

L. TAUSCHER

Institut de Physique
Université de Fribourg (Suisse)

Le système de déclenchement de l'expérience CP-LEAR pour l'étude de la violation CP

Thèse

présentée à la Faculté des Sciences de l'Université
de Fribourg (Suisse) pour l'obtention du grade de
Docteur ès sciences naturelles par

Luc Faravel

de

L'Isle (VD)

Thèse No : 1031
1993

Thesis-1993-Faravel

Acceptée par la Faculté des Sciences de l'Université de
Fribourg (Suisse) sur la proposition de MM. les professeurs
L. Schaller et L. Tauscher (Université de Bâle)

Fribourg, le 6 avril 1993

Le Doyen :

Prof. M. Maggetti

Institut de Physique
Université de Fribourg (Suisse)

Le système de déclenchement de l'expérience CP-LEAR pour l'étude de la violation CP

Thèse

présentée à la Faculté des Sciences de l'Université
de Fribourg (Suisse) pour l'obtention du grade de
Docteur ès sciences naturelles par

Luc Faravel

de

L'Isle (VD)

Thèse No : 1031
1993

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00081007

CERN LIBRARIES, GENEVA

Acceptée par la Faculté des Sciences de l'Université de
Fribourg (Suisse) sur la proposition de MM. les professeurs
L. Schaller et L. Tauscher (Université de Bâle)

Fribourg, le 6 avril 1993

Le Doyen :

Prof. M. Maggetti

Table des matières

1	Introduction.....	1 - 1
2	La Violation CP dans le système K^0-$\bar{K}^0$ Particularités de CP-LEAR.....	2 - 1
2.1	Description du système K^0 - $\bar{K}^0$	2 - 1
2.1.1	Les mésons K^0 et $\bar{K}^0$, superpositions d'états.....	2 - 1
2.1.2	La découverte de la violation CP.....	2 - 2
2.2	Les paramètres de la violation CP.....	2 - 3
2.2.1	L'hamiltonien $H = M - i\Gamma$, les paramètres ε et δ	2 - 3
2.2.2	Les désintégrations en 2 pions.....	2 - 5
2.2.3	Les désintégrations en 3 pions.....	2 - 8
2.2.4	Les désintégrations semi-leptoniques.....	2 - 8
2.3	L'étude de la violation CP dans CP-LEAR	2 - 10
2.3.1	Utilisation des faisceaux de K_S/K_L	2 - 10
2.3.2	Utilisation d'un faisceau de K^0 ($\bar{K}^0$) pur.....	2 - 10
2.3.3	Les asymétries liées aux désintégrations K^0 ($\bar{K}^0$) $\rightarrow \pi\pi$	2 - 10
2.3.4	Les asymétries liées aux désintégrations K^0 ($\bar{K}^0$) $\rightarrow \pi\pi\pi$	2 - 12
2.3.5	Les asymétries liées aux désintégrations semi-leptoniques K^0 ($\bar{K}^0$) $\rightarrow \pi/\nu$	2 - 14
3	Présentation générale de CP-LEAR Le détecteur.....	3 - 1
3.1	Description générale.....	3 - 1
3.1.1	Structure du détecteur.....	3 - 3
3.1.2	Coordonnées associées au détecteur Secteurs et mini-secteurs.....	3 - 4
3.2	Le faisceau et la cible.....	3 - 6
3.2.1	Le faisceau.....	3 - 6
3.2.2	La cible.....	3 - 6
3.2.3	La logique associée au Beam Counter.....	3 - 7
3.3	Les détecteurs de traces.....	3 - 8
3.3.1	Les chambres proportionnelles (PCs).....	3 - 8
3.3.2	Les chambres à dérive.....	3 - 9
3.3.3	Les streamer tubes (STs).....	3 - 11
3.4	Le système d'identification des particules : Les PIDs.....	3 - 12
3.4.1	Les scintillateurs S1 et S2.....	3 - 13
3.4.2	Les détecteurs Cherenkov C.....	3 - 13
3.5	Le calorimètre (CALO).....	3 - 15
3.6	L'aimant.....	3 - 16

4	Description du trigger	
	L'EDL, le Pt-Cut, l'IDL et HWP1.....	4 - 1
4.1	Introduction : les objectifs du trigger.....	4 - 1
4.2	Le Trigger Control.....	4 - 2
4.2.1	Le rôle du Trigger Control par rapport au trigger, au détecteur et au système d'acquisition.....	4 - 2
4.2.2	La logique d'entrée et la FENETRE DE COLLISION.....	4 - 2
4.2.3	Le séquenceur du Trigger Control.....	4 - 4
4.2.4	Exemples de chronogramme du Trigger Control.....	4 - 6
4.3	L'EDL ("Early Decision Logic") et le Pt-Cut.....	4 - 8
4.3.1	L'EDL.....	4 - 8
4.3.1.1	La logique d'entrée :.....	4 - 8
4.3.1.2	Le déclenchement et les patterns S1, S2 et C :.....	4 - 8
4.3.1.3	Le pattern S/CS :.....	4 - 9
4.3.1.4	Le signal GoodPID :.....	4 - 9
4.3.2	Le Pt-Cut.....	4 - 11
4.3.2.1	Les entrées du Pt-Cut :.....	4 - 11
4.3.2.2	La logique du Pt-Cut et le pattern S/CS-Pt :.....	4 - 12
4.3.2.3	Le déclenchement du Pt-Cut et le signal GoodPt :.....	4 - 13
4.4	L'IDL ("Intermediate Decision Logic").....	4 - 15
4.4.1	Les entrées de l'IDL.....	4 - 15
4.4.2	La préparation des patterns KPT, CPT et CT.....	4 - 15
4.4.2.1	La définition d'une trace au niveau de l'IDL :.....	4 - 15
4.4.2.2	La définition d'une trace primaire au niveau de l'IDL :.....	4 - 16
4.4.2.3	La définition d'une trace kaonique primaire au niveau de l'IDL :.....	4 - 16
4.4.3	Le déclenchement de l'IDL.....	4 - 17
4.4.4	Le signal GoodIDL.....	4 - 17
4.5	HWP1.....	4 - 20
4.5.1	Introduction et présentation générale.....	4 - 20
4.5.1.1	Les hypothèses et le but de HWP1:.....	4 - 20
4.5.1.2	Structure générale de HWP1:.....	4 - 20
4.5.2	TRACKING : la reconstruction des traces.....	4 - 21
4.5.2.1	Les entrées de TRACKING :.....	4 - 21
4.5.2.2	La recherche des traces - Le paramètre Z :.....	4 - 22
4.5.2.3	La reconstruction des traces et les modules "Config":.....	4 - 27
4.5.3	PARAM : le calcul des paramètres associés aux traces.....	4 - 32
4.5.3.1	Les 3 paramètres principaux p , Φ_C et ε d'une trace :.....	4 - 32
4.5.3.2	Les impulsions longitudinales et transversales liées à une trace :.....	4 - 35
4.5.3.3	Le "Register Control" et les décisions de PARAM :.....	4 - 36
4.5.3.4	Le rapport entre HWP1 et HWP2.5 :.....	4 - 40
4.5.4	KINEMATIC : une coupure cinématique.....	4 - 41
4.5.4.1	Les calculs de KINEMATIC :.....	4 - 41
4.5.4.2	Le semi pipe-line :.....	4 - 42
4.5.4.3	La logique de la coupure p_K - p_π :.....	4 - 42
4.5.4.4	La génération du signal GoodHWP1 :.....	4 - 45

4.6	Les processeurs HWP2 et HWP2.5.....	4 - 4 5
4.6.1	HWP2.....	4 - 4 6
4.6.2	HWP2.5.....	4 - 4 6
4.7	L'Interface entre le système d'acquisition (DAQ) et le trigger.....	4 - 4 7
4.7.1	LORCOM.....	4 - 4 7
4.7.2	Le monitoring du trigger : le SPY.....	4 - 4 7
4.7.3	Le système de comptage.....	4 - 4 7
5	Performances du trigger	
	Conclusions sur l'efficacité du trigger.....	5 - 1
5.1	Commentaires sur la qualité des événements sélectionnés par le trigger.....	5 - 1
5.1.1	Définitions et premiers résultats.....	5 - 1
5.1.1.1	Les taux d'acceptance et de réjection du trigger et des étages du trigger - La courbe de réjection du trigger :.....	5 - 1
5.1.1.2	Les taux d'acceptance et de réjection spécifiques du trigger et des étages du trigger :.....	5 - 3
5.1.1.3	Le rapport signal/bruit à la sortie d'un étage du trigger - La qualité des événements écrits sur cassette :.....	5 - 5
5.1.1.4	La pseudo-efficacité d'un étage du trigger - La courbe de pseudo-efficacité du trigger :.....	5 - 5
5.1.2	Effets liés au taux de réjection de l'EDL.....	5 - 7
5.1.2.1	Effets ne modifiant quasiment pas le rapport signal/bruit :.....	5 - 7
5.1.2.2	Effets donnant aux pions une signature SCS (renforcement du bruit pionique) :.....	5 - 8
5.1.2.3	Effets ne donnant pas aux kaons une signature SCS (diminution du signal "Golden") :.....	5 - 9
5.1.2.4	Résultats obtenus concernant les taux de réjection spécifique de l'EDL et le facteur de qualité à la sortie de l'EDL :.....	5 - 10
5.1.3	Effets liés au taux de réjection du Pt-Cut.....	5 - 10
5.1.3.1	Effets ne modifiant quasiment pas le rapport signal/bruit :.....	5 - 10
5.1.3.2	Commentaires sur l'obtention d'un bruit pionique et sur la réduction du signal "Golden" à la sortie du Pt-Cut :.....	5 - 12
5.1.3.3	Résultats obtenus concernant les taux de réjection spécifique du Pt-Cut et le facteur de qualité à la sortie du Pt-Cut :.....	5 - 12
5.1.4	Effets liés au taux de réjection de l'IDL.....	5 - 13
5.1.5	Commentaires sur le taux de réjection de HWP1.....	5 - 14
5.1.5.1	Effets de réjection associés à TRACKING :.....	5 - 14
5.1.5.2	Effets de réjection associés à PARAM :.....	5 - 17
5.1.5.3	Effets de réjection associés à KINEMATIC :.....	5 - 18
5.1.5.4	Résultats obtenus concernant les taux de réjection spécifique de HWP1 et le facteur de qualité à la sortie de HWP1 :.....	5 - 19
5.1.6	Présentation des taux de réjection de HWP2 et HWP2.5.....	5 - 20
5.1.7	Synthèse.....	5 - 20
5.2	Commentaires sur la rapidité du trigger.....	5 - 2 4
5.2.1	Taux d'acquisition obtenu.....	5 - 2 4
5.2.2	Améliorations possibles.....	5 - 2 5
5.3	Addenda.....	5 - 2 7
6	Conclusion.....	6 - 1

Annexe A.....	A - 1
A1 L'hamiltonien $H = M - i\Gamma$	A - 1
A2 La matrice de masse M	A - 1
A3 La matrice de désintégration Γ	A - 2
Annexe B.....	B - 1
B1 Taux de branchement des annihilations $p\bar{p}$ kaoniques.....	B - 1
B2 Taux de branchement des annihilations $p\bar{p}$ pioniques.....	B - 2
B3 La distinction des événements $p\bar{p} \rightarrow \dots$ en catégories.....	B - 3
Annexe C.....	C - 1
C1 Les entrées du Trigger Control.....	C - 1
C2 Les sorties du Trigger Control.....	C - 2
Annexe D (COMMENT LIRE LE "PLAN" : SYMBOLIQUE).....	D - 1
Annexe E.....	E - 1
E1 Options mécanique et électronique choisies pour la construction de l'EDL, du Pt-cut, de l'IDL et de HWP1.....	E - 1
E2 Interface entre le plan (annexe D) et les modules.....	E - 4
Références.....	r - 1

Chapitre 1

Introduction

La violation de l'invariance de CP (Conjugaison de Charge $\times$ Parité) dans les lois de la nature, communément appelée violation CP, a été mise en évidence en 1964 lorsque l'on a découvert la désintégration des kaons neutres à durée de vie longue (K_L) en deux pions. Ce phénomène est encore mal connu, autant du point de vue théorique que du point de vue expérimental. On peut cependant paramétrer la violation CP aussi bien dans le cadre théorique du modèle standard (matrice de mélange des quarks dans le formalisme du modèle de Kobayashi-Maskawa) que dans le cadre expérimental étudiant le système $K^0-\bar{K}^0$ où le phénomène de la violation CP a pu être observé. C'est dans ce dernier cadre justement que les paramètres ϵ et ϵ' ont été définis. Des expériences utilisant des faisceaux de K_L quasiment purs ont pu effectuer des mesures assez précises du premier paramètre ϵ . Concernant l'autre paramètre ϵ' et l'éventuelle désintégration des kaons neutres à durée de vie courte (K_S) en trois pions, la question reste ouverte...

A noter que pour beaucoup de physiciens et de cosmologistes considérant valable le modèle du "Big Bang", la violation CP est tenue pour responsable de la répartition actuelle de la matière (antimatière) dans l'univers!

L'expérience CP-LEAR (PS195) a pour but d'étudier le comportement du K^0 et du $\bar{K}^0$ au cours du temps : il s'agit d'une expérience d'interférence demandant une très grande statistique. La production des kaons neutres s'effectue grâce aux deux réactions $p\bar{p} \rightarrow K^-\pi^+K^0$ et $p\bar{p} \rightarrow K^+\pi^-K^0$, appelées réactions "Golden" dans le cadre de l'expérience CP-LEAR. La cible de cette expérience est une sphère d'hydrogène gazeux H_2 à 15 atmosphères (p) dans laquelle un faisceau d'antiprotons ($\bar{p}$) fourni par le LEAR du CERN y est stoppé (réactions au repos). Malheureusement, le taux de branchement des réactions "Golden" n'est que de 0.4 %!

En résumé, l'expérience CP-LEAR doit donc posséder :

- un détecteur d'un haut niveau de précision, celle-ci étant nécessaire à l'étude des phénomènes liés à la violation CP.
- un système de déclenchement (trigger) efficace, de façon à rejeter les événements non "Golden", et très rapide, de façon à diminuer le temps mort de l'acquisition et accroître ainsi la statistique.
- un système d'acquisition également très rapide pour la même raison.

Le trigger comporte plusieurs niveaux (étages), chacun d'eux devant effectuer une sélection la plus rapide possible en fonction de la disponibilité dans le temps des données en ligne provenant du détecteur et, à l'exception du premier étage, en fonction de la décision et des résultats de l'étage ou des étages précédent(s).

Ma contribution à l'expérience CP-LEAR a porté sur la conception, la réalisation et l'implémentation des 4 premiers étages du trigger. Occasionnellement, j'ai apporté une aide concernant les deux derniers étages du trigger et une infime partie du système d'acquisition. De cette contribution a été inspirée le contenu de cette thèse, dont les 4 principaux chapitres peuvent se résumer comme suit :

- le chapitre 2 comprend une définition des paramètres expérimentaux de la violation CP dans le système $K^0-\bar{K}^0$ ainsi que la description des grandeurs que l'expérience CP-LEAR veut mesurer.
- le chapitre 3 décrit partiellement chaque entité du détecteur de CP-LEAR : la cible et les 5 détecteurs emboîtés qui constituent le détecteur de CP-LEAR proprement dit (sous-détecteurs). Je signale quelles sont les données en ligne que livrent ces sous-détecteurs au trigger.

- le chapitre 4 décrit en premier lieu le principe général du fonctionnement du trigger et en second lieu l'unité centrale qui applique ce principe. Le chapitre 4 fournit en troisième lieu une description détaillée des 4 premiers étages du trigger (critères de sélection et fonctionnalité). Cette description est appuyée par un exemple d'événement fictif, de façon à voir comment cet événement est traité étage par étage. Les deux derniers étages ne sont décrits que très sommairement. En dernier lieu, le chapitre 4 mentionne brièvement l'interface entre le trigger, le protocole de communication du trigger, le système de monitoring et le système d'acquisition.

Ces descriptions sont valables à la fin de l'année 1992.

- le chapitre 5 fournit des résultats sommaires (des taux de réjection et des efficacités) et un résultat préliminaire (rapports signal/bruit) obtenus lors de la période d'acquisition de novembre 1992. A l'aide de grandeurs non mesurables simulées par Monte-Carlo, ces résultats permettent de déterminer comment s'est comporté le trigger, autant du point de vue de la qualité des événements que l'expérience CP-LEAR a enregistré durant cette période d'acquisition que du point de vue de la réduction du temps mort de l'acquisition.

Chapitre 2

La Violation CP dans le système K^0 - $\bar{K}^0$ Particularités de CP-LEAR

2.1 Description du système K^0 - $\bar{K}^0$

2.1.1 Les mésons K^0 et $\bar{K}^0$, superpositions d'états

Le K^0 et le $\bar{K}^0$ sont des mésons vectoriels d'étrangeté opposée, +1 et -1 respectivement, produits par interaction forte. Ils sont représentés par des états qui se transforment l'un en l'autre par conjugaisons de charge et de parité CP, soit, par un choix arbitraire de phase [1][2] :

$$CP|K^0\rangle = -|\bar{K}^0\rangle \quad (2.1)$$

$$CP|\bar{K}^0\rangle = -|K^0\rangle \quad (2.2)$$

Il s'est avéré que soit le K^0 , soit le $\bar{K}^0$ présentent deux modes de désintégration différents : un avec un temps de vie court ($\tau_S = (0,8920 \pm 0,0044) \times 10^{-10}$ sec, soit $c\tau_S = 2,675$ cm [3]) et dont on a vu, avant la découverte de la violation CP, toujours 2 pions comme produits de désintégration (état CP = +1), l'autre avec un temps de vie beaucoup plus long ($\tau_L = (5,154 \pm 0,044) \times 10^{-8}$ sec, ou $c\tau_L = 15,5$ m [3]) et dont on a observé comme produits de désintégration toujours 3 pions ou bien un pion, un lepton et un neutrino, la charge et les nombres leptoniques étant conservés (état CP = -1). Par conséquent, il était logique de voir les états $|K^0\rangle$ et le $|\bar{K}^0\rangle$ comme étant la superposition de deux états $|K_S\rangle$ et $|K_L\rangle$.

$$|K^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}[|K_S\rangle + |K_L\rangle] \quad (2.3)$$

$$|\bar{K}^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}[-|K_S\rangle + |K_L\rangle] \quad (2.4)$$

A chacun de ces états $|K_S\rangle$ et $|K_L\rangle$ correspond une particule de masse bien définie, m_S et m_L respectivement (même si l'on a pu mesurer la masse des K^0 et $\bar{K}^0$: $m_{K^0} = m_{\bar{K}^0} = 497,661 \pm 0.033$ MeV [3]) et de temps de vie bien défini, τ_S et τ_L respectivement. Avant la découverte de la violation CP, les états $|K_S\rangle$ et $|K_L\rangle$ étaient totalement confondus avec les états propres de l'opérateur CP [1] :

$$|K_S\rangle = |K_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}[|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle] \quad (CP = +1) \quad (2.5)$$

$$|K_L\rangle = |K_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}[|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle] \quad (CP = -1) \quad (2.6)$$

L'évolution d'un K^0 créé au temps $t=0$ sera décrite par un état $|\psi(t)\rangle$ donné par ($\gamma_S=1/\tau_S$, $\gamma_L=1/\tau_L$ et t est en fait le temps propre; $c=\hbar=1$) :

$$\begin{aligned} |\psi(t)\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}}[|K_S(t)\rangle + |K_L(t)\rangle] \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}}[|K_S(0)\rangle e^{-i m_S t} e^{-\gamma_S t/2} + |K_L(0)\rangle e^{-i m_L t} e^{-\gamma_L t/2}] \end{aligned} \quad (2.7)$$

De là, 3 remarques peuvent être formulées :

- 1) Cette superposition a pour conséquence une non conservation de l'étrangeté d'un faisceau initialement constitué de $K^0(\bar{K}^0)$. En effet, lorsque $ct \gg c\tau_S$ le long du faisceau, on obtient un faisceau de K_L pratiquement pur.
- 2) Comme $\gamma_S \approx 2\Delta m$, ce phénomène d'oscillation d'étrangeté se manifeste avant la disparition de la majorité des K_S . Ce fait est essentiel pour l'étude expérimentale de l'interférence K_S-K_L !
- 3) Si un faisceau de K_L traverse de la matière, il se passe un phénomène de régénération (en K_S), car les K^0 diffusent élastiquement sur les noyaux tandis que les $\bar{K}^0$ peuvent réagir sur ceux-ci par interaction forte, via la réaction $\bar{K}^0 p \rightarrow \Lambda^0 \pi^+$. Elle a servi à une mesure précise de la différence de masse $\Delta m = m_L - m_S = (3,515 \pm 0.020) \times 10^{-12}$ MeV, résultat bien plus petit que l'erreur commise sur la mesure de la masse des K^0 et $\bar{K}^0$ [3]. Cela conforte l'hypothèse de la superposition des états $|K_S\rangle$ et $|K_L\rangle$!

