqrt{S} = 24.3$ GeV, Thèse Université de Lausanne, 1990, Chapitre BIII.

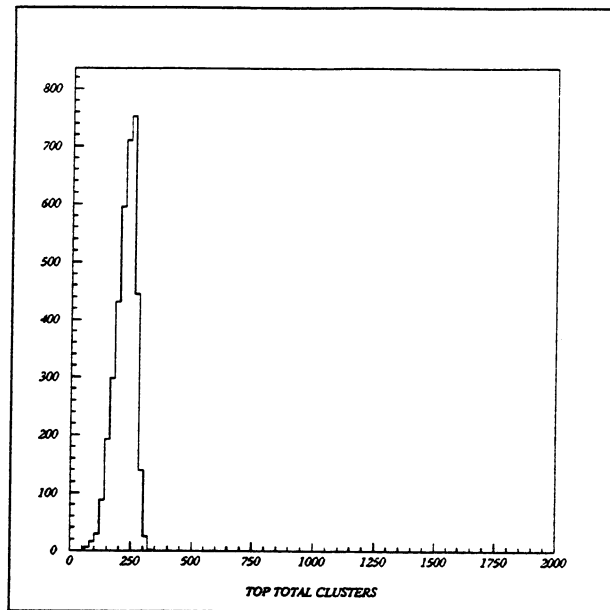


Fig. 7 : Distribution totale des *clusters* pour le *prétrigger* Λ

D'après l'histogramme "*Distribution des fils, coupure à 510 fils (10% événements conservés)*", la valeur de coupure est placée à 510 fils pour la somme des fils touchés dans les 17 plans du bras supérieur du spectromètre, ce qui équivaut à une moyenne de 30 fils touchés par plan, et représente environ 10% des événements. Une attente est introduite, avant de procéder à l'envoi des données vers le réseau d'analyse, qui permette de vérifier cette condition sur la multiplicité. Pendant cette attente, les données brutes des chambres sont encodées dans les PCA. Si le nombre de fils est inférieur à la limite des 510, le traitement de l'événement commence dans le réseau, sinon, un signal de *reset* est envoyé vers la Nord 540. D'autres constatations :

- avec ce *trigger* de premier niveau, aucun événement n'a moins de 200 fils touchés
- la valeur moyenne de la distribution de fils touchés est de 1000

Le traitement des événements de plus de 1000 fils n'est pas réalisable avec les algorithmes choisis ^(a). Lors des simulations d'analyse d'événements réalisées dans le réseau, le nombre maximum de fils générés par plan s'élève à 15.

L'explosion combinatoire nous force donc à travailler sur une partie des événements, une valeur de section efficace peut pas être obtenue, le pourcentage d'événements physiques rejetés lors du décompte de multiplicité ne pouvant être estimé.

a) D'ailleurs, aucun algorithme ne peut se comporter correctement dans ce type de situation.

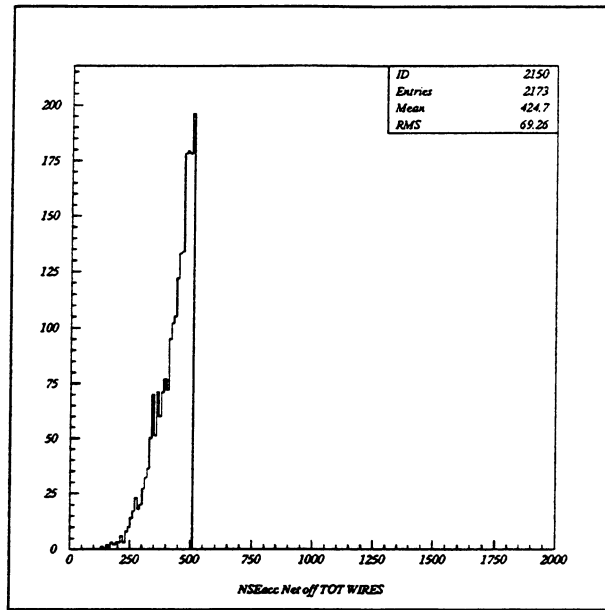


Fig. 8 : Distribution réelle des fils, coupure à 510 fils (10% des événements conservés)

L'histogramme "Distribution totale des fils touchés pour le *prétrigger* Λ " montre que la distribution des fils touchés avec le *trigger* de niveau 0 diffère de celui obtenu avec le *trigger* de biais minimum ^(a). Manifestement, ces 2 distributions ne correspondent pas au même échantillon ^(b).

Les taux de *trigger* de premier niveau basé sur les PADS sont :

- configuration A + B : 152.6 Hz
- configuration A : 70.7 Hz
- configuration B : 132.2 Hz

Ces taux sont acceptables, mais couplés aux multiplicités obtenues et aux possibilités de lignes la problème devient complexe, il faut traiter 59 fils/plan en 6.6 ms ^(c).

9.6. La structure des événements

Les *Transputers* ont une représentation virtuelle de la réalité, donnée à travers le fichier de configuration incluant les positions absolues de chambres, de leurs plans et des orientations des fils. Les tolérances imposées sur la définition des lignes montrent le degré de précision désiré sur la connaissance de la position des chambres: 1 ou 2 espacements de fils (2-4 mm).

a) Basé sur la combinaison des scintillateurs Λ de 1988. De même, cette distribution de fils diffère notablement des distributions de biais minimum basées sur le calorimètre.

b) Dans cet environnement, le problème pour l'emploi des chambres est le manque d'un point de pivot indépendant, appartenant à un calorimètre hadronique par exemple. Le *trigger* calorimètre ne correspond pas au type d'événement recherché, et on ne sait pas encore comment fixer un seuil sur un événement calorimètre hadronique!

c) Il est clair que le temps mort serait de 100%.

Le relevé géométrique de la position des chambres constitue une valeur initiale permettant d'approcher la position réelle de celles-ci. Il est nécessaire pour arriver à une meilleure précision de procéder à un alignement à partir de données d'événements à basse multiplicité prises sans champ magnétique. Les *runs* 9534 et 9535 ont été réalisés dans ces conditions, *trigger* eta, calorimètre et moniteur.

9.6.1. Alignement des Chambres

Le *trigger* à base de *Transputers* n'a été testé que sur le bras supérieur du spectromètre. Un fonctionnement problématique du point de vue de l'électronique et de l'efficacité des chambres a conduit à l'échange de celles du bras du haut : la PC2 *top* et PC3 *top* ^(a). L'alignement des chambres de derrière l'aimant est acceptable. La chambre de devant devrait être alignée pour une analyse finale. Ce point est important pour la détermination des impacts des particules.

9.6.2. Recherche des Λ dans les données expérimentales

L'alignement des chambres permet de rechercher intrinsèquement les candidats Λ à l'aide du programme de recherches de traces TKL. Pour cette analyse préliminaire, seules deux classes sont considérées : les événements de basse multiplicité, avec la coupure à 510 fils pour l'ensemble des plans ainsi que les événements ayant seulement passé la sélection du *trigger* de premier niveau des pavés de scintillateur.

Dans les événements de basse multiplicité, deux types de candidats sont à examiner :

- les événements acceptés par le réseau qui ont les caractéristiques minimales pour être Λ .
- les événements rejetés par le réseau et qui sont malgré tout intéressants à considérer, étant donné que l'alignement des détecteurs peut modifier la validité des résultats du réseau.

9.7. Comportement des réseaux d'acquisition et d'analyse

Plusieurs mesures faites lors de l'acquisition de données décrivent le comportement du réseau. Les temps d'analyse, en particulier le temps pour l'acceptation ou le rejet d'un événement, le temps pour l'acquisition, le nombre de données acquises, ont été mesurés. De plus, une information compactée est écrite à la fin de l'événement RMH pour décrire la distribution des traces trouvées.

D'autres paramètres de contrôle sont définis et précisés pour chaque événement dans le bloc de données RMH; il est aussi précisé si le réseau d'analyse, est actif ou éteint, si un *time-out* pendant l'analyse s'est produit, si le décompte du nombre de fils au niveau du NSE est en dessous ou en dessus du seuil. Un mot indique le rejet ou la validation de l'événement au niveau du réseau d'analyse. Le nombre de *prétrigger*

a) 15 novembre 1990

ayant activés le réseau depuis son enclenchement est également écrit, ceci permet d'avoir instantanément l'efficacité du *trigger* et de suivre son comportement au cours du temps en détectant une éventuelle dérive soudaine du taux de rejet des événements. La structure d'un événement accepté par le réseau est la suivante :

#5555	#FLT	# hit wires	t_{NSE}	NSE ans.	t_{Net}	Extra words	Net. Ans.	#4444
-------	------	-------------	-----------	----------	-----------	-------------	-----------	-------

Table 3

avec *#FLT* étant le nombre de *triggers* de premier niveau, *ans.* réponse (acceptation ou rejet) et *t* temps pris par le NSE ou par le *network* (réseau). *NSE ans.* a les valeurs octales #4444 pour l'acceptation ou #3333 pour le rejet sur le nombre de fils. *Net ans.* a la valeur 1 pour le rejet et la valeur 2 pour l'acceptation à la suite de l'analyse du réseau (avec le passage des diverses coupures), la valeur 0 correspond au réseau inactif et la valeur 3 à un *time-out* détecté par le processeur maître dans le NSE. En cas d'acceptation de l'événement, un nombre de mots variable, *extra words*, dépendant du type d'événement est rajouté pour décrire le premier couple de traces satisfaisant les critères de *trigger* Λ .

9.7.1. Comportement de l'acquisition

Des mesures intrinsèques de performances sont données précédemment. Dans le cas de l'acquisition d'événements réels, ces performances dépendent des distributions expérimentales des fils touchés. Le décompte du nombre de fils touchés pour introduire une coupure éliminant les événements à haute multiplicité au niveau du NSE a été inclus dans le temps d'acquisition.

9.7.2. Mesures préliminaires du réseau d'analyse

Des tests progressifs des conditions d'acceptation des événements ont été effectués. Les coupures décrites précédemment ont été appliquées. On distingue trois conditions de prise de données :

- données brutes du *prétrigger*
- données acceptées par le NSE (coupure sur le nombre de fils)
- données acceptées par le réseau
- écriture de résumé d'événement sur bande

La statistique récoltée étant relativement faible et pour permettre une analyse significative des performances du réseau, les données ont été regroupées. La table suivante résume les coupures et les informations obtenues :

Run	# evts.	Prtrg.	Cut NSE	Network	Φ cut	DST
9564	2000	Λ - A	No	Off	-	No
9573	66	Λ - A	< 510	Yes/No	z_5, X	No
9575	1459	Λ - A	< 510	Yes/No	z_5, X	No
9576	2016	Λ - A	< 510	Off	-	No
9578	30	Λ - A	< 510	Yes only	z_5, X, u_4, v_4	No
9579	438	Λ - A	< 510	Yes only	z_5, X, u_4, v_4	No
9581	1019	Λ - A	< 510	Yes only	z_5, X, u_4, v_4	No
9584	1011	Λ - A	< 510	Yes/No	z_5, X, u_4, v_4	No
9585	173	Λ - A	< 510	Yes only	Cond. 1	Yes

Table 4

Φ cut correspond aux coupures réalisées sur les données. (z_5, X) indique que deux point de passage X sont exigés dans la chambre 2 devant l'aimant, et que deux lignes z sont aussi demandées. (u_4, v_4) indique que deux lignes au moins derrière l'aimant en u et en v sont exigées. La condition 1 correspond à l'ensemble de coupures suivant : $X_{[u,v,y]}$, $line_{[z_5,u_4,v_4]}$ et passer par les zones *fiducielles*. Nous avons écrit à la fin de l'analyse d'un événement l'information du traitement de l'événement par le réseau (*DST, Disk Summary Tape*). Le nombre d'événement total par catégorie est donné sur la table ci-dessous :

	Réseau d'analyse éteint (coupure NSE)	Réseau d'analyse actif (coupure NSE)	Réponse du réseau seulement
Nombre d'événements	3459	2536	1158

Table 5

Données brutes du *prétrigger*

La distribution du nombre total de fils touchés dans des événements enregistrés avec le *prétrigger* Λ - A uniquement est présentée. Le nombre maximum de fils est de 2000, ce qui correspond à 117 fils touchés par plan ^(a).

a) A comparer avec le nombre de fils par plan, 256 ou 384. Cela représente un fil sur 3 touché!

Le nombre moyen de fils touchés est de 1000. Ceci est à comparer avec le nombre moyen de fils obtenus lors du test avec les événements de biais minimaux. Un simple calcul nous permet de définir le rôle du *prétrigger* Λ :

$$\text{Eq. (3): } \nu_{\text{prtg}\Lambda} \cdot \langle \text{hit wires} \rangle = \nu_{\text{min.bias}} \cdot \langle \text{hit wires} \rangle$$

$$150 \text{ Hz} \cdot 1000 \sim = \frac{20000}{2} \text{ Hz} \cdot 85$$

Le taux de *trigger* de biais minimum était de 20kHz pour les deux bras et le nombre de fils touchés en moyenne par plan de 5. Cette formule empirique montre la conservation de l'information et la sélection d'événements particulièrement chargés.

Données filtrées par le NSE

La coupure arbitraire à 510 fils sur le bras du haut du spectromètre (correspondant à 15 fils par plan lu) permet de sélectionner 10% des événements passant le *prétrigger* et le taux d'acquisition passe à 6 Hz (Λ -A). Le temps de comptage pris par le NSE est représenté en unités de 64 microsecondes, correspondant à la résolution ^(a) donnée par la fréquence de l'horloge de basse priorité du *Transputer*.

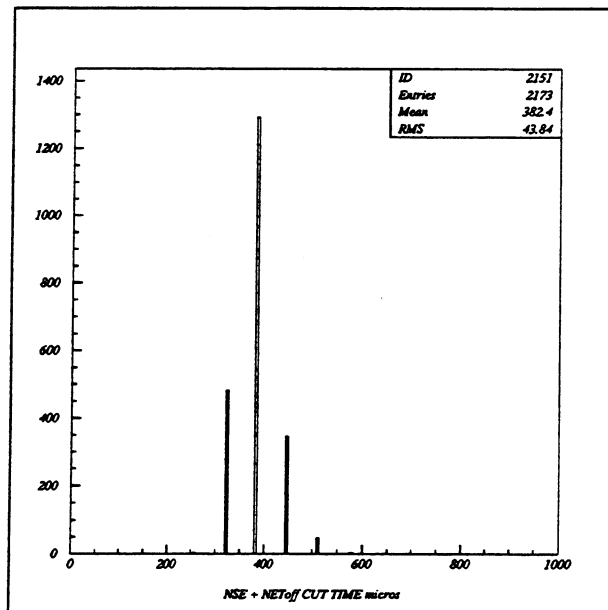


Fig. 9 : Temps nécessaire pour réaliser la coupure sur le nombre de fils

a) Le *Transputer* possède une horloge de haute priorité permettant des actions programmées toutes les μs . L'horloge utilisée pour le décompte est celle de basse priorité de $64\mu\text{s}$.

Données passant par le réseau

Le programme actif dans le réseau rejette les événements qui ne passent pas les conditions de coupure suivantes :

- deux croix uvv dans la première chambre
- une ligne z sur l'origine et une ligne z ne pointant pas sur l'origine

Quelques caractéristiques de fonctionnement du réseau sont mises en évidence par l'analyse différenciée des événements acceptés ou rejetés. Des corrélations entre le temps de décision pour le rejet, le temps de décision pour l'acceptation et les multiplicités sont exposées. L'efficacité du *trigger* dans les conditions réelles se déduisent de l'analyse préliminaire.

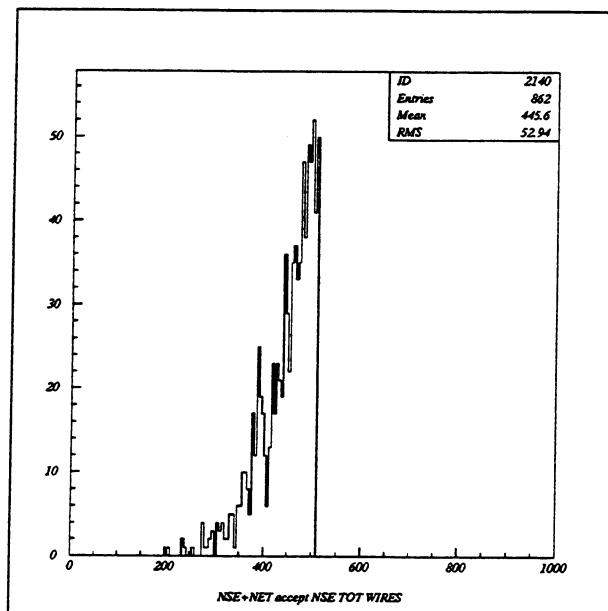


Fig. 10 : Distribution du nombre de fils pour les événements acceptés

Il apparaît que les distributions de fils pour les événements acceptés et rejetés sont différentes. La multiplicité est plus grande pour les événements acceptés, ce qui indique une tendance pour des associations fortuites.

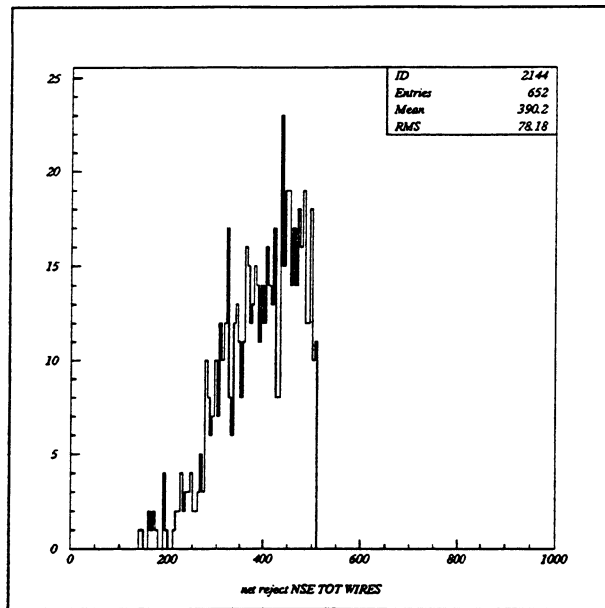


Fig. 11 : Distribution du nombre de fils pour les événements rejetés

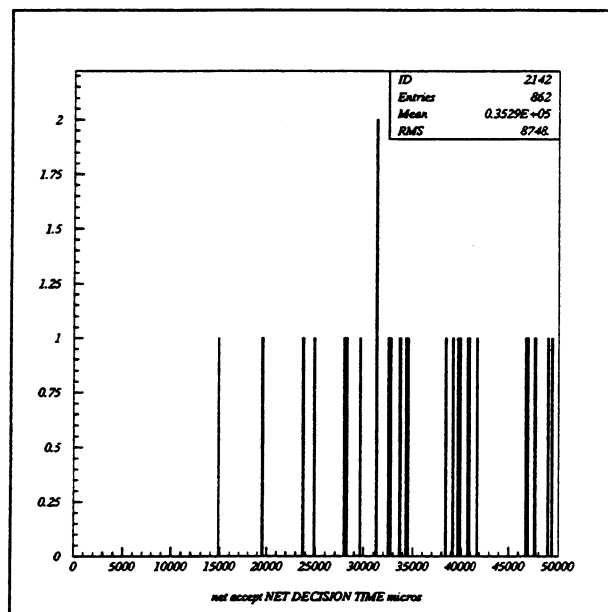


Fig. 12 : Distribution des temps pris par le réseau pour les événements acceptés

En comparant les deux figures correspondant aux temps d'analyse, une limite à 12 rns apparaît entre les deux catégories d'événements acceptés ou rejetés. Cette séparation indique que la classe d'événements rejetés sur le décompte des points de passage sur la première chambre et sur les lignes en z donne la première rejet en temps.

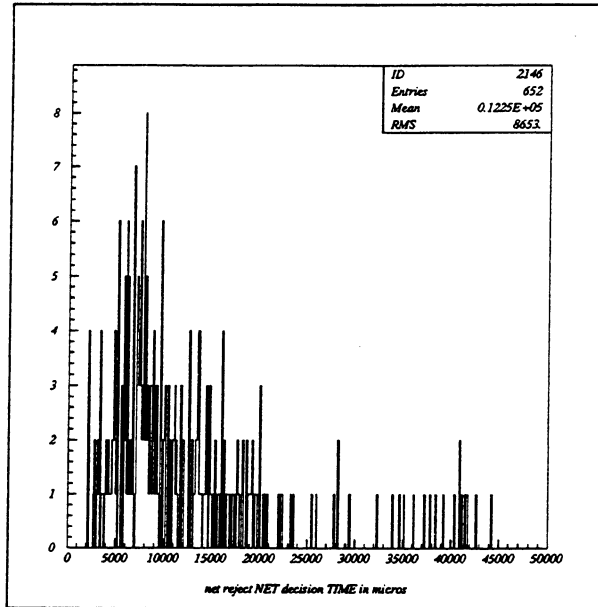


Fig. 13 : Distribution des temps pris par le réseau pour les événements rejetés

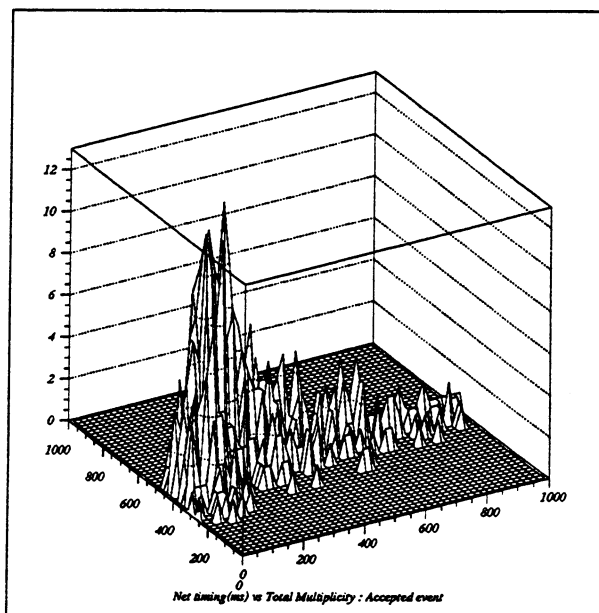


Fig. 14 : Evénements acceptés : Temps d'analyse vs Multiplicité

Le temps nécessaire pour rejeter des événements pour lesquels il manque un point de passage dans la première chambre ne dépend pas de la multiplicité (qui est elle proportionnelle aux 5 chambres). Il est de 12.3 ms alors que le temps nécessaire pour l'acceptation d'un événement est de 34 ms. Ces temps, enregistrés dans le NSE, comprennent les temps d'acquisition dans les PCA et de comptage du nombre de fils touchés. Les

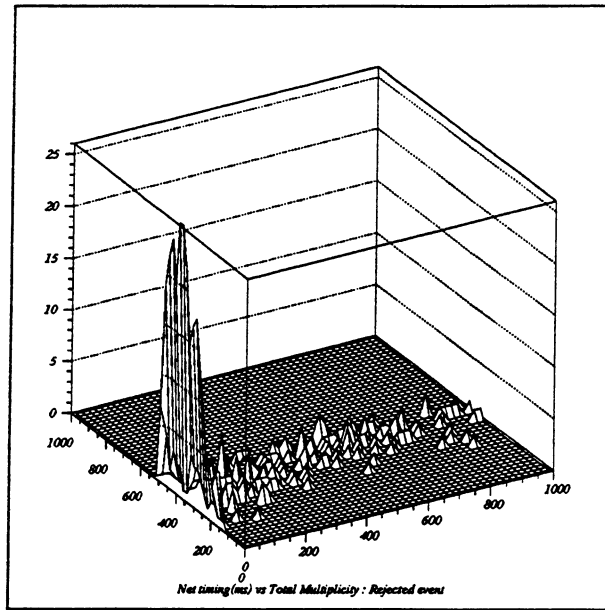


Fig. 15 : Evénements rejetés : Temps d'analyse vs Multiplicité

rejets se font ensuite quelle que soit la multiplicité. Plusieurs cas anormaux sont observés pour les quels le temps de rejet est particulièrement long malgré de très basses multiplicités. Cela provient de la présence d'amas de fils contigus qui provoquent une explosion combinatoire dans l'algorithme de reconstruction.

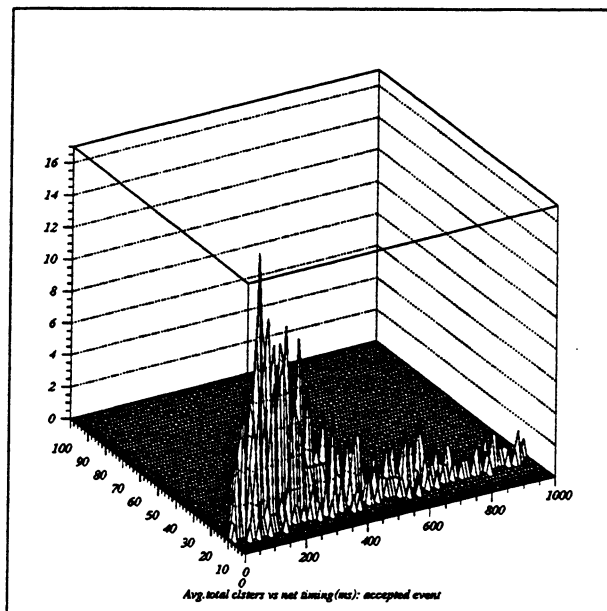


Fig. 16 : Evénements acceptés : Temps d'analyse vs. Nombre total de *clusters*

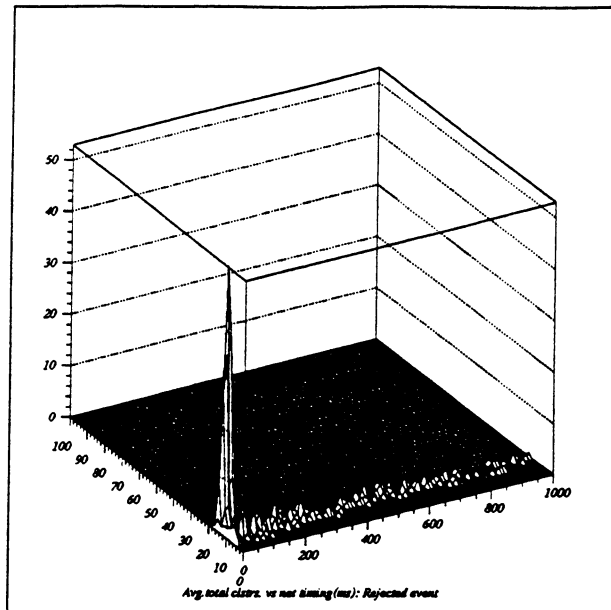


Fig. 17 : Événements rejetés : Temps d'analyse vs. Nombre total de *clusters*

Ce fait est mieux mis en évidence si l'on représente les *clusters*. Les cas anormaux disparaissent. Le taux de réjection du *trigger* dans les conditions expérimentales réelles est donnée par le rapport entre le nombre d'événements acceptés par le réseau sur le nombre d'événements acceptés après la coupure du NSE :

$$\frac{Evis_{Network_accepted}}{Evis_{NSE_cut}} = \frac{624}{1459} = 0.43$$

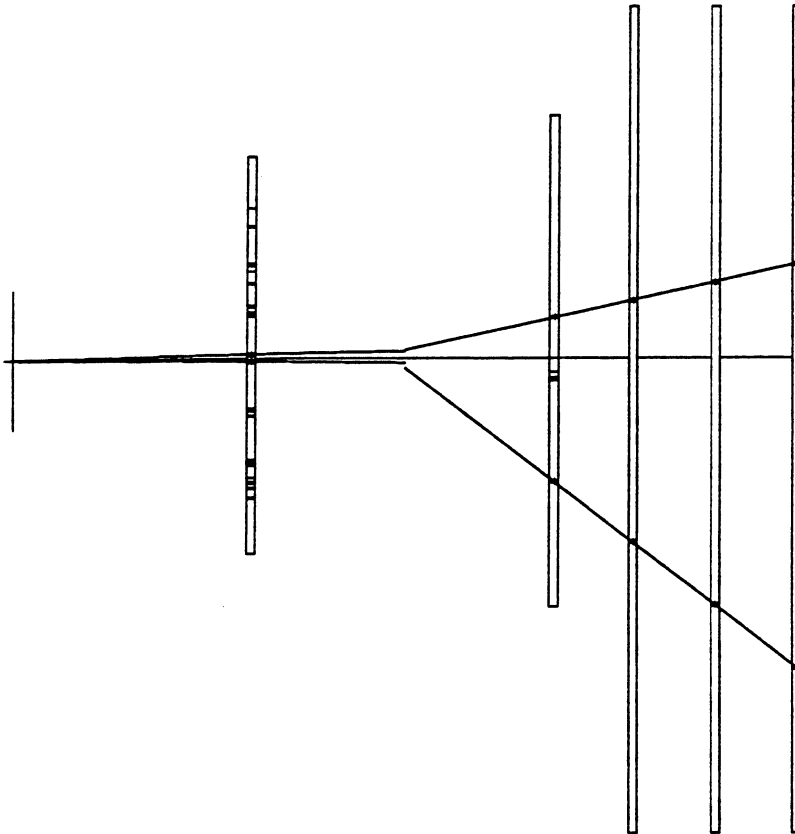
est le taux de rejet du *trigger* avec les deux conditions de coupure ci-dessus. L'importance relative des temps de communication et de calculs dans le réseau permet d'apprécier les gains possibles avec une nouvelle génération de processeurs (voir "Le T9000"). La structure actuelle des algorithmes, de l'architecture du réseau et la topologie des événements font que le système est dominé par le temps de calcul et que les communications ne contribuent que de manière négligeable au temps total de décision.

9.7.3. Physique des Λ

Une signature claire d'un événement Λ est donnée par deux traces de particules de signes opposés, ces deux traces se coupant en un vertex devant l'aimant. La trace de plus grande quantité de mouvement pointe sur la cible. L'événement considéré répond à ces critères et a passé les diverses coupures d'analyse. Cet événement a aussi été accepté par le réseau d'analyse (*event 46, run 9579*).