2.1.2 La découverte de la violation CP

En 1964, Cronin, Fitch et leurs collaborateurs observèrent la désintégration $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$, état de valeur propre CP = +1 :

$$\frac{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-)}{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0)} \approx 2.10^{-3} \quad (2.8)$$

Par conséquent, $|K_S\rangle$ et $|K_L\rangle$ ne peuvent plus être considérés comme les états propres de l'opérateur CP! Les équations (2.5) et (2.6) doivent être remplacées par de nouvelles expressions des états $|K_S\rangle$ et $|K_L\rangle$ en fonction des états propres $|K_1\rangle$ et $|K_2\rangle$ de l'opérateur CP:

$$|K_S\rangle = \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon_1^2}}[|K_1\rangle + \varepsilon_1 |K_2\rangle] \quad (2.9)$$

$$|K_L\rangle = \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon_2^2}}[\varepsilon_2 |K_1\rangle + |K_2\rangle] \quad (2.10)$$

...où ε_1 et ε_2 sont deux nombres complexes très petits en norme [1].

2.2 Les paramètres de la violation CP

2.2.1 L'hamiltonien $H = M - i\Gamma$, les paramètres ε et δ

Toute superposition des états $|K^0\rangle$ et $|\bar{K}^0\rangle$ évolue au cours du temps, par transitions $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$, puis par une désintégration. Cette évolution est gouvernée par un hamiltonien qui se décompose en un hamiltonien "électromagnétique et fort" et un hamiltonien "faible":

$$H = H_0 + H_{WK} \quad (2.11)$$

D'autre part, toute superposition des états $|K^0\rangle$ et $|\bar{K}^0\rangle$ peut être représentée par un vecteur d'état à 2 composantes :

$$|\psi(t)\rangle = A(t)|K^0\rangle + B(t)|\bar{K}^0\rangle = \begin{pmatrix} A(t)|K^0\rangle \\ B(t)|\bar{K}^0\rangle \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} A(t) \\ B(t) \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Comme $|\psi(t)\rangle$ est la solution de l'équation de Schrödinger :

$$H|\psi(t)\rangle = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle \quad (2.13)$$

... H doit être représenté par une matrice 2×2 :

$$H = M - i\Gamma \quad (2.14)$$

...où M et Γ sont des matrices 2×2 hermitiennes, appelées matrice de masse et matrice de désintégration respectivement. Comme le K_S et le K_L ont un temps de vie défini et une masse définie, les états $|K_S\rangle$ et $|K_L\rangle$ en sont les états propres et ce pour les valeurs propres :

$$E_1 = -i\lambda_S = m_S - \frac{i}{2}\gamma_S = m_S - i/2\tau_S \quad (2.15)$$

$$E_2 = -i\lambda_L = m_L - \frac{i}{2}\gamma_L = m_L - i/2\tau_L \quad (2.16)$$

Il est temps de définir les paramètres ε et δ à partir des paramètres ε_1 et ε_2 définis dans les équations (2.9) et (2.10) :

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \quad (2.17)$$

$$\delta = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \quad (2.18)$$

En fonction des grandeurs directement liées au K_S et au K_L , on pose encore :

$$m_K = \frac{m_S + m_L}{2} \quad \Delta m = m_L - m_S \quad (2.19a,b)$$

$$\Gamma_K = \frac{\gamma_S/2 + \gamma_L/2}{2} \quad \Delta \Gamma = \gamma_L - \gamma_S \quad (2.19c,d)$$

Avec ces définitions, on obtient la forme de l'hamiltonien ainsi que ses états propres :

$$H := \begin{pmatrix} (m_K - i\Gamma_K)(1 - \delta \frac{\Delta m - i\Delta\Gamma}{m_K - i\Gamma_K}) & \frac{1}{2}(\Delta m - i\Delta\Gamma)(1 - 2\varepsilon) \\ \frac{1}{2}(\Delta m - i\Delta\Gamma)(1 + 2\varepsilon) & (m_K - i\Gamma_K)(1 + \delta \frac{\Delta m - i\Delta\Gamma}{m_K - i\Gamma_K}) \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} m_K - \delta\Delta m & \frac{1}{2}\Delta m - \varepsilon\Delta m \\ \frac{1}{2}\Delta m + \varepsilon\Delta m & m_K + \delta\Delta m \end{pmatrix} - i \begin{pmatrix} \Gamma_K - \delta\Delta\Gamma & \frac{1}{2}\Delta\Gamma - \varepsilon\Delta\Gamma \\ \frac{1}{2}\Delta\Gamma + \varepsilon\Delta\Gamma & \Gamma_K + \delta\Delta\Gamma \end{pmatrix} \quad (2.20)$$

$$|K_S\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}[(1 + \varepsilon + \delta)|K^0\rangle - (1 - \varepsilon - \delta)|\bar{K}^0\rangle] \quad (2.21)$$

$$|K_L\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}[(1 + \varepsilon - \delta)|K^0\rangle + (1 - \varepsilon + \delta)|\bar{K}^0\rangle] \quad (2.22)$$

Clairement, on peut déjà tirer les conclusions suivantes (cf Annexe A) :

- 1) L'invariance CPT implique que $M_{11} = M_{22}$ ($m_{K^0} = m_{\bar{K}^0}$) et que $\Gamma_{11} = \Gamma_{22}$, donc que $\delta = 0$. La masse de la particule est égale à celle de l'antiparticule et les taux de désintégration totaux du K^0 et du $\bar{K}^0$ sont égaux.
- 2) L'invariance T implique que $M_{12} = M_{21}^* = M_{21}$ et que $\Gamma_{12} = \Gamma_{21}^* = \Gamma_{21}$, donc que $\varepsilon = 0$. Les taux de transition $\Gamma(K^0 \rightarrow K^0)$ et $\Gamma(\bar{K}^0 \rightarrow \bar{K}^0)$ sont égaux et les taux de désintégration partiels du K^0 et du $\bar{K}^0$ sont égaux.

Désormais, on peut considérer (expérimentalement à juste titre !) que $\delta = 0$ [1][2].

Jusqu'à présent, on n'a considéré que des transitions $\Delta S = 2$. La violation CP observée dans les transitions $\Delta S = 2$ a nécessité une modification des expressions des états $|K_S\rangle$ et $|K_L\rangle$ en fonction des états propres de CP $|K_1\rangle$ et $|K_2\rangle$ (équations (2.9) et (2.10) avec $\varepsilon_1 = \varepsilon$ et $\varepsilon_2 = \varepsilon$).

Le modèle standard attribue ces transitions $\Delta S = 2$ à des diagrammes, appelés diagrammes "en boîte", où la violation CP est introduite par les parties imaginaires apparaissant dans la matrice de Kobayashi-Maskawa (modèle GIM avec 3 doublets de quarks ou plus):

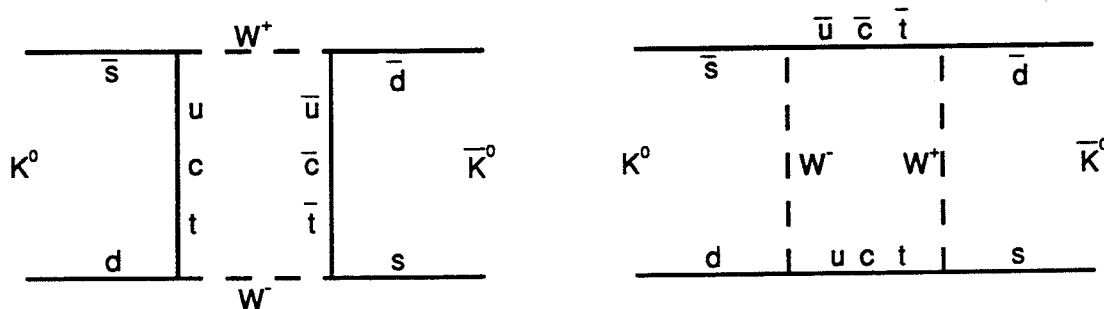


Figure 2-1 : Diagrammes "en boîte".

La question, dans les équations (2.9) et (2.10), est de savoir s'il est possible d'avoir une violation CP dans la désintégration du K_2 (désintégration en 2 π) ou du K_1 (désintégration en un état CP=-1) [1][2]. Etudions le premier cas !

2.2.2 Les désintégrations en 2 pions

Le modèle standard prédit en effet une violation CP dans la désintégration du K_2 , via une transition $\Delta S=1$, présentée par le 3^{ème} diagramme de la figure 2-2 ci-dessous :

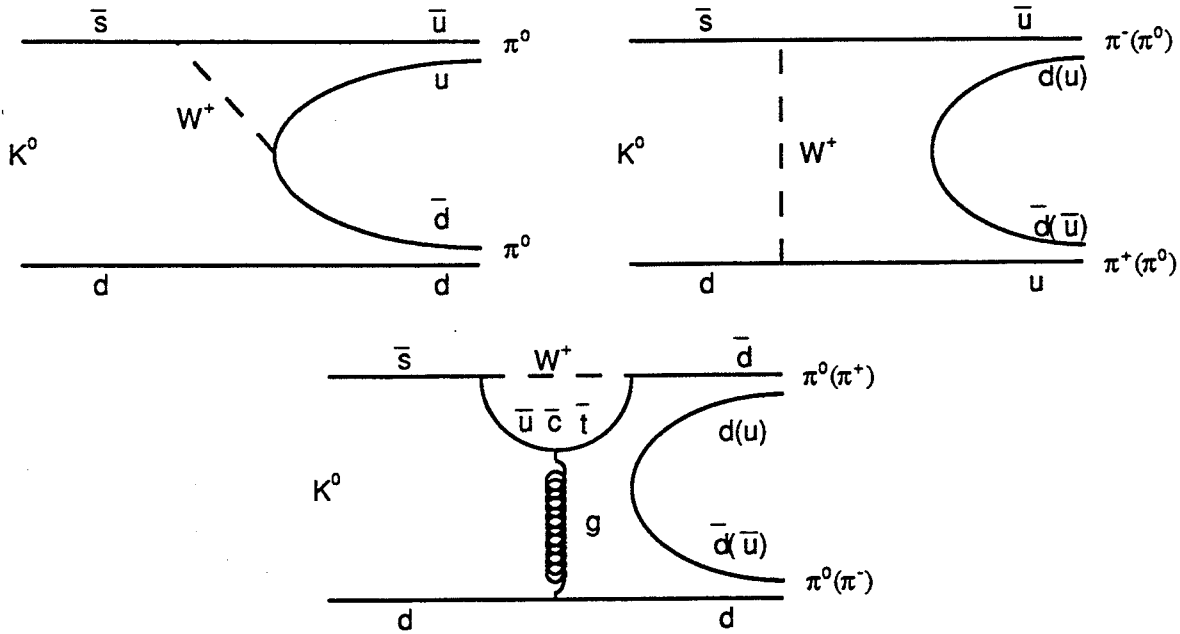


Figure 2-2 : Les 2 diagrammes du haut sont ceux représentant la désintégration du K^0 en 2 pions (à gauche $\pi^0\pi^0$, à droite $\pi^+\pi^-$ et $\pi^0\pi^0$) ne violant pas CP; la désintégration représentée en bas (diagramme "Pinguin") viole CP.

Considérons l'état final des 2 pions du point de vue du spin isotopique. Les états de charge des 2 pions peuvent être exprimés en fonction des états de spin isotopique, via la table de coefficients de Clebsch-Gordan :

$$|\pi^+\pi^-> = \sqrt{\frac{2}{3}}|I=0> + \sqrt{\frac{1}{3}}|I=2> \quad (2.23a)$$

$$|\pi^0\pi^0> = -\sqrt{\frac{1}{3}}|I=0> + \sqrt{\frac{2}{3}}|I=2> \quad (2.23b)$$

Définissons les amplitudes de transition en considérant comme états initiaux les états $|K^0\rangle$ et $|\bar{K}^0\rangle$:

$$\langle l=0|H|K^0\rangle = e^{i\delta_0}A_0 \quad \langle l=0|H|\bar{K}^0\rangle = -e^{i\delta_0}A_0^* \quad (2.24a,b)$$

$$\langle l=2|H|K^0\rangle = e^{i\delta_2}A_2 \quad \langle l=2|H|\bar{K}^0\rangle = -e^{i\delta_2}A_2^* \quad (2.24c,d)$$

On peut dès lors considérer les paramètres de la violation CP dans les désintégrations $K^0, \bar{K}^0 \rightarrow \pi^+\pi^-, \pi^0\pi^0$, dans trois bases différentes [2] :

Base $ K_S\rangle - K_L\rangle$	Base $ K_1\rangle - K_2\rangle$	Base $ K^0\rangle - \bar{K}^0\rangle$
$\alpha = \dots$	$= \frac{\langle l=0 H K_2\rangle}{\langle l=0 H K_1\rangle}$	$= i \frac{\text{Im}(A_0)}{\text{Re}(A_0)}$
$\varepsilon_{10} = \frac{\langle l=0 H K_L\rangle}{\langle l=0 H K_S\rangle}$	$= \varepsilon + \alpha$	$= \varepsilon + i \frac{\text{Im}(A_0)}{\text{Re}(A_0)}$
$\omega = \dots$	$= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\langle l=2 H K_1\rangle}{\langle l=0 H K_1\rangle}$	$= \frac{\text{Re}(A_2)}{\text{Re}(A_0)} e^{i(\delta_2 - \delta_0)}$
$\varepsilon' = \dots$	$= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\langle l=2 H K_2\rangle}{\langle l=0 H K_1\rangle}$	$= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\text{Im}(A_2)}{\text{Re}(A_0)} e^{i(\delta_2 - \delta_0)}$
$\varepsilon_{12} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\langle l=2 H K_L\rangle}{\langle l=0 H K_S\rangle}$	$= \varepsilon \omega + \varepsilon'$	$= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\varepsilon \frac{\text{Re}(A_2)}{\text{Re}(A_0)} + i \frac{\text{Im}(A_2)}{\text{Re}(A_0)} \right) e^{i(\delta_2 - \delta_0)}$

Table 2-1 : Paramètres de la violation CP dans la désintégration $K^0, \bar{K}^0 \rightarrow \pi^+\pi^-, \pi^0\pi^0$.

Comme on peut choisir une phase arbitrairement ci-dessus, on choisira δ_0 tel que $\text{Im}(A_0)=0$. Du coup, on obtient :

$$\varepsilon' = \frac{i}{\sqrt{2}} \frac{\text{Im}(A_2)}{A_0} e^{i(\delta_2 - \delta_0)} \quad (2.25)$$

Ce qui montre qu'il est indispensable d'avoir deux états finaux distincts du point de vue de la phase ($l=0$ et $l=2$) pour montrer expérimentalement que la désintégration elle-même viole l'invariance CP. Malheureusement, les transitions dont l'état final est d'isospin $l=2$ sont supprimées d'un facteur $\approx 1/20$ environ. En effet, ce sont des transitions $\Delta l = |3/2|$ alors que le K^0 et le $\bar{K}^0$ sont des états d'isospin $l=1/2$. Il est donc difficile dans les réactions $K^0, \bar{K}^0 \rightarrow \pi^+\pi^-, \pi^0\pi^0$ de mesurer le paramètre ε' , donc de mettre en évidence le troisième diagramme dans la figure 2-2 ci-dessus (diagramme "Pinguin") !

Du point de vue expérimental, deux paramètres η_l seront définis [1][2][4] :

$$\eta^{+-} = \frac{\langle \pi^+\pi^- | H_{WK} | K_L \rangle}{\langle \pi^+\pi^- | H_{WK} | K_S \rangle} = \frac{\varepsilon_{10} + \varepsilon_{12}}{1 + \omega} + \varepsilon = \frac{\alpha + \varepsilon'}{1 + \omega} + \varepsilon \equiv \varepsilon + \varepsilon' \quad (2.26)$$

$$\eta^{00} = \frac{\langle \pi^0\pi^0 | H_{WK} | K_L \rangle}{\langle \pi^0\pi^0 | H_{WK} | K_S \rangle} = \frac{\varepsilon_{10} - 2\varepsilon_{12}}{1 - 2\omega} + \varepsilon = \frac{\alpha - 2\varepsilon'}{1 - 2\omega} + \varepsilon \equiv \varepsilon - 2\varepsilon' \quad (2.27)$$

Lors de la quatrième égalité, nous avons choisi δ_0 tel que $\text{Im}(A_0)=0$ et avons négligé le terme $\varepsilon'\omega$. D'où l'approximation.

Voici les deux résultats les plus récents obtenu sur chaque paramètre [3] (NB : $\eta_f = |\eta_f|e^{i\phi_f}$) :

$$|\eta^{00}| = (2.33 \pm 0.18) \times 10^{-3} \quad (\text{Christenson et al. 1979})$$

$$|\eta^{00}| = (2.084 \pm 0.080) \times 10^{-3} \quad (\text{Brfit et al. 1992})$$

$$|\eta^{+-}| = (2.27 \pm 0.12) \times 10^{-3} \quad (\text{Christenson et al. 1979})$$

$$|\eta^{+-}| = (2.265 \pm 0.030) \times 10^{-3} \quad (\text{Brfit et al. 1992})$$

$$\Phi^{00} = 47.1^\circ \pm 2.1^\circ \pm 1.8^\circ \quad (\text{Carosi et al. 1990})$$

$$\Phi^{00} = 47.4^\circ \pm 1.4^\circ \pm 0.9^\circ \quad (\text{Karlsson et al. 1990})$$

$$\Phi^{+-} = 46.9^\circ \pm 1.4^\circ \pm 1.7^\circ \quad (\text{Carosi et al. 1990})$$

$$\Phi^{+-} = 47.7^\circ \pm 2.0^\circ \pm 0.9^\circ \quad (\text{Karlsson et al. 1990})$$

$$\frac{|\eta^{00}|}{|\eta^{+-}|} = 0.9899 \pm 0.0020 \pm 0.0025 \quad (\text{Burkhardt et al. 1988})$$

$$\frac{|\eta^{00}|}{|\eta^{+-}|} = 0.9904 \pm 0.0084 \pm 0.0036 \quad (\text{Woods et al. 1988})$$

$$\Delta\Phi = \Phi^{00} - \Phi^{+-} = 0.2^\circ \pm 2.6^\circ \pm 1.2^\circ \quad (\text{Carosi et al. 1990})$$

$$\Delta\Phi = \Phi^{00} - \Phi^{+-} = 0.3^\circ \pm 2.4^\circ \pm 1.2^\circ \quad (\text{Karlsson et al. 1990})$$

$$\text{Re}\left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right) = 0.0033 \pm 0.0011 \quad (\text{Barr et al. 1988})$$

$$\text{Re}\left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right) = 0.0032 \pm 0.0028 \pm 0.0012 \quad (\text{Woods et al. 1988})$$

2.2.3 Les désintégrations en 3 pions

L'approche est identique à celle de la désintégration en 2 pions, à savoir que les paramètres expérimentaux seront définis comme dans (2.26) et (2.27) :

$$\eta^{+-0} = \frac{\langle \pi^+ \pi^- \pi^0 | H_{WK} | K_S \rangle}{\langle \pi^+ \pi^- \pi^0 | H_{WK} | K_L \rangle} \quad (2.28)$$

$$\eta^{000} = \frac{\langle \pi^0 \pi^0 \pi^0 | H_{WK} | K_S \rangle}{\langle \pi^0 \pi^0 \pi^0 | H_{WK} | K_L \rangle} \quad (2.29)$$

Comme il est impossible d'obtenir un faisceau de K_S pur et que les interférences $K_S - K_L$ n'ont pu être mesurées qu'avec beaucoup d'erreurs systématiques, les transitions $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$, $\pi^0 \pi^0 \pi^0$ sont très difficiles à mettre en évidence. Expérimentalement, on a obtenu jusqu'à ce jour (les 2 plus récents résultats) [3] :

$$\text{Im}(\eta^{000})^2 < 0.28 \quad \text{CL}=90\% \quad (\text{Gjesdal et al. 1974})$$

$$\text{Im}(\eta^{000})^2 < 0.28 \quad \text{CL}=90\% \quad (\text{Barmin et al. 1983})$$

$$\text{Im}(\eta^{+-0})^2 < 1.20 \quad \text{CL}=90\% \quad (\text{Baldo et al. 1975})$$

$$\text{Im}(\eta^{+-0})^2 < 0.23 \quad \text{CL}=90\% \quad (\text{Barmin et al. 1985})$$

Donc, la violation CP n'a pas pu être mise en évidence dans la désintégration en 3 pions.

2.2.4 Les désintégrations semi-leptoniques

En principe, le modèle standard n'autorise que les désintégrations $\Delta S = \Delta Q$ suivantes :

$$K^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu \quad \text{ou} \quad \bar{K}^0 \rightarrow \pi^+ l^- \bar{\nu}$$

Elles sont représentées dans la figure 2-3 ci-dessous.

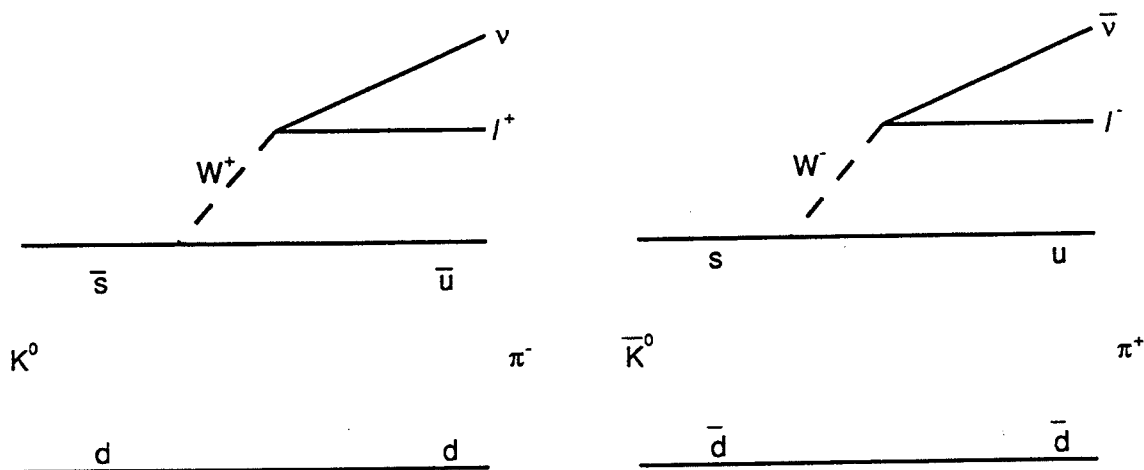


Figure 2-3 : Les 2 diagrammes des désintégrations semi-leptoniques $\Delta S = \Delta Q$.

La question est de savoir si les désintégrations $\Delta S = -\Delta Q$ suivantes ont lieu :

$$\bar{K}^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu \quad \text{ou} \quad K^0 \rightarrow \pi^+ l^- \bar{\nu}$$

Si ce n'est pas le cas, les désintégrations semi-leptoniques ne peuvent mettre en évidence que la violation CP du système $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$ (paramètre ϵ). Le rapport de l'amplitude des transitions violant la règle $\Delta S = \Delta Q$ sur celle des transitions $\Delta S = \Delta Q$ permet de mesurer la validité de cette règle :

$$x = \frac{\langle \pi^- l^+ \nu | H_{WK} | \bar{K}^0 \rangle}{\langle \pi^- l^+ \nu | H_{WK} | K^0 \rangle} \quad (2.30a)$$

$$\bar{x} = \frac{\langle \pi^+ l^- \bar{\nu} | H_{WK} | K^0 \rangle}{\langle \pi^+ l^- \bar{\nu} | H_{WK} | \bar{K}^0 \rangle} \quad (2.30b)$$

Si CPT est invariant, $\bar{x} = x^*$.

Jusqu'à ce jour, on a utilisé l'asymétrie de charge définie par :

$$\delta_c = \frac{[R(K^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu) + R(\bar{K}^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu)] - [R(K^0 \rightarrow \pi^+ l^- \bar{\nu}) + R(\bar{K}^0 \rightarrow \pi^+ l^- \bar{\nu})]}{[R(K^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu) + R(\bar{K}^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu)] + [R(K^0 \rightarrow \pi^+ l^- \bar{\nu}) + R(\bar{K}^0 \rightarrow \pi^+ l^- \bar{\nu})]} \quad (2.31)$$

Ceci a permis d'obtenir les trois résultats suivants :

1) Une nouvelle mesure précise de la différence de masse entre le K_L et le K_S :

$$\Delta m = m_L - m_S = (3,508 \pm 0.263) \times 10^{-12} \text{ MeV} \quad (\text{Gjesdal et al., 1974}) [1].$$

2) Une nouvelle mesure du paramètre ϵ [1] :

$$\text{Re}(\epsilon) = (1.621 \pm 0.088) \times 10^3 \quad |\epsilon| = (2.24 \pm 0.08) \times 10^3$$

3) Une mesure du paramètre x , dont voici les deux plus récents résultats [3] :

$$\text{Re}(x) = (0.10^{+0.18}_{-0.19}) \times 10^{-3} \quad (\text{Smith et al. 1975})$$

$$\text{Re}(x) = (0.04 \pm 0.03) \times 10^{-3} \quad (\text{Niebergall et al. 1974})$$

$$\text{Re}(x) = (-0.10^{+0.16}_{-0.19}) \times 10^{-3} \quad (\text{Smith et al. 1975})$$

$$\text{Im}(x) = (-0.06 \pm 0.05) \times 10^{-3} \quad (\text{Niebergall et al. 1974})$$

2.3 L'étude de la violation CP dans CP-LEAR

2.3.1 Utilisation des faisceaux de K_S/K_L

La méthode utilisée pour étudier de la désintégration du $K^0(\bar{K}^0)$ a toujours été de bombarder une cible avec des protons de haute énergie pour produire des $K^0(\bar{K}^0)$. Si le détecteur est suffisamment éloigné du lieu de création des $K^0(\bar{K}^0)$, il sera traversé par un faisceau de K_L pratiquement pur. C'est ainsi que la violation CP dans la désintégration du $K^0(\bar{K}^0)$ en 2 pions est bien mise en évidence. En ce qui concerne l'étude de l'interférence K_L - K_S , il est nécessaire d'utiliser un régénérateur. Cette méthode introduit dès lors des erreurs systématiques : incohérence de la régénération, phase de la régénération, etc [5].

2.3.2 Utilisation d'un faisceau de $K^0(\bar{K}^0)$ pur

La méthode utilisée par CP-LEAR pour étudier la désintégration du K^0 et du $\bar{K}^0$ est de produire les K^0 et $\bar{K}^0$ au centre du détecteur par les réactions $p\bar{p} \rightarrow \bar{K}^0 K^+ \pi^-$ et $p\bar{p} \rightarrow K^0 K^- \pi^+$, chacune de ces réactions ayant le même taux de branchement, soit 0.2%. Ces réactions ont lieu quasiment au repos, les anti-protons étant fournis par le LEAR. Le signe du kaon chargé détermine l'étrangeté du kaon neutre, puisque l'interaction forte conserve l'étrangeté. L'avantage de cette méthode est que l'on obtient au centre du détecteur une amplitude en K_S aussi grande que celle en K_L , permettant ainsi l'étude de la violation CP via l'interférence K_S - K_L [6].

2.3.3 Les asymétries liées aux désintégrations $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi\pi$

Les grandeurs que l'on mesure dans CP-LEAR sont des asymétries dépendant des taux de désintégration $R_f(t)$ et $\bar{R}_f(t)$ du K^0 et du $\bar{K}^0$ respectivement, t étant le temps propre. L'état final est soit $\pi^+\pi^-$, soit $\pi^0\pi^0$. La première de ces asymétries est définie par [2][6]:

$$A_f(t) = \frac{\bar{R}_f(t) - R_f(t)}{\bar{R}_f(t) + R_f(t)} \quad (2.32)$$

Le calcul de $A_f(t)$, où les termes en ε d'ordre supérieur sont négligés, fait apparaître un terme d'interférence [2]:

$$A_f(t) = \frac{2\text{Re}(\varepsilon) - 2|\eta_f|e^{(\gamma_S - \gamma_L)t/2}\cos(\Delta mt - \Phi_f)}{1 + |\eta_f|^2 e^{(\gamma_S - \gamma_L)t}} \quad (2.33)$$

La figure 2-4 ci-dessous nous montre cette asymétrie dans le cas où l'état final est constitué de deux pions chargés. L'interférence est maximale pour $5\tau_S \leq t \leq 15\tau_S$, ce qui signifie que la mesure de $A_f(t)$ dans cet intervalle permet d'extraire $|\eta_f|$ et Φ_f . On peut aussi extraire le paramètre $\text{Re}(\varepsilon)$, mais celui-ci sera déduit à partir d'une autre mesure (voir paragraphe 2.3.5 ci-dessous).

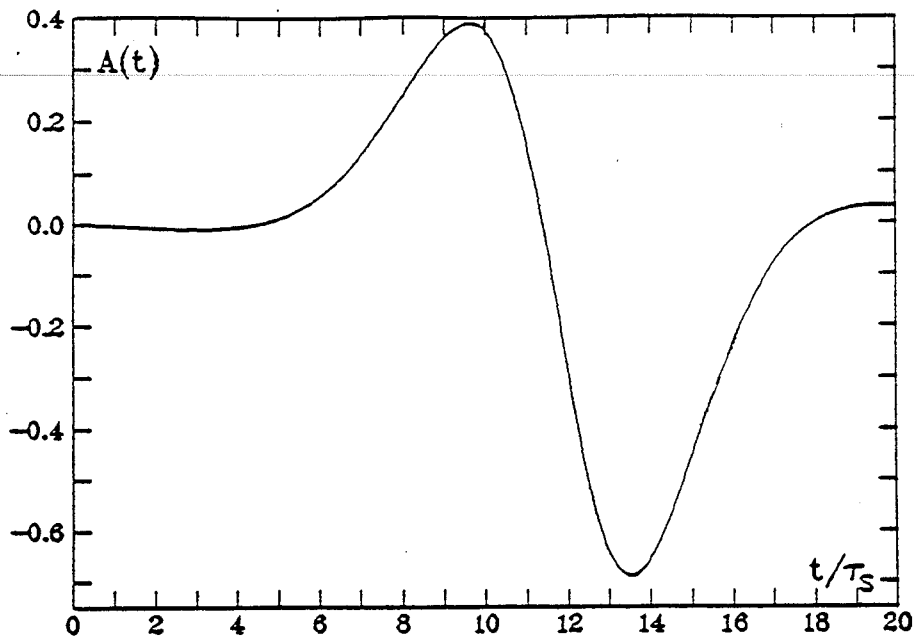


Figure 2-4 : Asymétrie $A_I(t)$ dépendant du temps, dans le cas de la désintégration $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^+\pi^-$ [2].

La mesure simultanée de $|\eta^{00}|$ et $|\eta^{+-}|$ permet de mesurer la partie réelle du rapport ε'/ε [6]:

$$6\text{Re}\left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right) = \left(1 - \frac{|\eta^{00}|}{|\eta^{+-}|}\right) \quad (2.34)$$

Un deuxième type d'asymétrie est défini, l'asymétrie intégrée :

$$I_I(t_0) = \frac{\int_0^{t_0} (\bar{R}_I(t) - R_I(t)) dt}{\int_0^{t_0} (\bar{R}_I(t) + R_I(t)) dt} \equiv 2\text{Re}(\varepsilon) - 4\text{Re}(\eta_I) \quad (2.35)$$

...où la deuxième égalité n'est valable que pour t tel que $5\tau_S \ll t \ll \tau_L$.

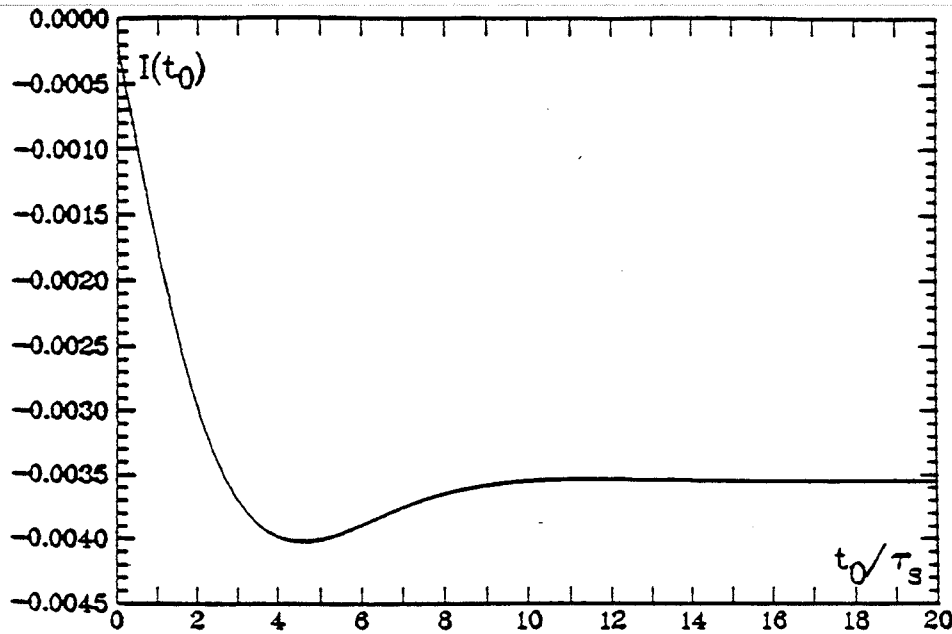


Figure 2-5 : Asymétrie $I(t_0)$ dépendant du temps, dans le cas de la désintégration $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^0\pi^0$ [2].

La mesure simultanée de I^{00} et I^{+-} permet de mesurer le rapport des parties réelles de ϵ' et de ϵ :

$$6 \frac{\text{Re}(\epsilon')}{\text{Re}(\epsilon)} = (1 - \frac{I^{00}}{I^{+-}}) \quad (2.36)$$

2.3.4 Les asymétries liées aux désintégrations $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi\pi\pi$

Si la symétrie CP était exacte, la désintégration $K_S \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$ serait totalement interdite contrairement à celle $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, où les 3 pions peuvent être dans un état $CP = +1$ (les pions chargés peuvent avoir un moment orbital $l=1$). Ce dernier état est par ailleurs supprimé d'un facteur environ 200. Ainsi, le test le plus propre de la violation CP dans la désintégration $K_S \rightarrow 3\pi$ est l'étude des désintégrations $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$ [6].

La méthode expérimentale consiste à mesurer les asymétries définies exactement comme dans l'étude des désintégrations en 2 pions (équation (2.32) et la première égalité de (2.35)). L'effet de l'interférence est maximal pour des temps petits $t \leq 5\tau_s$. L'asymétrie $A_I(t)$ permet la détermination de $|\eta_I|$ et Φ_I [2][6].

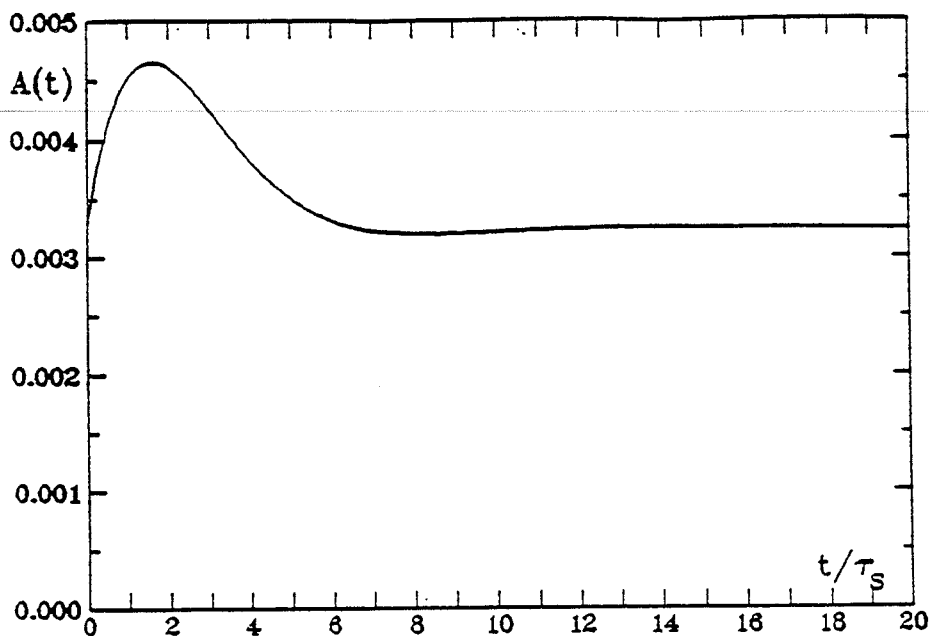


Figure 2-6 : Asymétrie $A(t)$ dépendant du temps, dans le cas de la désintégration $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$ ou $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ [2].