Fig. 18 : Vue de dessus (*Top view*) d'un candidat Λ

```
-UA6- run 9579, event 48, T-arm TOP-VIEW # 1, PUN3=octal 1000
```

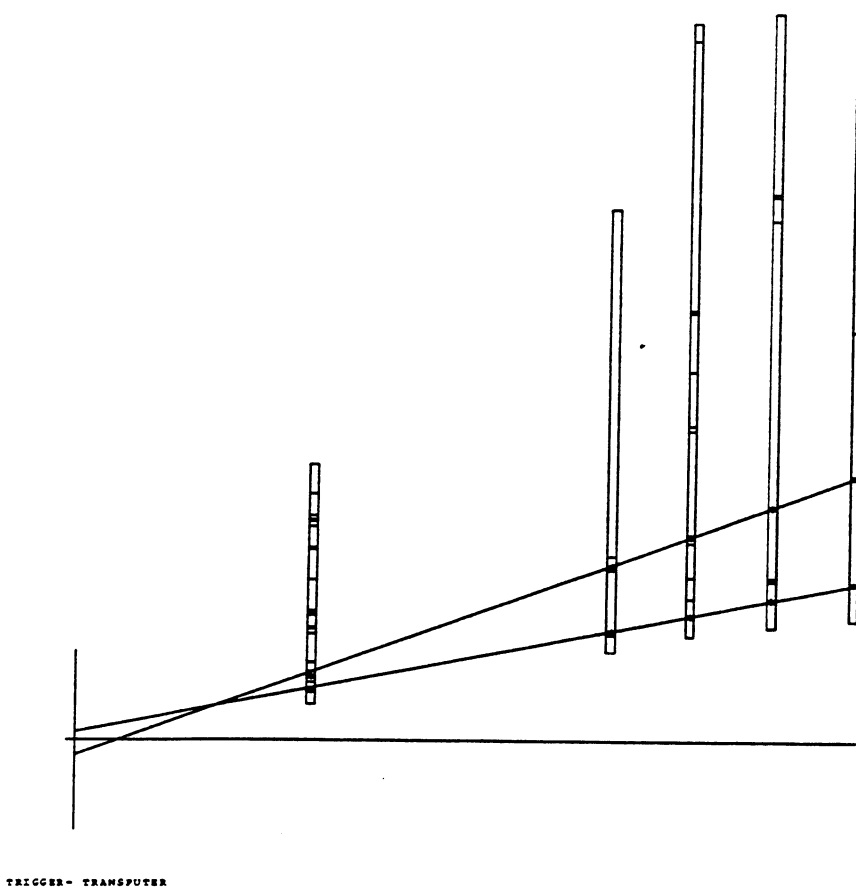


TRIGGER- TRANSPUTER

Cet événement est propre. Il confirme les données d'étude Monte Carlo qui prévoit que les événements Λ ont de très basses multiplicités physiques (3 à 4 particules produites dans l'acceptance *Top/Bottom*). Il faudrait comparer systématiquement, sur tout l'ensemble de candidats, les conditions d'acceptation par le réseau avec celles du programme d'analyse *off-line* TKL.

Fig. 19 : Vue de côté (*Side view*) du même candidat Λ

-UA6- run 9579, event 48, T-arm SIDE-VIEW # 2, PUN3=octal 1000



Les chambres sont alignées avec les valeurs du relevé dans la zone expérimentale. Celles derrière l'aimant sont parfaitement alignées. La première MWPC nécessite un ajustement. Les traces se coupent avant la première chambre et pointent en direction d'une région de 2 cm de diamètre autour de la cible (*TKL cut*).

Sélection

Le champ magnétique B est dirigé vers le haut. La configuration du *pretrigger* est en mode de sélection Λ . Le bruit de fond pour le signal Λ est donné en première approximation par le signal $\bar{\Lambda}$. Les paramètres de coupure utilisés dans le programme TKL de *tracking* sont les suivants :

1ère. MWPC utilisée	1
2ème. MWPC utilisée	5
Nombre permis de fils manquants par ligne	1
Nombre d'impacts manquant permis par trajectoire	2
Impacts dans la direction Y	Oui
Trajectoires alignées sur la cible	Oui
Largeur de la cible (virtuelle)	2.0 cm

La sélection réalisée avec le *trigger Transputer* (notée *trsp bit accept*) est donnée globalement. Aucune analyse sur les différentes sélections du réseau de *Transputers* n'a été effectuée. Les conditions de sélection sont celles indiquées lors de la description du chapitre 8.2.1 Les algorithmes.

La sélection de 10% d'événements par la coupure sur le nombre de fils faite dans le NSE améliore notablement l'échantillon d'événements à analyser du point de vue de la multiplicité. Les Λ sont des événements à basse multiplicité (3 à 4 particules). La sélection d'événements propres facilite l'analyse. Il faudrait vérifier si les Λ produits se retrouvent uniquement dans des événements de basse multiplicité. Pour nos calculs, cette coupure ne sera pas considérée (cette hypothèse assume le filtrage du bruit de fond ^(a)).

Une dernière sélection a été réalisée dans la *Routine Accept* lors de l'analyse qui considère uniquement les événements qui ont au moins deux traces et au maximum 6 traces trouvées par TKL.

Efficacité de sélection du *pretrigger* Λ

L'efficacité de sélection des événements Λ de UA6 générés suivant la distribution de Pondrom pour $0.5 < p_t < 2$ et pour x_F est de 80% pour le câblage de 194 *patterns* du *pretrigger*. En tenant compte d'une perte d'événements due aux zones mortes entre les pavés des scintillateurs (1.25 mm), le facteur d'efficacité combiné est d'environ 0.7.

^{a)} Cette hypothèse est à vérifier. Elle fait actuellement l'objet d'une autre étude de doctorat.

Taux

Le fonctionnement du *trigger* est décrit par le taux d'événement acceptés et par le temps mort de l'ensemble de l'expérience lors de son utilisation. Le taux de *prétrigger* des pavés scintillateurs pour la configuration A est d'approximativement 100 Hz.

Après la coupure arbitraire sur le nombre de fils à 510 dans le NSE, le taux d'écriture d'événements sélectionnés par l'analyse du réseau est de 0.744 Hz, avec un temps mort de 57%. Un *time-out* de 1 sec a été introduit au niveau du NSE pour l'attente de la réponse de l'analyse. Le facteur de réduction sur la coupure à 510 fils est écrite sur bande magnétique (décompte du nombre de *prétrigger*) et vaut 2.85 ($NSE\ cut/Network\ accept = 10/3.5$).

Qualité du *Trigger*

La qualité Q du *trigger* [s^{-1}] de deuxième niveau sur les traces vaut :

$$\text{Eq. (4):} \quad Q = \left(\frac{0.744\text{ Hz}}{100\text{ Hz}} \cdot 0.03\text{ sec} \right)^{-1} = 4480$$

Comparée à la qualité du *trigger* calorimètre de UA6 :

$$\text{Eq. (5):} \quad Q = \left(\frac{10\text{ Hz}}{20\text{ kHz}} \cdot 3\mu\text{sec} \right)^{-1} = 6.666 \cdot 10^8$$

qui répond uniquement au dépassement de seuil sur la déposition d'énergie dans un plan de scintillateur. La qualité de notre *track trigger* est relativement basse du point de vue des performances. La complexité de l'information à traiter n'a pas été tenue en compte. Le dernier test de qualité est de l'enrichissement du signal recherché.

Analyse préliminaire : Λ

Pour tester le fonctionnement du *trigger* de second niveau utilisant le réseau de *Transputers*, nous avons enregistré des événements sélectionnés avec le *prétrigger* qui associe des paires de pavés de scintillateurs des deux plans (PADS). Comme ces événements qui ont passé les critères de sélection imposés à un candidat Λ par le réseau de *Transputer* sont marqués par un bit (bit Λ), ceux qui ont été rejetés par un autre bit. Tous les événements sont analysés avec le programme d'analyse TKL. Le résultat de cette analyse est comparée avec celle faite par le réseau *Transputer*.

La démarche suivie pour l'analyse préliminaire des données acquises avec le *prétrigger* Λ formé par les deux plans de pavés de scintillateurs (PADS) et sélectionnées par le *trigger* du réseau de *Transputers* est présentée ci-après :

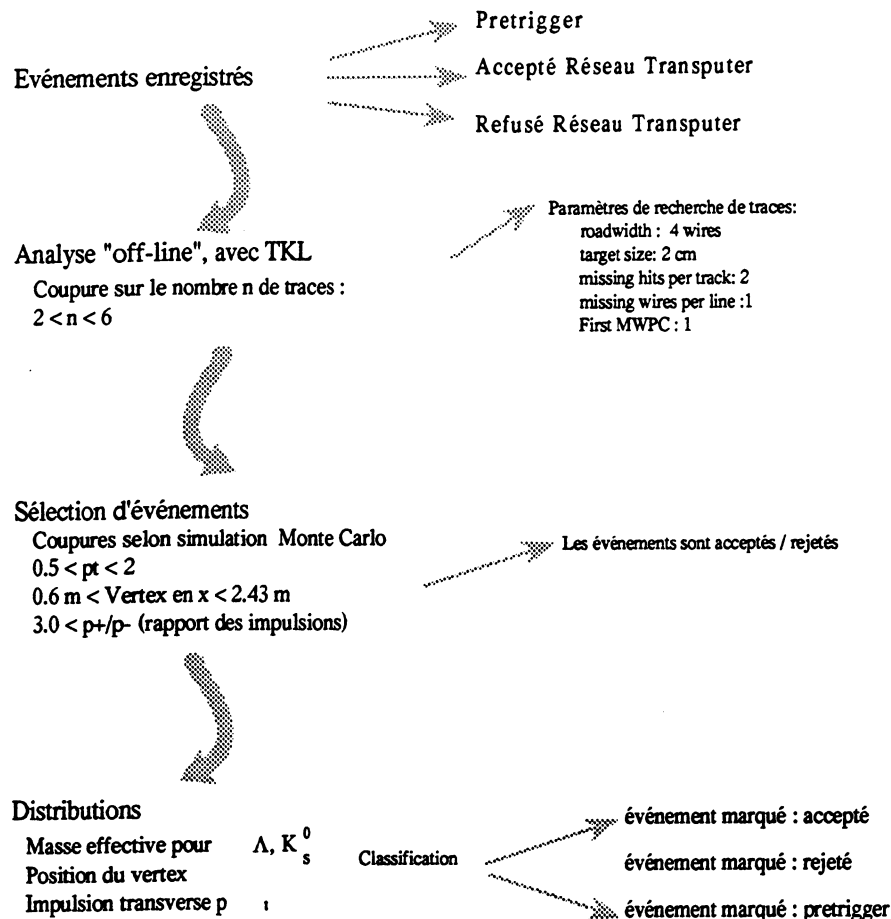


Table 6 Analyse des données *Transputers* : démarche de l'analyse

Le *pretrigger* a été câblé pour sélectionner les événements Λ . L'alignement des chambres proportionnelles multifilaires est basé sur les positions mesurées par les géomètres dans le tunnel de l'accélérateur sur le site de l'expérience UA6. Ces valeurs ont été utilisées pour l'analyse *off-line* et pour l'analyse en ligne (*on-line*) dans le réseau *Transputer*.

Un événement est classé Λ si la particule positive emporte une quantité de mouvement plus grande que celle de la particule négative et si les coupures en p_t , vertex et p^+/p^- sont vérifiées. Les événements dans lesquels la particule négative possède une quantité de mouvement plus grande que la particule positive sont associées à des anti- Λ et supposées représenter le bruit de fond.

L'analyse *off-line* par le programme TKL est indépendante de celle faite par le réseau *Transputer*, les valeurs de coupure ne sont pas absolument identiques, mais voisines. Après la reconstruction par le programme TKL, les événements sont classés en catégories suivant les décisions du réseau, et pour chacune des coupures. Les différentes coupures physiques imposées aux données sont précisées au début de ce chapitre, elles se basent sur le Monte Carlo VGS de E.C. Dukes.

Nous nous sommes limités à une analyse préliminaire, une analyse définitive nécessitera des simulations Monte Carlo pour l'estimation précise de l'efficacité de déclenchement et de reconstruction par le réseau. Il conviendra aussi d'imposer que les impacts dans les plans de scintillateurs (*pretrigger PADS*) coïncident avec les traces reconstruites.

Compte tenu des sections efficaces, le rapport K^0/Λ du nombre de K^0 et de Λ acceptés par le prétrigger vaut 0.2 pour les valeurs de x_F allant de 0.4 à 0.6. La sélection des événements Λ par le *pretrigger* n'exclut pas la possibilité d'obtenir K^0 . Du fait du recouvrement des régions cinématiques, des K^0 sont enregistrés pour des Λ . Dans les programmes cinématiques de reconstruction, nous envisageons les deux possibilités.

La coupure sur le nombre de traces ($2 \leq \text{nbre.de traces} \leq 6$) n'a pas été imposée pour les événements acceptés pendant le test de l'analyse du réseau *Transputer* (acquisition), bien qu'elle aurait pu être programmée. La coupure sur les zones fiducielles (voir Chapitre 8) n'a pas été employée correctement, et les derniers événements sélectionnés (*run 9585*) sont biaisés.

Analyse Λ

Sauf indication contraire, les données représentées sont les données réelles et les valeurs de quantité de mouvement sont en GeV. L'analyse préliminaire est articulée comme suit :

- coupure sur le nombre de traces

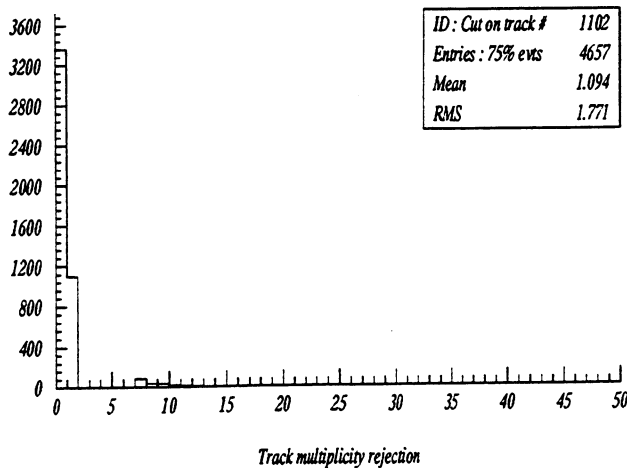


Fig. 20 : Coupure sur les traces : 25% des événements sont sélectionnés avec cette coupure. Les événements sélectionnés sont les complémentaires de l'histogramme 1102.

- calcul de la masse effective des paires $p\pi^-$ (Λ) et anti-proton π^+ (anti- Λ), un anti- Λ est signé par une quantité de mouvement de la particule positive est inférieure à celle de charge négative.

- coupure sur les valeurs de p_t du Λ
- distribution d'un spectre de masse effective Λ après soustraction du bruit de fonds constitué par le spectre des anti- Λ

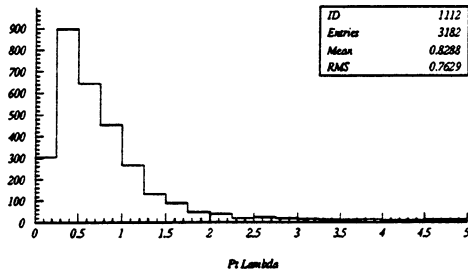


Fig. 21 : Distribution en p_t des Λ pour les données expérimentales (RB1005 et RB1006).

- valeurs de l'impulsion totale (approximativement égale à la valeur de la quantité de mouvement longitudinale) sur les valeurs réelles

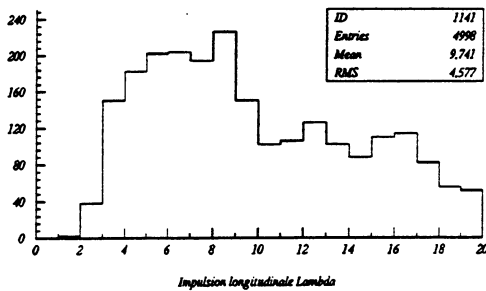


Fig. 22 : Distribution des impulsions longitudinales de la particule mère (Λ).

- coupure sur les valeurs longitudinales du vertex en x pour $0.60\text{m} < x < 2.43\text{m}$ (voir Monte Carlo)

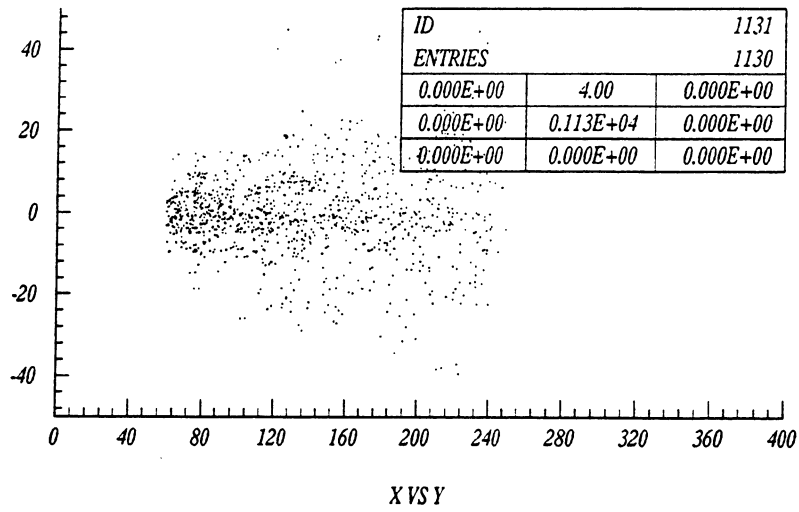
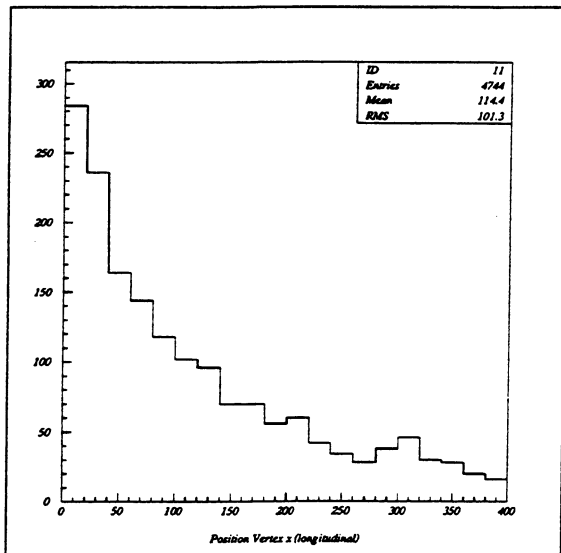


Fig. 23 : X vs. Y : vue de dessus des positions des vertex

Les positions de vertex sont dispersées dans la direction du faisceau. Les événements reconstruits par TKL sont compris dans un angle d'ouverture de 22° .

Fig. 24 : Distribution des vertex Λ selon x

La distribution des vertex Λ selon x pour les données réelles, sans coupure, peut être comparée avec celles données par le Monte Carlo du début du chapitre, ces histogrammes ont les mêmes caractéristiques et sont compatibles.

- confirmation de l'acceptation des événements par l'analyse du réseau *Transputer* après les coupures

Une comparaison sur les distributions de masse effective obtenue par la sélection *Transputer* et par l'analyse *off-line* TKL permet de confronter les résultats des deux analyses. L'analyse TKL présentée ici ne traite pas l'information de la première chambre pour les points de passage. L'analyse du réseau de *Transputer* exige la présence de 2 points de passage spatiaux dans la première chambre. Comme vu précédemment, ce dernier critère a contribué en premier lieu à la rejection des événements.

Les distributions des données Λ (*pretrigger PADS*) sont les événements qui ont été analysés "*off-line*" avec le programme de reconstruction TKL. La masse effective de la particule mère Λ a été calculée pour toutes les combinaisons de paires de traces de particules de signes opposés. Ce calcul est effectué en admettant que la trace de plus grande impulsion est un proton et celle de plus basse impulsion est un pion. L'ensemble des événements ayant passé les coupures sur le nombre maximum de traces, puis répondant aux critères de sélection par TKL sur les paires de traces, sont présentés sur les histogrammes des distributions brutes suivantes :

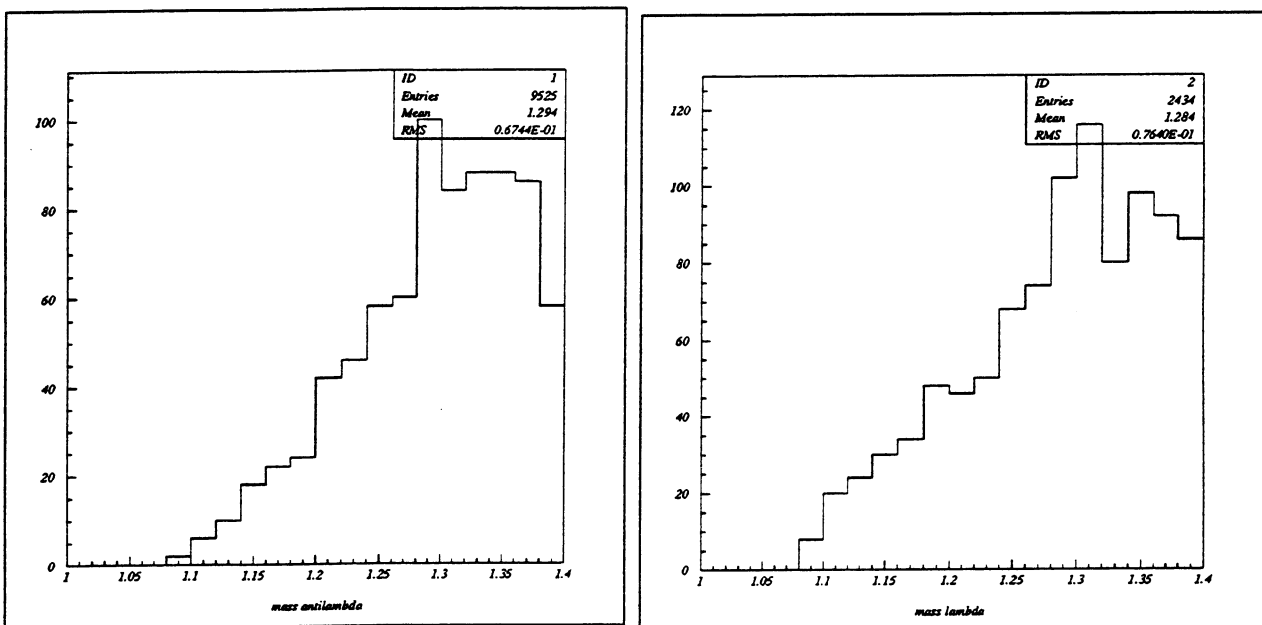


Fig. 25 : A gauche : masse effective anti- Λ . A droite : masse Λ , pas de coupures.

Il n'apparaît pas de pic au voisinage de la masse du Λ ($1115 \text{ MeV} \pm 8 \text{ MeV}$). Plusieurs coupures successives ont ensuite été appliquées aux événements sélectionnés. Les valeurs de coupure sont déduites des simulations Monte Carlo :

- pour la position du vertex en x : $0.6 \text{ m} < V_x < 2.43 \text{ m}$

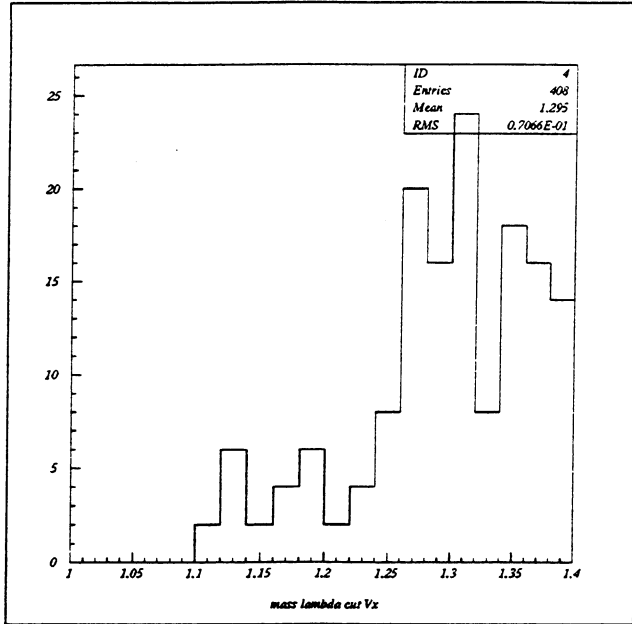


Fig. 26 : Masse Λ . Coupure sur la position du vertex en x (pas de soustraction de bruit de fond). 16.7% des événements " Λ " sont sélectionnés (facteur de réduction 6).

La statistique totale, excepté le *run* 9577 (événements *pretrigger* seulement, moins de 3% de ces événements passent la coupure sur le nombre de traces) est présentée sur l'histogramme ci-dessous :

- coupure sur la position du vertex et pour le p_t : $0.5 \leq p_t \leq 2.0$

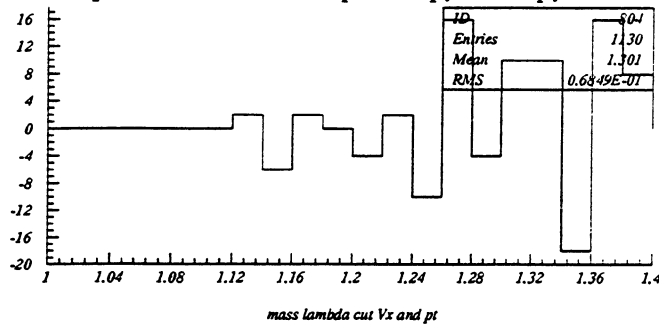


Fig. 27 : Masse Λ , coupure sur le vertex et sur le p_t ; dans les deux cas, soustraction du bruit de fond de l'anti-particule.

Cette distribution nous donne, dans la fenêtre de masse, zéro candidat Λ .

Sélection du réseau *Transputers*

Une deuxième approche est de considérer l'ensemble des événements enregistrés et de ne sélectionner que ceux qui ont été ACCEPTES SOIT REJETES par le réseau de *Transputers* (voir les coupures d'analyse en-ligne). La décision du réseau de *Transputer* est prise sur l'ensemble des événements ayant passé la coupure du nombre maximum de traces. Nous obtenons deux ensembles d'histogrammes pour les événements rejetés et acceptés (Λ) :

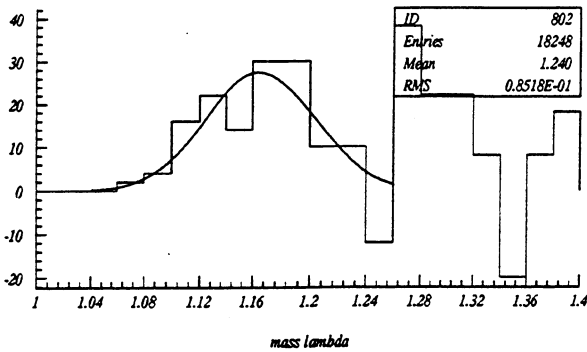


Fig. 28 : Masse effective Λ , statistique totale, pas de coupure.

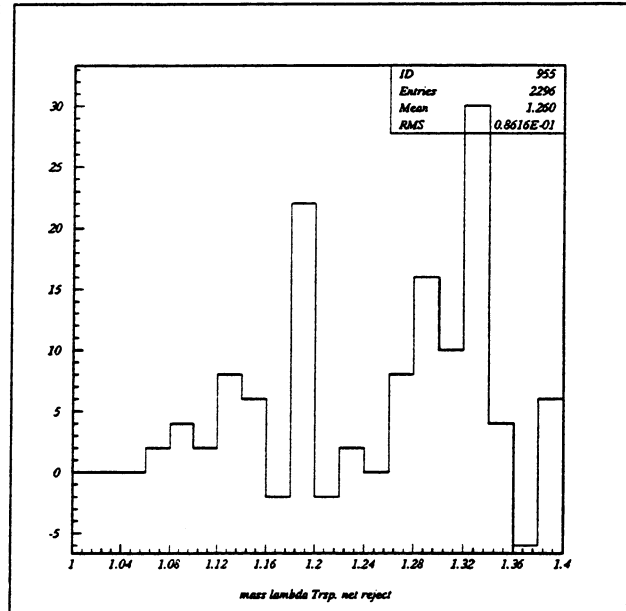
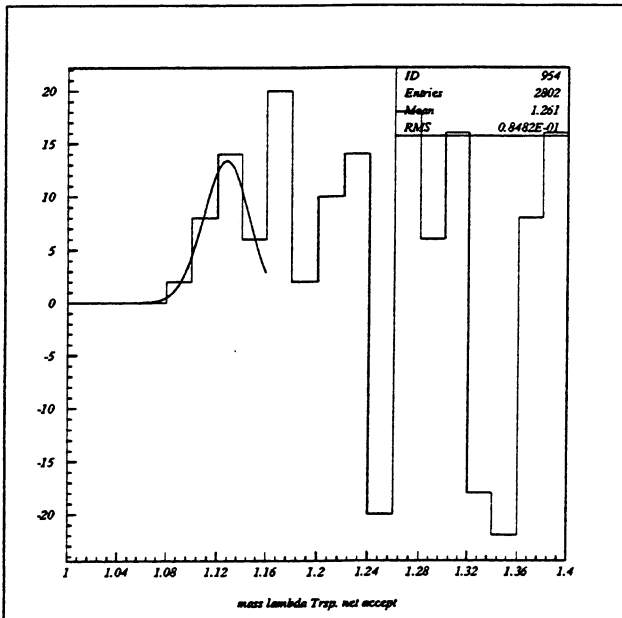


Fig. 29 : Masse effective Λ . A gauche, acceptation du réseau *Transputer*. A droite : rejet par le réseau *Transputer*. La moyenne donnée par le *fit* de l'histogramme 954 est de 1.1273, la largeur à mi-hauteur de 20 MeV approximativement (bruit de fond soustrait dans les deux cas).

La distribution des événements rejetés diffère sensiblement de celle des événements acceptés par le réseau. Une accumulation d'événements à basse masse pourrait indiquer la présence de candidats Λ . Les événements sélectionnés par le réseau l'ont été sur des considérations strictement géométriques. L'exigence de la présence de deux points de passage dans la première chambre devant l'aimant s'ajoute aux conditions imposées aux lignes formant les trajectoires des particules chargées. L'application de critères de sélection basés sur des paramètres calculés, tels les coupures sur les valeurs de p , et de vertex en x conduisent effectivement à une distribution d'événements plate dans le domaine de masse des Λ .

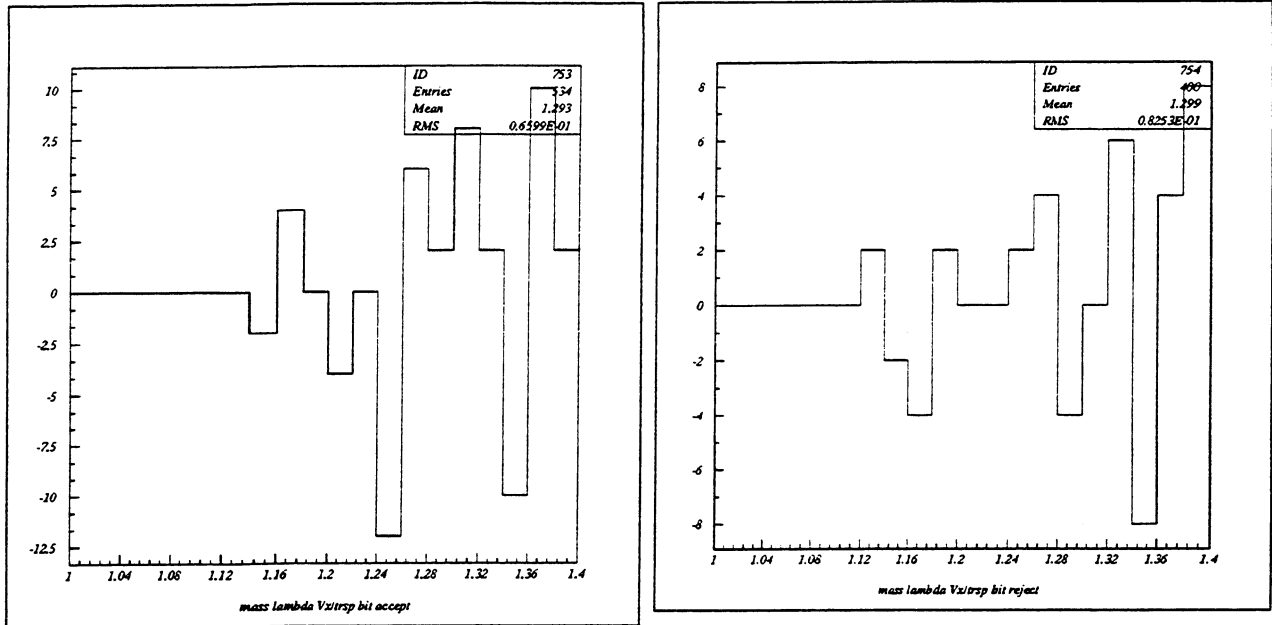


Fig. 30 : Masse effective Λ . A gauche, acceptation du réseau *Transputer*. A droite : rejet par le réseau *Transputer*. Coupures sur le vertex et le bit d'acceptation du réseau (soustraction de bruit de fond).

Résumé

La statistique obtenue ne permet pas de tirer de conclusions définitives quant à la qualité de sélection des événements. Il est toujours possible de reproduire le fonctionnement de l'analyse TKL sur le réseau et de vérifier les conditions de sélection.

Les sélections faites par le réseau *Transputer* apparaissent cohérentes avec la sélection faite par une analyse TKL normale ^(a). Nous obtenons un signal Λ , mais une fois toutes les coupures appliquées la statistique résultante est trop faible. Estimons le nombre d'événements produits pendant la période de prise de données et observables dans notre expérience.

Luminosité et section efficace

Pour estimer le nombre d'événements Λ attendus dans nos données acquises avec le *trigger Transputer*, il nous faut considérer la formule qui lie la section efficace σ au nombre N d'événements mesurés :

$$\text{Eq. (1):} \quad \sigma = \frac{N}{(L \cdot \epsilon \cdot A)}$$

où

- L est l'intégrale sur le temps d'acquisition de la luminosité instantanée $\int dL$

^{a)} Des événements Λ générés par Monte Carlo (JetSet et Phytia) ont été reconstruits par le réseau *Transputers*, C. Comtat, Avril 1993.

- ϵ est l'efficacité globale

- A est la valeur d'acceptance

L'acceptance géométrique A vaut 0.89%, déterminée sur la base de l'étude de 4'000 événements Monte Carlo. Une borne supérieure au nombre d'événements attendus peut être donnée. L'efficacité globale vaut au maximum 70%, facteur d'efficacité pour le *pretrigger* Λ des PADS. La section efficace pour la désintégration du Λ en $p\pi^-$, pour une énergie au centre de masse de 24.3 GeV, s'exprime comme :

$$\text{Eq. (2):} \quad \frac{E_{\Lambda}^{CM}}{p_{\max}^{CM}} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{d^2\sigma}{dx dp_t^2} = 0.05 \frac{\text{mb}}{(\text{GeV}/c^2)} \text{ moyenné sur l'azimuth}$$

$$A = 200 \text{ GeV}, \quad E_{\Lambda}^{CM} = 7.82 \quad p_{\max}^{CM} = 9.62$$

et en intégrant pour une valeur moyenne de p_t de 1.1 ^(a) avec $\Delta x = 0.2$ et $\Delta p_t = 1.4$ ^(b), nous obtenons pour σ :

$$\text{Eq. (3):} \quad \sigma = (0.05)\pi \cdot \frac{9.62}{7.82} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot (0.2) \cdot (1.1) \cdot (2) \cdot (1.4) = 0.0189 \text{ mb}$$

Une estimation préliminaire ^(c) de la luminosité L obtenue pour la prise de données concernée fournit, en considérant le décompte du nombre de déclenchements des détecteurs $\Lambda_{4\text{-fold}}$ qui est proportionnel à la luminosité totale :

- $L = \Lambda_{4\text{-fold}} \cdot 6.15 \cdot 10^{26}$ ^(d)

- $L = 2.03 \cdot 10^{31}$

En considérant le facteur de branchement (*Branching Ratio*) de 2/3 pour la voie de désintégration du Λ en $p\pi^-$, le nombre d'événements Λ attendus vaut approximativement :

$$\text{Eq. (4):} \quad N = \sigma \cdot A \cdot \epsilon \cdot L = 0.0189 \cdot 10^{-27} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0.0089 \cdot 0.7 \cdot 2.03 \cdot 10^{31} \sim 2.5 \text{ événements}$$

Une autre estimation par O. Overseth et H. Keller ^(e) du nombre d'événements attendus pour nos ~3 heures de prise de données conduit à :

- $2.7 \cdot 10^{-4}$ evt/sec d'où

- $N = 2.7 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4 \cdot 1.08$

- $N = \sim 2.8$ événements

La sélection des événements Λ , avec une coupure sur le vertex et sur le p_t après soustraction du bruit de fond donné par les anti- Λ réduit le nombre de candidats situés vers la masse du Λ à un maximum de deux unités.

a) Voir Monte Carlo VGS 1989.

b) Valeur de l'intervalle de p_t sélectionné suivant les coupures sur le Monte Carlo (0.5-2.0).

c) Il faudrait pour une analyse précise considérer les valeurs de Moniteurs-90 degrés pour les protons de recul, qui nous permettent de déterminer la luminosité par le théorème optique.

d) Communication de P. Oberson, 1993, IPN-Lausanne

e) Study of inclusive Λ^0 Hyperons in the SPS Polarized jet, O.E. Overseth and H. Keller, University of Michigan, Appendix 2, UA6 proposal, 1981.

Conclusions

L'analyse *off-line* des traces chargées avec TKL est équivalente, dans nos conditions expérimentales, au *trigger software* de 2^{ème} niveau réalisé avec les *Transputers* (coupure sur le bit d'acceptation *Transputer Network*) ^(a). Les conditions d'alignement des détecteurs sont celles du relevé géométrique (*survey*) dans les deux cas. L'inexactitude ainsi introduite est la même pour les 2 analyses (*off-line* et *on-line*).

Le rapport signal/bruit de fond est sensiblement amélioré avec l'utilisation du réseau de *Transputers* pour la décision de *trigger* (histogrammes pour *Transputer* bit et cut Vertex). Le réseau de *Transputers* est capable d'éliminer la quasi totalité du bruit de fond (~90%). Malheureusement la statistique dont nous disposons est insuffisante pour mettre en évidence un signal. Le nombre d'événements Λ , sélectionnés avec les coupures sur la position du vertex et sur la valeur de la quantité de mouvement transverse, est compatible avec celui évalué avec la section efficace Λ dans notre situation expérimentale. Une statistique plus importante permettrait de sélectionner les événements Λ . Un important travail de simulation et d'analyse reste à faire, particulièrement sur l'efficacité du *trigger Transputer* et du *pretrigger*. La présence de K_s^0 n'est pas établie, la distribution est différente selon le type de *trigger* (*pretrigger* Λ ou calorimètre).

De manière générale, le réseau de *Transputers* permet de conduire en ligne (*on-line*) une analyse qui peut être poussée jusqu'au niveau atteint par l'analyse *off-line*, selon les besoins et le temps disponible pour les calculs. C'est en soi déjà un succès.

a) Une vérification de l'approche choisie est exposée à l'appendice B, chapitre 16.

10. Evaluation du système

System Evaluation :

Parallel implementation : Problems and advantages of system.

Bewertung des Systems :

Parallelismus : Probleme und Vorteile unseres Systemes.

Evaluazione dil sistema :

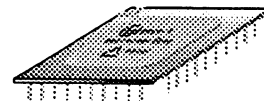
Parallelismo : problemi e vantaggi de nostro sistema.

Evaluación del sistema :

Paralelismo : problemas y ventajas del sistema descrito.

Evaluation du système :

Parallélisme : Problèmes et avantages du système décrit.



Dans notre application, une solution parallèle pour l'acquisition et le traitement des données constitue le meilleur choix. La nature intrinsèquement parallèle du problème permet d'utiliser simultanément plusieurs algorithmes simples parallélisés efficacement. Ainsi, il n'y a pas d'équivalent séquentiel à la solution implémentée. Une grande diversité de problèmes d'analyse, analogues à la recherche de traces en temps réel, se retrouve dans les systèmes graphiques et le contrôle de processus. Les besoins en puissance de calcul et en algorithmes originaux sont les mêmes.

10.1. Problèmes

La conception du système a révélé des problèmes généraux qui sont en eux-mêmes des domaines de recherche fondamentale en contrôle de processus, en asservissement de système et en systèmes sûrs, tolérant des comportements aléatoires et fautifs.

Deux champs principaux sont à considérer pour les types de problèmes rencontrés :

- le matériel
- le logiciel

De même, les tâches à accomplir avec des *Transputers* dans l'expérience UA6, peuvent être séparées entre l'acquisition simple et pour la prise de décision par le réseau d'analyse (*trigger*).

10.1.1. Hardware

Le système de *Transputers* s'apparente à un ordinateur parallèle dédié à l'analyse en temps réel des événements de l'expérience UA6. Les signaux de la logique rapide de déclenchement et d'identification sont décodés par le réseau de *Transputers* et servent à synchroniser les étapes d'acquisition et d'analyse. Cet interface a nécessité une compréhension complète de la logique, de l'électronique de l'expérience et de l'ordinateur central préexistant (NORD 540). Dans le cadre d'une expérience en physique des hautes énergies, d'autres points sensibles sont à mettre en évidence :

- la connectique
- les *resets*

D'importants efforts ont été orientés vers la résolution des défauts de fonctionnement provenant de la connectique et de la structure de *resets* (initialisation).

Les connexions se font entre le *CE* et les *PCA*, entre les *PCA* et les *B014*. Le plus grand problème a résidé dans le partage du signal *reset* provenant des *PCA*, celui-ci étant distribué entre les deux modules *CE* d'un *crate* partagé, l'un ayant 8 modules *RMH*, l'autre 12. Lors de l'acquisition, le *CE* à 8 modules est lu en moyenne avant celui à 12 modules. Le premier *reset*, issu par le signal *EO* de fin de lecture des mots *RMH* dans un *CE*, interrompt le processus de lecture de l'autre *CE*, provoquant ainsi une inefficacité virtuelle d'acquisition. Ce problème a été résolu en séparant le signal *reset* sur le panneau arrière du *crate RMH*.

Du point de vue de l'utilisateur physicien, le contrôle du fonctionnement de l'expérience implique la possibilité d'arrêter tous les transferts de données et toutes les actions en cours dans un laps de temps minimum déterminé. Cette structure de *reset* épouse la réalisation du système d'acquisition et de *trigger*. Le système d'acquisition (*CE+PCAs+NSE*) est soumis aux ordres de la logique rapide de l'expérience ainsi qu'aux programmes de l'ordinateur central, le NORD 540. Néanmoins, le *reset* donné à un module électronique ne peut pas être transmis directement à un *Transputer*, le signal *RT (reset)* du *Transputer* efface les programmes contenus dans sa mémoire. Un protocole pour décoder ce signal s'implémente au préalable, par exemple le décodage d'une adresse en mémoire dans laquelle le signal de *reset* externe est écrit comme un mot spécial (il y a une *seule* ligne d'interruption qui est implémentée par le contact "*event*").

Le système de *trigger* (réseau+*PCA*+*NSE*) agit comme le maître du système global et fournit l'ensemble des signaux de contrôle tels que les *resets* et les activations d'échange de données. Un *reset* global est fait en fin de période de travail, afin de mettre le système dans un état bien défini pour le redémarrage. L'exécution de plusieurs processus en parallèle requière une analyse détaillée des divers états du système.

10.1.2. Software

Dans un système à multiprocesseurs fortement couplés [1], la mise au point des algorithmes chargés de prendre des décisions à partir d'un flot de données expérimentales est en soi complexe. Dans le développement, la recherche de ces algorithmes a été menée indépendamment des considérations des possibilités de mise à zéro (état initial) et de resynchronisation de processus. Une autre difficulté, qui a été sous-estimée, réside dans la tolérance aux erreurs de fonctionnements provenant de modules *hardware* extérieurs.

Le déroulement linéaire d'un algorithme séquentiel ne peut être interrompu que par un branchement conditionnel ou par un saut direct (*GoTo*) basés sur une valeur ou sur une attente. Ceci, comme décrit dans le chapitre *Occam® et Transputer*, est compliqué avec les programmes parallèles. L'architecture de communication, imposée par le traitement des données, est statique. Elle limite la connectivité. Un sous-réseau fournissant une décision négative au sujet de la validité du traitement global en cours doit propager, par les voies de communications existantes ^(a), cette décision d'arrêt (*Abort*) vers les autres processus actifs sur le même événement. Les voies de communications, déjà dédiées par ailleurs aux autres échanges de messages, sont utilisées à cet effet. Le fait d'avoir à disposition seulement deux niveaux de priorité dans le *Transputer*, permettant une interruption d'arrêt de haute priorité, réduit l'efficacité de transmission du signal d'arrêt.

Un signal *hardware*, comme une interruption sur le contact *Event* d'une TRAM, peut être propagé vers toutes les TRAMS et donc resynchroniser tous les processus actifs instantanément. Le contact *Event* n'est pas accessible sur les TRAMS standards d'*INMOS®*. Cette méthode a néanmoins été réalisée au TATA Institute ^(b). Ce concept correspond au *Broadcast* (diffusion), permettant d'avoir en un temps donné le message d'arrêt distribué sur tout le réseau. Le codage logiciel de cette solution nécessite une définition préalable des voies de transmission avant toute implémentation d'algorithmes. Dans le cadre de UA6, nous avons constaté que la mise en place du système d'*abort* et de resynchronisation est instable, si celui-ci est construit sur une couche logicielle préexistante, comme l'analyse de traces. Dans un système temps réel, l'état du système doit être connu (*state machine*) et la resynchronisation doit se faire dans l'ensemble du système conduisant ainsi à un nouvel état défini. En HEP, les temps de décision doivent être les plus courts possibles. Dans le domaine du temps réel, les temps de décision doivent être déterministes (c'est à dire s'exécuter dans un temps maximum imparti quelque soit le cas). Ces deux exigences peuvent être contradictoires.

Afin de résoudre cette apparente contradiction, une étude sur le support *hardware* de concepts d'*abort* et de resynchronisation permettrait d'automatiser efficacement le support de ces deux concepts, afin de rendre indépendant le codage d'algorithmes parallèles de la structure d'*abort* sous-jacente. Ce type de support est inhérent aux fonctionnalités d'un système d'exploitation parallèle (OS) ou tout au moins de son micro-noyau (*Kernel*).

a) Liens physiques

b) New Dehli, Inde.

10.1.3. Cohérence interne du système

Le système de décision est statique par l'essence même du langage utilisé et pour des raisons de sécurité de fonctionnement. L'architecture de communication est fixée, aucun programme ne peut être chargé ou aucun utilisateur ne peut intervenir une fois l'assignation initiale des tâches réalisée.

L'aspect le plus négatif réside dans l'absence de moyens de *debug* au niveau du code et au niveau du système. Dans le cadre d'une expérience de physique où les données et leur analyse constituent le seul moyen objectif de vérifier la validité du fonctionnement des détecteurs, et de tous les étages de prise de données, le manque d'outils de vérification interne de la cohérence de l'ensemble multiprocesseurs utilisé constitue un handicap pour l'acceptation généralisée de cette nouvelle technologie en HEP. En effet, il peut arriver que l'expérience pour laquelle des décisions de *trigger* doivent être faites soit au moins aussi fiable que le système parallèle utilisé pour la contrôler.

Dans UA6, le temps nécessaire à la mise au point d'outils aussi complexes n'a pas été disponible. Quelques questions importantes sont apparues et ont été traitées. Le principe du multiplexage a été étendu à la surveillance des processus [2]. En particulier, la mesure automatique des temps d'exécution des divers processus et le taux de transferts sur les liens a été étudié. A ce niveau, une séparation doit être faite entre les canaux *software* et les liens *hardware*.

Une prolongation naturelle de cette étude serait le développement d'un système automatique de multiplexage de tous les canaux de communication sur les liens *hardware* et le *linkage* automatique des fonctions (appels à des bibliothèques) de surveillance lors de la compilation du code de l'utilisateur. Ceci sous-entend un système de recueil de l'information vers une ou plusieurs stations et un support étendu pour la création de fichiers et l'affichage graphique du comportement du réseau. Nous proposons une méthode d'estimation rapide (heuristique) du fonctionnement d'un réseau. La simulation suivante pour $N = 8$ processeurs tient compte de la quantité de communication transférée sur les liens (*Comm_ratio*) et du taux d'occupation du processeur (*CPU_%*). *Comm_ratio* est calculé comme le rapport (information entrant en Bytes / information sortant en Bytes). Le taux d'occupation du processeur corrélé à l'information de production de données par ce même processeur permet de détecter des anomalies de fonctionnement si une description approximative des algorithmes actifs est connue. Les deux paramètres sont générés aléatoirement, *CPU_%* varie entre 1 et 99%, *Comm_ratio* varie entre 0.1 et 10. L'*Occupation* est calculée comme la multiplication de l'activité CPU par le logarithme du rapport de communication.

```

N := 8 i := 1..N j := 1..N      N est le nombre de processeurs
CPU_%i := 0.1·i·rnd(1)
Comm_ratioi := 0.1·i·rnd(10)
Occupation(CPU_%, Comm_ratio) := (CPU_%)·ln((Comm_ratio))
Occupation(i,i) := Occupation(CPU_%i, Comm_ratioi)

```

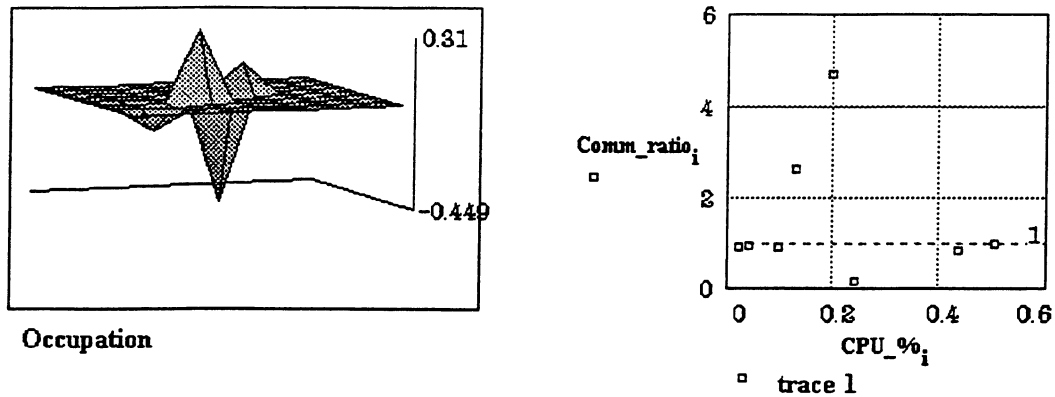


Fig. 1 : Graphique de surveillance d'un système parallèle : Utilisation des liens et calculs
 Les points de la surface plane (*Occupation* = 0) dénotent l'équilibre des input/output. Les valeurs d'*Occupation* se trouvent sur la diagonale (Comm_ratio et CPU_% correspondent au même processeur *i*, les valeurs sur l'axe CPU_% sont de 0 à 60%=0.6/1). La valeur négative d'*Occupation* correspond à un processeur "réducteur" de données. Les valeurs positives révèlent des processus "producteurs" de données.

La représentation proposée de la valeur d'*Occupation* pour chaque noeud de calcul permet de retrouver rapidement ceux dont la valeur négative indique que le processus réduit globalement les données arrivantes et ceux à valeur nulle indiquent l'équilibre. Il faut dans ce cas considérer le taux absolu d'occupation du CPU du processeur pour déterminer si celui-ci n'est qu'un routeur ou un transformateur de données. D'autres anomalies peuvent être détectées facilement, comme le cas où l'occupation CPU d'un processeur est basse et le rapport pour les communications est élevé, pouvant indiquer un générateur de données ou un dysfonctionnement. Un processeur à activité CPU nulle et à taux de communication nulle indique une singularité.

Un système de multiplexage générique est réalisé par le VCR^(a) (Virtual Channel Router) développé par INMOS®. Pour les fonctions de surveillance, le système PIPPA [3] fournit les outils de base pour animer un réseau avec un flot de données simulé ou analyser graphiquement l'ensemble des paramètres d'un réseau

a) INMOS, 1992.

comme les taux de communication, l'occupation des processeurs et l'état des processus (prévention d'interblocage, *deadlock*). Ce type de fonctions est permis par l'emploi du système d'exploitation [4] HELIOS™.

Un support *hardware* pour la mise au point (*debug*), comme des liens dédiés, permettrait d'examiner à partir d'un processeur maître l'état des diverses queues d'attente de processus résidants dans un processeur.

10.2. Avantages de la solution parallèle

L'élégance et la simplicité de la mise en oeuvre de la solution parallèle au travers de l'emploi d'un processeur puissant dédié au parallélisme constituent les deux principaux avantages de la solution adoptée.

La souplesse de l'interfaçage au *hardware* et les facilités d'adressage du matériel incluses dans le langage Occam® même ont permis de réaliser un système répondant aux contraintes de temps réel. L'aspect de contrôle et de sécurité est apparent dans la clarté du codage des programmes d'acquisition et de *trigger*. La fonctionnalité qui fait correspondre la structure du problème expérimental et la solution *software* et *hardware* permet une vérification rapide des performances et de la validité des résultats.

Le flexibilité *hardware* du système, due aux multiples possibilités d'extension et de reconfiguration, permet d'optimiser, de raffiner et de corriger les programmes de *trigger* en fonction des données analysées par le réseau (*feedback*). Il est ainsi possible d'adapter la configuration parallèle à toute physique imprévue.

10.2.1. Solution séquentielle vs solution parallèle

Une solution séquentielle au problème de *trigger* est toujours possible. Les données doivent être acquises par le système traditionnel et stockée dans la mémoire d'un processeur exécutant des algorithmes séquentiels. Selon l'architecture du processeur, le calcul vectoriel peut être accessible. Le tableau suivant compare les avantages des solutions parallèles et séquentielles. Les avantages sont signalés en *italique*, les inconvénients en caractère normal :

<i>Solution parallèle</i>	<i>Solution séquentielle</i>
<i>Nouvelle technologie</i>	<i>Développement hardware minimal</i>
<i>Concepts de parallélisme</i>	<i>Développement software minimal</i>
<i>Peu d'outils de debug</i>	<i>Debug aisé</i>
<i>Pas de système d'exploitation</i>	<i>Système d'exploitation fournissant les services usuels pour l'utilisateur normal</i>
<i>Structure complexe de reset et d'abort, resynchronisation à étudier</i>	<i>Abort et resynchronisation simple</i>
<i>Haute performance d'acquisition, recouvrement des temps d'acquisition et de calcul</i>	<i>Performance d'acquisition faible</i>
	<i>Début de l'analyse de l'événement après l'acquisition</i>
<i>Communication faites par des liens lents, le coût est d'environ un facteur 100 par rapport aux accès mémoires</i>	<i>Temps de communication réduit aux accès mémoire</i>
<i>En fonction du nombre de processeurs et de la mémoire disponibles, nombre illimité d'algorithmes différents ou identiques calculant simultanément</i>	<i>Un algorithme de décision à la fois</i>
<i>Possibilité d'émuler le fonctionnement séquentiel par le pipe-lining d'événements dans des étages dédiés sans perte de performance</i>	<i>Emulation de fonctionnement parallèle difficile si le processeur n'est pas un Transputer</i>
<i>Prix élevé</i>	<i>Coût minimal</i>
<i>Maintenance compliquée des réseaux</i>	<i>Maintenance minimal</i>
<i>Gain absolu en temps de décision</i>	-----

Table 1

La comparaison entre les deux solutions montre que le solution séquentielle est la plus simple et la moins coûteuse. Néanmoins, les performances sur le temps de décision et la souplesse d'utilisation offertes par la solution parallèle la fait s'imposer dans le cadre de l'expérience UA6. Pour toute expérience en HEP, la part de parallélisme intrinsèque est si importante qu'elle doit être exploitée. La performance est la priorité dans les systèmes de décision. Les *Transputers* fournissent un rapport performance/coût intéressant.

10.2.2. Fiabilité

Vu l'importance des moyens mis en jeu dans l'application de la solution parallèle, il est légitime de se demander quelle a été la fiabilité des composants utilisés dans l'expérience UA6 :

- les *Transputers*
- les TRAMS
- les B014 et B008

A l'inverse de tout le reste de l'électronique, ancienne et mal comprise, ces divers composants ont fonctionné sans problèmes. Seul un connecteur de bord (*edge connector*) d'un module B014, support de TRAMs basé dans un *crate* VME, était défectueux. Les *Transputers* ne sont jamais tombés en panne. Une fois les câbles et connections testés, les pannes se sont limitées à quelques phénomènes marginaux de capacités parasites dans les câbles RMH-PCA et à une faiblesse mécanique du connecteur NIM du NSE reliant le NSE et le *System Crate CAMAC* (mis à rude épreuve par les expérimentateurs).

Le *software* d'acquisition RMH, une fois stabilisé, a répondu à toutes les sollicitations. Sa complémentarité avec le système DAS basé sur la NORD 100 dans la salle de contrôle a été aisée. Le démarrage manuel du système et sa simplicité d'emploi a même permis de convaincre les physiciens les plus réticents.

10.2.3. Nouvelles options possibles

La mise au point et la création d'un système parallèle dédié au temps réel s'avèrent complexes. De nouveaux outils permettent de formaliser le développement du *software*, en utilisant des méthodes de description des problèmes et en minimisant le temps de développement et de mise au point de code. L'adoption de ce type de méthodes par un groupe de travail minimise les tâches réalisées à double et permet de produire une documentation actualisée et unifiée pour tous les physiciens et programmeurs. Le contrôle des fonctionnalités et la détection précoce des disparités se voit facilitée. Ces outils sont les CASE ^(a) TOOLS, développement de logiciel aidé par ordinateur [5]. Il mettent à disposition une base de données contenant toutes les étapes du développement d'un projet. Une description graphique des fonctionnalités permet en dernière étape une génération de code, généralement en C. Plusieurs méthodes de description de problème et de système sont possibles [6] :

- diagrammes de flots de données
- diagrammes de relations d'entités
- diagrammes de contrôles
- procédure de mise au point du système

Quelques défauts de ces outils d'aide sont perceptibles :

a) *Computer Aided System Engineering*

- pas de support de systèmes parallèles ou distribués
- pas de support de paramètres quantitatifs de temps réel
- pas de support pour les répliqués de code ou de flots de données

L'application de ce type de méthode nécessite une discipline rigoureuse et une acceptation de la part du groupe. Pour UA6, le temps de démarrage nécessaire à un tel environnement se serait révélé trop important.

Autres processeurs que les *Transputers*?

Le *Transputer* est un processeur fait pour les systèmes parallèles et *Occam*[®] est un langage supportant les divers aspects du parallélisme. Vu sa disponibilité, il a été choisi pour le système d'acquisition et de décision en temps réel pour la recherche de traces dans l'expérience UA6. Il n'est pas pour autant le seul choix possible.

Ce sont les concepts et le développement qui ont été les moteurs de notre étude. Le *Transputer* n'est que la solution matérielle choisie. Les problèmes rencontrés et les solutions appliquées sont généraux et valables pour tout autre système de contrôle ou d'asservissement. D'autres options sont possibles.

Flot dynamique de données

Le traitement des données des MWPC pour la reconstruction des traces est fait de manière statique. En effet, les données sont emmagasinées dans des tableaux de grande taille dans des *Transputers* d'entrée. Une fois les tableaux remplis, le traitement par comparaison et par tri est effectué, puis le résultat partiel de l'ensemble des données est transféré vers l'étage de traitement suivant. *Occam* n'est pas adapté au traitement de structure de données dynamiques (tableaux d'entiers) ^(a).

Cet ensemble de traitement peut aussi se faire "au vol", c'est à dire sans étape de mémorisation (flot continu). Il faut alors étiqueter les données pour pouvoir les retrouver lors de l'écriture sur support magnétique. Si la rapidité de traitement est suffisante (à l'aide de tampons de mémoire provisoires par exemple) et les étages d'analyse en nombre suffisant, les comparaisons sont exécutées dynamiquement.