L'asymétrie intégrée dans le cas de la désintégration en trois pions, comme dans le cas de la désintégration en deux pions, ne fournit que le paramètre $\text{Re}(\eta_1)$ (en plus de $\text{Re}(\epsilon)$).

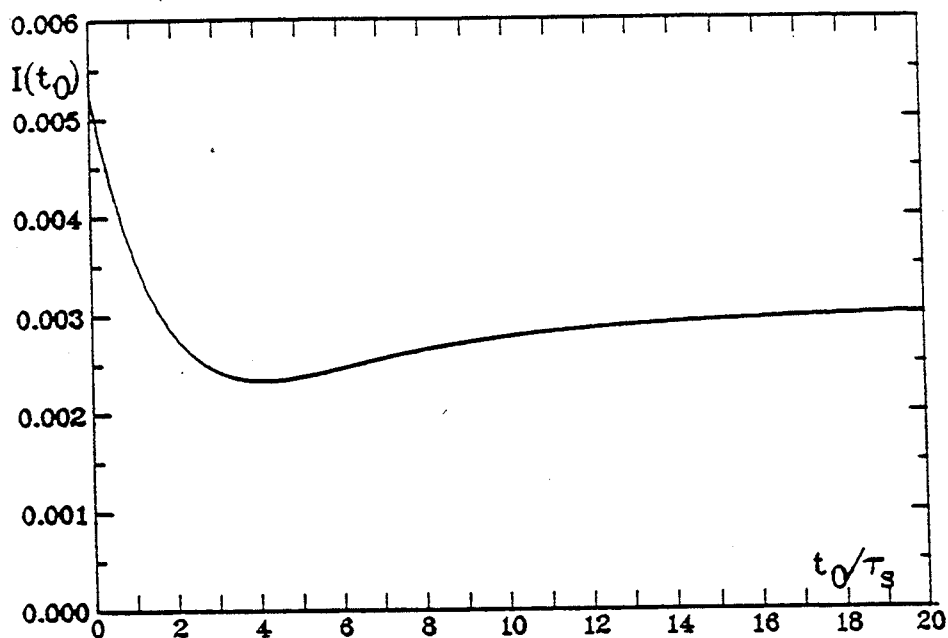


Figure 2-7 : Asymétrie $I(t_0)$ dépendant du temps, dans le cas de la désintégration $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$ ou $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ [2].

2.3.5 Les asymétries liées aux désintégrations semi-leptoniques $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi l \nu$

Définissons d'abord les taux de désintégration suivants :

$$R_{\bar{K}^0 \rightarrow \pi^+ l^- \bar{\nu}}(t) = \bar{R}^- \quad R_{K^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu}(t) = R^+ \quad (2.37a,b)$$

$$R_{\bar{K}^0 \rightarrow \pi^- l^+ \nu}(t) = \bar{R}^+ \quad R_{K^0 \rightarrow \pi^+ l^- \bar{\nu}}(t) = R^- \quad (2.37c,d)$$

A partir de ces taux de désintégrations, on peut construire différentes asymétries nous permettant la mesure de Δm , $\text{Re}(\epsilon)$, ainsi que $\text{Im}(x)$ et $\text{Re}(x)$ pour vérifier la validité de la règle de sélection $\Delta S = \Delta Q$.

La mesure de Δm s'effectue par l'asymétrie [7] :

$$A_{\Delta m}(t) = \frac{(R^+ + \bar{R}^-) - (\bar{R}^+ + R^-)}{(R^+ + \bar{R}^-) + (\bar{R}^+ + R^-)} \equiv \frac{2\cos(\Delta m t)e^{-(\gamma_S + \gamma_L)t/2}}{e^{-\gamma_S t} + e^{-\gamma_L t}} \quad (2.38)$$

La mesure de $\text{Re}(\epsilon)$ s'effectue par l'asymétrie [7] :

$$A_T(t) = \frac{\bar{R}^+ - R^-}{\bar{R}^+ + R^-} \equiv 4\text{Re}(\epsilon) \quad (2.39)$$

En effet, cette asymétrie ne fait apparaître que des taux de désintégration postérieure à des transitions $\Delta S = 2$, et mesure la différence entre les taux de transition $\Gamma(K^0 \rightarrow \bar{K}^0)$ et $\Gamma(\bar{K}^0 \rightarrow K^0)$.

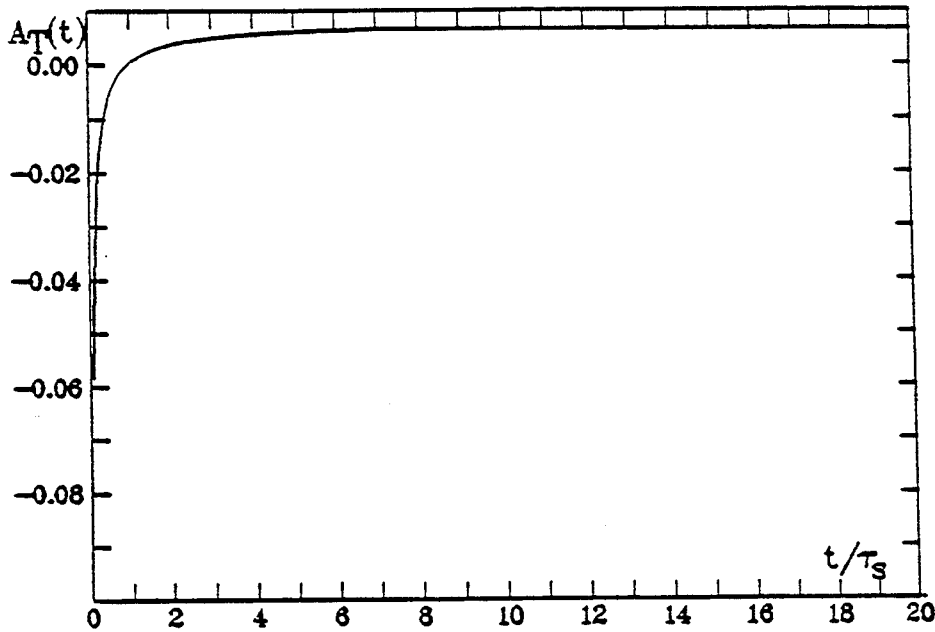


Figure 2-8 : L'asymétrie $A_T(t)$ [2].

L'asymétrie $A_X(t)$ s'anulle si $\text{Im}(x) = 0$ [7]:

$$A_X(t) = \frac{\bar{R}^- - R^+}{\bar{R}^- + R^+} \equiv \frac{-4 \text{Im}(x) \sin(\Delta m t) e^{-(\gamma_S + \gamma_L)t/2}}{e^{-\gamma_L t} + e^{-\gamma_S t} + 2e^{-(\gamma_S + \gamma_L)t/2} \cos(\Delta m t)} \quad (2.40)$$

L'asymétrie $A_1(t)$ permet la mesure simultanée de $\text{Re}(\epsilon)$ et de $\text{Im}(x)$ [7] :

$$A_1(t) = \frac{(\overline{R^+ + R^-}) - (R^+ + R^-)}{(\overline{R^+ + R^-}) + (R^+ + R^-)}$$

$$\equiv 2\text{Re}(\epsilon) - 4 \frac{\text{Re}(\epsilon)\cos(\Delta mt) + \text{Im}(x)\sin(\Delta mt)}{e^{-\gamma_L t} + e^{-\gamma_S t}} e^{-(\gamma_S + \gamma_L)t/2} \quad (2.41)$$

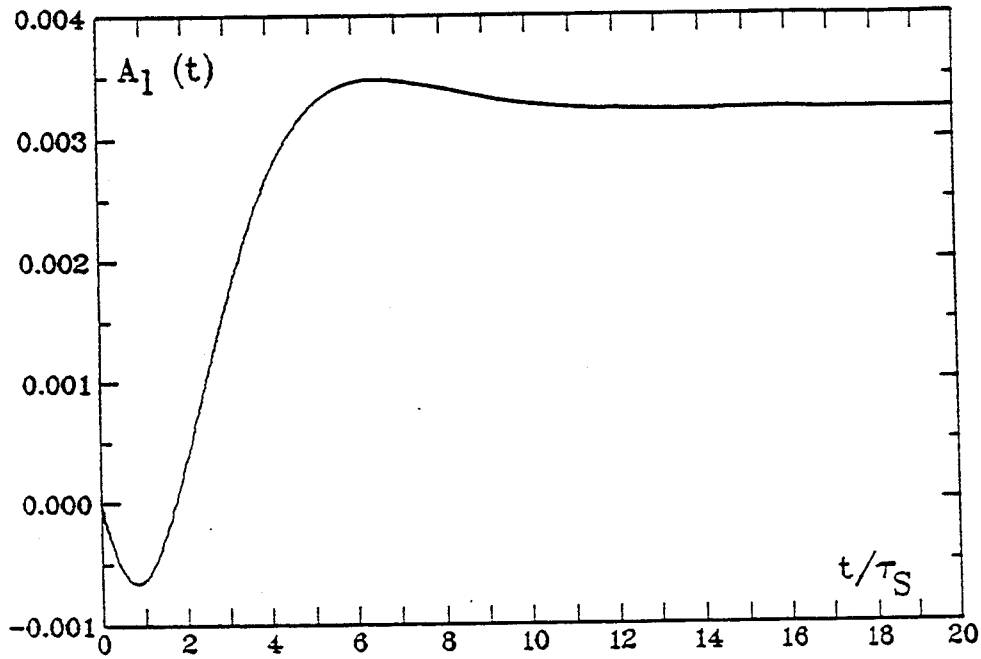


Figure 2-9 : L'asymétrie $A_1(t)$ [2].

Le paramètre $\text{Re}(x)$ peut aussi être directement mesuré à l'aide du taux de désintégration semi-leptonique total [2][7]:

$$S(t) \equiv |f|^2 [(1+2\text{Re}(\epsilon))e^{-\gamma_S t} + (1-2\text{Re}(\epsilon))e^{-\gamma_L t}] \quad (2.42)$$

...où f est défini à l'aide du taux de branchement $B(K_L \rightarrow \pi l \nu_l)$ sommé sur la charge et le spin:

$$|f|^2 = \frac{1}{2\tau_L} B(K_L \rightarrow \pi l \nu_l) \quad (2.43)$$

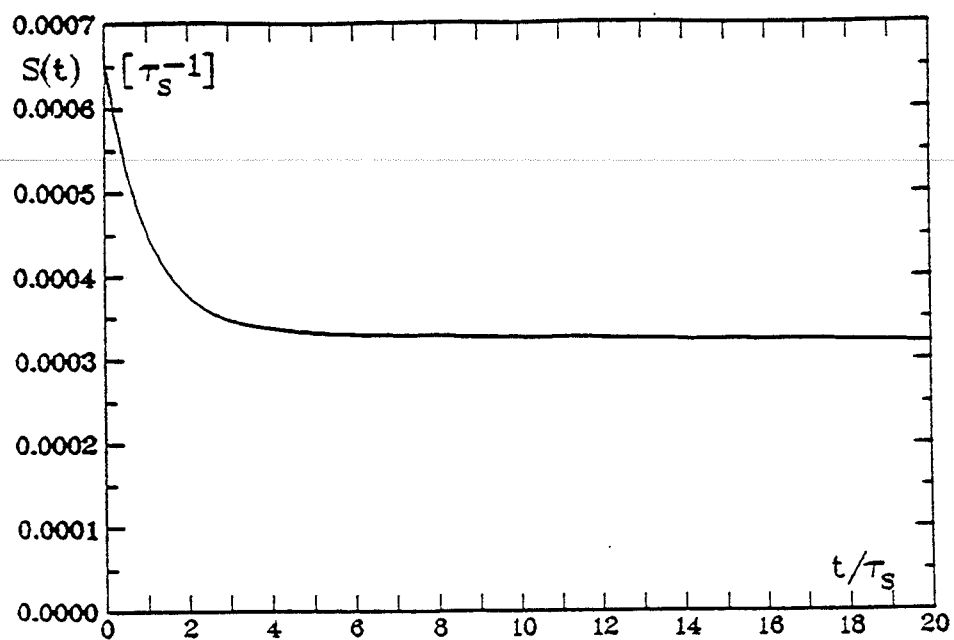


Figure 2-10 : Le taux de désintégration semi-leptonique $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^+ l^- \bar{\nu} / \pi^- l^+ \nu$ [2].

Chapitre 3

Présentation générale de CP-LEAR

Le détecteur

3.1 Description générale

Le but de l'expérience CP-LEAR est d'étudier la violation CP en mesurant les interférences, décrites dans le chapitre précédent, entre les états K^0 et $\bar{K}^0$. A cet effet, on produit à l'instant $t = 0$ un état K^0 ou bien $\bar{K}^0$ et l'on étudie ses modes de désintégration dans l'intervalle de temps propre $0 \leq t \leq 20\tau_s$ [5][6].

Les K^0 et $\bar{K}^0$ sont produits par les réactions $p\bar{p} \rightarrow \bar{K}^0 K^+ \pi^-$ et $p\bar{p} \rightarrow K^0 K^- \pi^+$ au repos (voir figure 3-1 ci-dessous). Deux faits sont à souligner :

- 1) L'énergie disponible ($2m_p$) ne permet de produire qu'une paire de quarks "s", matérialisés par 2 mésons K (un chargé et un neutre dans les réactions décrites ci-dessus; voir aussi Annexe B).
- 2) Comme l'interaction forte conserve l'étrangeté, la présence du kaon chargé constitue la signature de la présence du kaon neutre !

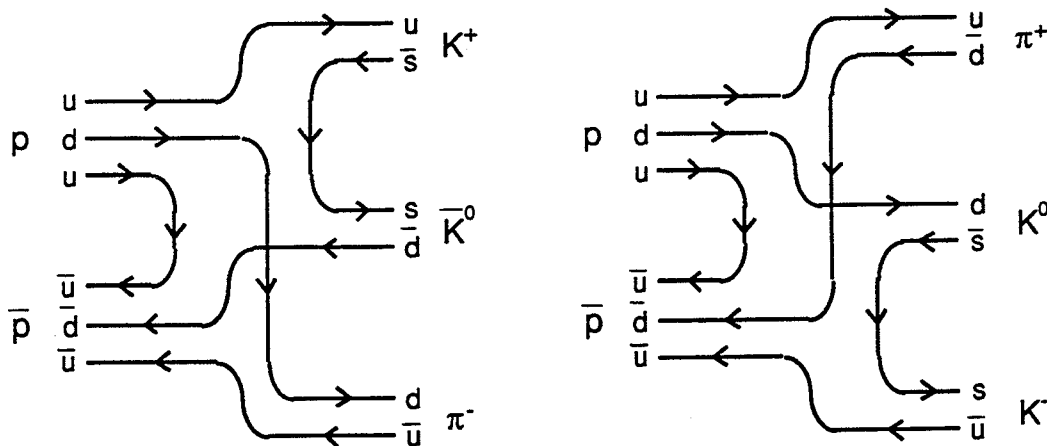


Figure 3-1: Diagramme des réactions $p\bar{p} \rightarrow \bar{K}^0 K^+ \pi^-$ et $p\bar{p} \rightarrow K^0 K^- \pi^+$.

Pour obtenir les réactions $p\bar{p} \rightarrow \bar{K}^0 K^+ \pi^-$ et $p\bar{p} \rightarrow K^0 K^- \pi^+$, on utilise un faisceau intense d'antiprotons de basse énergie fourni par le LEAR. Ces antiprotons réagissent au repos dans une cible d'hydrogène H_2 situé au centre du détecteur de CP-LEAR. Ce dernier est constitué de 5 sous-détecteurs cylindriques emboîtés les uns dans les autres (PIDs, DCs, PCs, STs et CALO; voir figures 3-3 et 3-4) et parallèles au faisceau d'antiprotons. Le détecteur de CP-LEAR possède les propriétés suivantes [5]:

- 1) un très grand angle solide ($0.79 \times 4\pi$ stéradians), puisque l'on doit observer les kaons chargés, les pions primaires qui leur sont associés ainsi que les produits de désintégration des kaons neutres.

- 2) une grande précision dans la reconstruction des événements dans une région où l'interférence K_S-K_L est visible (détecteurs de traces ou tracking devices, comprenant deux étages de chambres proportionnelles, 6 étages de chambres à dérivation et 2 étages de chambres à streamer). Cela signifie que ces détecteurs, emboîtés les uns dans les autres, forment un système de détection d'un rayon $R > 20\text{cts} \approx 50\text{ cm}$. Le signe du kaon est déterminé grâce à un champ magnétique uniforme et homogène d'environ 0.44T, parallèle au faisceau, régnant dans tout le détecteur. A noter aussi que les Tracking Devices sont optimisés pour détecter des particules de très faible énergie avec lesquelles ils doivent interagir le moins possible. Entre autre, le phénomène de régénération doit être diminué au maximum (cf paragraphe 2.1.1).
- 3) une bonne séparation $K^\pm/\pi^\pm$, réalisée par des PIDs (Particles Identification Devices).
- 4) une bonne précision dans la mesure de la position et de l'énergie des photons, des électrons et des positrons (calorimètre électromagnétique).

Comme l'ensemble des réactions $p\bar{p} \rightarrow \bar{K}^0 K^+ \pi^-$ et $p\bar{p} \rightarrow K^0 K^- \pi^+$ a un taux de branchement de 0.004 (cf Annexe B), un système de sélection (le trigger) doit éliminer très rapidement tout événement d'un autre type. Pour ce faire, le trigger dispose d'informations venant directement des sous-détecteurs. Si un événement est jugé valable, il est pris en compte par le système d'acquisition et une écriture sur cassette a lieu.

Comme l'étude de l'interférométrie nécessite une grande statistique, le dispositif expérimental de CP-LEAR doit impérativement minimiser le temps mort de l'acquisition en même temps que le trigger doit assurer une bonne qualité des événements écrits sur cassette.

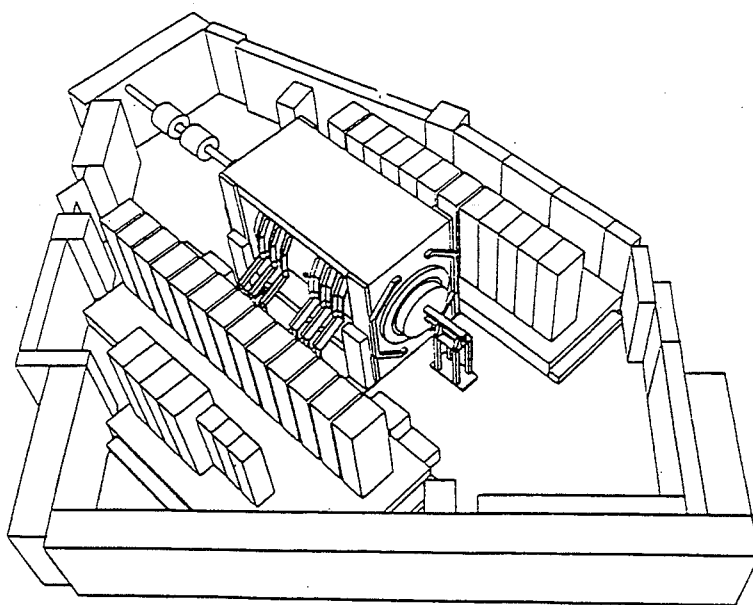


Figure 3-2 : Vue d'ensemble du détecteur CP-LEAR.