Cette solution dynamique exige une attention particulière aux problèmes de synchronisation, le contrôle sur l'état des processus étant assez lâche. La sécurité offerte par l'exécution fractionnée offerte par les mémorisations locales dans les tableaux ne se retrouve pas dans la solution continue.

10.3. Dualité *Off-line* et *On-line*

L'avènement de systèmes programmables, permettant des performances compatibles avec les contraintes de réponse en temps réel, brise la frontière artificielle entre l'analyse *on-line* pour les *triggers* et l'analyse

a) Thèse Ph. Schweizer, Lausanne EPFL, 1988, *Architecture graphique 3-D parallèle*, Chap.6

off-line raffinée. Il est possible de coder dans les *Transputers* tous les algorithmes séquentiels, après une parallélisation qui tient compte des flots de données provenant des détecteurs. Les données brutes sont, par sécurité, gardées dans une première étape. Dans la nouvelle génération d'expérience (voir 11.2. *Le GP-MIMD*), toutes les données ne pourront pas être écrites sur des supports permanents. Une compactage en temps réel devra avoir lieu, ce qui exige une première analyse et des algorithmes de compression. La sécurité des données ne peut être assurée que par un contrôle continu de tous les paramètres de décision et de fonctionnement permettant de prévenir toute dérive. Des circuits *hardware* réalisent la compression des données et des résultats "au vol".

10.3.1. Physique en temps réel : Base de données

Les instituts de physique de haute énergie doivent traiter divers volumes de données importants dans des temps très courts. Des décisions en temps réel sur la validité des événements doivent être prises. L'ensemble d'utilitaires *PAW* du CERN permet au physicien un traitement spécifique des données une fois celles-ci acquises (*off-line*). Ce type de traitement est similaire à ceux trouvés dans les structures de base de données (*SGBD*), à la différence près que le traitement dans *PAW* est de nature statique, dû à l'utilisation du *FORTRAN*. En outre, les possibilités d'interrogation (comme *SQL*^(a)) ne sont pas disponibles dans *PAW*. Il y a une analogie entre les techniques de *trigger* et la recherche d'information suivant des critères définis dans une base de données :

- le cas d'une *look-up-table*, contenant un ensemble de mots représentant des chablon candidats (par exemple le mot constitué par des bits d'un ensemble de fils touchés formant une trace dans les MWPC) peut être considéré comme une base de données statique. Cette idée se généralise à la création de masques génériques et d'interrogation pour un *trigger* sur des événements intéressants.

Un lien logique apparaît si l'on regarde les processus d'acquisition et de décision (*trigger* de haut niveau, 2 ou 3) comme un ensemble cohérent intégré dans une seule chaîne :

Temps réel	Off-line
<i>Trigger</i>	Traitement avec des macros
Acquisition	Emmagasinage des données
Traitement parallèle des données	Base de données distribuées ^(b)

Table 2

a) Standard Query Language

b) Accédant des bibliothèques scientifiques

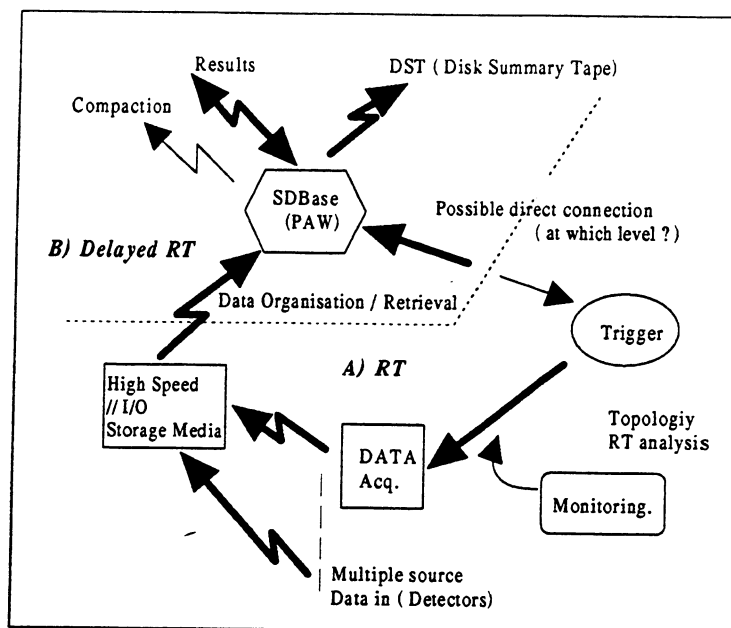


Fig. 2 : Analogie entre base de données relationnelle et *Trigger*

Ce besoin de structure de base de données est ressenti dans plusieurs grandes expériences du collisionneur *Large Electron Positron (LEP)* au CERN. De tels outils d'analyse de données sont implémentés avec *JULIA* [7] pour l'expérience *ALEPH*. Avec l'essor des systèmes d'exploitation distribués ou parallèles, comme *Chorus®* [8], le développement d'une base de données standard relationnelle parallèle se justifie alors pleinement.

Le support matériel des données doit posséder un taux de transfert élevé de données (bande passante) et un temps d'accès minimal, de l'ordre du temps de lecture d'une position mémoire. Ceci exige un progrès technologique pendant la prochaine décennie afin de satisfaire les besoins de performance de la nouvelle génération d'accélérateurs et d'expériences. Le tableau ci-dessous nous donne une idée de l'ampleur de la tâche pour des centaines de milliers de canaux :

Δt_{bunch}	trigger $\Delta t_{trigger \text{ 1}^{st} \text{ level}}$	$\Delta t_{2^{nd}}$	$\Delta t_{3^{rd}}$	$\Delta t_{acquisition}$
~15 ns	< 15 ns ^(a)	1 - 10 μs : <i>trigger</i>	< 100 μs	< 100 μs

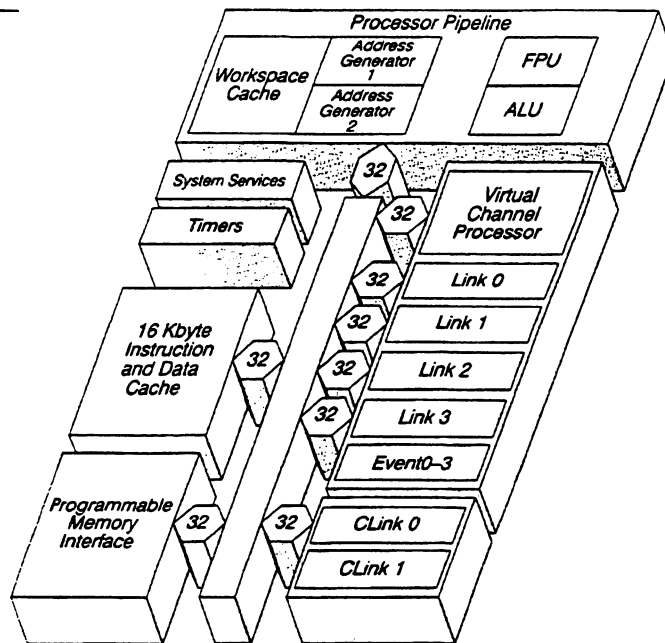
Table 3

a) Doit être inférieur au temps entre bunches.

Les défis de réalisations technologiques sont à la mesure des réponses que doivent apporter la prochaine génération d'expériences en physique.

-
- [1] A. King et A. Schneider, *Le paradigme Mona Lisa*, Rapport interne GP-MIMD, 1991
 - [2] H. Karabajakian : *Transputers et Occam®*, Été 1990, CERN
 - [3] PIPPA®, Philips Systems, 1989
 - [4] Perihelion Software, *The Helios™ Parallel Operating System*, Prentice Hall, 1991
 - [5] RTEE, Real Time Environment Engineering, Westmount, Amsterdam, Holland
 - STP, Software through Pictures, IDE, USA
 - [6] Software Engineering, Shari Lawrence Pfleeger, Macmillan Publishing Company, 1991
 - JSP&JSD : the Jackson Approach to Software Company, John Cameron, IEEE Computer Society Press, 1989
 - [7] A. Schneider et al., *Parallelizing JULIA*, GP-MIMD, 1991
 - [8] B. Herrmann et L. Philippe, *CHORUS/Mix, a distributed UNIX, on Multicomputers*, Transputers 92, M. Becker et al., Eds., IOS Press, 1992

11. Perspectives



Future :

Perspectives, processors and methods : GP-MIMD.

Zukunft :

Perspektiven, Prozessoren und Methoden : GP-MIMD.

Il futuro :

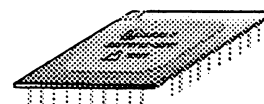
Nuovi prospettive, processori e metodi : Il GP-MIMD.

El futuro :

Nuevas perspectivas, procesadores y métodos : el GP-MIMD.

Le futur :

Nouvelles perspectives, processeurs et méthodes : le GP-MIMD.



La constante évolution de la technologie rend obsolète la majeure partie des matériels (*Transputers*) utilisés dans nos recherches. Néanmoins, les concepts, les méthodes d'analyse parallèle et les problèmes de mise au point rencontrés dans UA6 restent d'actualité. Ce chapitre énumère de nouvelles technologies susceptibles de s'intégrer dans les futures expériences de physique des hautes énergies.

11.1. Nouveaux Processeurs

Une nouvelle génération de processeurs *RISC* est apparue au début de 1990. Ils se caractérisent par une analogie remarquable de leur architecture avec celle *Transputer*. L'intégration des différentes unités de calcul, (CPU et FPU) sur le même circuit constitue le premier point commun. Une mémoire cache et un contrôleur de mémoire externe se retrouvent aussi intégrés sur le circuit. Ces processeurs bénéficient de possibilités de communications accrues, permises par des contrôleurs de canaux DMA comme sur le *Transputer*.

Une différence essentielle réside dans l'adressage de la mémoire : la gestion des nouveaux processeurs permet la manipulation de mémoire virtuelle, permettant d'exploiter des OS largement distribués tel que *UNIX*TM. La mémoire virtuelle n'est pas supportée dans le *hardware* par la génération des T800. Une liste non-exhaustive des nouveaux processeurs peut se retrouver dans la table ci-dessous, les possibilités de communication sont indiquées dans le cas où elles sont intégrées dans le circuit :

Processeur	Fabricant	OS	Performance [clock]	Communication
ALPHA	DEC	VMS, ULTRIX, Windows NT	400 MIPS [200 MHz]	none
i860	INTEL	none	80 MFLOPS [40 MHz]	none
68040	Motorola	Apple OS	~25 MIPS [33 MHz]	none
88000	Motorola	Chorus®, UNI-RT	~40 MIPS [40 MHz]	none
Sparc II	SUN	SUN OS, Solaris	~28 MIPS [40 MHz]	none
80586	INTEL	DOS, SCO UNIX	~60 MIPS [66 MHz]	none
TMS32C40	Texas Instrument	Helios TM , TAOS	~80 MFLOPS	6 links (20MB/s link)
RS6000	IBM®	AIX	~30 MIPS	none

Table 1

11.1.1. Le T9000

La réponse d'*INMOS*®, pour lui permettre de prolonger sa domination dans le domaine des systèmes parallèles (intégrés et à bas prix) a été de compléter le concept d'*OCCAM*® afin de permettre une structure dynamique de programmation. Une unité dédiée aux communications rend celles-ci beaucoup plus faciles et rapides. Un système de messages asynchrones est rendu possible par la mémorisation provisoire (*buffer*) une fois l'émission réalisée par un processeur. Ce processeur est le *Transputer* T9000 ^(a), technologie CMOS 0.75 µm d'intégration :

Processeur	Fabricant	OS	Performance [clock]	Communication
T800	<i>INMOS</i> ®	Helios, Chorus®	10-20 MIPS, 5 MFLOPS	4 links, 20 Mbits/s
T9000	<i>INMOS</i> ®	Chorus®, PARIX, TAOS, Helios	100-200 MIPS, 50 MFLOPS	C104, 4 links (12.5 MB/s per link)

Table 2

Le processeur inclut une unité *VCP* (*Virtual Channel Processor*) qui multiplexe en *hardware* les canaux virtuels *software* de communication (processus à processus). Il est ainsi possible de s'affranchir des contraintes de connexions des liens. La première révision de ce circuit n'aura pas de support de gestion de mémoire virtuelle. Celle-ci devrait être disponible à partir de la deuxième moitié de 1994.

Les communications

Un nouveau circuit dédié aux communications a été développé par *INMOS*® : le *IMS C104* ^(b). Il décharge le processeur du routage des messages. Il connecte 32 liens sériels de communication entre eux à travers un circuit (*switch*) d'aiguillage non-bloquant, de 32 par 32, permettant ainsi de router les messages de n'importe quel lien à l'autre. Les routages sont indépendants et la performance de l'ensemble n'est pas amoindrie par le routage de plusieurs messages à travers un même C104. Chacun des liens pouvant fonctionner à 100 Mbit/s (20 Mbytes/s de bande passante bidirectionnelle), le *IMS C104* peut traiter jusqu'à 200 Millions de paquets par seconde. La latence d'un paquet dans un C104 est inférieure à 1 µs.

a) Date de sortie fin Mars 93

b) *INMOS*®, *The T9000 Transputer*, Products overview, pp. 139-162, *INMOS*® Data book 1991

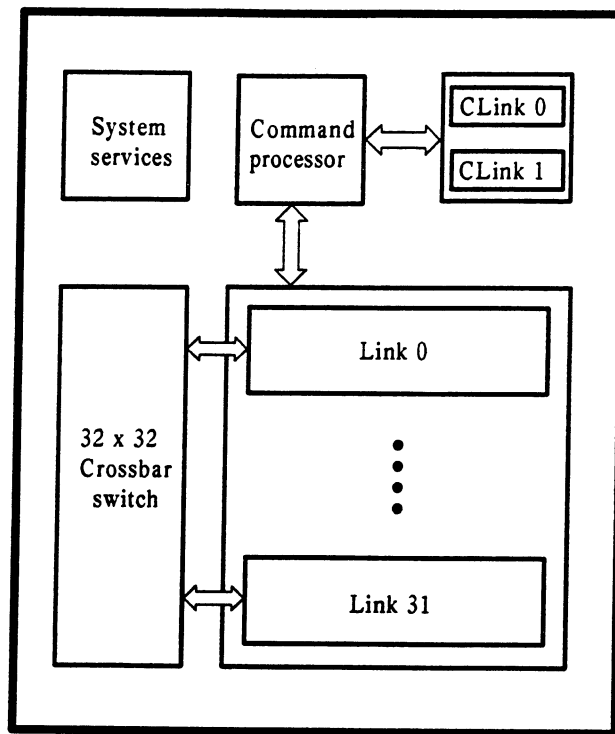


Fig. 1 : IMS C104-le nouveau routeur de messages de INMOS

La méthode de routage est décrite comme le "wormhole" ^(a) routing. L'information du routage est incluse dans l'en-tête du message, évitant ainsi de le décoder en totalité (réduit le temps de latence). Un paquet peut donc transiter par plusieurs C104 simultanément. L'algorithme de routage se nomme "Interval labeling". Chaque destination dans le réseau est étiquetée avec un nombre, et ce nombre, inclus dans l'en-tête du paquet, constitue l'adresse de destination. Chaque lien dans le C104 est associé avec un intervalle de valeurs possibles d'en-têtes et seulement les paquets dont les valeurs tombent dans l'intervalle sont transmis par ce lien.

^{a)} Trou de ver de terre

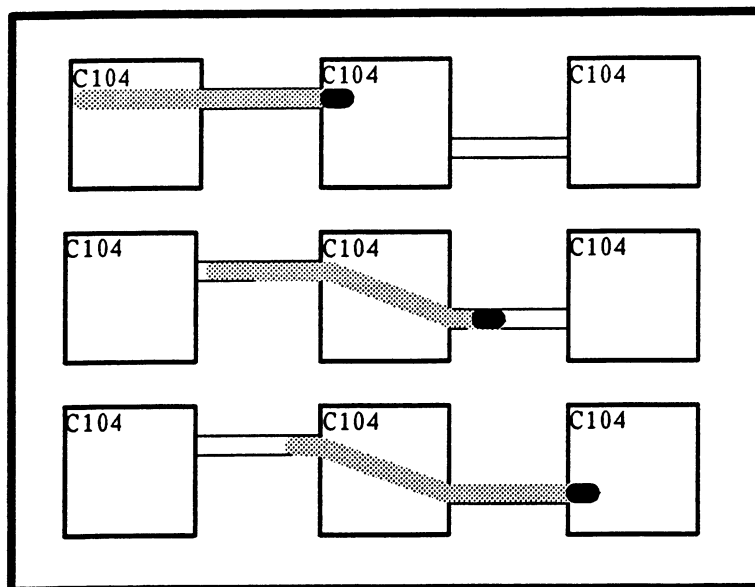


Fig. 2 : Algorithme de routage de l'IMS C104

11.2. Le GP-MIMD

Le projet européen ESPRIT P5404 GPMIMD ^(a) a comme objectifs de développer un ordinateur standard parallèle de type MIMD (voir *Classification du parallélisme*) basé sur le *Transputer T9000*, de définir son environnement et de démontrer sa généralité d'emploi dans le cadre d'applications multiples exigeant de grandes puissances de calcul. La mise au point d'un système générique d'acquisition de données en temps réel pour une expérience en physique des hautes énergies constitue l'une des applications.

Le projet comporte quatre groupes de travail attachés à un aspect du développement de la machine GP-MIMD :

• WP0	Composants	Intégration des circuits de calcul et de routage
• WP1	Machine	extensible / 10^4 noeuds de calcul
• WP2	Software	OS / standards (ASI, API)
• WP3	Applications	DAQ ^(b) en HEP / Base de données distribuées
• WP4	Future	Techniques de parallélisation / OS

Une description de chacune des tâches suit ci-après.

^{a)} GP : General Purpose, ou tout usage

^{b)} Data Acquisition system

11.2.1. GP-MIMD : La machine

La conception de la machine comprend une architecture parallèle supportant un système d'échange de messages ainsi que d'autres modèles de partage de données, comme la mémoire partagée distribuée. La connectivité complète par l'intermédiaire des C104 permet d'assurer une bande passante élevée de communications entre tous les noeuds de calcul et les modules d'entrée/sortie. Un tableau synoptique décrit l'objectif du projet GP-MIMD pour une machine européenne :

<i>1024 Transputers T9000</i> <i>16 Gbytes de mémoire</i> <i>1 Tbyte de disque</i> <i>Graphiques HPPI</i> <i>Réseau FDDI</i> <i>16 Gbytes/s de bande passante de messages (> 7 mots)</i> <i>10 µs de temps de latence du réseau</i> <i>10 Gbytes de taux de transfert du disque</i> <i>10'000 accès aléatoires par seconde vers le disque</i>
--

Table 3

Le comportement d'une machine de cette taille et le contrôle des fonctions deviennent essentielles afin de la rendre utilisable par l'ensemble des applications. Le logiciel constitue la pierre d'achoppement de tout le projet. La progression en performances et la simplicité d'emploi doivent être maintenues indépendamment du nombre de noeuds de calculs qui sont rajoutés à l'unité de base (*scalability*).

11.2.2. Le logiciel

L'utilisation de la machine GP-MIMD dans le cadre d'une application spécifique où les algorithmes et les données sont fixés ne pose pas de problèmes fondamentaux. Les séquences de traitement d'erreurs et la resynchronisation de processus doivent être gérées correctement (voir chapitre 8.1. *La Philosophie et la justification de l'approche choisie*). Ce cas, analogue à l'expérience UA6, est une application statique.

L'intérêt de la machine GP-MIMD est la nouvelle approche dynamique, tant du point de vue de l'utilisateur, de la puissance progressive à disposition que de celui des algorithmes. L'environnement logiciel doit s'adapter à cet aspect dynamique. Les services pour la distribution des tâches sur un réseau, pour la communication transparente entre processus et pour la gestion de nouvelles ressources seront offerts par un système d'exploitation distribués : CHORUS® [1].

L'utilisateur aura à disposition une interface spécifique pour les applications (*ASI*) ^(a) lui permettant d'accéder les fonctionnalités du système d'exploitation suivant un modèle de programmation donné, particulièrement au niveau de la description des algorithmes. La définition émergente de *POSIX RT 1.003* donne les spécifications d'une interface d'application pour les programmeurs (*API*) ^(b) qui complète les appels disponibles dans l'OS Chorus®, pour les extensions de gestion de multiprocesseurs.

UNIX

UNIX est un système d'exploitation développé par AT&T et Bell Labs. Il est constitué par trois ensembles de programmes :

- le noyau et le système de fichiers
- le *shell* et les interfaces graphiques
- les utilitaires

La révision actuelle d'UNIX est le système d'AT&T *UNIX System V Release 4 (SVR4)*. Plusieurs versions autonomes d'UNIX sont dans le domaine public. La plus importante est celle de SBD Berkeley UNIX.

Le noyau mono-processeur et l'environnement

Le *Kernel* est le coeur d'UNIX. Il est résidant en mémoire et gère les extensions *hardware* du système (composants et périphériques). Le système de fichiers, géré selon une structure hiérarchique, est intégré au noyau. Le noyau organise l'exécution et le séquençement des processus et les divers mécanismes d'accès aux ressources.

Le *shell* est un interpréteur de commandes, permettant à l'utilisateur d'interagir avec le noyau. Le *shell* accepte les commandes, les interprète et les exécute. Trois *shells* sont disponibles sous UNIX :

- le *C shell*
- le *Bourne shell*
- le *Korn shell*

La popularisation de UNIX provient du support d'opérations multi-utilisateurs, de la gestion de divers mécanismes de partage de ressources et des communications entre divers processus, programmes ou utilisateurs, particulièrement adaptée aux réseaux.

Certaines des faiblesses de UNIX pour des applications de temps réel sont inhérentes à la lourdeur des communications et aux difficultés générées par l'accès aux ressources partagées. Le concept de temps réel n'est pas compatible avec la version de base de UNIX.

a) Application Support Interface

b) Application Programmer Interface

L'utilisation de *micro-kernels* distribués sur divers sites a été développée par les compagnies OSF et Chorus®. La souplesse de ce concept permet d'utiliser sur un site (processeur) l'ensemble des ressources systèmes indispensables au fonctionnement d'une application. Les sites forment alors un ensemble cohérent, le *micro-kernel* assurant les communications et les appels systèmes, toutes les fonctionnalités UNIX étant disponibles si nécessaire sur le site. Le modèle client-serveur est généralisé dans le cadre des communications entre processus, les liens *Transputers* ne sont plus accédés explicitement par l'utilisateur.

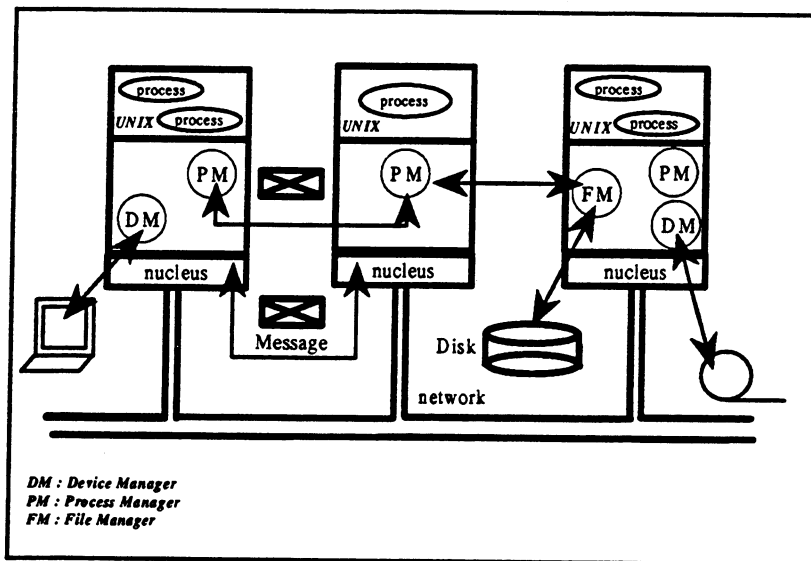


Fig. 3 : Le monde CHORUS : UNIX distribué

Plusieurs serveurs du système sont disponibles de base pour la version *Transputer* de Chorus® :

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| • Process Manager (PM) | UNIX binaire system calls |
| • Object Manager (OM) | file system |
| • Socket Manager (SM) | network management |
| • un protocole client NFS | NFS access |

Certaines caractéristiques dans le monde *Transputer* (comme l'absence de gestion de mémoire virtuelle) imposent des restrictions sur l'implémentation de quelques appels systèmes.

11.2.3. Les applications

Contribuer à la connaissance de la réalité par l'intermédiaire de la simulation (*Virtual Reality*) représente le Grand Défi (*Great Challenge*) de la décennie dans le domaine du traitement de l'information. Les études pour la modélisation du climat, de l'écoulement et turbulence des fluides, pour la dispersion de la pollution atmosphérique, pour une carte du génome humain, pour la *QCD*, pour la conception des moteurs, nécessitent de plus en plus de moyens de calculs. La seule manière de couvrir ces besoins dans un futur proche est le

Parallélisme. Les puissances demandées sont de l'ordre du TéraFLOPS, 10^{12} FLOP. Avec le T9000, processeur de 25 MFLOPS et 200 MIPS, 40'000 unités sont encore nécessaires pour atteindre cette valeur. La puissance scalaire disponible serait alors de 8 TéraMIPS.

Dans le cadre de la physique des hautes énergies, l'utilisation de systèmes dédiés intégrant des *Transputers* pour la construction de *triggers* rapides de deuxième ou troisième niveau apparaît comme l'application principale. La cohérence qui s'obtient en utilisant le *Transputer* dans l'électronique d'acquisition (*front-end*) aussi bien qu'au niveau des utilisateurs physiciens constitue l'avantage indéniable de la nouvelle génération de *Transputer* T9000.

Les accès aux bases de données distribuées représentent une autre application importante. La puissance des disques et des systèmes de fichiers doit croître proportionnellement avec celle des capacités de calculs. Le support de transactions de type *SQL*, jusqu'à 1 million de transactions par seconde, constitue l'un des objectifs prioritaires pour l'an 2000.

11.3. Le GEST 9000

Un programme de recherche et de développement ^(a) a démarré concernant la prochaine génération de systèmes multi-usages d'acquisition, de contrôle et de *trigger* nécessaires pour la préparation de nouvelles expériences sur les futurs accélérateurs.

Pour le *trigger* Λ de l'expérience UA6, le développement de deux cartes électroniques originales basées sur les *Transputers* de première génération a été nécessaire. L'absence de normalisation pour la connexion directe au bus du *Transputer* d'un système externe (comme le RMH ou le bus CAMAC) a nécessité une nouvelle conception d'interface ne permettant qu'une réutilisation minimale du travail de développement.

INMOS® a produit un standard pour les cartes supportant les *Transputers*, les TRAMs (voir la section *Transputer*), mais n'a pas défini un connecteur externe direct au bus du *Transputer*. Avec l'avènement du T9000, il est possible de proposer un concept original d'une carte électronique modulaire et à usages multiples. Ce projet est le **GEST 9000**, Generic Embedded System based on Transputer T9000 (Système Générique Intégré basé sur le Transputer T9000).

11.3.1. Description du GEST 9000

Le schéma bloc du système proposé consiste de quatre parties principales suivantes :

- adaptateur de bus externes (connecteurs multiples)
- mémorisation de données pour des taux élevés
- contrôleur de bus et décodeur d'instruction interchangeables

a) Partiellement supporté par le Fonds National suisse de la Recherche Scientifique

- module *Transputer* basé sur le T9000 à 200 MIPS, 50 MFLOPS

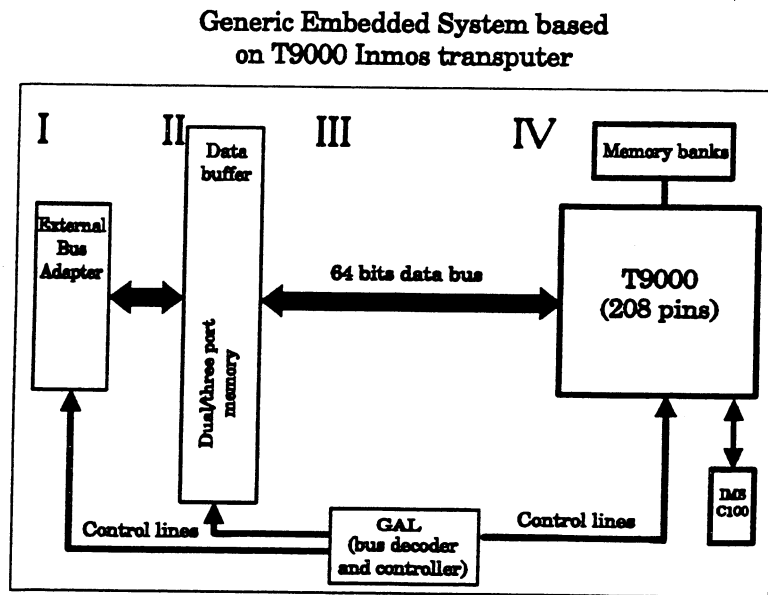


Fig. 4 : Système générique modulaire basé sur le *Transputer* T9000

Ces quatre parties seront basées sur les spécifications techniques décrites ci-après :

<i>G.E.S.T. 9000 : Technical specifications</i>
• T9000 : clock up to 60 MHz
• GAL : clock works up to 125 MHz
• Dual / Three port memory : 10 or 5 ns access time (100 MHz or 200 MHz)
• Bus performances : to support up to 150 Mbytes/s transfer rate (includes ECL and TTL standards)
• Board design and testing : built-in self test functions, EEPROM code support
• Standard settings : define bus adapter and T9000 Transputer Module (HTRAM) with a standard way to take bus out

Table 4

La conception de la carte est modulaire et permet son utilisation dans plusieurs environnements et pour différents types de bus. La programmation de la GAL et la création du connecteur (adaptation) constituent le développement de base. La modularité est prévue pour de hautes performances avec la nouvelle génération de circuits (GAL, T9000, mémoires).

[1] Chorus® OS, Chorus® Systèmes, France

12. Conclusions

Conclusions :

Experiments and Transputers.

Abschluss :

Experiment und Transputers.

Conclusioni :

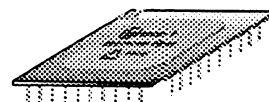
Esperimenti e Transputers.

Conclusiones :

Experimentos y Transputers

Conclusions :

Expériences et Transputers



12.1. Tau Charm Factory

Le développement d'un système pour la recherche de traces de particules chargées, dans le cadre de l'expérience UA6, nous a conduit à aborder le monde du parallélisme par l'intermédiaire du *Transputer*. Les conditions expérimentales ne nous ont pas permis dans une première étape de donner une réponse définitive sur les Λ tant recherchés. Néanmoins, le développement de ce système nous a permis de réaliser un travail original et pionnier dans un domaine de haute technologie, qui constitue un projet d'importance stratégique pour la décennie, en recherchant des méthodes parallèles pour la résolution de plusieurs types de problèmes. L'acquisition de données de manière parallèle a aussi permis de prouver la justesse de l'approche considérée. L'efficacité et la nécessité du parallélisme dans la physique des hautes énergies sont maintenant reconnues.

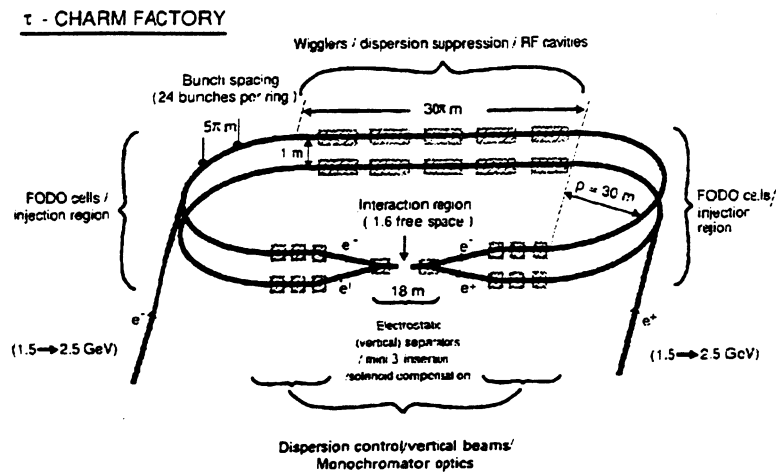


Fig. 1 : Projet de Tau Charm Factory

L'ensemble des projets concernant les systèmes d'acquisition du LHC sont basés sur des installations distribuées et parallèles. De notre côté, la mise au point du projet *Scalable Acquisition System (SDAS)*, dans le cadre du GP-MIMD, tient compte des enseignements acquis dans l'expérience UA6, tant du point de vue logiciel, que du matériel et des concepts systèmes. L'intégration de nouvelles méthodes de parallélisation automatique fournira des résultats appréciables pour une multitude de problèmes différents. Un projet de **Tau-Charm Factory**, en Espagne, va conduire à la mise en place d'un nouveau laboratoire où l'ensemble de l'acquisition et des moyens de traitement de l'information peut être repensé de manière cohérente. Je suis convaincu qu'une technologie de type *Transputer* est un candidat adéquat pour la réalisation d'un système complexe, rapide et fiable dans le monde exigeant des opérations en temps réel de la physique des hautes énergies.

13. Glossaire

Concurrence

Deux tâches sont dites exécutées concurremment lorsqu'elles résident sur le même processeur. A un instant donné, seule l'une d'entre elles est exécutée par le processeur (active), l'autre est en attente

Connectivité totale

Caractéristique d'un système où chaque couple de processeurs partage la même connexion

Connexion

Toute liaison matérielle permettant un échange de données (ou une synchronisation) entre deux processeurs

Communication

Tout moyen d'échange d'information entre deux tâches, en exécution ou non, résidant sur le même processeur ou sur deux processeurs distincts, la synchronisation n'étant pas considérée

Couplage

Performances des connexions établies entre différents processeurs formant le système multiprocesseur

Étroit : si la communication ne pénalise pas le traitement élémentaire (parallélisme poussé)

Lâche : si la communication entre tâches est réduite au minimum (tâches indépendantes)

Débit

Pour une unité de traitement, nombre de résultats fournis par secondes

Élément

C'est une action, une construction ou une instance

Action = Assignement | Input | Output | SKIP | STOP

Construction = Sequence (SEQ) | Conditional (IF) | Loop (SEQ ..FOR) | Concurrent
| Alternation (ALT)

Instance = Processus call

Interblocage

Boucle dans les attentes d'événements qui les empêchent de se produire

Monte Carlo

Méthode de simulation

Multiplexage

Combinaison de messages indépendants destinés à être transmis sur un même lien

Occupation

Pour une unité de traitement, pourcentage du temps total pendant lequel elle exécute les tâches qui lui sont confiées

Parallèle

Deux tâches sont dites exécutées parallèlement lorsqu'elles sont exécutées simultanément sur deux processeurs distincts

Processeur

Nom générique donné à une unité de traitement qui peut être un circuit intégré spécifique, un microprocesseur ou un ordinateur complet

Processus

Procédure *Occam*® placée sur un processeur et comportant comme paramètre une liste de canaux de communication logiques

Protocoles

Ensemble de conventions pour l'établissement d'une communication

Synchronisation

Tout moyen de communication entre deux tâches permettant de garantir une condition de séquentialité temporelle

Tâche

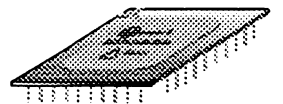
Un séquence (séquentielle) d'instructions formant une unité

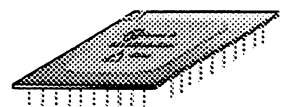
Trigger

Décision en temps réel sur la validité d'un événement résultant de l'interaction entre deux paquets de particules

Vertex

Point de désintégration d'une particule, comme le Λ , en des particules filles

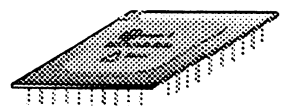


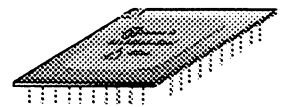


14. Termes anglais

<i>Acceptance</i>	aire géométrique représentant la zone sensible aux particules des détecteurs
<i>Back scattering</i>	déflexion arrière
<i>Break-point</i>	point d'interruption d'un programme sur ordre de l'utilisateur
<i>Bottleneck</i>	goulet d'étranglement
<i>Buffer</i>	tampon mémoire
<i>Byte</i>	Octet
<i>Clean events</i>	événements propres
<i>Clusters</i>	amas
<i>Control logic</i>	logique de contrôle
<i>Crate</i>	cageot (électronique)
<i>(Crossbar) switch</i>	matrice de commutation
<i>Cut</i>	coupure (d'analyse)
<i>Deadlock</i>	condition de blocage dans un réseau
<i>Dirty events</i>	événements sales
<i>Event</i>	événement
<i>Event builder</i>	élément logique d'un système d'acquisition qui reconstitue un événement dans sa totalité
<i>Event pin</i>	contact <i>event</i> d'un processeur
<i>Fast Logic</i>	logique rapide de déclenchement
<i>FORTRAN</i>	<i>FOR</i> mula <i>TRAN</i> slator, langage scientifique de programmation
<i>Ghost</i>	fantôme (trace)
<i>Handshake</i>	protocole avec accusé de réception
<i>Hardware</i>	matériel
<i>Harness</i>	carcan
<i>Interval labeling</i>	étiquetage d'intervalles
<i>Jet target</i>	jet-cible
<i>Listing</i>	Impression des instructions d'un programme
<i>Network</i>	réseau

<i>Pass point</i>	point de passage (spatial)
<i>Pattern</i>	chablon (configuration de bits)
<i>Pretrigger</i>	voir <i>Trigger</i>
<i>Monitoring</i>	processus de contrôle (surveillance)
<i>Pads</i>	pavés (de scintillateur)
<i>Pipe</i>	conduite (du faisceau)
<i>Pipe-line</i>	traitement par étage (cascade)
<i>Replay</i>	répétition de l'analyse des événements après l'acquisition
<i>Reset</i>	initialisation
<i>Roadwidth</i>	largeur de route (zone d'erreur pour une particule)
<i>Routing</i>	routage (redirection des données)
<i>Run</i>	période de prises de données écrites sur une bande magnétique
<i>Speedup</i>	accélération
<i>Thread</i>	processus concurrent
<i>Tracing</i>	suiti d'une variable au cours de l'exécution d'un programme
<i>Track</i>	trace
<i>Trigger</i>	signal électronique de déclenchement sur un événement potentiellement intéressant
<i>Upgrade</i>	amélioration
<i>Wire</i>	fil
<i>Wormhole routing</i>	routage "ver de terre"





15. Abréviations

ADC	Analog to Digital Converter
ANL	Analysis program (IPN-Lausanne)
API	Application Programmers Interface
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASI	Application Specific Interface
CAL	Calorimeter
CE	Crate Encoder
CERN	Organisation Européenne de Recherche Nucléaire
CM	Centre de Masse
CMOS	Complementary Metal Oxide Silicium (MOS)
CPU	Central Processing Unit
CSP	Communicating Sequential Processes
DAS	Data Acquisition System
DMA	Direct memory access
DRAM	Dynamic random access memory
ECL	Emitter Coupled Logic
EISA	Extended integrated system architecture
EPIO	Experimental Physics Input Output package
EPROM	Electrically erasable read only memory
FERA	Fast Encoding Readout ADC
FIFO	First In First Out
FLOPS	Floating Point Operations per Second
FPU	Floating Point Unit
GAL	Generic Array Logic
GC	Great Challenge
GEST 9000	Generic Embedded System based on Transputer T9000
GP-MIMD	General Purpose Multiple Instructions Multiple Data
HEP	High Energy Physics

ISA	Integrated system architecture
IF	Interface CAMAC
IPNL	Institut de Physique Nucléaire de Lausanne
LEP	Large electron positron collider
LHC	Large Hadron Collider
MB	Megabyte
MIMD	Multiple Instructions Multiple Data Streams
MIPS	Million of Instructions per Second
MISD	Multiple Instructions Single Data Stream
MFLOPS	Mega FLOPS
MWPC	MultiWire Proportional Chamber
NFS	Network File System
NSE	New System Encoder
OS	Operating System
OSF	Open Software Foundation
PAL	Programmable Array Logic
PAW	Physics Analyst Workbench
PC	Personnal Computer
PC1	Proportional Chamber 1 (voir MWPC)
PCA	Parallel Crate Acquisition
QCD	Quantum Chromo Dynamics
RAM	Random access memory
RMH	Receiver Memory Hybrid
RISC	Reduced Instruction Set Component
SDAS	Scalable Data Acquisition System
SE	System Encoder
SIMD	Single Instruction Multiple Data
SISD	Single Instruction Single Data
SPPS	Super Proton AntiProton Synchrotron

SRAM	Static RAM
SQL	Standard Query Language
SSC	Super Super Collider
TKL	Track Line
TRAM	Transputer Module
TRD	Transition Radiation Detector
TTL	Transistor transistor logic
UA6	Underground Area 6
VCR	Virtual Channel Router

16. Appendices

A Cinématique

Cet appendice ne constitue qu'un aide mémoire. De plus amples informations peuvent se trouver dans *"Review of Particle Properties", Particle Data Group, Physics Letters B, North-Holland, Amsterdam.* Soient deux particules entrant en collision, de caractéristiques respectives E_1, m_1, p_1 et E_2, m_2, p_2 alors les quadri-vecteurs s'écrivent :

$$P_1(E_1, \vec{p}_1)$$

$$P_2(E_2, \vec{p}_2)$$

dont les propriétés sont les suivantes :

$$P^2 = E^2 - p^2$$

$$P_1 \cdot P_2 = E_1 \cdot E_2 - p_1 \cdot p_2$$

et l'énergie au centre de masse s'écrit :

$$s = (P_1 + P_2)^2 = E_{CM}^2$$

et en développant :

$$s = (P_1 + P_2)^2 = (E_1 + E_2, \vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2$$

Les énergies des deux faisceaux sont les mêmes habituellement, nous avons :

$$E_1 = E_2 = E$$

$$\vec{p}_1 = -\vec{p}_2 = \vec{p}$$

L'énergie au centre de masse devient alors :

$$s = 4 \cdot E^2, \quad \text{et} \quad \sqrt{s} = 2 \cdot E$$

d'où l'énergie au centre de masse est directement proportionnelle à E. Pour le LHC cela correspond à des énergies de 16 TeV (8 TeV contre 8 TeV). Soit le cas d'une cible fixe, alors l'impulsion p_2 est nulle ce qui donne :

$$E_1 = E, \quad \vec{p}_1 = \vec{p}, \quad m_1 = m, \quad m_2 = M, \quad \vec{p}_2 = 0, \quad E_2 = M$$

$$s = (E + M)^2 - p^2 = E^2 + 2M \cdot E + M^2 - E^2 + m^2$$

$$s = M(2E + M) + m^2$$

$$\sqrt{s} = \sqrt{2m(E + m)}$$

et donc l'énergie au centre de masse est proportionnelle à la racine carrée de l'énergie et pour le LHC, $E_{\text{CM}} = 126 \text{ GeV}$. Si l'on prend le cas où deux particules de masses très différentes entrent en collision, la formule de l'énergie disponible au centre de masse peut s'écrire :

$$(E_1, m_1, p_1) = e^-, N_1$$

$$(E_2, m_2, p_2) = p, N_2$$

$$s = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2 \cong E_1^2 + 2E_1E_2 + E_2^2 - p_2^2 + 2p_1p_2 - p_1^2$$

$$\text{Or : } E_2^2 - p_2^2 = m^2, \quad m_1 \ll m_2 = m, \quad E_1^2 \cong p_1^2, \quad E_2^2 \cong p_2^2 = p^2$$

$$|\vec{p}_1| \ll |\vec{p}_2| = |p|$$

$$\text{D'où : } s = m_1^2 + 2E_1E_2 + m^2 + 2p_1p_2 \cong 4E_1E_2$$

$$\text{Et: } \sqrt{s} = 2 \cdot \sqrt{E_1E_2}$$

Ce qui donne l'énergie au centre de masse est proportionnelle à la racine carrée du produit des énergies du faisceau, pour le LHC, en considérant un électron de 50 GeV et un proton de 8 TeV, E_{CM} vaut 1.26 TeV.

B Vérification d'Analyse

Deux vérifications de la correction de l'approche suivie pour l'analyse ont été menées :

A) • utilisation de **TKL** sur des données *trigger* Calorimètre (bande compactée d'événements candidats γ RB2781 pour ~4000 événements), paramètres de sélection et de coupures identiques à ceux appliqués aux événements acquis avec le *pretrigger* Λ :

- cela permet de déterminer si l'analyse **TKL** crée artificiellement des événements Λ en raison des coupures appliquées, dans ce cas le phénomène devrait se reproduire sur une population radicalement différente.

B) • analyse préliminaire sur le même ensemble d'événements *pretrigger* Λ afin de reconstruire des événements $K_s^0 \rightarrow \pi^- \pi^+$, de masse 497.72 MeV et de $c\tau = 2.75 \text{ cm}$, afin d'estimer la sensibilité de ce *pretrigger* (et du réseau) à ce type d'événement possédant un vertex secondaire. La même analyse est également faite avec les événements calorimètre (γ RB2781). Dans les deux cas, les distributions des positions des vertex en (x,y) et de p_t sont considérées. Les deux populations sont comparées.

- cela permet la comparaison des distributions avec les analyses faites précédemment dans la collaboration UA6 pour la recherche de K_s^0 (uniquement avec le *trigger* Calorimètre) avec la nouvelle population d'événements ayant déclenché sur des particules chargées.

A) *Trigger* calorimètre (γ)

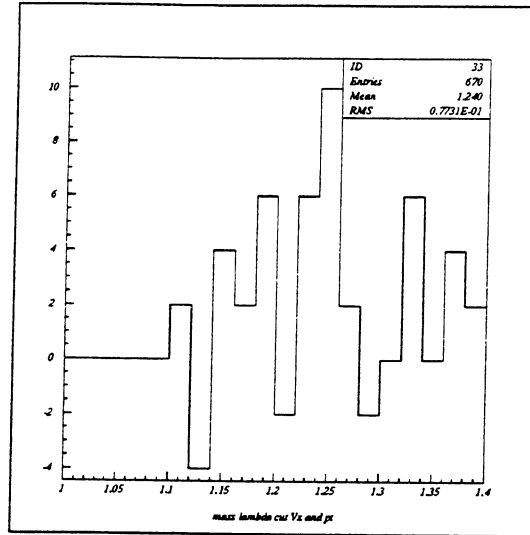


Fig. 1 : Trigger Calorimètre : Masse Λ (bruit de fond soustrait)

L'utilisation des mêmes algorithmes pour la recherche de Λ avec un *pretrigger* Calorimètre (qui n'enrichit pas l'échantillon de particules chargées) devrait révéler un signal parasite Λ de niveau zéro. Les coupures sur les positions du vertex en x et sur la valeur du p_t devraient éliminer tous les événements dans la fenêtre de masse Λ . Les distributions pour la masse effective de Λ obtenues le confirment, ce qui est cohérent avec les analyses réalisées précédemment.

B) Analyse K_s^0

Une première tentative d'analyse est aussi présentée pour ce cas. Une coupure sur la distribution des vertex et sur le p_t de la particule mère est effectuée.

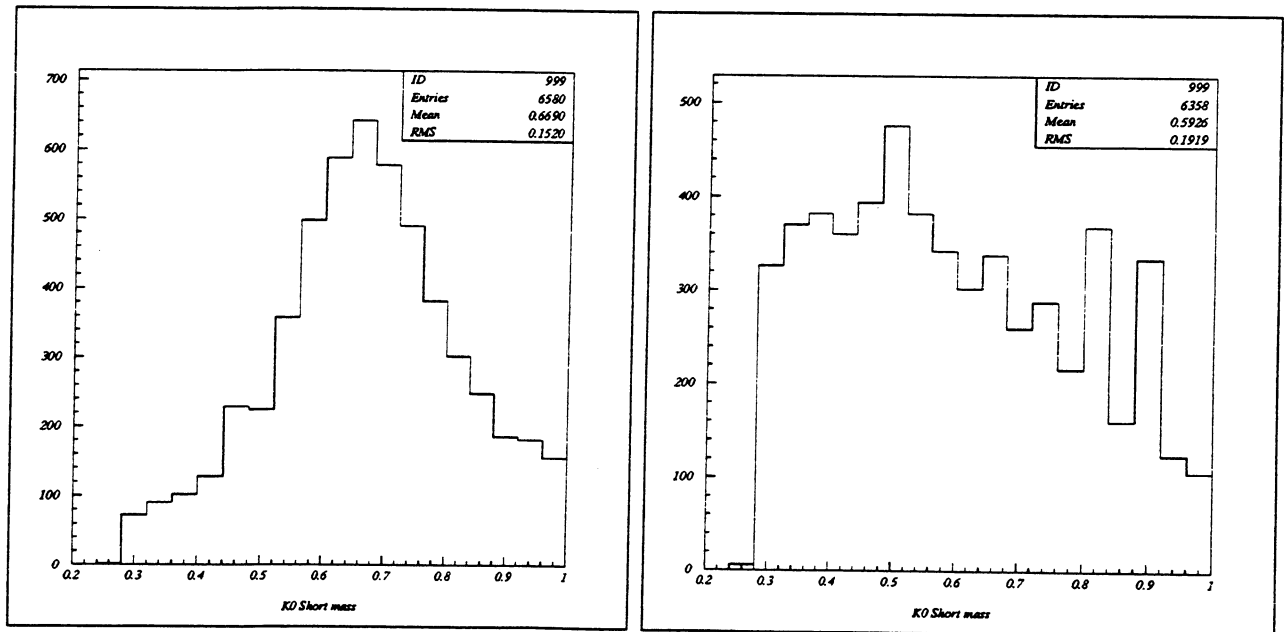


Fig. 2 : Masse K_s^0 Pas de coupure. A gauche: *Pretrigger* Λ . A droite : *Trigger* Calorimètre.

Les distributions de masse effective des K_s^0 révèlent une différence notable entre le *trigger* Calorimètre et le *pretrigger* Λ . Les valeurs d'impulsion totale sont symétriques en première approximation. Le rapport $\text{impulsion}^\pm / \text{impulsion}^+$ doit être inférieur à 3. Cette coupure sélectionne principalement les K_s^0 (exclut aussi la plupart des Λ , voir Monte Carlo). Une réduction d'un facteur 1.7 est observée, principalement sur les événements à grande masse.

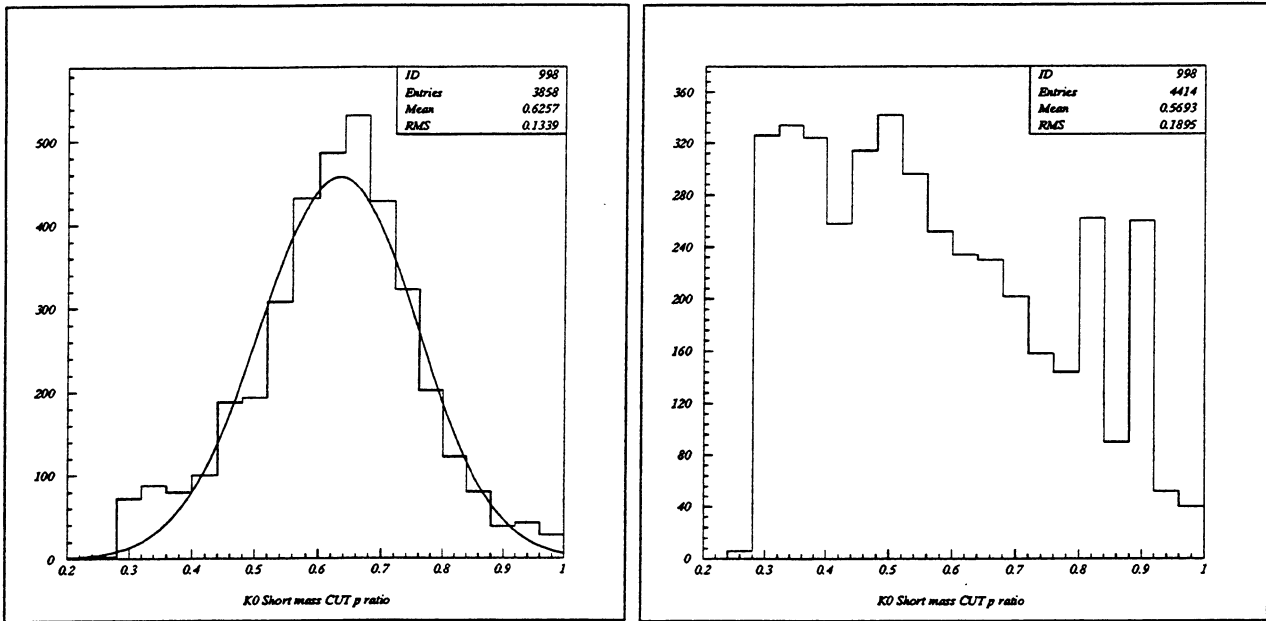


Fig. 3 : Masse K_s^0 Coupure sur le rapport des impulsions des particules filles de signe opposé. A gauche: *Pretrigger* Λ . A droite : *Trigger* Calorimètre..

En observant la valeur des distributions des vertex X vs Y pour les deux *triggers*, la ligne de faisceau apparaît clairement pour le *trigger* Calorimètre, ce qui contraste fortement avec la dispersion des vertex X vs Y pour le *pretrigger* Λ .

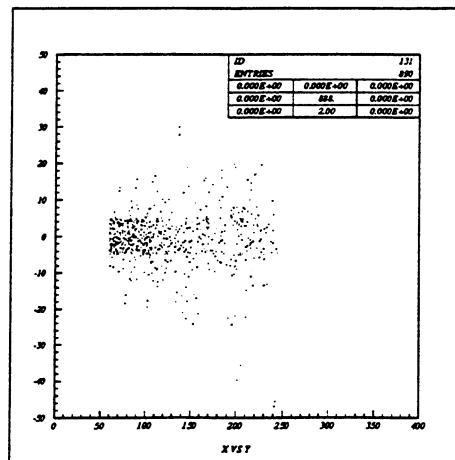


Fig. 4 : X vs Y : position des vertex - *Trigger* Calorimètre

Une coupure sur la position des vertex peut permettre une sélection des événements K_s^0 :

- on ne sélectionne que les événements dont la position du vertex est située au-delà d'un rayon de 110 cm à partir de la cible, éliminant ainsi les événements situés dans la ligne du faisceau (et dessinant le tube du faisceau, *pipe*)

La coupure est appliquée de la même manière pour les *triggers* Λ et Calorimètre :

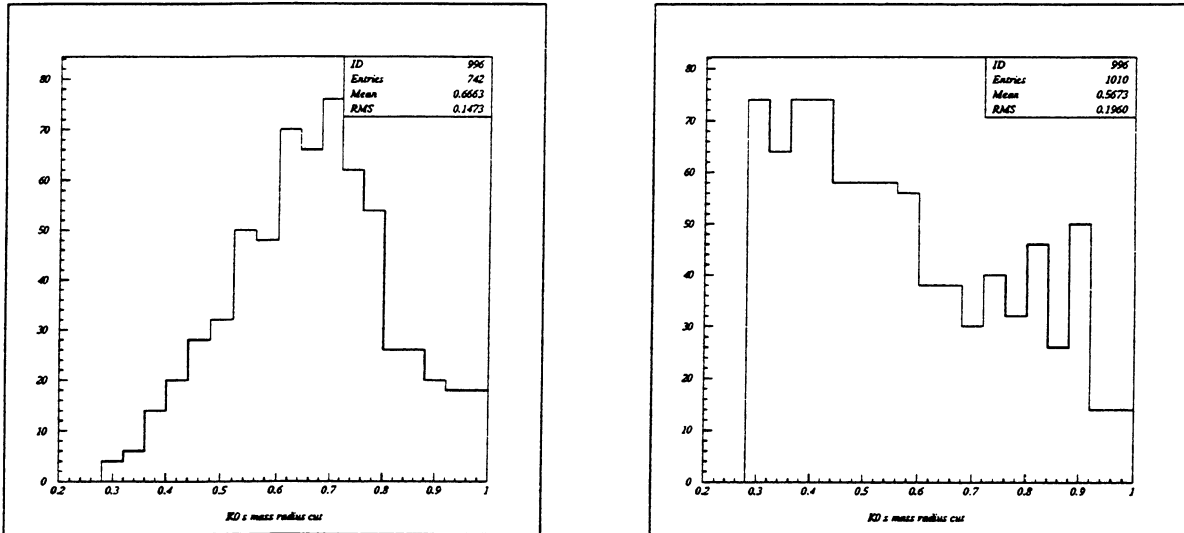


Fig. 5 : A gauche : masse effective du K_s^0 , *trigger* Λ . A droite : masse K_s^0 *trigger* Calorimètre, coupure sur l'éloignement à la cible (les facteurs de réduction des données valent respectivement 8.9 et 6.329).

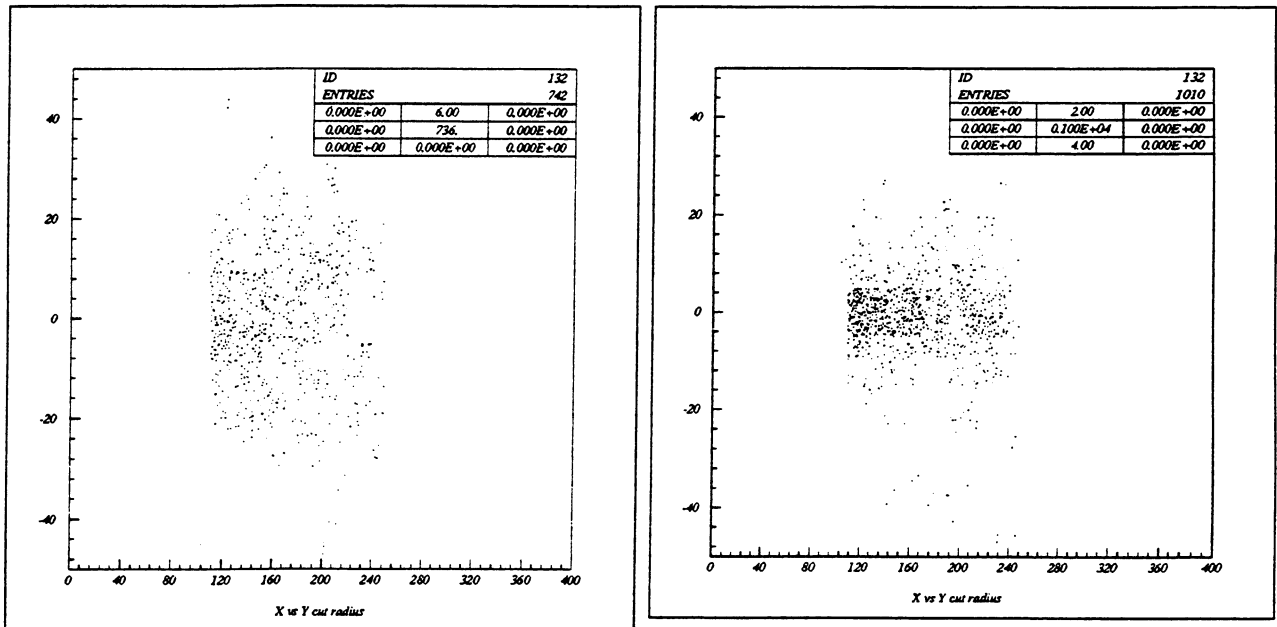


Fig. 6 : A gauche : Distribution des vertex dans le plan X vs Y pour les K_s^0 , *trigger* Λ . A droite : distribution des vertex dans le plan X vs Y pour les K_s^0 , *trigger* Calorimètre.

La coupure sur l'éloignement à la cible sélectionne 13% des événements pour le *trigger* Λ et 16% des événements dans le cas du *trigger* Calorimètre. La distribution de p_t dans le cas Calorimètre est plate. La plupart des événements restent encore dans la zone de ± 4 cm autour du faisceau dans le cas du *trigger* Calorimètre.