A noter que toute l'électronique de lecture des sous-détecteurs ainsi que le trigger se trouvent immédiatement à côté du détecteur de façon à diminuer le temps mort [6].

3.1.1 Structure du détecteur

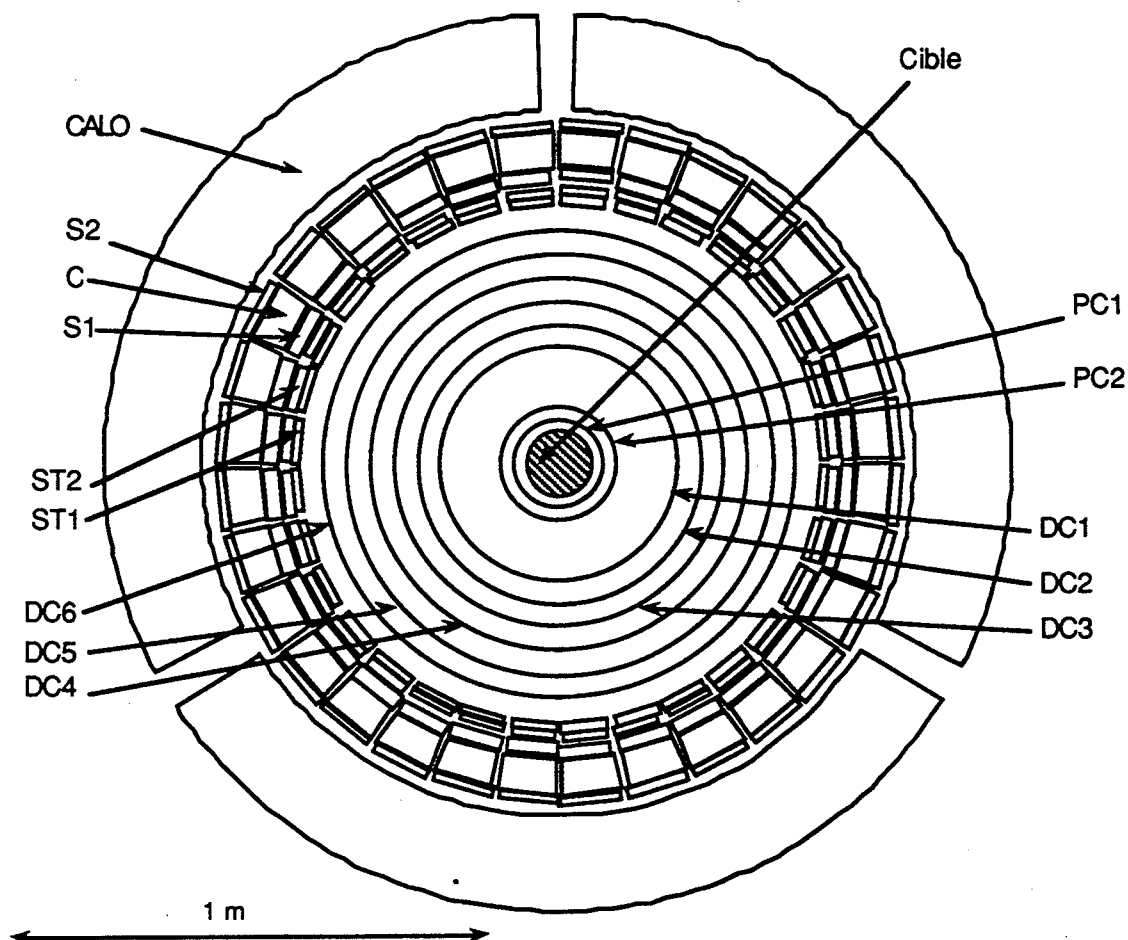


Figure 3-3: Coupe transversale du détecteur CP-LEAR
PC1,PC2 : 2 chambres proportionnelles.
DC1,...,DC6 : 6 chambres à dérivation.
ST1,ST2 : 2 chambres à streamer.
S1 : scintillateurs intérieurs.
S2 : scintillateurs extérieurs.
C : détecteurs Cherenkov.
CALO : calorimètre.

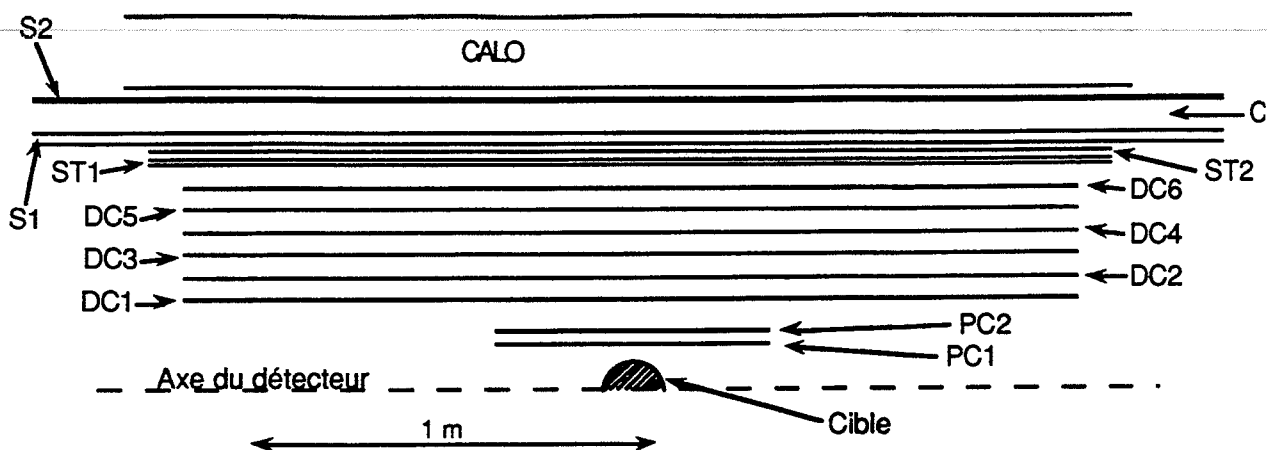


Figure 3-4: Coupe longitudinale du détecteur CP-LEAR
 PC1,PC2 : 2 chambres proportionnelles.
 DC1,...,DC6 : 6 chambres à dérive.
 ST1,ST2 : 2 chambres à streamer.
 S1 : scintillateurs intérieurs.
 S2 : scintillateurs extérieurs.
 C : détecteurs Cherenkov.
 CALO : calorimètre.

3.1.2 Coordonnées associées au détecteur Secteurs et mini-secteurs

Pour des raisons évidentes, nous avons choisi un système de coordonnées cylindriques pour décrire chaque point du détecteur (voir figure 3-5 ci-dessous). L'axe x n'est pas horizontal (angle de 5.625°) mais est dirigé dans l'axe d'un PID choisi comme référence; l'axe y est perpendiculaire à l'axe x. La raison sera invoquée dans le chapitre suivant.

D'autre part, le détecteur est découpé en 32 secteurs de façon à ce qu'un secteur contienne exactement 1 PID et un module de tubes à streamer. Le secteur 0 est celui pointé par l'axe x (voir figure 3-5 ci-dessous).

Les chambres à dérive et proportionnelles sont subdivisées en 64 mini-secteurs, le mini-secteur 1 étant totalement centré sur le secteur 0.

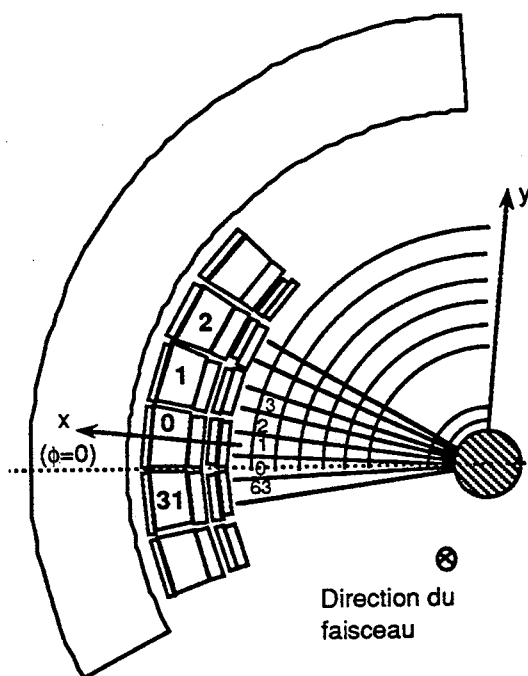
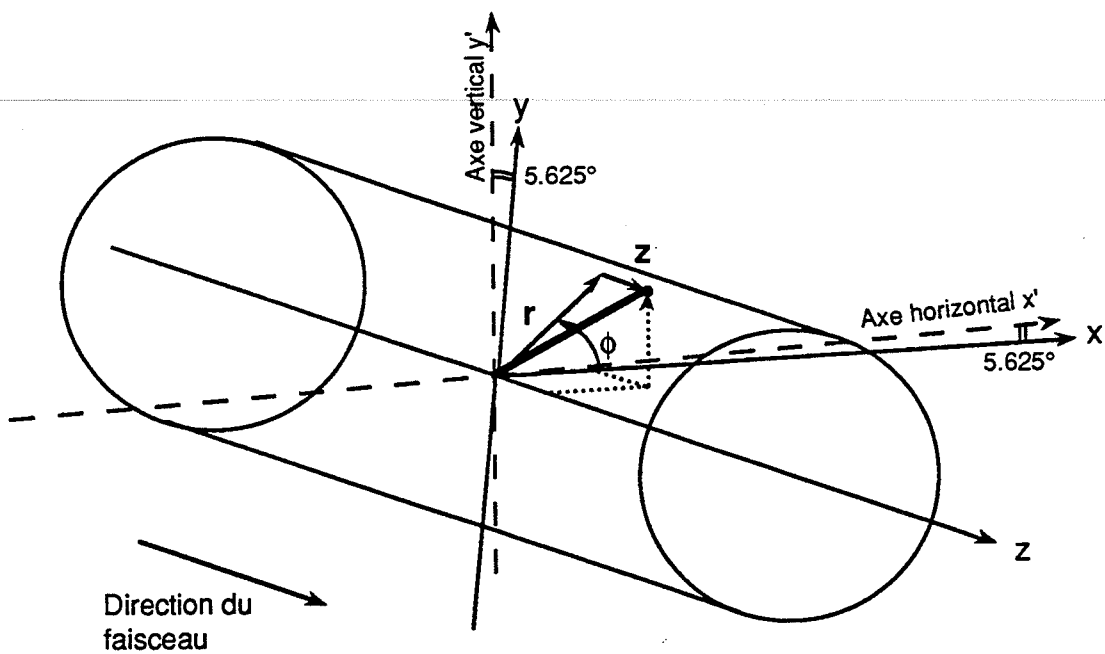


Figure 3-5: En haut, le système de coordonnées choisi pour décrire chaque point du détecteur (en caractère gras, le système de coordonnées cylindriques).
En bas, le découpage transversal du détecteur de CP-LEAR en secteurs et en mini-secteurs.

3.2 Le faisceau et la cible

3.2.1 Le faisceau

Les antiprotons sont extraits de l'anneau de stockage LEAR (Low Energy Antiproton Ring) du CERN, qui peut fournir des faisceaux intenses (jusqu'à $2 \times 10^6 \bar{p}/s$) de quantité de mouvement pouvant descendre jusqu'à 60 MeV/c. L'expérience CP-LEAR utilise des antiprotons de 200 MeV/c [8].

Vu que le LEAR peut stocker environ $4 \times 10^9 \bar{p}$, on travaille avec un flux de $10^6 \bar{p}/s$ ($\gamma = 1$ MHz) pendant des périodes d'environ 80 minutes. Ce flux ne possède pas de structure. Ainsi, le nombre n d'antiprotons entrant dans le détecteur par unité de temps est régi par une distribution de Poisson :

$$P(n) = \frac{(\gamma t)^n e^{-\gamma t}}{n!} \quad (3.1)$$

Par conséquent, il peut arriver que deux antiprotons se suivent dans un intervalle de temps inférieur à 90 ns. Ceci a une incidence au niveau du trigger, comme on le verra dans le chapitre suivant !

3.2.2 La cible

Les antiprotons de 200 MeV/c rencontrent successivement sur leur chemin, avant de s'annihiler au repos au centre de la cible (voir figure 3-6)[9] [10] :

- 1) deux petites chambres à fils permettant de visualiser la forme du faisceau en x et y ($\sigma_x = \sigma_y = 0.5$ mm). La position du faisceau à l'entrée est ainsi connue et peut être corrigée. Les antiprotons n'y perdent quasiment pas d'énergie.
- 2) un ralentisseur en béryllium d'une épaisseur de 1.8 mm, qui a pour but de centrer la distribution des vertex d'annihilation dans la cible. L'angle de ce ralentisseur par rapport à l'axe du faisceau peut être modifié à distance, faisant varier son épaisseur effective de 60 μm . Ceci permet d'ajuster la position moyenne d'annihilation dans une plage de ± 2 cm le long de l'axe du faisceau (coordonnée z), en se basant sur des informations disponibles dans le système de surveillance des chambres à dérive. Ce système calcule en effet les coordonnées des vertex et présente, durant toute prise de données, un histogramme de la distribution des vertex d'annihilation dans la cible par rapport à z .
- 3) un scintillateur d'un diamètre de 12 mm et d'une épaisseur de 1 mm : le Beam Counter. Dès qu'une particule franchit ce scintillateur, le trigger est mis en route.
- 4) la cible d'hydrogène gazeux à 15 atmosphères, contenu dans une sphère de 14 cm de diamètre dont les parois sont en fils de Kevlar collés à l'araldite recouvrant une couche de Mylar de 125 μm . L'épaisseur totale des parois est de 800 μm . La fenêtre d'entrée du faisceau de 1.1 cm de diamètre est en mylar (épaisseur : 125 μm). Les antiprotons y perdent encore leur l'énergie cinétique. Le fait d'avoir si peu de matériaux pour contenir l'hydrogène est très important :

- lorsque les antiprotons entrent dans la cible, ils doivent interagir le moins possible avec des noyaux autres que ceux d'hydrogène. En effet, si un antiproton s'annihile sur un tel noyau, des fragments nucléaires sont émis, parmi lesquels des protons suffisamment énergétiques pour atteindre les PIDs mais avec une vitesse inférieure au seuil des détecteurs Cherenkov, simulant ainsi des kaons.

- après des réactions $p\bar{p} \rightarrow \bar{K}^0 K^+ \pi^-$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^0 K^- \pi^+$, il faut éviter le plus possible le phénomène de régénération dans les parois de la cible (cf paragraphe 2.1.1). Aussi, l'utilisation d'une cible d'hydrogène liquide, même de 0.5 mm de diamètre (pour intercepter le faisceau), n'est pas heureuse à cause du phénomène de régénération.

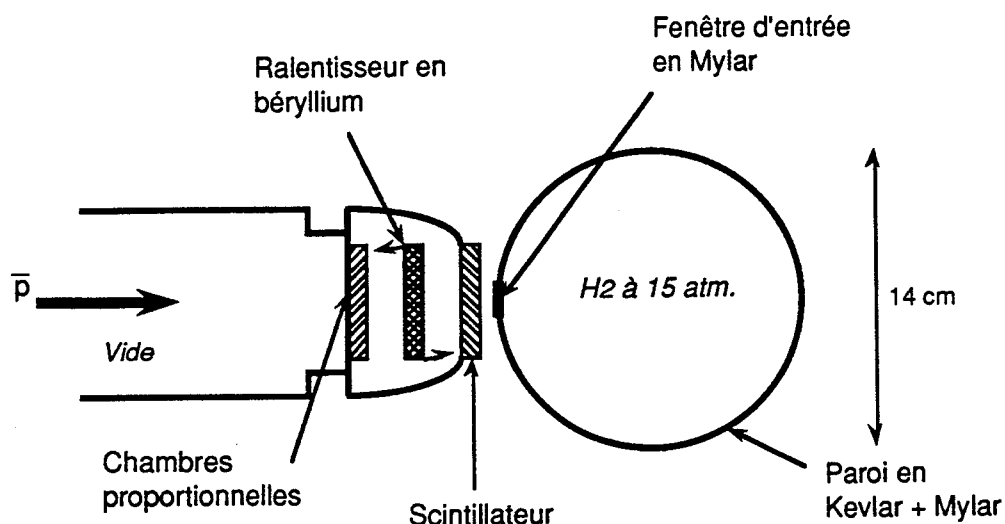


Figure 3-6 : Schéma du système de monitoring du faisceau.

3.2.3 La logique associée au Beam Counter

Les particules traversant le scintillateur ci-dessus ne sont pas forcément des antiprotons : il peut aussi s'agir de particules créées à la suite de l'annihilation d'antiprotons (pions ou leptons). De fait, une logique, créée à la sortie du Beam Counter, fournit au trigger 2 signaux NIM (voir figure 3-7)[10] :

- le signal BC-ALL met le trigger en route.
- le signal $\bar{P}$ valide le résultat du tout premier étage du trigger (l'EDL), sauf si l'expérience CP-LEAR travaille avec des rayons cosmiques.

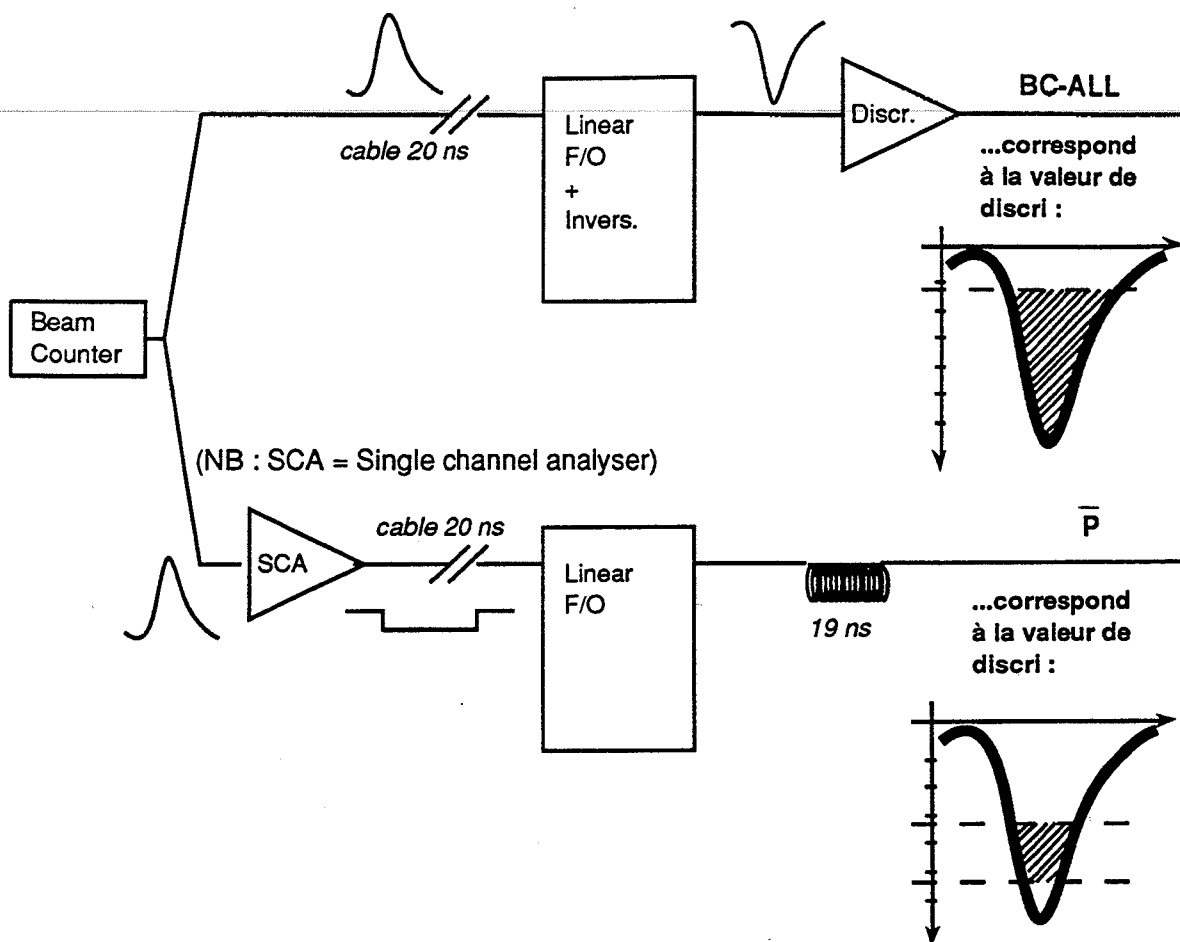


Figure 3-7 : Schéma partiel de la logique créant les signaux BC-ALL et $\bar{P}$.

Définissons ici le temps de référence absolu t_0 du trigger : lorsque le signal BC-ALL entre dans le trigger (entrée du Trigger Control) !

3.3 Les détecteurs de traces

La principale tâche des tracking devices (3 sous-détecteurs, à savoir les chambres proportionnelles, les chambres à dérive et les streamer tubes) est de pouvoir reconstruire la trajectoire des particules chargées.

3.3.1 Les chambres proportionnelles (PCs)

Les deux chambres proportionnelles PC1 et PC2 ont pour but de déterminer les deux premiers points d'une trace partant de la cible ou un voire deux points d'une trace partant des chambres proportionnelles elles-mêmes. Leur rayon est respectivement de 9.5 cm et 12.7 cm, ce qui revient au recouvrement du domaine de temps propre t compris entre 0 et $5\tau_s$. Leur longueur est de 70 cm et leur épaisseur est de 10 mm. L'épaisseur ainsi que la densité des chambres ont été minimisées de façon à diminuer le phénomène de régénération. L'épaisseur totale des chambres proportionnelles représente 2.22×10^{-3} longueurs de radiations (X_0). Le mélange gazeux est fait de 79.5 % d'Argon, 20 % d'isobuthane et de 0.5 % de Fréon.

Les cathodes sont réalisées par un dépôt métallique sur les surfaces externe et interne des cylindres constituant la partie mécanique autoportante des chambres. Ces dépôts forment des pistes en hélice dont les angles stéréos sont de $\pm 19.5^\circ$ pour PC1 et $\pm 27.9^\circ$ pour PC2. Ces cathodes servent à la reconstruction de la coordonnée z de chaque point, ce avec une précision de $\sigma_z = 1$ mm.

Les anodes sont des fils parallèles à l'axe du faisceau, espacés de 1 mm. Ces anodes fournissent la grandeur $r\Phi$ de chaque point avec une précision $\sigma_{r\Phi} = 350$ μm . Les fils d'anodes sont artificiellement regroupés en 64 mini-secteurs selon la subdivision présentée dans le paragraphe 3.2.1(du coup, on a 576 fils = 9×64 fils dans la chambre PC1 et 768 fils = 12×64 fils dans la chambre PC2)[11]. L'efficacité des chambres proportionnelles est de 99 %.

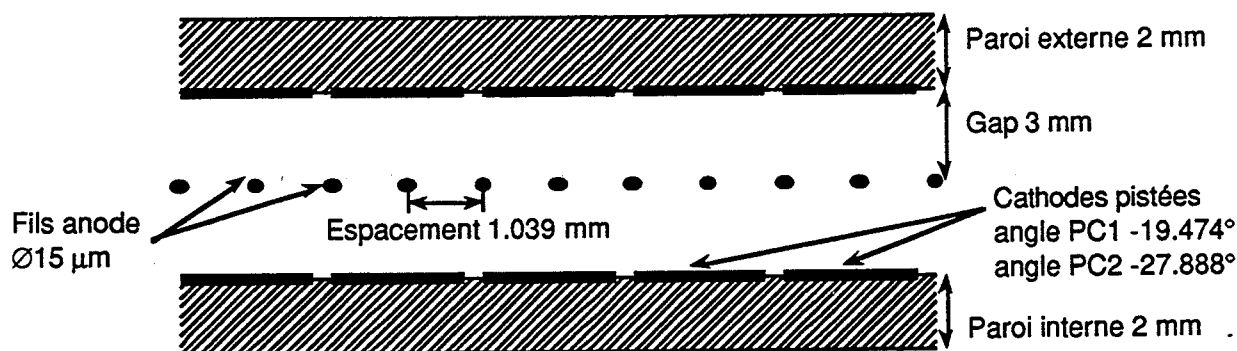


Figure 3-8 : Coupe transversale d'une chambre proportionnelle.

L'électronique de lecture des chambres proportionnelles peut fournir au trigger 2 patterns de 64 bits : les patterns PC1 et PC2. Par exemple, si le bit N ($0 \leq N \leq 63$) du pattern PC1 est actif, cela signifie qu'au moins un fil de la chambre PC1 se trouvant dans le mini-secteur N a été touché.

Au besoin, le trigger peut également interroger l'électronique de lecture des chambres proportionnelles sur ce qu'il s'est passé dans un mini-secteur d'une chambre donnée.

3.3.2 Les chambres à dérive

Les 6 chambres à dérive DC1 à DC6 ont pour but de déterminer les autres points d'une trace partant du centre du détecteur ou les points des traces secondaires. Leur rayon varie de 25.46 cm à 50.95 cm (voir tableau 3-1 ci-dessous), ce qui revient au recouvrement du domaine de temps propre t compris entre $5\tau_s$ et $20\tau_s$. Leur longueur est de 2.3 m et leur épaisseur est de 10 mm. L'épaisseur ainsi que la densité des chambres ont été minimisées de façon à diminuer le phénomène de régénération. L'épaisseur totale des chambres à dérive représente $6.9 \times 10^{-3} X_0$. Le mélange gazeux est fait de 50 % d'Argon, et de 50 % d'éthane.

Les cathodes sont réalisées par un dépôt d'or sur les surfaces externe et interne des cylindres constituant la partie mécanique autoportante des chambres (strips). Ces dépôts forment des pistes en hélice dont les angles stéréos varient de -11.57° ($+10.60^\circ$) pour DC1 à -25.41° ($+25.40^\circ$) pour DC6 (voir tableau 3-1 ci-dessous). Ces cathodes servent à la reconstruction de la coordonnée z de chaque point, ce avec une précision de $\sigma_z = 3$ mm.

Les anodes sont des fils parallèles à l'axe du faisceau, regroupés en doublets. L'écartement entre les fils d'un doublet est de 0.5 mm et les doublets sont eux-mêmes espacés de 10 mm. A mi-chemin entre deux doublets se trouve un fil de potentiel d'un diamètre de 100 μm . La région comprise entre deux fils de potentiel s'appelle une cellule de dérive, et celle comprise entre un doublet et un fil une demi-cellule de dérive par conséquent. Les anodes sont groupées en doublets pour lever l'ambiguïté gauche/droite dans chaque cellule. Ces anodes fournissent la grandeur $r\Phi$ de chaque point avec une précision $\sigma_r = 250 \mu\text{m}$. Les doublets d'anodes sont artificiellement regroupés en 64 mini-secteurs selon la subdivision présentée dans le paragraphe 3.2.1 (voir tableau 3-1 ci-dessous). L'efficacité des chambres à dérive est de 96 % [12].

	Rayon [cm]	Nbre de doublets	Nbre de strips cathodes int.	Angle strips cathodes int.	Nbre de strips cathodes ext.	Angle strips cathodes ext.
DC1	25.46	$160 = 64 \times 5/2$	275	10.60°	285	-11.57°
DC2	30.56	$192 = 64 \times 3$	324	13.06°	336	-15.22°
DC3	35.65	$224 = 64 \times 7/2$	378	16.34°	385	-18.20°
DC4	40.65	$256 = 64 \times 4$	424	20.06°	432	-21.00°
DC5	45.84	$288 = 64 \times 9/2$	465	23.04°	477	-23.26°
DC6	50.95	$320 = 64 \times 5$	510	25.40°	520	-25.41°

Tableau 3-1 : Principaux paramètres des chambres à dérive.

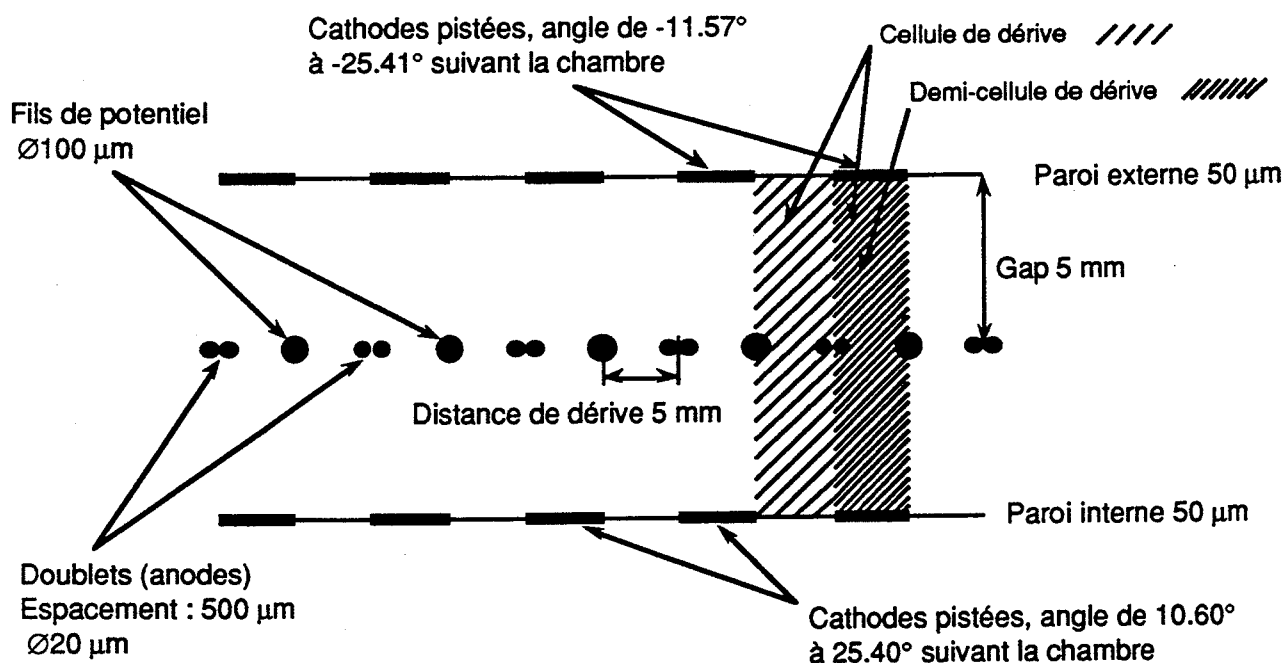


Figure 3-9 : Coupe transversale d'une chambre à dérive.

L'électronique de lecture des chambres à dérive peut fournir au trigger 2 groupements de respectivement 640 et 320 niveaux qu'elle doit valider à la fin du temps de dérive. A chacun de ces niveaux correspond un fil des chambres DC6 et DC1 respectivement : un niveau est actif seulement si le fil correspondant a été touché.

L'électronique de lecture des chambres à dérive peut fournir au trigger 6 patterns de 64 bits : les patterns DC1, DC2, DC3, DC4, DC5 et DC6. Par exemple, si le bit N ($0 \leq N \leq 63$) du pattern DC2 est actif, cela signifie qu'au moins un fil de la chambre DC2 se trouvant dans le mini-secteur N a été touché.

Au besoin, le trigger peut également interroger l'électronique de lecture des chambres à dérive sur ce qu'il s'est passé dans un mini-secteur d'une chambre donnée.

3.3.3 Les streamer tubes (STs)

Les 2 couronnes de chambres à streamer ST1 et ST2 ont pour but de calculer le plus rapidement possible la coordonnée z du point d'intersection de chaque trace avec les rayons 58.2 cm et 60 cm par rapport à l'axe du détecteur. Leur longueur est de 2.52 m et leur épaisseur est de 17.5 mm. Chaque couronne est constituée de 32 modules, soit un par secteur. Chaque module est lui même constitué d'un boîtier d'aluminium contenant 2x6 tubes (voir figure 3-10). L'épaisseur ainsi que la densité des tubes ont été minimisées de façon à diminuer le phénomène de régénération. L'épaisseur totale des chambres à streamer représente $2.5 \times 10^{-2} X_0$. Le mélange gazeux est fait de 46 % d'isobutane, de 50 % d'Argon, 4 % de méthylal et de 0.008 % de fréon.

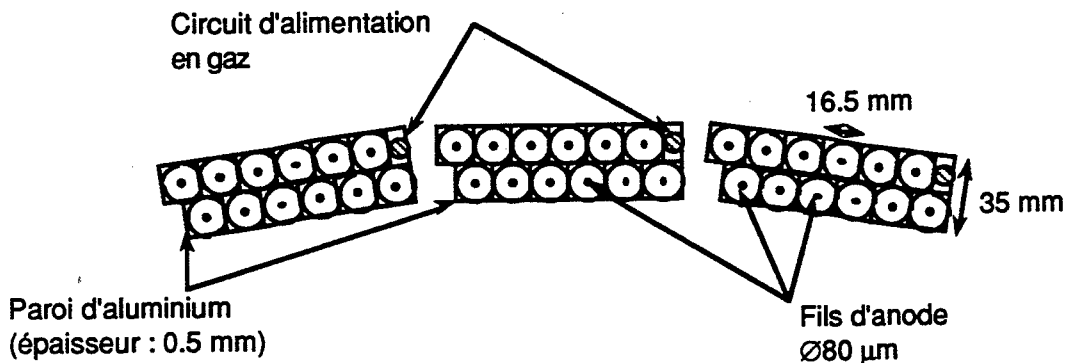


Figure 3-10 : Coupe transversale de 3 modules de chambres à streamer.

Les anodes sont des fils parallèles à l'axe du faisceau, le long desquels la différence des temps de propagation est lue grâce à des convertisseurs temps-numérique (voir figure 3-11). Ces anodes fournissent la grandeur z avec une précision $\sigma_z = 1.5$ cm. L'efficacité des chambres à streamer est de 98 % [13].

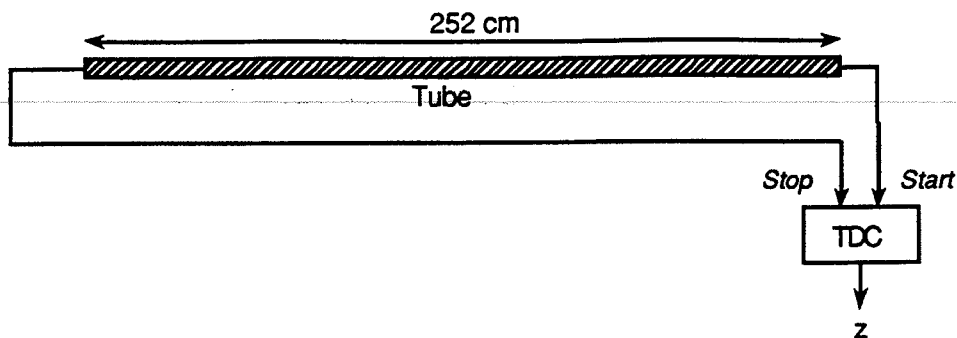


Figure 3-11 : Fonctionnement d'un tube à streamer.

L'électronique de lecture des tubes à streamer peut fournir au trigger un pattern de 32 bits : le pattern ST. Par exemple, si le bit N ($0 \leq N \leq 31$) du pattern ST est actif, cela signifie qu'au moins un des 12 tubes (ST1 et ST2 confondus) se trouvant dans le secteur N a été touché.

Au besoin, le trigger peut également interroger l'électronique de lecture des tubes à streamer sur ce qu'il s'est passé dans un module (secteur) donné.

3.4 Le système d'identification des particules : Les PIDs

La couronne des PIDs a pour but d'effectuer la distinction et la sélection des pions et des kaons chargés, cruciale pour sélectionner les événements "Golden" (cf Annexe B). La couronne est constituée de 32 modules (un par secteur), les PIDs, chacun d'eux étant réalisé par un sandwich scintillateur(S1)-Cherenkov(C)-scintillateur(S2) situé à un rayon moyen de 68 cm par rapport à l'axe du détecteur. Les PIDs sont trapézoïdaux (voir figure 3-12 ci-dessous) et ont une couverture angulaire d'environ 11° . Leur épaisseur vue du centre du détecteur est de 12.5 cm, soit $0.6 X_0$ (ce qui constitue un inconvénient pour le calorimètre) et leur longueur de 310 cm [14].

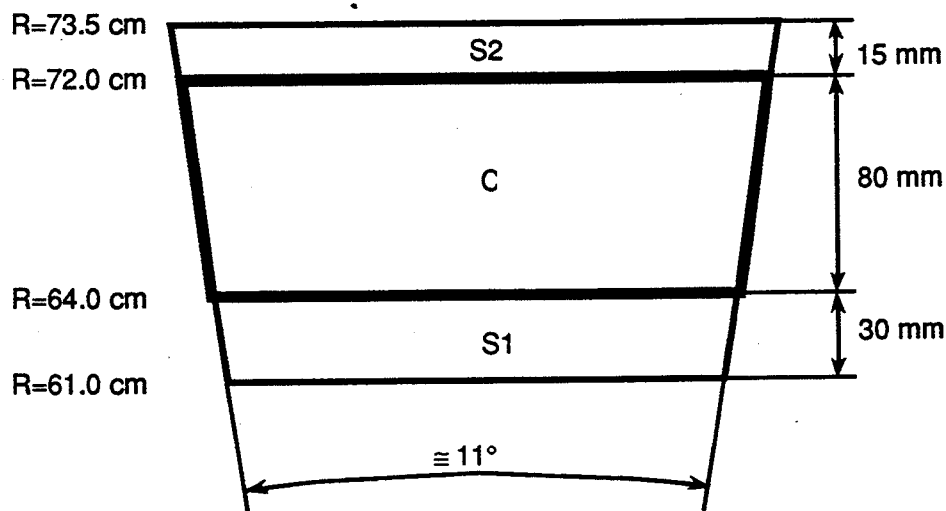


Figure 3-12 : Coupe transversale d'un PID.

3.4.1 Les scintillateurs S1 et S2

Les scintillateurs S1, utilisés pour la mesure des temps de vol et de la multiplicité des traces chargées, ont une épaisseur de 3 cm et sont en plastique Bicron BC408. Les scintillateurs S2, chacun utilisé en coïncidence avec le scintillateur S1 correspondant pour confirmer le passage d'une particule, ont une épaisseur de 1.4 cm et sont en NE102A. Chaque extrémité des scintillateurs est prolongée par un guide de lumière jusqu'à l'extérieur de l'aimant et terminée par un photo-multiplicateur. Ainsi, chaque scintillateur (secteur) peut fournir 2 signaux de sortie de PM passant par des discriminateurs. Les signaux des scintillateurs S1 sont également traités par des convertisseurs analogique-numérique (ADC) et des convertisseurs temps-numérique (TDC), ces derniers prenant comme temps de référence le temps d'arrivée du premier signal fourni par le trigger (voir figure 3-13 ci-dessous)[14].