C Mesures des *Timings* des associations sur un processeur

Les différents algorithmes d'association de données des chambres ont été testés sur un seul *Transputer*. Les différentes mesures ont été faites avec des distributions de fils réalistes (suivant ceux des *triggers* calorimètre). Les noms des sous-réseaux correspondent aux informations traitées. Les temps donnés dans les différentes tables sont en μ s.

	Nom réseau	Z15	Nom réseau	Z23	Nom réseau	Z14
# fils	$\langle \triangleright \rangle$	tmax	$\langle \triangleleft \rangle$	tmax	$\langle \triangleright \rangle$	tmax
1	28.163	52	22.6	45	26.7	48
2	50.7	150	36.7	102	48.4	132
3	82.1	266	53.8	115	76.1	192
4	123.1	331	74.7	172	112.5	254
5	171.6	398	97.1	203	154.9	374
6	226.3	517	122.9	254	204.3	458
7	292.6	579	149	296	263.1	483
8	361.9	680	181.6	348	323.4	580
9	441.8	863	215.3	399	392.8	745
10	524.2	1019	252.8	542	469.9	871
11	616.4	1124	289.9	687	546.9	886
12	718.4	1316	333.5	535	635.7	1025
13	831	1383	377.7	605	730.6	1166
14	940.4	1509	484.5	695	832.7	1378
15	1058.3	1747	472.3	766	937.9	1481

	Nom réseau	Z25	Nom réseau	Z24	Nom réseau	Z34
# fils	<t>	tmax	<t>	tmax	<t>	tmax
1	25.9	48	21.8	42	22	38
2	43.6	132	36.2	86	35	70
3	66	149	53.4	130	51.5	112
4	94.3	213	74.5	165	69	142
5	127.5	257	97.2	176	90.6	165
6	160	357	123.3	275	112.3	224
7	200.6	370	152.9	283	137.1	246
8	244.5	438	183.6	298	166.4	315
9	293.1	508	219	361	193.6	397
10	349.4	709	255.5	450	227.7	377
11	400.9	737	287.4	547	255	446
12	463.4	865	335.1	603	291.8	491
13	528.4	873	384.2	708	333	571
14	596.8	1041	432.7	706	372.7	635
15	673.8	1090	482	693	413.4	665

	Nom réseau	UVY1	Nom réseau	Z1235	Nom réseau	Z1245
# fils	<t>	tmax	<t>	tmax	<t>	tmax
1	27.8	42	13.4	52	13.5	33
2	57.9	97	15.8	92	16.3	91
3	115.5	228	26.1	268	25	171
4	206.4	424	44.7	252	43.4	249
5	326.3	708	73.5	379	72.4	325
6	500.3	1050	112.5	477	110.9	608
7	726	1555	161.7	774	164.1	677
8	1015.9	2035	229.8	813	227.2	706
9	1348.7	2795	307.7	1034	307	1080
10	1776		407.9	1737	407.9	2144
11	2297.5		508.3	1890	515.3	2093
12	2873.8		650.2	3442	649.1	2203
13	3524		823.4	2387	827.2	2594
14	4297.9	7962	991.3	2652	1014.4	2739
15	5168.4	8717	185	3507	1226	3300

	Nom réseau	Z1345	Nom réseau	Z1234	Nom réseau	Z2345
# fils	<t>	tmax	<t>	tmax	<t>	tmax
1	13.3	52	13.5	53	13.3	33
2	15.5	72	15.7	55	15.3	73
3	23.4	199	24.8	130	20	132
4	37.1	248	44.1	293	29.7	274
5	65.3	338	70.2	393	48	227
6	97.6	494	110.1	633	68.3	301
7	147.7	696	153.4	859	97.2	678
8	203.5	993	217.8	750	134.2	983
9	270.9	934	288.6	956	173.6	694
10	362.1	2219	386.1	1679	233.7	1282
11	442.9	1350	479.8	2303	283.4	1139
12	552.2	1629	598.5	1962	351.4	1052
13	709.6	2706	766.7	3185	441.9	1612
14	846.4	2355	920.9	2747	527.6	1776
15	1005.9	2920	1106	3040	634.1	1693

D. Introduction au Langage Occam®

Une construction *[1]* débute par une ligne définissant le type de construction, suivi d'une suite d'instructions (indentées, elle se termine dès le retour de l'indentation au niveau initial).

Un unique processeur peut exécuter concurremment plusieurs processus et à l'intérieur des processus il peut exécuter concurremment plusieurs éléments. Deux processus peuvent être attribués à deux processeurs différents et donc être exécutés en parallèle. Ils peuvent ou non communiquer par un canal. Ce canal est unidirectionnel, un protocole avec accusé de réception (*handshake*) n'étant pas nécessaire car le synchronisme est assuré avec l'arrivée du message.

Lorsque les processus sont placés sur deux processeurs différents, le canal de communication est supporté par un canal physique, qui dans le cas du *Transputer* est l'un de ses quatre liens (*links*). Le lien est bidirectionnel et correspond à deux canaux de directions opposées. La contrainte imposée par le nombre de liens du *Transputer* conduit à introduire des tâches de multiplexage et dé-multiplexage des canaux logiques pour faire correspondre l'organisation des processus aux processeurs à disposition. Les canaux reliant les processus dans un seul et même processeur sont représentés par des positions mémoires (communes) et donc non limités.

Actions

Les nouveaux concepts par rapport à un langage comme Fortran sont la présence d'actions d'entrée et de sortie.

- entrée : obtention à travers un canal *Channel* d'une information du type de la variable *Var* et de la stocker dans celle-ci

Channel ? Var

- sortie : envoi d'une expression *Expr* à travers un canal *Channel* vers un autre processus

Channel ! Expr

Les autres sont standards, tels l'affectation, l'action vide *SKIP* (pas d'action), le blocage *STOP*.

Concurrence

L'expression **PAR** d'*Occam*® représente en fait la concurrence possible au niveau des éléments dans un même processeur. Elle provoque l'exécution non déterministe des éléments dans la construction et exige la commutation (*context switching*) des tâches réalisées par le processeur, commutation qui consomme des ressources (*overhead*). Néanmoins, le noyau du *Transputer* a été optimisé pour minimiser le temps de commutation :

- PAR

Element_1

Element_2

SEQ

Element_3

Il est important de définir des temporisations sur les actions d'entrée et de sortie (problème symétrique). Quelques règles de base s'énoncent comme suit :

Règle de temporisations : les temporisations doivent se faire sur les entrées et sur les sorties.

Règle de concurrence : les entrées-sorties doivent être faites concurremment au traitement.

Règle de communication : toute communication entre éléments et/ou processus se fait par des canaux.

Deux niveaux de priorité sont accessibles au niveau du matériel (*scheduler*) du *Transputer* et ce fait est représenté par le mot clé PRI placé devant une construction concurrente PAR.

Règle de priorité : les entrées-sorties doivent être faites en haute priorité.

Séquences

Vu que le concept de concurrence est explicitement défini, il faut aussi introduire celui de séquence pour l'exécution d'instructions :

- SEQ
 - Element_1
 - Element_2
 - SEQ
 - Element_3

Une séquence est terminée quand la dernière instruction a été réalisée.

Temps

Des horloges (*TIMER*) permettent la gestion relative de tâches. L'attente absolue et l'attente relative, ainsi que la comparaison et l'affectation sont permises. Soit une horloge *reloj* et *tiempo* une variable de type entier :

- l'affectation *reloj ? Expression*
- l'attente absolue *reloj ? AFTER Expression*
- l'attente relative *reloj ? tiempo*
- le délai *reloj ? AFTER tiempo PLUS Expression*

La résolution de l'horloge dépend de l'implémentation *hardware*. En particulier des capacités d'adressage du processeur (16 ou 32 bits).

Sélection et décomposition

Règle de sélection parmi plusieurs canaux possibles : si un processus attend des données provenant de plusieurs canaux, il est nécessaire d'introduire la construction de sélection ALT (*alternation*, choix), qui permet de choisir entre plusieurs éléments concurrents prêts à être exécutés :

ALT

Danscanal1 ? Tmp

SEQ

HorsCanal1 ! Tmp

DansCanal2 ? Tmp

SEQ

HorsCanal2 ! Tmp

Des conditions logiques, des "gardes", peuvent être exigées sur l'exécution des alternatives :

ALT

Permission1 & Danscanal1 ? Tmp

SEQ

HorsCanal1 ! Tmp

Permission2 & DansCanal2 ? Tmp

SEQ

HorsCanal2 ! Tmp

Une garde est soit une expression logique, le test d'un canal d'entrée, l'attente d'une temporisation ou une combinaison de ces deux dans une expression logique.

Décomposition

Les procédures en *Occam*® correspondent à des unités exécutables sur des processeurs différents. Les paramètres peuvent être passés soit par variable soit par constante, et ce dernier cas correspond au mot clé

VAL :

PROC delay (VAL INT retard)

INT n:

SEQ

n := retard

WHILE n > 0

n := n - 1

Il n'existe pas d'appel récursif en *Occam*®, toute procédure ayant son espace de travail (*workspace*) alloué par le compilateur.

Structures

Des constructions pour les tests et les boucles sont implémentées, ainsi que la réplication :

```

IF
  Condition1
    Construction1
  Condition2
    Construction2
TRUE
SKIP

WHILE condition          -- boucle conditionnelle
  Construction

SEQ compteur = valeur.début FOR iterations-- boucle séquentielle
  SEQ          -- répllication
    Element1
    Element2

```

La répllication d'une construction génère un vecteur qui s'exécute de manière concurrente, mais le nombre de répllications ne peut être qu'une constante, fixée au moment de la compilation, de nouveau la configuration statique est choisie pour des raisons de sécurité.

Déclarations

Plusieurs types de variables sont disponibles :

- entiers : INT16, INT32, INT64
- réels : REAL32, REAL64
- caractères : BYTE
- temps : TIMER
- canaux : CHAN OF *protocol*
- booléens : *TRUE / FALSE*

Le type d'information à transmettre peut être défini pour un canal et un protocole (format de paquet).

Règle de protocole : deux processus utilisant un même canal doivent respecter un même protocole de communication.

Un tableau "*Chain*" de type *BYTE* est défini comme suit :

- [12]*BYTE Chain* :

La structure d'*enregistrement* ne peut qu'être émulée, contrairement à ce qui est fait en Pascal :

[32]BYTE MaChaine

REAL64 MaChaine.Mon.reel

INT32 MaChaine.Mon.entier

BOOL MaChaine.Mon.logique

RETYPE MaChaine [00 FOR 8]

RETYPE MaChaine [08 FOR 4]

RETYPE MaChaine [12 FOR 1]

en utilisant l'instruction *RETYPE* sur un vecteur.

E. Valeurs pour les pavés scintillateurs

Zone morte [mm]	Nombre d'événements	Inefficacité
0	772	0.00%
1	741	4.02%
1.25	729	5.57%
1.5	721	6.61%
1.75	716	7.25%
2	707	8.42%
3	674	12.69%
4	645	16.45%
5	602	22.02%

Table 1

[1] Dick Pountain & David May, *A Tutorial Introduction to OCCAM® Programming, INMOS®*, BSP Professional Books 1988.

17. Remerciements

Ma reconnaissance et mon amitié vont au Professeur Claude Joseph, de l'IPN-Lausanne, sans lequel ce travail de doctorat n'aurait pu être mené à bien. Après m'avoir accueilli dans son groupe de recherche puis pris le risque de me soutenir, il m'a conseillé, suivi et encouragé en me permettant de réaliser ce projet.

Au Professeur R.W. Dobinson de Liverpool, expert du CERN, pour son enthousiasme et son support qui m'ont permis de relever ce défi. Je garde en mémoire son intérêt pour le *Track Trigger* dès notre première rencontre.

A Aurelio Bay, expert, maître assistant à l'IPN de Genève, pour ses conseils et ses remarques pertinentes. Son enthousiasme et son esprit critique m'ont guidé tout au long de ma quête.

A Helmut Wendler, *Section Leader*, expert CERN, sa patience et sa compétence technique ont facilité le développement de toute l'électronique. Ses conseils et humour nous ont aidé à rester sur la bonne voie.

A l'agréé M.-T. Tran, pour sa vision globale de la Physique. Je lui dois ma passion pour le "*Tracking*" et pour la rigueur expérimentale.

A Claude Comtat, doctorant de l'IPN-Lausanne, qui possède une volonté inébranlable et une subtilité profonde, pour son travail étonnant sur le réseau d'analyse.

A Weizaoh Lu, de Hefei (PR-Chine), pour son travail efficace et pour les systèmes de contrôles de l'acquisition.

Le Professeur Craig Dukes, de l'Université de Virginia (USA), a été d'un support constant. Son travail sur les particules chargées, ses Monte Carlo et analyse, sa confiance et son amitié sont autant de moments magiques que j'ai ressentis.

A Werner Huta, ingénieur électronicien du CERN, pour son amitié et de son soutien indéfectible, et pas uniquement pour le NSE et les PCA.

A Léonard Studer de l'IPN-Lausanne, pour ses conseils éclairés d'analyse. J'ai pu bénéficier de tous ses nombreux outils mathématiques et informatiques sortis de son imagination.

Au Professeur Leslie Camilleri, du CERN, pour sa patience et pour son soutien dans la mise en place de notre système dans UA6.

A tous mes collègues ayant participé à cette aventure des *Transputers*, à Jean-Pierre Perroud, à Monique Werlen, pour nos discussions passionnées, à mes collègues du CERN, Tim Cox et Vinay Singh, à tous les *shifteurs*.

A tous mes proches qui ont dû me supporter durant cette période, à ma femme Josiane, à José Kenneth et Luis Duncan.

A Claude Nicks, sa ferveur, pour les multiples nuits blanches enfumées qui ont été nécessaires pour relever le défi de la PCA. Son amitié, son intelligence débridée ont été autant d'atouts dans ma manche.

A Philippe Schweizer, chargé de cours à l'EPFL, Project Leader, pour son génie et son soutien, j'ai pu bénéficier de son travail de pionnier dans le domaine du parallélisme.

18. Curriculum Vitæ

Nom : PAGÉS
Prénom : José-Louis
Age : 31 ans
Lieu de naissance : Vevey, (VD) Suisse
Nationalité : Espagnole
Domicile : CH-1800 Vevey



Scolarité : Suisse école primaire à Vevey
 collège secondaire à Vevey
 Espagne école primaire du soir à Vevey
 collège secondaire du soir à Vevey
Etudes : Suisse gymnase à Burier (CESSEV)
 - *maturité fédérale type C en 1980*
 études de physique à l'Ecole Polytechnique Fédérale de
 Lausanne (EPFL)
 - *diplôme d'ingénieur-physicien en 1986*
 Espagne gymnase du soir à Lausanne (INBAD)
 - *maturité lettres (latin-grec) à Lausanne (BUP) en 1980*
 orientation universitaire (COU)
 - *certificat d'admission à l'Université (COU) en 1981 à Berne*

Activités de 1986-1991 : Assistanat à Institut de Physique Nucléaire de l'Université de Lausanne;
 participation à l'enseignement; travail de thèse sous la direction du
 professeur Claude Joseph, dans le cadre de l'expérience UA6 au CERN

Activités de 1991-1993 : *Fellow* au CERN, Division ECP, en charge du groupe temps réel dans le
 cadre des projets ESPRIT GP-MIMD et Harmony

[Février 1993]

19. Bibliographie

D. H. Menzel, *Fundamental Formulas of Physics* :

Volume One

Volume Two

Dover Publications, Inc., New York, 1960, ISBN 0-486-60595-7

P. Horowitz & W. Hill, *The Art of Electronics*, Cambridge University Press, Cambridge 1980, 1989

R. K. Bock, H. Grote, D. Notz & M. Regler, *Data analysis techniques for high-energy physics experiments*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990

A. W. Roscoe & C. A. R. Hoare, *The Laws of OCCAM Programming*, Oxford University Computing Laboratory, Programming Research Group, 1986

A. Schütte & D. Feldmann, *OCCAM2 Software tools*, McGraw-Hill, Hamburg 1988

INMOS® Limited, *occam 2 Reference Manual*, Prentice Hall, C.A.R. Hoare, 1988

INMOS® Limited, *Communicating Process Architecture*, Prentice Hall, 1988

INMOS® Limited, *Transputer Development System*, Prentice Hall 1988

INMOS® Limited, *Transputer Instruction Set : A compiler writer's guide*, Prentice Hall, 1988

INMOS® Limited, *The Transputer Applications Notebook : Systems and Performance*, First Edition June 1989

INMOS® Limited, *The T9000 Transputer • Products Overview • Manual*, First Edition 1991

D. Pountain & D. May, *A Tutorial Introduction to OCCAM Programming*, BSP Professional Books, 1988

E. Lohrmann, *Hochenergiephysik*, Teubner Studienbücher, Physik, Stuttgart 1981

K. Kleinknecht, *Detektoren für Teilchenstrahlung*, Teubner Studienbücher, Physik, Stuttgart 1984

T. Mayer-Kuckuk, *Atomphysik*, Teubner Studienbücher, Physik, Stuttgart 1980

L. Artsimovitch & S. Loukianov, *Mouvement des particules chargées dans des champs électriques et magnétiques*, Editions MIR, Moscou, 1975

Université de Lausanne, Faculté des Sciences, E. Winkelmann (Thèse), *Capture radiative des Π par le noyau de ${}^6\text{Li}$* , Clausthal-Zellerfeld, Bönecke Druck, 1978

R. Zaks & P. Le Beux, *Les Microprocesseurs (techniques et applications)*, Sybex, Paris, 1977, 1978, 1980

XILINX, *The Programmable Gate Array Data Book*, Xilinx, 1988

R. Brun, O. Couet, C. Vandoni & P. Zanarini, *CERN Program Library Entry Q121 • PAW - Physics Analysis Workstation • The Complet Reference • Version 1.07 (October 1989)*, CERN Geneva, Switzerland, M. Goossens, fifth corrected printing, June 1991

M. Regler & R. Frühwirth, *Schliessende Statistik im Experiment (mit Einführung in Wahrscheinlichkeitslehre und Monte Carlo-Rechnung)*, MSV Molden Schulbuch-Verlag, ISBN 3-217-02023-3

S. Fdida & G. Pujolle, *Modèles de Systèmes et de Réseaux :*

Tome 1 : Performance

Tome 2 : Files d'attente

Eyrolles, Paris, 1989

J.R. Cameron, *JSP AND JSD : The Jackson Approach to Software Development (second Edition)*, IEEE Computer Society Press, 1989

S. L. Pfleeger, *Software Engineering : The Production of Quality Software (Second Edition)*, Maxwell Macmillan International Editions, 1991

K. Hwang & F.A. Briggs, *Computer Architecture and Parallel Processing*, McGraw-Hill International Editions, Computert Science Series, 1985

W. M. Newman & R. F. Sproull, *Principles of Interactive Computer Graphics (second Edition)*, McGraw-Hill International Editions, Computert Science Series, 1979

M. J. Quinn, *Algorithmenbau und Parallelcomputer*, McGraw-Hill-Texte, Hamburg, 1987

B. Müller & J. Reinhardt, *Neural Networks : An Introduction*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1990

20. Addenda techniques

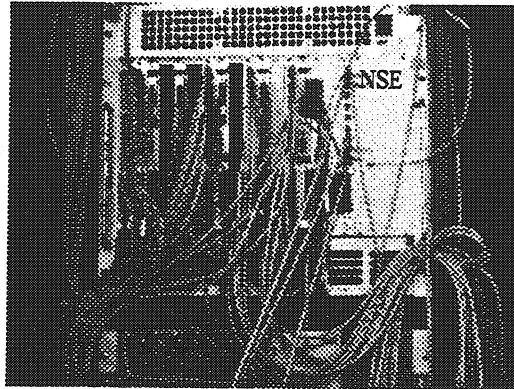
Les deux modules développés dans le cadre du *trigger* pour des particules chargées de l'expérience UA6 sont décrits ci-après. Les caractéristiques techniques des modules sont présentées en anglais. Les schémas de l'électronique sont fournis pour référence. D'autres détails peuvent être obtenus sur demande à l'auteur.

NSE I

New System Encoder module

FEATURES

- IMS-T800 *Transputer* at 25 MHz
- Up to 64 Kbytes of zero-wait-state RAM (80 ns memory cycle)
- Communication via 3 bidirectional RS-422 driven serial links
- fast logic to decode experiment pretrigger signals with a C011
- designed to control acquisition for *RMH system*
- master module for PCA chain



Front Panel signals

- Links (I/O) : RS-422 *Transputer* links (3)
- Working (I) : Data acquisition status (1=read data, 0=standby)
- Start read (I) : Start Read RMH strobe to PCA
- Reset (I) : *Transputer* reset
- Analyse (I) : *Transputer* analyse input
- Error (O) : *Transputer* error output
- Pretrigger signals (I) : Λ , charged and non-charged particles from experiment
- Trig Host (O) : Inform host computer that an accept has been generated by the network analysis of data
Forces the readout of the event
- Strobe RMH (O) : Strobe RMH modules (NIM)
- Reset CE (O) (NIM level)
- Reset PCA (O) : External reset signal for PCA and CE

Fast logic

Three logical Input a,b or c in NIM level 0 = 0 V, 1 = -0.8 V

- one OR output (a+b+c)
- one Read RMH output

This output is obtained by the programming "and, or" of the three input (a,b,c) via CAMAC words (W1,W2,W3,W4).

The 3 input pattern (given by pretriggers signals) can be decoded by the control logic to give a *trigger* or not.

Control logic

It assumes the connection between the CAMAC bus and the *Transputer* on the board connected to all the acquisition boards via *Transputer* links. The *Transputer* decodes the pretrigger patterns to issue a *trigger* or a reset signal. Data are transferred in DMA mode at the maximum speed of the CAMAC and controlled by the Q response.

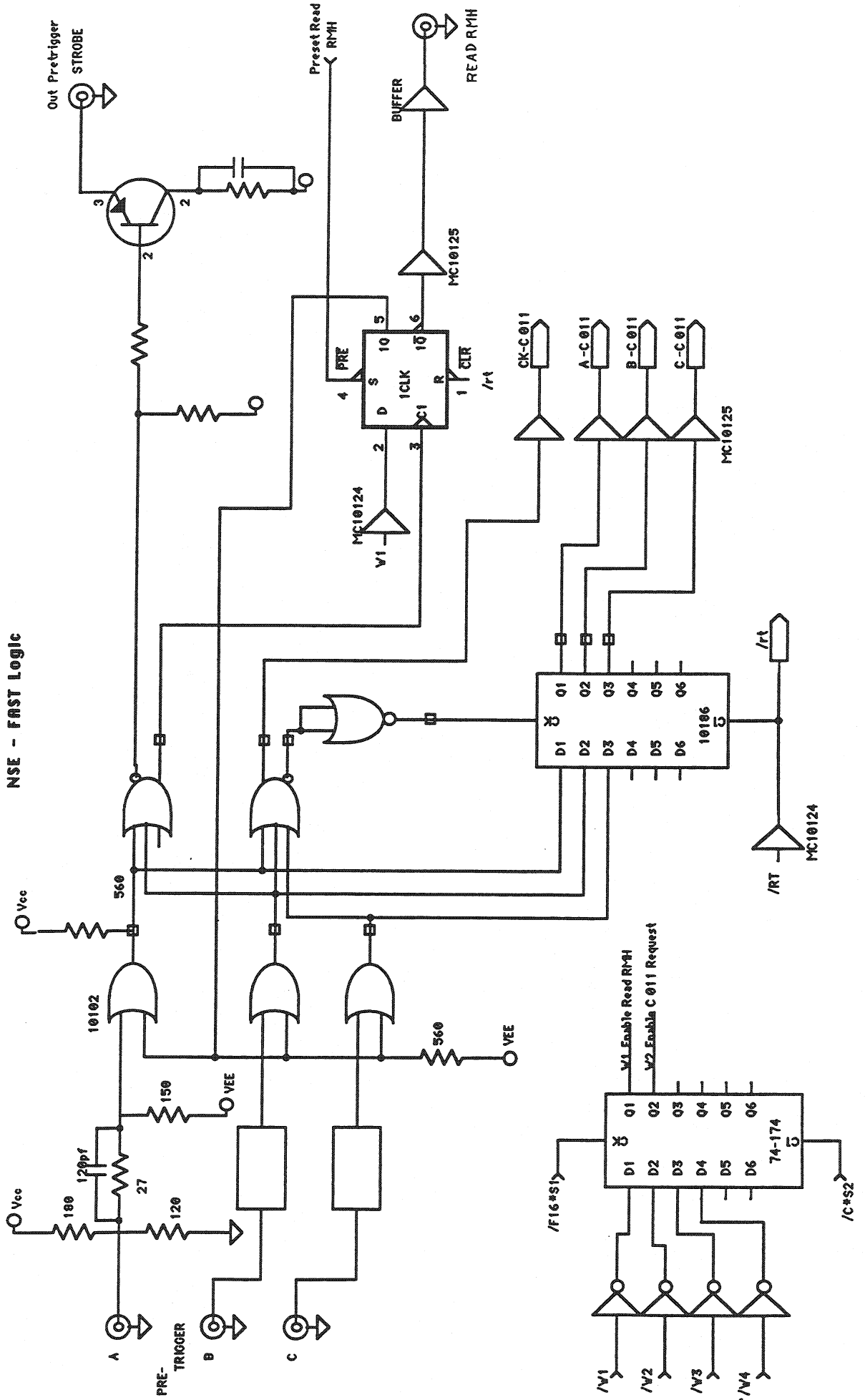
List of used CAMAC functions

F2*A0	read data
F8*A0	test Block End
F9*A0	reset Register
F16*A0	write data
F25*A0	start read out
Z*S2	reset register
C*S2	clear data register
Busy	set by F25
!Busy	set by Z*S2 + F9
BE	set by Busy*EOR (end of record last word)
!BE	set by F9 + F25

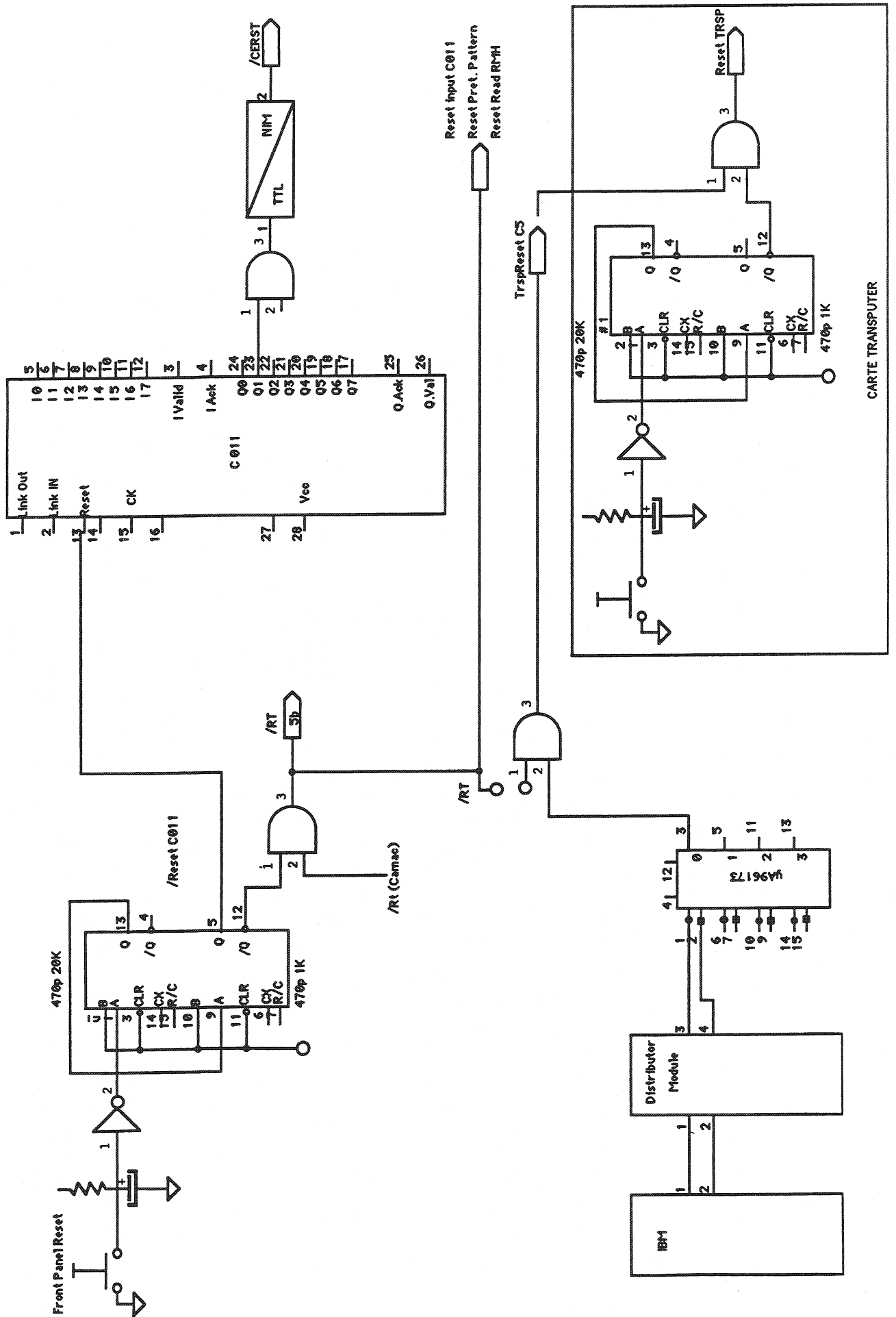
For the C011 link interface to pretrigger signals, the three bit register can be read out by using the PORT instruction and it has been placed AT the address #3C000000 in the *Occam*® map.