La résolution temporelle est de $\sigma_t = 250$ ps et la résolution en z de $\sigma_z = 35$ mm. L'efficacité des scintillateurs est de 97 %.

3.4.2 Les détecteurs Cherenkov C

Les détecteurs Cherenkov, utilisés pour la séparation et la distinction des pions et des kaons chargés, ont une épaisseur de 8 cm et sont constitués d'une boîte en verre acrylique poli. Ils sont remplis d'un radiateur FC72 (C_6F_{14}) dont l'indice de réfraction est de 1.26 et dont le seuil de déclenchement vaut $\beta_c = 0.79$ (si l'on tient compte des pertes d'énergie, le seuil effectif est de $\beta = 0.81$). La majorité des pions ont en effet un β plus grand que ce seuil, soit aux alentours de 0.90 alors que les kaons, plus lourds, ont un β maximal d'environ 0.83. A noter que la lumière émise par le FC72 se trouve principalement dans l'UV ($\lambda < 280$ nm) : on a rajouté dans le FC72 un décaleur de spectre, du Diphénol Oxazol (PPO) qui absorbe dans l'UV et réémet dans le visible ($\lambda = 340$ nm). Chaque extrémité des détecteurs Cherenkov est prolongée par un guide de lumière jusqu'à l'extérieur de l'aimant et terminée par 2 photo-multiplicateurs. Ainsi, chaque détecteur Cherenkov (secteur) peut fournir 4 signaux de sortie de PM, passant par des discriminateurs et des convertisseurs analogique-numérique (ADC) (voir figure 3-13 ci-dessous)[14].

Le taux de réjection pionique est de 99 % pour $p > 500$ MeV/c.

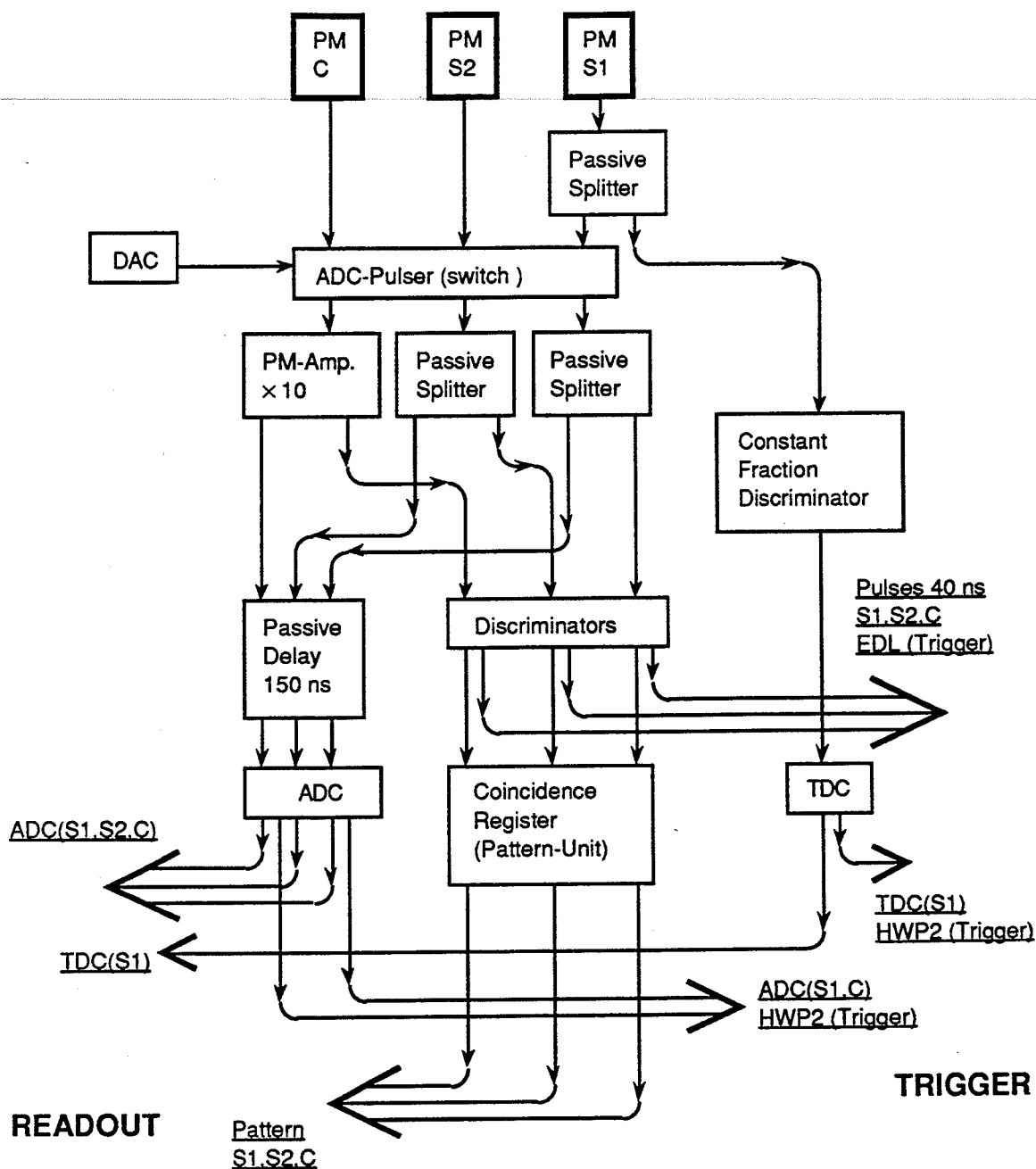


Figure 3-13 : Schéma de lecture des PIDs par rapport à l'acquisition d'une part, par rapport au trigger d'autre part.

Le trigger reçoit des discriminateurs des PIDs les toutes premières informations provenant du détecteur de CP-LEAR. Chaque discriminateur fournit une impulsion d'environ 40 ns si le photomultiplicateur correspondant a été déclenché. Ainsi, la connection entre les PIDs et le trigger s'établit comme suit :

- 2 bus de 32 lignes (ECL) concernant les scintillateurs S1.
- 2 bus de 32 lignes (ECL) concernant les scintillateurs S2.
- 4 bus de 32 lignes (ECL) concernant les détecteurs Cherenkov C.

Au besoin et pour un secteur donné, le trigger peut également demander à l'électronique de lecture des PIDs la valeur des ADC et des TDC concernant le scintillateur S1 et la valeur des ADC concernant le détecteur Cherenkov.

3.5 Le calorimètre (CALO)

Le calorimètre a pour but d'identifier les photons, les électrons et les pions (séparation e/π) et de permettre la reconstruction des vertex des désintégrations neutres. La précision dans la reconstruction des vertex neutres est plus sensible à la résolution spatiale dans la détermination des pieds de gerbe qu'à la résolution en énergie, d'où le choix d'un calorimètre à grande granularité et à résolution limitée en énergie. Le calorimètre est constitué d'un empilement de 18 couches. Chaque couche est formée d'une feuille de plomb de 1.5 mm d'épaisseur, rigidifiée par deux feuilles d'aluminium de 0.3 mm chacune, et d'un plan de tubes à fil (pour la localisation en $r\phi$ des particules chargées de la gerbe) et à cathode résistive (pour la localisation en z). Les tubes sont assemblés par groupes de 8 en chambres qui sont en sandwich entre deux plans d'époxy sillonnés par des bandes conductrices (pistes ou strips) inclinées de $+30^\circ$ (pistes U) et -30° (pistes V). Ces pistes captent le signal transmis par la cathode. Avec une H.T. de 3.2 kV et un mélange gazeux de 60% de CO_2 et de 40 % de n-pentane, les chambres fonctionnent en régime de haute amplification, proche du mode "streamer". La couche intérieure du calorimètre se trouve à 77 cm de l'axe du détecteur. La longueur du calorimètre est de 261 cm et son épaisseur est d'environ 20.6 cm, soit environ $5.8 X_0$ [15].

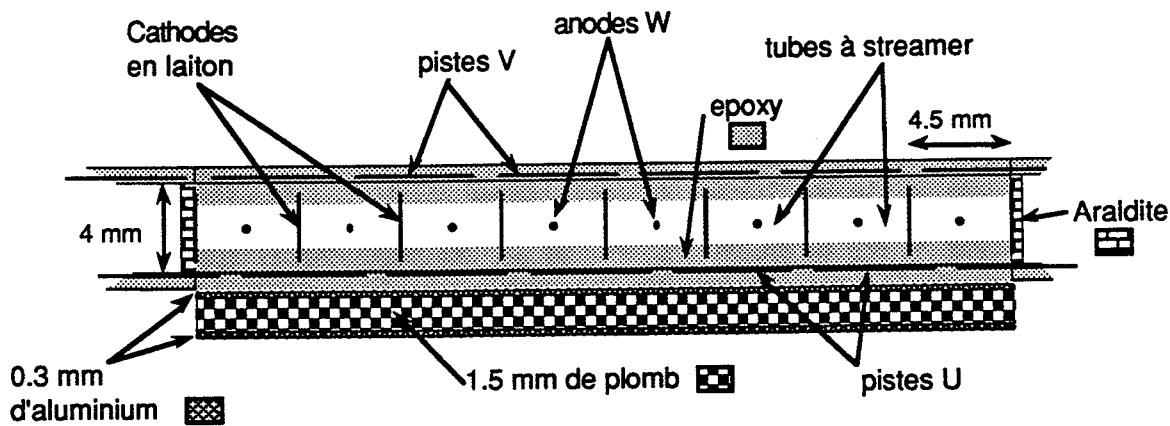


Figure 3-14 : Coupe transversale d'une chambre du calorimètre.

La résolution est de 1.5 mm en $r\phi$ et de 3.5 mm en z . Ceci permet une résolution sur le point de conversion du photon de $\sigma_{r\phi} = 3$ mm et de $\sigma_z = 5$ mm. La mesure de l'énergie s'effectue en comptant le nombre de tubes touchés. La résolution ainsi obtenue est de $\sigma E/E = 0.15/\sqrt{E(\text{GeV})}$. Avec ces résolutions, on obtient une précision de reconstruction sur les vertex secondaires neutres de 1.6 mm pour les désintégrations $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^0\pi^0$ et de 6 cm pour les désintégrations $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$.

Le calorimètre possède 17112 fils d'anode W et 45936 strips U et V. En les regroupant par 8 (par exemple, 8 fils d'anode = une chambre à streamer), on crée des "hitgroup patterns" (HGP), chaque bit étant actif si au moins un des 8 fils/strips correspondants a été touché. On obtient ainsi 2139 bits pour les chambres et 5742 bits pour les strips. Suit alors une phase où l'on ne considère plus que les chambres et les groupements de strips correspondant à des bits non nuls. L'électronique de lecture du calorimètre peut envoyer ces bits intéressants au trigger, sous la forme de mots de 16 bits : les HGP words [17].

Le trigger peut interroger l'électronique de lecture du calorimètre pour compléter son information concernant telles chambres ou tels groupements de strips.

3.6 L'aimant

Le solénoïde utilisé est celui de l'expérience DM2 adapté pour fournir un champ homogène de 0.44 T dans le volume cylindrique comprenant le détecteur. Il a un diamètre de 2 m et une longueur de 3.62 m [16].

Pour réduire les erreurs systématiques d'asymétrie de charge introduite par le détecteur, le champ magnétique est inversé périodiquement.

A noter qu'on aurait pu à la rigueur intercaler le solénoïde entre les PIDs et le calorimètre, mais comme il représente environ $1 X_0$, 65 % des photons auraient interragi en deçà du calorimètre.

Chapitre 4

Description du trigger L'EDL, le Pt-Cut, l'IDL et HWP1

4.1 Introduction : les objectifs du trigger

Le but du trigger est de sélectionner le plus rapidement possible les événements correspondant aux réactions $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$ de façon à les écrire sur cassette. De fait, dans un premier temps, le trigger doit essentiellement détecter la présence d'un kaon chargé $K^{+/-}$ et d'un pion chargé $\pi^{-/+}$ de signe opposé provenant du centre du détecteur [6].

Une première sélection s'opère très rapidement à partir des informations provenant des PIDs. Dans ce premier étage du trigger (l'Early Decision Logic ou EDL), on exige qu'au moins 2 scintillateurs S1 soient déclenchés et qu'au moins un PID indique qu'une particule l'a traversé à une vitesse inférieure à un certain seuil ($\beta < 0.81$) [18].

Dans le second étage du trigger (le PtCut), on renforce la décision de l'EDL en exigeant qu'il existe au moins une particule d'impulsion transverse supérieure à un certain seuil (entre 200 MeV et 800 MeV) mais de vitesse $\beta < 0.81$. Les seules particules qui remplissent idéalement ces deux conditions sont les kaons chargés $K^{+/-}$ [18].

Cependant, ces deux premières sélections ne suffisent pas. Dans les réactions $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ et $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$, le but à atteindre en vue de la mesure des asymétries $K^0 - \bar{K}^0$ (voir chapitre 2) est de reconstruire avec précision la position du vertex de désintégration du kaon neutre tout en connaissant l'impulsion et les produits de désintégration du kaon neutre. Pour ce faire, le trigger continue de procéder par étapes successives :

- au 3^{ème} étage du trigger (Intermediate Décision Logic ou IDL), une sélection s'opère sur le nombre de traces éventuelles dans les chambres en vue de pouvoir les reconstruire en ligne.
- au 4^{ème} étage du trigger (HWP1), une autre sélection s'opère sur les paramètres cinématiques (calculés en ligne) de toutes les particules chargées observées dans les chambres proportionnelles, les chambres à dérive et les chambres à streamer (tracking devices). A ce stade, la position du vertex de désintégration du kaon neutre peut être déterminée si ce dernier s'est désintégré selon les modes $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^+ \pi^- (\pi^0)$ ou $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^{+/-} e^{-/+} \nu$.
- au 5^{ème} étage du trigger (HWP2), encore une autre sélection s'opère sur la réponse des ADC et des TDC provenant des PIDs, pour confirmer que le kaon $K^{+/-}$ et le pion $\pi^{-/+}$ issus de la réaction $p\bar{p} \rightarrow \dots$ sont bel et bien un kaon et un pion respectivement [19].
- au 6^{ème} étage du trigger (HWP2.5), une dernière sélection s'opère sur les données du calorimètre afin de déterminer s'il est possible de reconstruire la position du vertex du kaon neutre dans le cas où ce dernier se désintègre en pions neutres [20].

Il est à noter qu'un étage du trigger travaille toujours avec des résultats de l'étage ou voire des étages précédent(s)! Sinon, il aurait été possible de paralléliser le travail de 2 étages du trigger et créer ainsi un étage...

Le trigger de CP-LEAR travaille donc de façon séquentiel, durant 6 étapes auxquelles il faut en rajouter 2 : une étape d'acquisition des données du détecteur et du trigger et une étape d'initialisation du trigger et de l'électronique de lecture des sous-détecteurs (étape d'initialisation). Ces 8 étapes sont arbitrées par une unité centrale du trigger : le Trigger Control. En premier lieu, une description de ce dernier permet de comprendre comment le temps mort de l'acquisition est diminué. En second lieu, je décris les 6 étages du trigger et plus particulièrement les 4 premiers, dans lesquels j'ai été directement impliqué.

4.2 Le Trigger Control

4.2.1 Le rôle du Trigger Control par rapport au trigger, au détecteur et au système d'acquisition

Le Trigger Control joue un rôle central dans le fonctionnement du système expérimental de CP-LEAR [21][22]:

- 1) Le Trigger Control distribue le signal d'initialisation du trigger et de l'électronique de lecture des sous-détecteurs (signal CLEAR).
- 2) Le Trigger Control réceptionne les signaux BC-ALL provenant de la logique associée au Beam Counter. Comme ces signaux peuvent arriver à n'importe quel moment, quelle que soit l'étape dans laquelle se trouve le trigger, une logique d'entrée du Trigger Control est prévue à cet effet. Rappelons que le signal BC-ALL est le signal qui déclenche le Trigger Control (mise en route du trigger).
- 3) Comme le trigger travaille de façon séquentiel, le Trigger Control doit (en dehors des étapes d'initialisation et d'acquisition):
 - démarrer un étage donné du trigger.
 - attendre son résultat.
 - se réinitialiser ou réinitialiser l'électronique de lecture des sous-détecteurs et le trigger au besoin si ledit résultat est négatif (étape d'initialisation).
 - envoyer un signal démarrant l'étage suivant si ledit résultat est positif.Si ce résultat provient du dernier étage du trigger, le Trigger Control envoie l'ordre d'effectuer une acquisition, car tous les étages du trigger ont répondu positivement. Une étape d'initialisation suit toujours une étape d'acquisition.

Bien entendu, le Trigger Control peut être désactivé par un signal extérieur (STOPTRIG).

Le Trigger Control est constitué de deux parties : une logique d'entrée et un séquenceur.

4.2.2 La logique d'entrée et la FENETRE DE COLLISION

Lorsqu'un événement $p\bar{p} \rightarrow \dots$ se produit dans le détecteur, il faut compter environ 90 ns pour que la migration des ions s'effectue complètement dans les chambres à dérive. La logique d'entrée du Trigger Control doit donc empêcher toute manipulation d'un événement corrélé à un signal BC-ALL trop rapproché d'un autre dans le temps. De plus, à partir du moment où le 2^{ème} étage du trigger est déclenché, la logique d'entrée doit protéger le trigger contre les signaux BC-ALL jusqu'à la fin de la prochaine étape d'initialisation. Comme cette logique d'entrée réceptionnant le signal BC-ALL doit toujours rester active, elle est totalement découplée du séquenceur du Trigger Control [22].

Supposons le Trigger Control complètement initialisé. Le front avant du signal BC-ALL génère la FENETRE DE COLLISION (sortie d'un mono-stable redéclenchable). La FENETRE DE COLLISION a une largeur minimale de 90 ns ($L_c = L_{cmin} = 90$ ns). Si un deuxième signal BC-ALL arrive Δt ns ($\Delta t < 90$ ns) après un autre (voir figure 4-1), la largeur de la FENETRE DE COLLISION passe de L_c à $L_c + \Delta t$ ns, quelle que soit la valeur de L_c ! Le niveau de la FENETRE DE COLLISION indique donc qu'un signal BC-ALL est arrivé il y a moins de 90 ns. L'unique façon de désactiver la FENETRE DE COLLISION est d'attendre que deux signaux BC-ALL successifs se suivent dans un intervalle de temps supérieur à 90 ns (L_{cmin}).

Le front avant du signal BC-ALL génère le signal COLLISION si la FENETRE DE COLLISION est active (sortie d'un bi-stable). Ce signal reste actif jusqu'à la prochaine initialisation du Trigger Control.

Le front avant de la FENETRE DE COLLISION génère le signal EVENT (sortie d'un bi-stable) qui est distribué dans le Trigger Control en plusieurs exemplaires. Ce signal reste actif jusqu'à la prochaine initialisation du Trigger Control (voir annexe C). Si un signal BC-ALL arrive après le front arrière de la FENETRE DE COLLISION alors que le signal EVENT est actif, il est totalement ignoré !