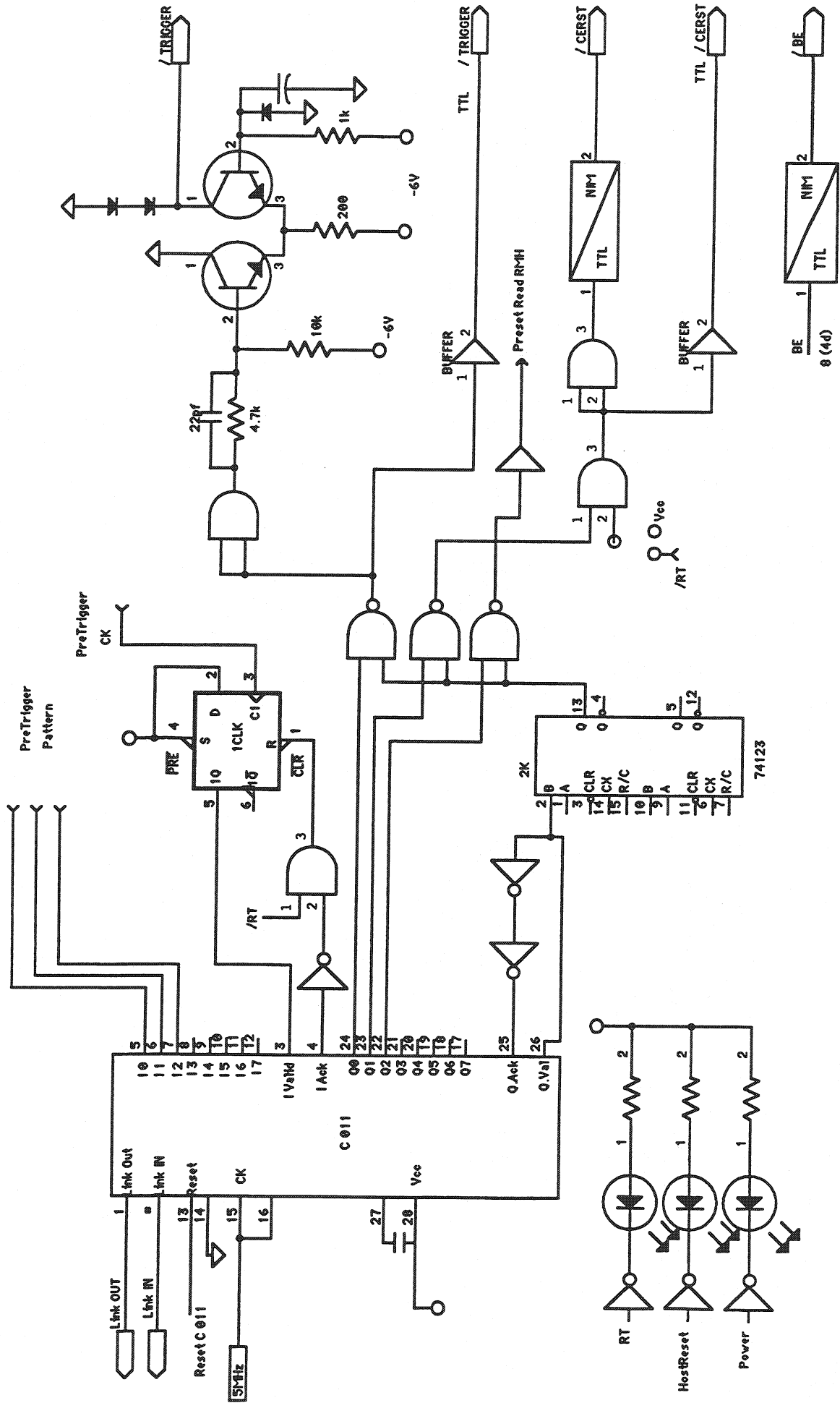
Electronics schematics NSE

Electronics schematics are following.

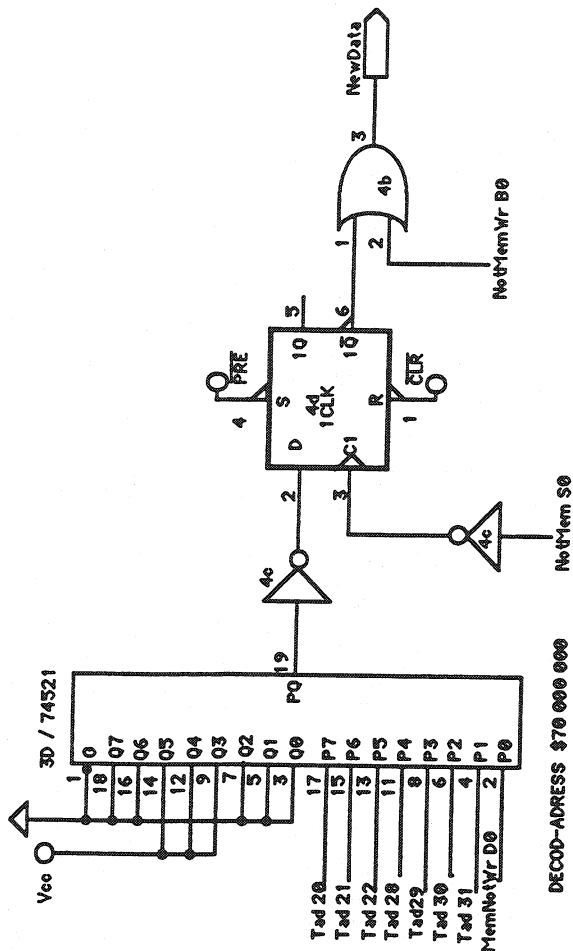


NSE - RESET LOGIC

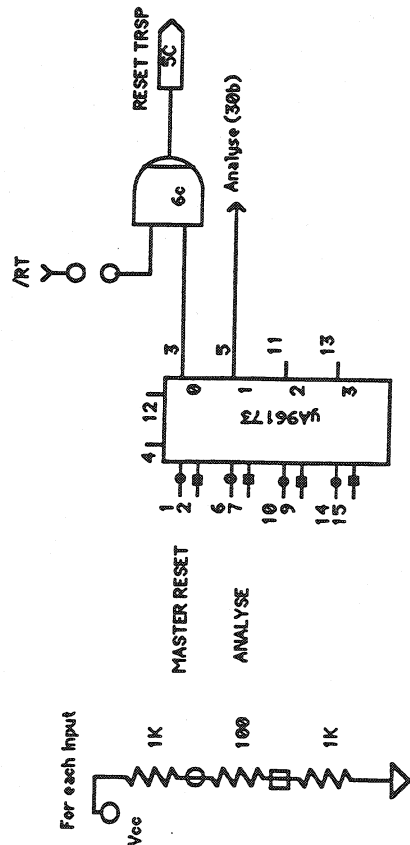
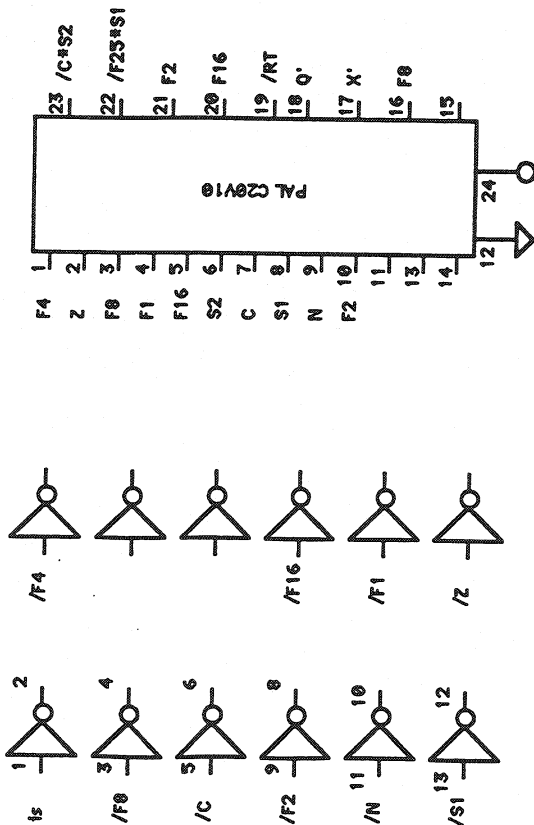


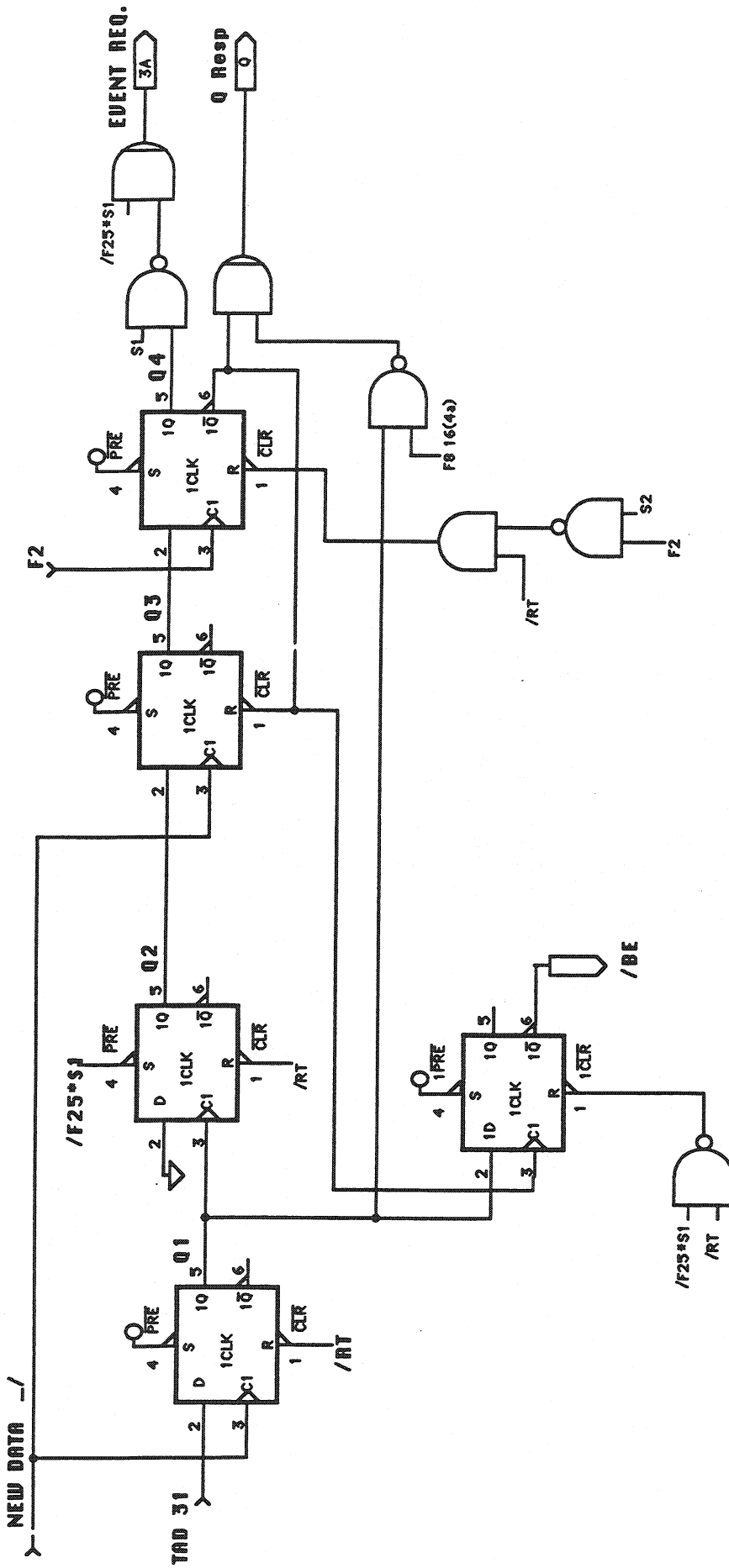


NSE Camac Function



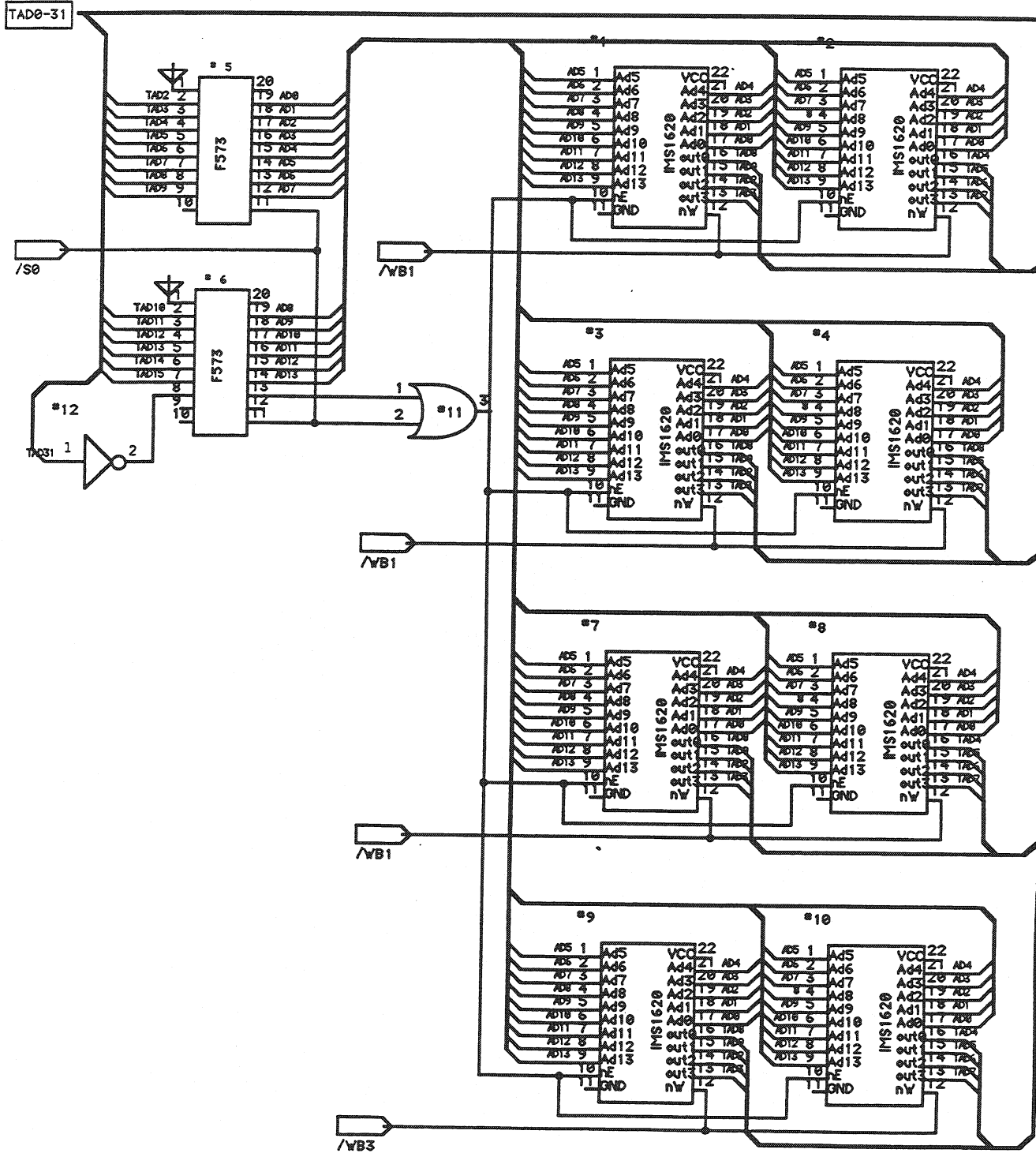
DECOD-ADDRESS \$70 000 000





INPUT /RT . /F25*S1 . NEW DATA . F2 . S2 . TAD31 . F8

OUTPUT /BE . /Q . EVENT REQUEST



PCA board technical description

La disposition de la mémoire dans la PCA permet de récupérer 4 KB de mémoire interne lorsque la mémoire extérieure est étendue à 64 KB ou 128 KB :

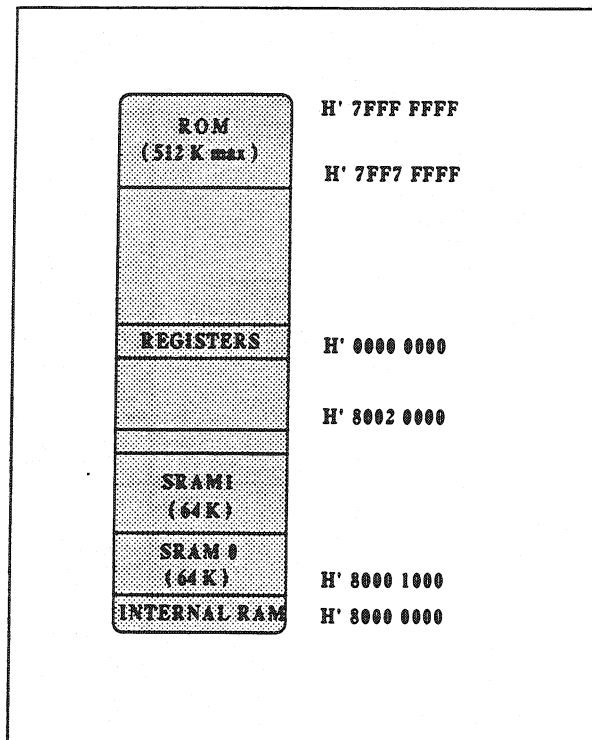


Fig. 8 : Disposition de la mémoire sur la PCA

Configuration 64 KB : recouvrement récupéré en fin de SRAM0

Configuration 128 KB : recouvrement récupéré en fin de SRAM1

20.2.1. Electronics schematics PCA

Presented here after are the electronics schematics from the PCA module.



PCA II

Parallel Crate Acquisition module

FEATURES

- IMS-T425 transputer at 25 MHz
- Up to 128 Kbytes of no-wait-state SRAM (80 ns memory cycle time)
- Up to 512 Kbytes of EPROM (from 120 ns to 240 ns jumper selectable cycle time)
- Communication via 4 bidirectional RS-422 driven serial links
- Designed to control the Crate Encoder module

GENERAL DESCRIPTION

The PCA II is designed to interface the existing CERN RMH (Receiver Memory Hybrid) system to a transputer network. Each PCA II board controls the readout of one Crate Encoder (CE) module. The synchronization between PCA II modules is ensured via a daisy chain control bus which is connected to the New System Encoder (NSE).

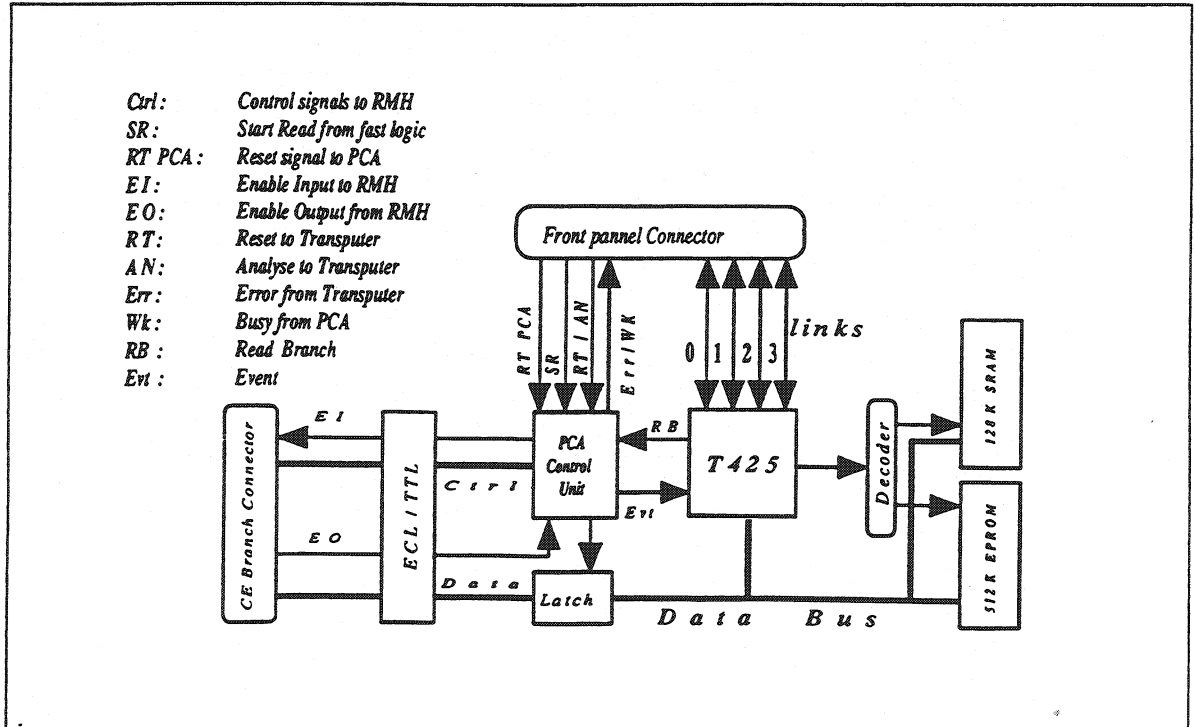


Figure 1: PCA II block diagram .

ARCHITECTURAL OVERVIEW

THE IMS-T425 TRANSPUTER

The INMOS IMS-T425 tranputer is a 32 bit CMOS microcomputer with 4 Kbytes on-chip RAM for high speed processing, a configurable memory interface and four standard INMOS communication links. The IMS-T425 provides high performance arithmetic and microcode support for floating point operations. Running at 25 MHz the device achieves an instruction throuput of 12.5 MIPS.

THE PCA II MEMORY

On the PCA II, the IMS-T425 tranputer can directly access a 32 bit wide memory divided into two blocks allocated to SRAM and EPROM. Depending on the on-board jumper setting, 64 Kbytes or 128 Kbytes of SRAM are used by the processor. The no-wait-state access to this memory provides a data rate of up to 4 bytes every 120 nanoseconds (33 Mbytes/sec) for the 25 MHz device. Up to 512 Kbytes of EPROM are mapped at the end of the address space. The memory type and access time are selected via three on-board jumpers. This permits the use of memories with five different capacities and with data access cycles of 160 to 280 nanoseconds (1-4 wait states).

THE PCA II INTERFACES

To interface to the external environment, the PCA II board features three dedicated ports:

- The Crate Encoder interface, including an ECL/TTL conversion stage followed by a 32 bit (27 data bits and 5 CE status bits) tranputer memory mapped latch.
- The New System Encoder interface, organized in a daisy chained control bus (6 control lines) which allows the supervision and the synchronization of the multi-PCA II system.
- The link interface, permitting the direct point to point connection with other tranputers. To ensure a good noise tolerance the four bidirectional serial links are RS-422 driven. Each link can transfer data at up to 2.35 Mbytes/sec for a 20 Mbits/sec operating speed.

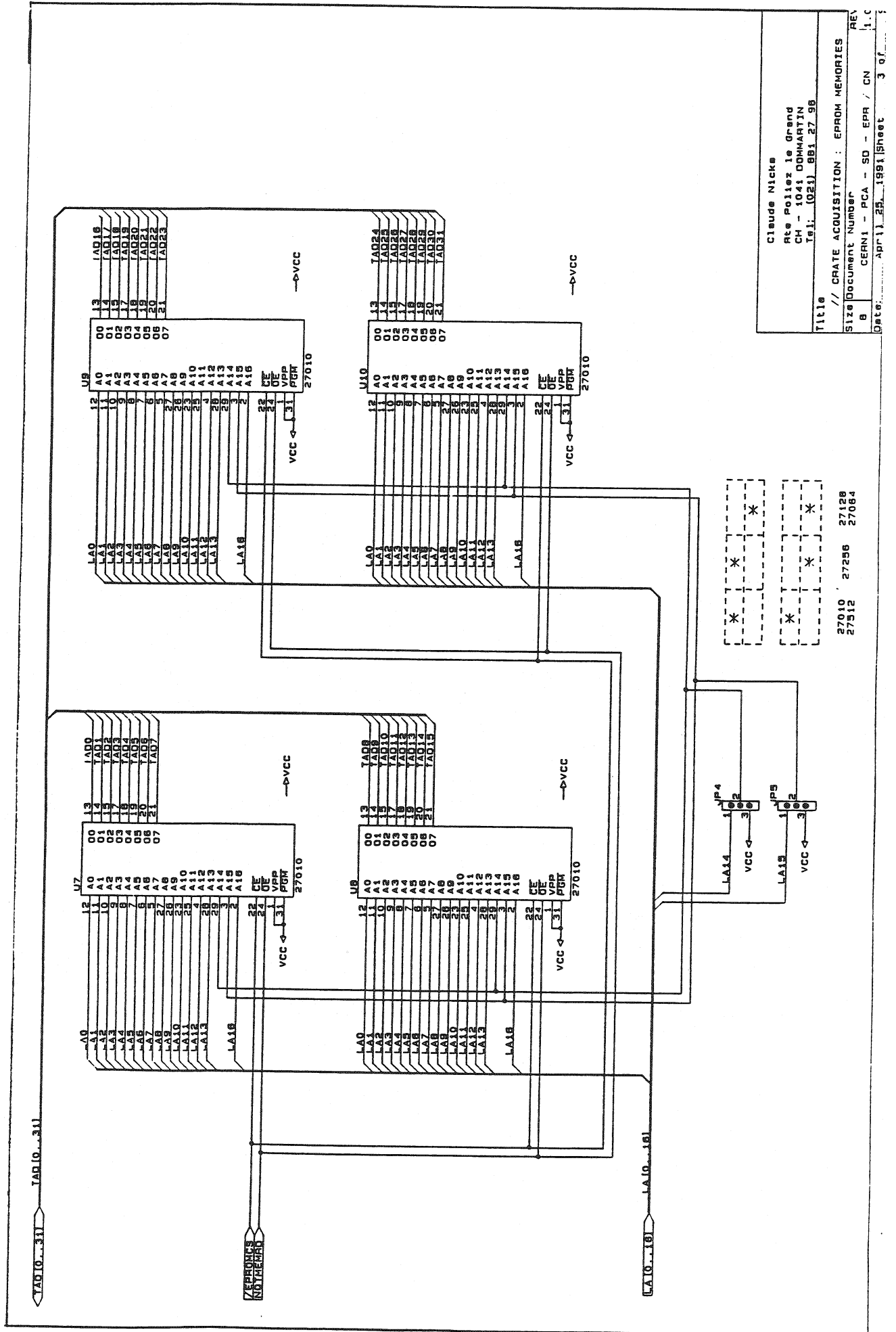
THE PCA II CONTROL UNIT

All timings on the PCA II board are handled by two specialized PALs:

- The decoding PAL, managing the access to the different memory banks and controlling the wait-state generation.
- The control PAL, monitoring the NSE and CE interfaces.

The maximum time to read the CE data patterns into the tranputer memory can be estimated to 620 nanoseconds (500 ns event cycle + 120 ns read cycle) giving a CE data throuput of 1.6 Mpatters/sec.

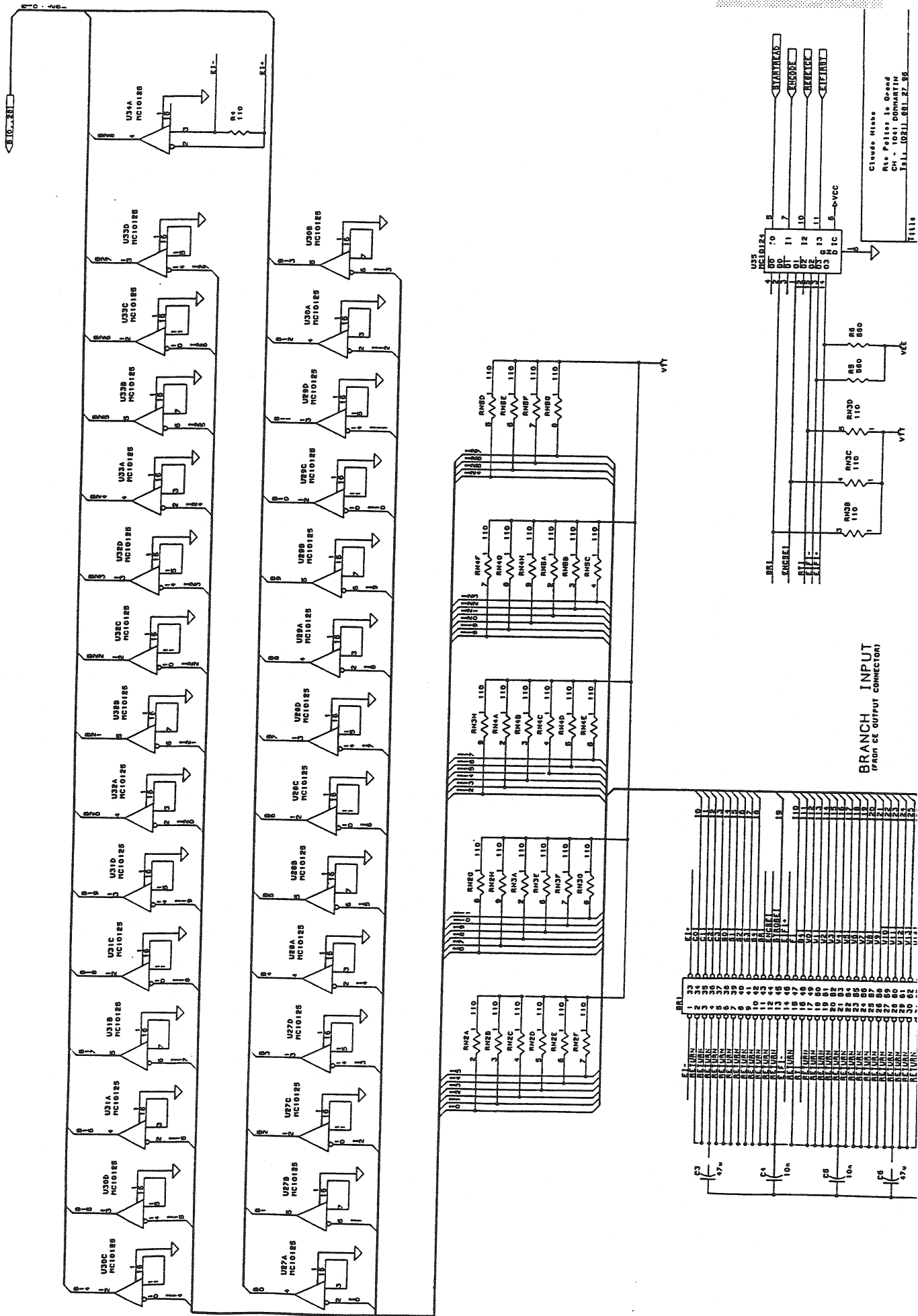
CN-4/14/92



Claude Nicks
 Rte Poliez le Grand
 CH - 1041 DOMMARTIN
 Tel. (021) 881 27 98

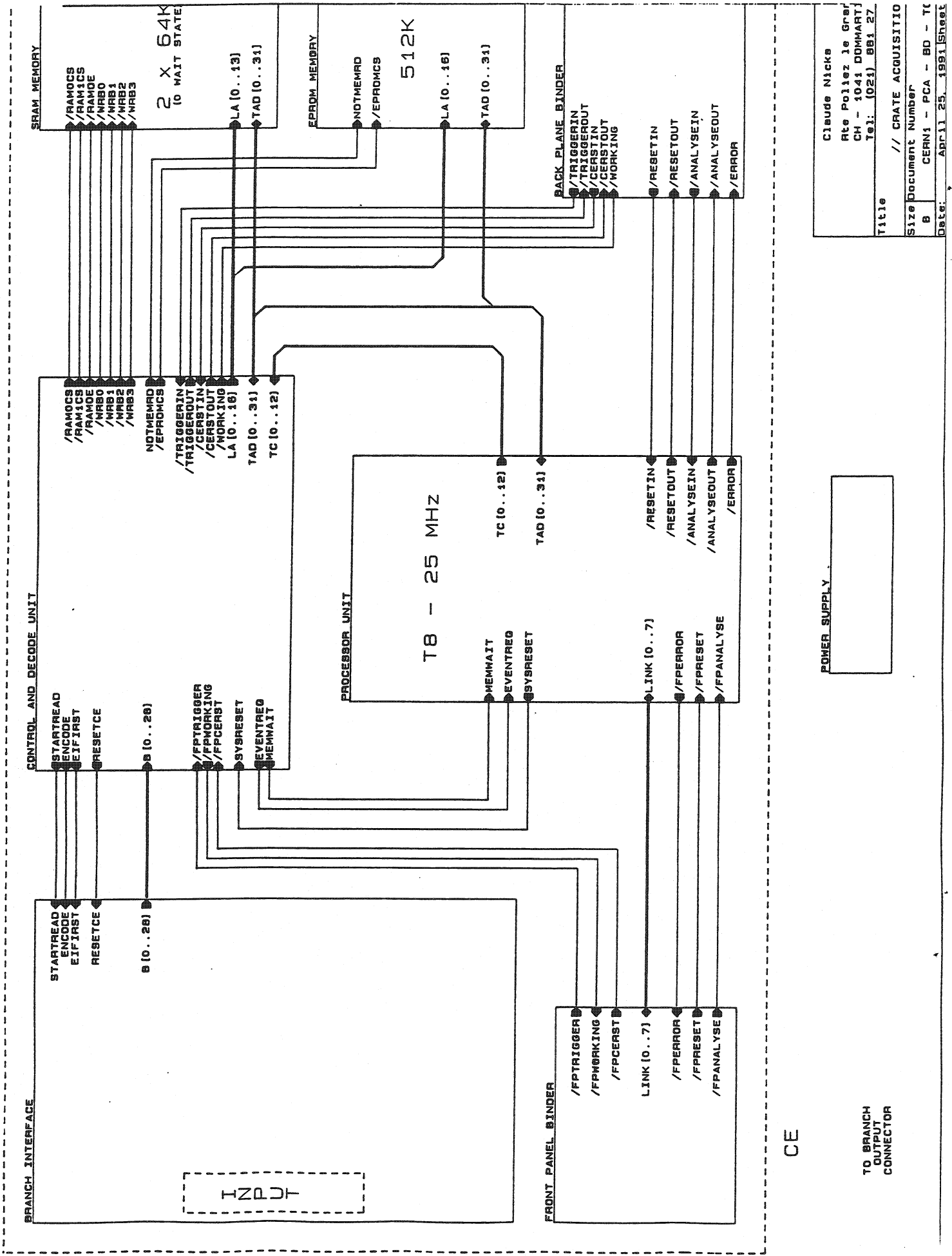
Title // CRATE ACQUISITION : EPROM MEMORIES
 Size Document Number
 B CERN1 - PCA - SD - EPR / CN
 Date: April 25, 1991 Sheet 3 of 3

27010 27256 27128
 27512 27084



BRANCH INPUT
(FROM CE OUTPUT CONNECTOR)

Cloude Hesse
Rio Politec de Grand
CH - 1041 DOMMARTIN
Tél. 02811 881 27 88

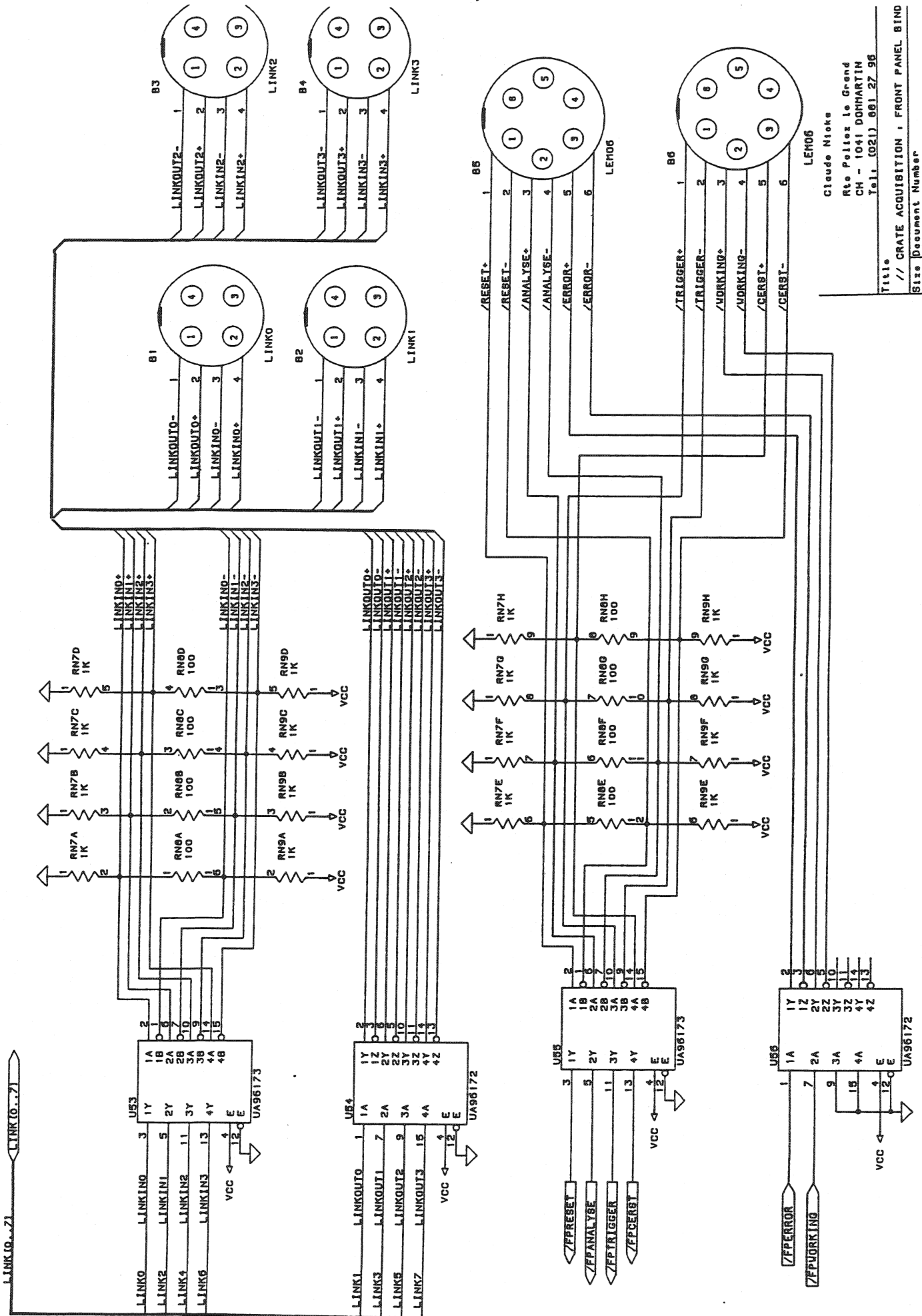


Claude Nicks
 Rte Pollez le Graf
 CH - 1041 DOMMARTIN
 Tel: (021) 881 27

// CRATE ACQUISITION

Size Document Number
 8
 CERN1 - PCA - BD - TC

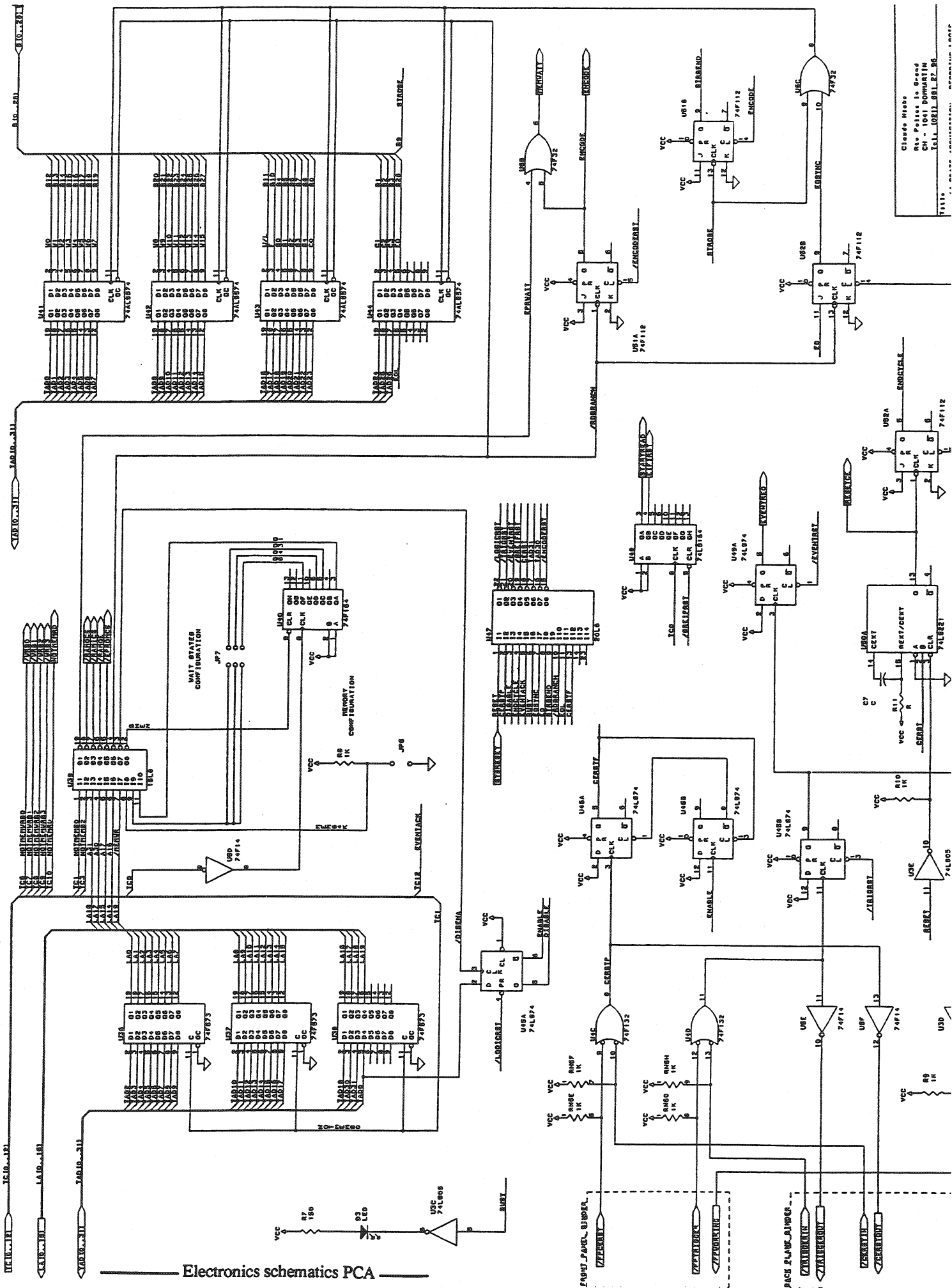
Date: April 25, 1991 Sheet



Cloude Nioka
 Rte Poliez le Grand
 CH - 1041 DOMMARTIN
 Tel: (021) 661 27 96

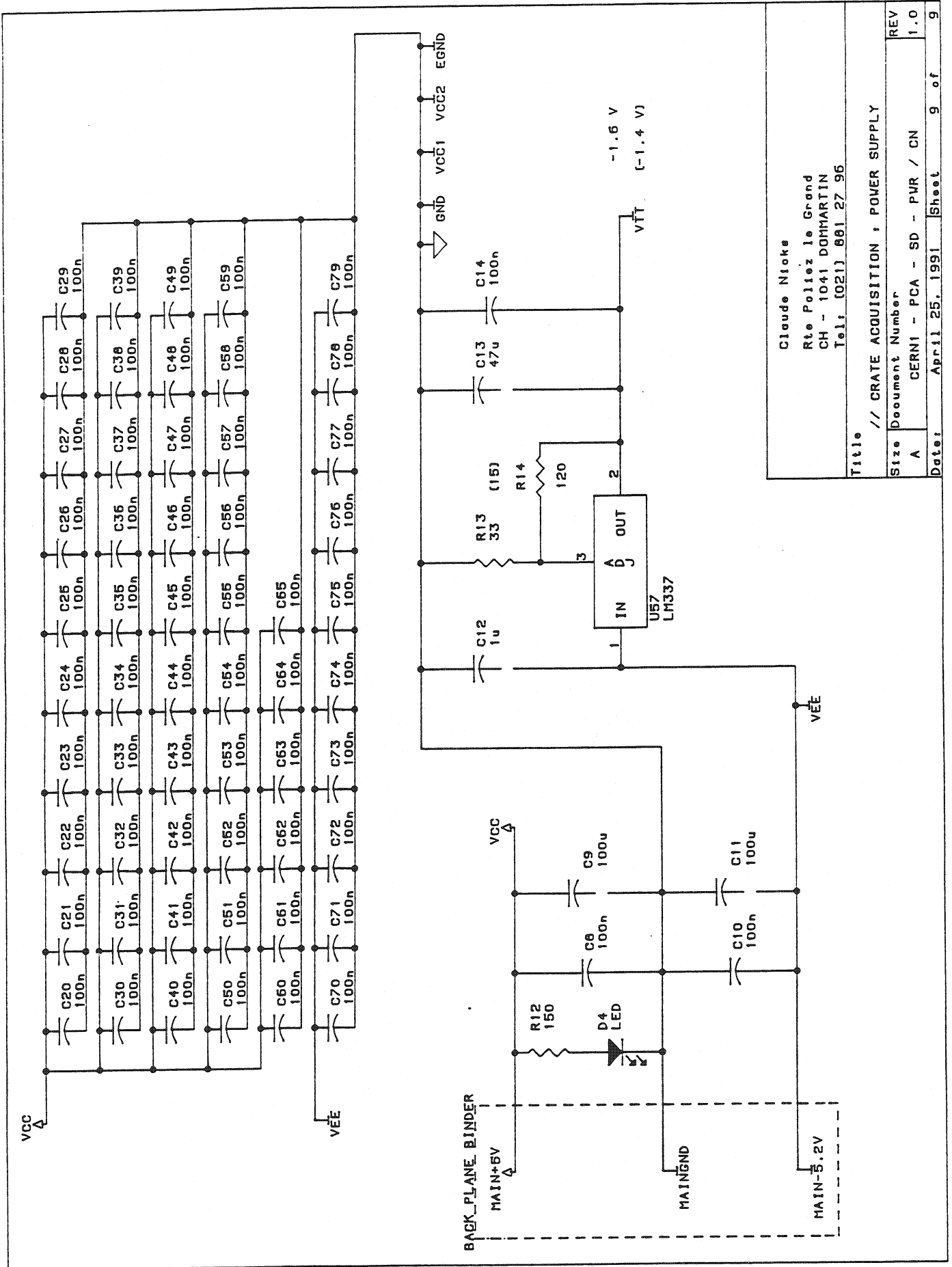
Title
 // GRATE ACQUISITION - FRONT PANEL BIND

Size Document Number



Electronics schematics PCA

Close to Board
Also Refer to Board
CN - TEST DOMINANCE
CALL U1A1, U1A2, U1A3, U1A4, U1A5, U1A6, U1A7, U1A8, U1A9, U1A10, U1A11, U1A12, U1A13, U1A14, U1A15, U1A16, U1A17, U1A18, U1A19, U1A20, U1A21, U1A22, U1A23, U1A24, U1A25, U1A26, U1A27, U1A28, U1A29, U1A30, U1A31, U1A32, U1A33, U1A34, U1A35, U1A36, U1A37, U1A38, U1A39, U1A40, U1A41, U1A42, U1A43, U1A44, U1A45, U1A46, U1A47, U1A48, U1A49, U1A50, U1A51, U1A52, U1A53, U1A54, U1A55, U1A56, U1A57, U1A58, U1A59, U1A60, U1A61, U1A62, U1A63, U1A64, U1A65, U1A66, U1A67, U1A68, U1A69, U1A70, U1A71, U1A72, U1A73, U1A74, U1A75, U1A76, U1A77, U1A78, U1A79, U1A80, U1A81, U1A82, U1A83, U1A84, U1A85, U1A86, U1A87, U1A88, U1A89, U1A90, U1A91, U1A92, U1A93, U1A94, U1A95, U1A96, U1A97, U1A98, U1A99, U1A100



Cloude Nioko
 Rte Politez le Grand
 CH - 1041 DOMMARTIN
 Tel: (021) 691 27 96

Title // CRATE ACQUISITION : POWER SUPPLY

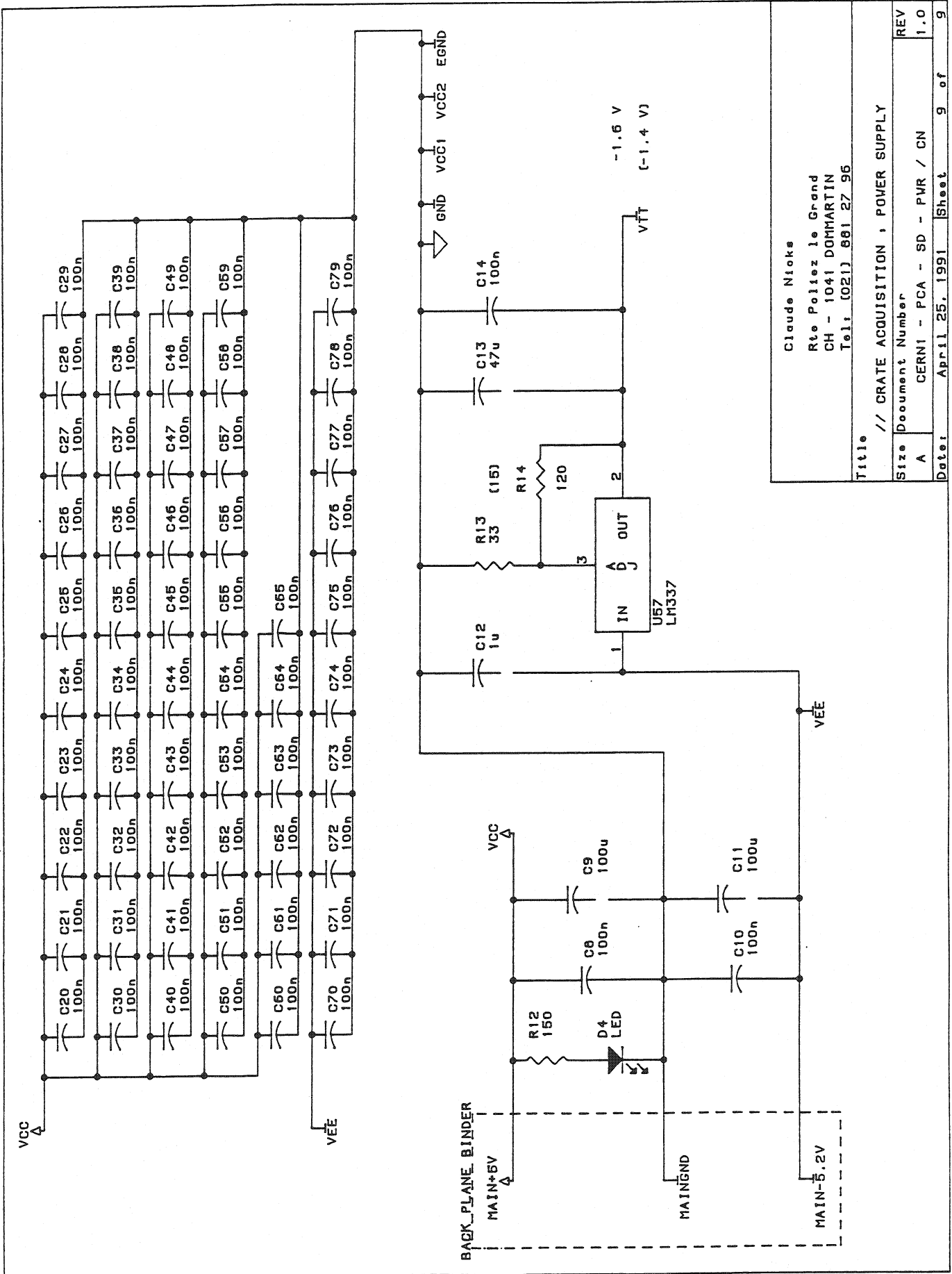
Size	Document Number	REV
A	CERN1 - PCA - SD - PVR / CN	1.0

Date: April 25, 1991 Sheet 9 of 9

Temps d'analyse du réseau

z25	Moyenne	Maximum	Rapport		z1234	Moyenne	Maximum	Rapport
1	25.9	48	-0.460416667		1	13.5	53	-0.745283019
2	43.6	132	-0.66969697		2	15.7	55	-0.714545455
3	66	149	-0.55704698		3	24.8	130	-0.809230769
4	94.3	213	-0.557276995		4	44.1	293	-0.849488055
5	127.5	257	-0.503891051		5	70.2	393	-0.821374046
6	160	357	-0.551820728		6	110.1	633	-0.826066351
7	200.6	370	-0.457837838		7	153.4	859	-0.821420256
8	244.5	438	-0.441780822		8	217.8	750	-0.7096
9	293.1	508	-0.423031496		9	288.6	956	-0.698117155
10	349.4	709	-0.50719323		10	386.1	1679	-0.770041691
11	400.9	737	-0.456037992		11	479.8	2303	-0.791663048
12	462.4	865	-0.465433526		12	598.5	1962	-0.694954128
13	528.4	873	-0.394730813		13	766.7	3185	-0.759277865
14	596.8	1041	-0.426705091		14	920.9	2747	-0.664761558
15	673.8	1090	-0.381834862		15	1106	3040	-0.636184211
z24	Moyenne	Maximum	Rapport		z2345	Moyenne	Maximum	Rapport
1	21.8	42	-0.480952381		1	13.3	33	-0.596969697
2	36.2	86	-0.579069767		2	15.3	73	-0.790410959
3	53.4	130	-0.589230769		3	20	132	-0.848484848
4	74.5	165	-0.548484848		4	29.7	274	-0.891605839
5	97.2	176	-0.447727273		5	48	227	-0.788546256
6	123.3	275	-0.551636364		6	68.3	301	-0.773089701
7	152.9	283	-0.459717314		7	97.2	678	-0.856637168
8	183.6	298	-0.383892617		8	134.2	983	-0.863479145
9	219	361	-0.393351801		9	173.6	694	-0.749855908
10	255.5	450	-0.432222222		10	233.7	1282	-0.817706708
11	287.4	547	-0.474588665		11	283.4	1139	-0.75118525
12	338.1	603	-0.439303483		12	351.4	1052	-0.665969582
13	384.2	708	-0.457344633		13	441.9	1612	-0.725868486
14	432.7	706	-0.387110482		14	587.6	1776	-0.669144144
15	482	693	-0.304473304		15	634.1	1693	-0.625457767
z34	Moyenne	Maximum	Rapport		uvy1	Moyenne	Maximum	Rapport
1	22	38	-0.421052632		1	27.8	42	-0.338095238
2	35	70	-0.5		2	57.9	97	-0.403092784
3	51.5	112	-0.540178571		3	115.5	228	-0.493421053
4	69	142	-0.514084507		4	206.4	424	-0.513207547
5	90.6	165	-0.450909091		5	326.3	708	-0.539124294
6	112.3	224	-0.498660714		6	500.3	1050	-0.52352381
7	137.1	246	-0.442682927		7	726	1555	-0.533118971
8	166.4	315	-0.471746032		8	1015.9	2035	-0.500786241
9	193.6	397	-0.512342569		9	1348.7	2795	-0.51745975
10	227.7	377	-0.39602122		10	1776		
11	255	446	-0.428251121		11	2297.5		
12	291.8	491	-0.405702648		12	2873.8		
13	333	571	-0.416812609		13	3524		
14	372.7	635	-0.413070866		14	4297.9	7962	-0.460198443
15	413.4	665	-0.378345865		15	5168.4	8717	-0.407089595

UA6TrackTrigger



Cloude Nicks
 Rte Politez le Grand
 CH - 1041 DOMMARTIN
 Tel: [021] 891 27 96

Title // GRATE ACQUISITION, POWER SUPPLY

Size	Document Number	REV
A	CERNI - PCA - SD - PVR / CN	1.0

Date: April 25, 1991 Sheet 9 of 9

20.3. Le programme de *monitoring*

Ce module permet à l'utilisateur de contrôler le système entier. Il met à disposition un menu de commandes permettant de modifier des paramètres et de sélectionner des actions. Il incorpore un décodage des données test emmagasinées sur le disque dur de l'IBM®-PC et la génération d'histogrammes. Ce module s'exécute sur le module *Transputer* de l'IBM®-PC.

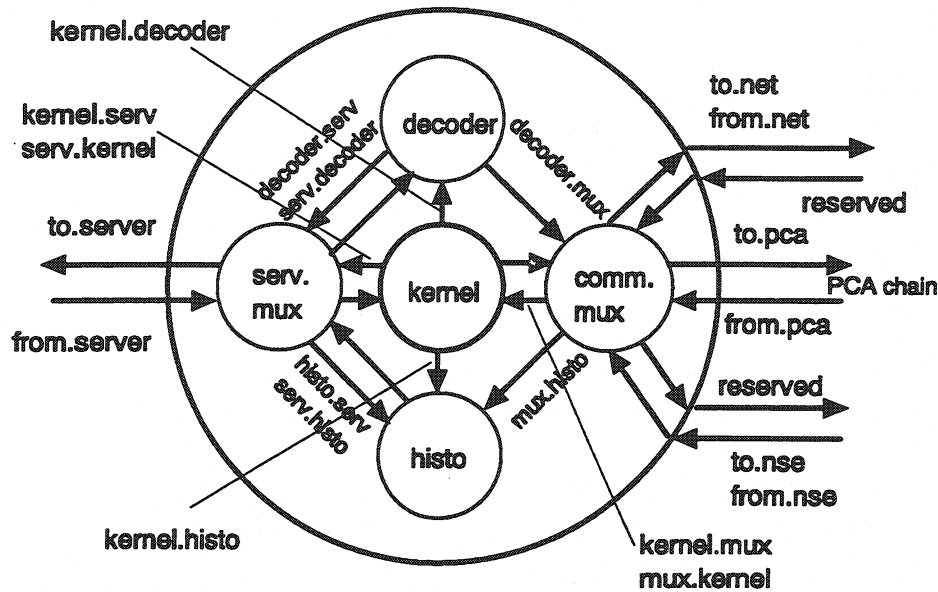


Fig. 9 : Processus de contrôle (résidant sur le *root Transputer*)

Le *Kernel* (noyau) reçoit des commandes de l'utilisateur, contrôle la création et la mise à jour des histogrammes, gère le décodage des données du disque, filtre les messages de *warning* des PCA et NSE et fait le *monitoring* du système. Le module *Decoder* assure le décodage des données du disque permet de les présenter aux modules *hardware* du réseau d'analyse avec le même format que si elles provenaient des PCA. Le processus *Histo* recueille les *patterns* des fils touchés des PCA et génère la distribution des fils et les histogrammes de contrôle. Comme tous les trois processus doivent communiquer avec les PCA et le serveur, il y a deux processus pour effectuer le multiplexage des données. Le module *Serv.Mux* en plus de transférer les données entre le serveur et les trois processus assure la gestion de l'affichage en générant le menu de commandes, le rafraîchissement des données, etc. *Comm.Mux* est uniquement un multiplexeur. Tout processus voulant communiquer avec l'extérieur (la chaîne PCA) communiquera d'abord avec *Comm.Mux*. Lors de la réception de données de la chaîne PCA, il décode le *tag* du message et décide du destinataire du bloc de données reçu.

L'environnement de travail mis à disposition pendant la période expérimentale a été réalisé sous MS-Windows™ 3.0 et l'interface graphique utilisateur a été programmé en Microsoft®-C™. Le logiciel de *INMOS® Transputer Development System (TDS)* a été porté sous l'environnement Windows.

20.4. Les stations de travail

Deux stations de travail ont été employées pendant la période de debug du système. Ce sont des IBM®-PC compatibles Olivetti®, 386DX-25, auxquels étaient interfacés deux cartes *INMOS® IMS-B008* comprenant de 2 à 4 TRAMs sur le bus ISA de l'ordinateur. Par la suite, une seule station de travail a été nécessaire pour le *monitoring* et le chargement du code.

20.5. Mesures sur le réseau (simulation)

Ces mesures sont données pour des distributions de fils touchés générée par Monte Carlo suivant la distribution réelle. Pour la signification des noms des réseaux, veuillez consulter le chapitre 8.2.2. Les réseaux.

20.6. Listings

Les *listings* des différents programmes sont disponibles sur demande aux adresses suivantes :

- C. Comtat, Institut de Physique Nucléaire, Section de Physique, Université de Lausanne, BSP, Dorigny, CH-1015 Lausanne, Switzerland
- W. Lu, Division ECP, CERN, CH-1211 Genève 23, Switzerland

Le code pour la recherche de traces chargées dans le réseau d'analyse est à disposition ainsi que le code d'acquisition des données et de *monitoring*.