Un exemplaire du signal EVENT est retardé et distribué en sortie (voir annexe C) de façon à ce que son front avant sauvegarde les informations S1, S2 et C provenant des discriminateurs des PIDs. A la sortie du Trigger Control, ce signal porte le nom de StrobePID et déclenche le premier étage du trigger: l'EDL.

Un autre exemplaire du signal EVENT est retardé d'environ 70 ns (attente du résultat de l'EDL : GoodPID) de façon à ce que son front avant sauvegarde le niveau du signal 'GoodPID and not(COLLISION)' dans 2 bi-stables distincts :

- Un des bi-stables fournit le signal StrobeFE. Ce signal déclenche l'électronique de lecture des sous-détecteurs et signifie que l'EDL a répondu positivement et qu'il n'y a pas eu deux signaux BC-ALL dans un intervalle de temps inférieur à 90 ns. Le signal StrobeFE est aussi (mais indirectement comme on le verra plus loin) le signal de déclenchement du 2^{ème} étage du trigger.
- L'autre bi-stable est utilisé de façon complémentaire et fournit le signal RST. De fait, $RST = \text{not}(\text{StrobeFE})$ jusqu'à la prochaine initialisation du Trigger Control, après laquelle on retrouve toujours la condition $RST = \text{StrobeFE} = 0$.

Toute la logique participant à la création de StrobeFE doit être extrêmement rapide : le séquenceur du Trigger Control, travaillant à l'aide d'une horloge de 50 MHz, ne peut en aucun cas faire partie de cette logique qui travaille à la nanoseconde près !

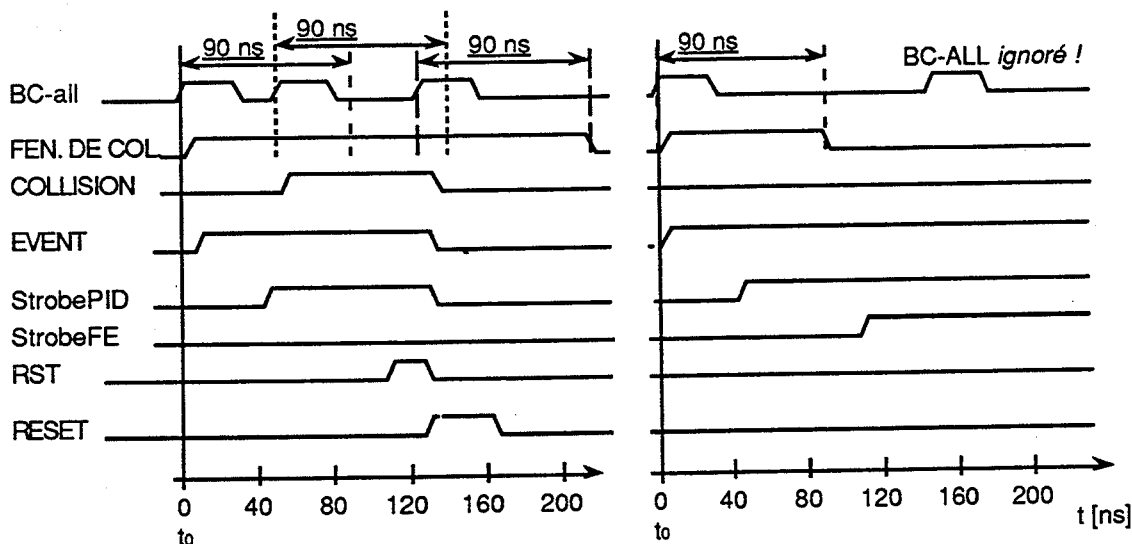


Figure 4-1: Deux exemples, le premier, à gauche, où la FENETRE DE COLLISION détecte 3 signaux BC-ALL se suivant trop rapidement. A noter que les signaux COLLISION, EVENT et StrobePID tombent et ne peuvent remonter tant que la FENETRE DE COLLISION reste active ! L'exemple de droite montre le cas où aucun signal BC-ALL n'arrive quand la FENETRE DE COLLISION est active : StrobeFE devient actif, sous-entendu que la décision du premier étage du trigger est positive dans ce cas (GoodPID=1).

Le signal RESET vient du séquenceur du Trigger Control.

4.2.3 Le séquenceur du Trigger Control

La logique du séquenceur du Trigger Control utilise le concept de machine d'états. Ses entrées peuvent se répartir en 4 groupes :

- 1) 4 signaux donnent le statut de la logique d'entrée du Trigger Control : COLLISION, EVENT, StrobeFE et RST. Il est judicieux de rappeler que le déclenchement du 1^{er} étage du trigger (l'EDL), la prise en compte du résultat de cet étage (GoodPID) et le déclenchement (indirect) du 2^{ème} étage du trigger ont déjà été effectués par la logique d'entrée du Trigger Control.
- 2) 5 signaux donnent le résultat des étages 2 à 6 du trigger: GoodPt, GoodIDL, GoodHWP1, GoodHWP2 et GoodHWP2.5.
- 3) 2 signaux indicatifs : StopCK indique au séquenceur que le 4^{ème} étage du trigger a terminé son travail et Strobe2.5 valide le résultat du dernier étage du trigger (HWP2.5), donc indique que ce dernier a terminé son travail.
- 4) 2 signaux fournis par le système d'acquisition : STOPTRIG inhibe complètement le séquenceur et GLOBAL-BUSY indique qu'une acquisition a lieu (étape d'acquisition), qu'une écriture sur cassette a lieu lorsque le trigger est prêt à donner l'ordre d'une nouvelle acquisition ou bien que l'on désire une étape d'initialisation plus longue.

Je fais totalement abstraction d'autres entrées et de certaines sorties du séquenceur qui existent mais qui ne sont utilisées que pour des opérations très particulières et techniques et qui n'ajoutent absolument rien dans la compréhension du fonctionnement du séquenceur (voir annexe C).

Considérons le Trigger Control inhibé par le signal STOPTRIG=1. Le séquenceur du Trigger Control se trouve alors dans l'état "Inhibit" (voir figure 4-2 ci-dessous). Dès que le signal STOPTRIG se désactive, le séquenceur change automatiquement d'état : le programme séquentiel, décrit dans la figure 4-2, commence.

Lorsque le séquenceur se trouve dans un nouvel état :

- 1) le séquenceur génère le signal portant le même nom que l'état dans lequel il se trouve. Deux états violent cette règle : l'état "Inhibit" et l'état "ReadyR/O" ou aucun signal de sortie du séquenceur n'est activé.
- 2) le séquenceur détermine la durée après laquelle il évalue la ou les condition(s) de sortie. Si au bout du temps imparti aucune condition de sortie n'est valable, le séquenceur reste de le même état.
Cette durée provient de deux raisons différentes :
 - on détermine de la sorte la longueur de certains signaux (ABORT, CLEAR et RESET).
 - on doit attendre le résultat d'un étage donné du trigger.
- 3) cependant, certains états possèdent des conditions de sortie prioritaires (voir figure 4-2): StrobeFE=1 (état "IDLE"), RST=1 (états "IDLE" et "ones"), COLLISION=1 (états "ones" et "StrobeIDL") qui ne rentre en jeu que si la FENETRE DE COLLISION est plus grande que 90 ns, Strobe2.5=1 (état "StrobeHWP2.5"), STOPTRIG=1 (tous les états !) et STOPTRIG=0 (état "Inhibit"). Si le séquenceur se trouve dans un état donné, il le quitte immédiatement si une condition de sortie prioritaire associée à cet état devient vraie. Cette condition de sortie est plus forte que les autres conditions de sortie de cet état. La condition STOPTRIG=1 est la plus forte de toutes : elle force le séquenceur à se trouver immédiatement et en toute priorité dans l'état "Inhibit" !
- 4) il existe encore une condition prioritaire par rapport à l'état "StrobeTL", StopCK=1, qui oblige le séquenceur à quitter immédiatement cet état si le séquenceur s'y trouve. Cette condition n'est pas une condition de sortie, contrairement à GoodHWP1=1 et GoodHWP1=0 par exemple.

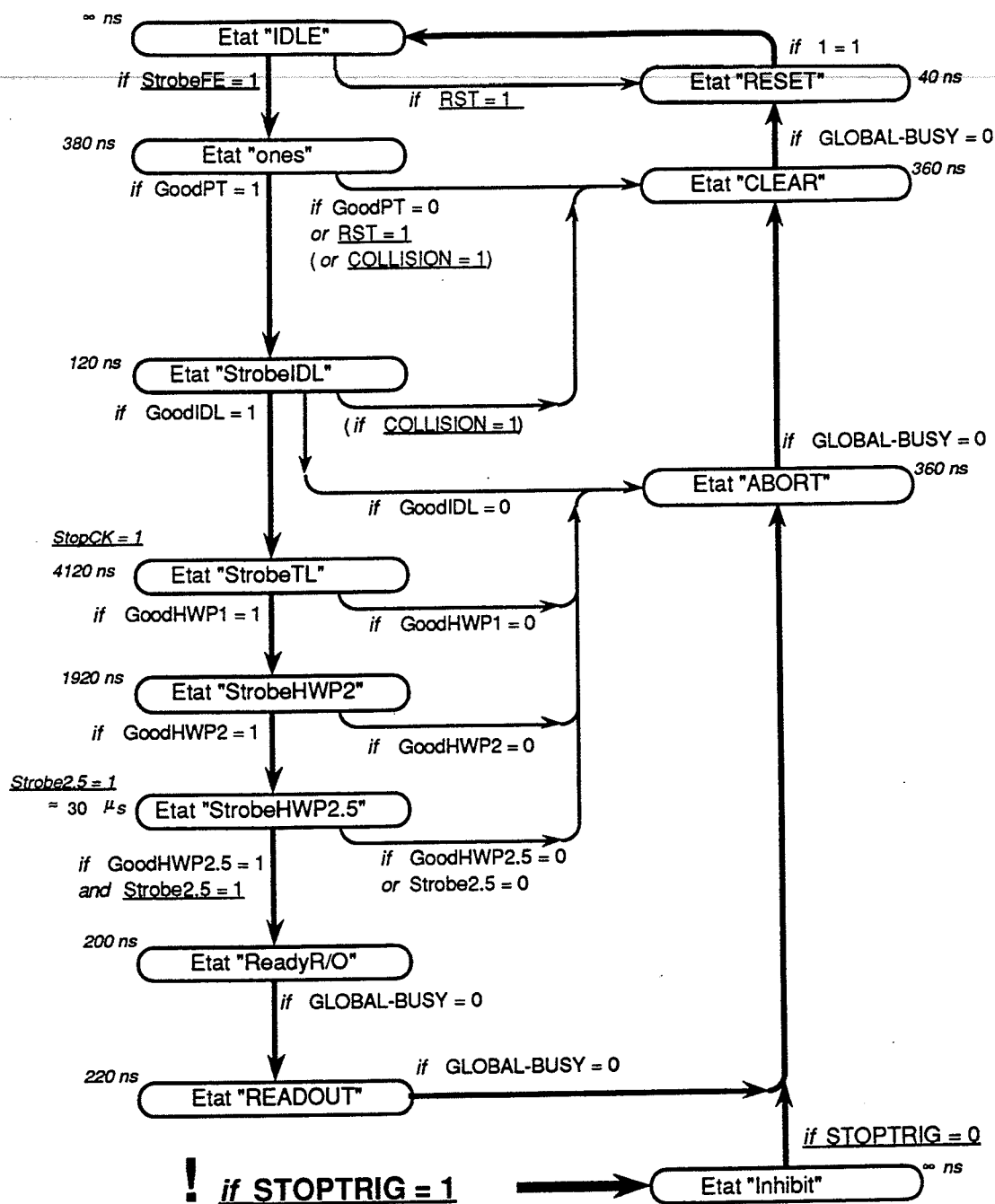


Figure 4-2: Le diagramme d'états du séquenceur du Trigger Control. Le programme séquentiel commence par l'état "Inhibit". A noter que le séquenceur se trouve toujours dans un état à la fois et que s'il se trouvait, éventuellement, dans un état qui lui était inconnu, il se retrouverait automatiquement dans l'état "Inhibit" (initialisation hardware extrêmement forte)!

Ainsi, si StrobeFE=1 et RST=1 (cas absolument exceptionnel, dû à une prise en compte du résultat de l'EDL durant un changement de transition), le séquenceur peut se trouver soit dans l'état "Ones", soit dans l'état "RESET", soit dans un état inconnu...

4.2.4 Exemples de chronogramme du Trigger Control

En guise de conclusion, je termine ce paragraphe en exposant 4 cas typiques de diagrammes en temps.

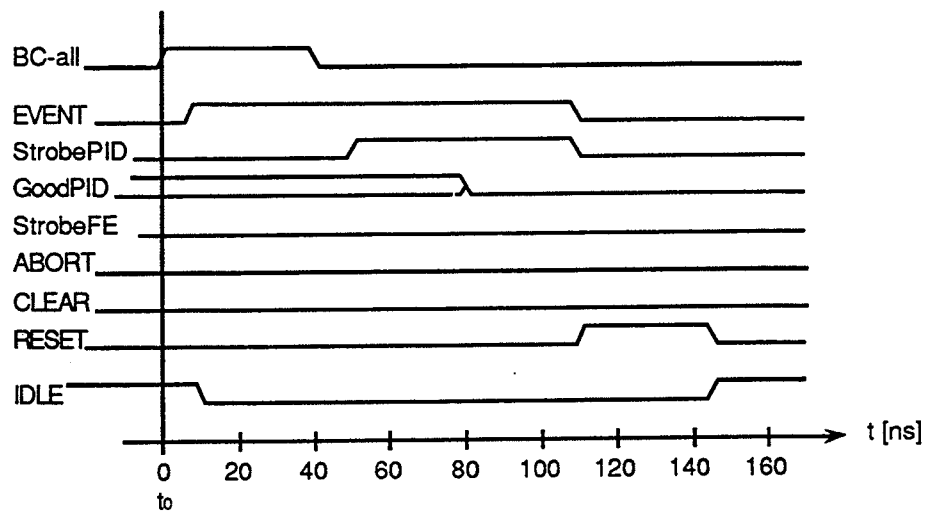


Figure 4-3: Exemple de chronogramme, dans le cas où la première décision du trigger est négative. Le signal StrobeFE reste inactif : le séquenceur passe à l'état "RESET" en envoyant un signal RESET. On a donc la séquence "IDLE" → "RESET" → "IDLE". A noter que dans ce cas, les sous-détecteurs ne reçoivent aucun signal !

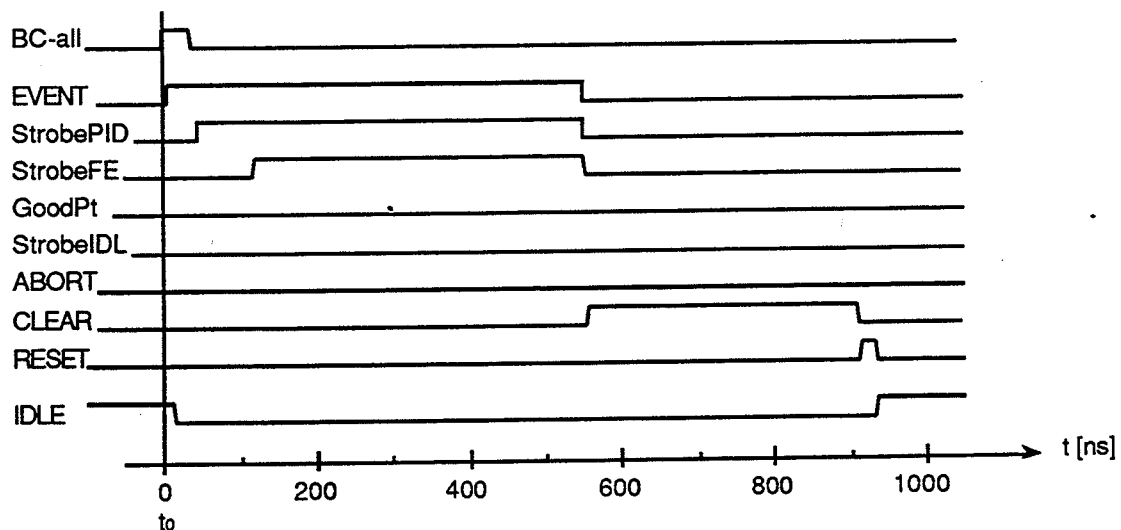


Figure 4-4: Exemple de chronogramme, dans le cas où la deuxième décision du trigger est négative. Le signal GoodPt est négatif : le séquenceur passe à l'état "CLEAR" en envoyant un signal CLEAR. On a donc la séquence "IDLE" → "Ones" → "CLEAR" → "RESET" → "IDLE". A noter que dans ce cas, les sous-détecteurs reçoivent les signaux StrobeFE, puis CLEAR !

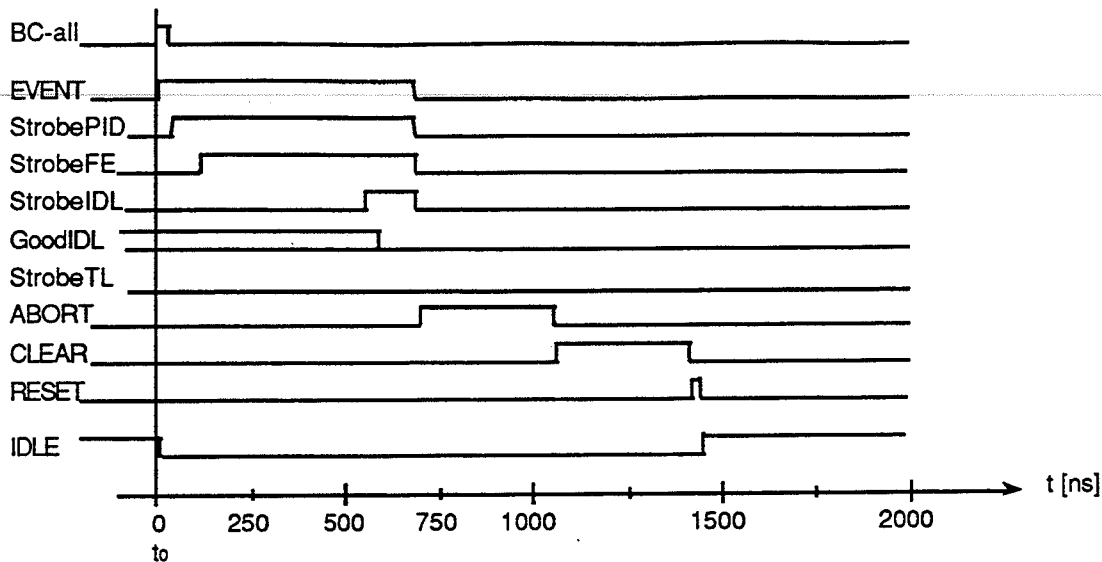


Figure 4-5: Exemple de chronogramme, dans le cas où la troisième décision du trigger est négative. Le signal GoodIDL est négatif : le séquenceur passe à l'état "ABORT" en envoyant un signal ABORT. On a donc la séquence "IDLE" → "Ones" → "StrobeIDL" → "ABORT" → "CLEAR" → "RESET" → "IDLE". A noter que dans ce cas, les sous-détecteurs reçoivent les signaux StrobeFE, puis CLEAR !

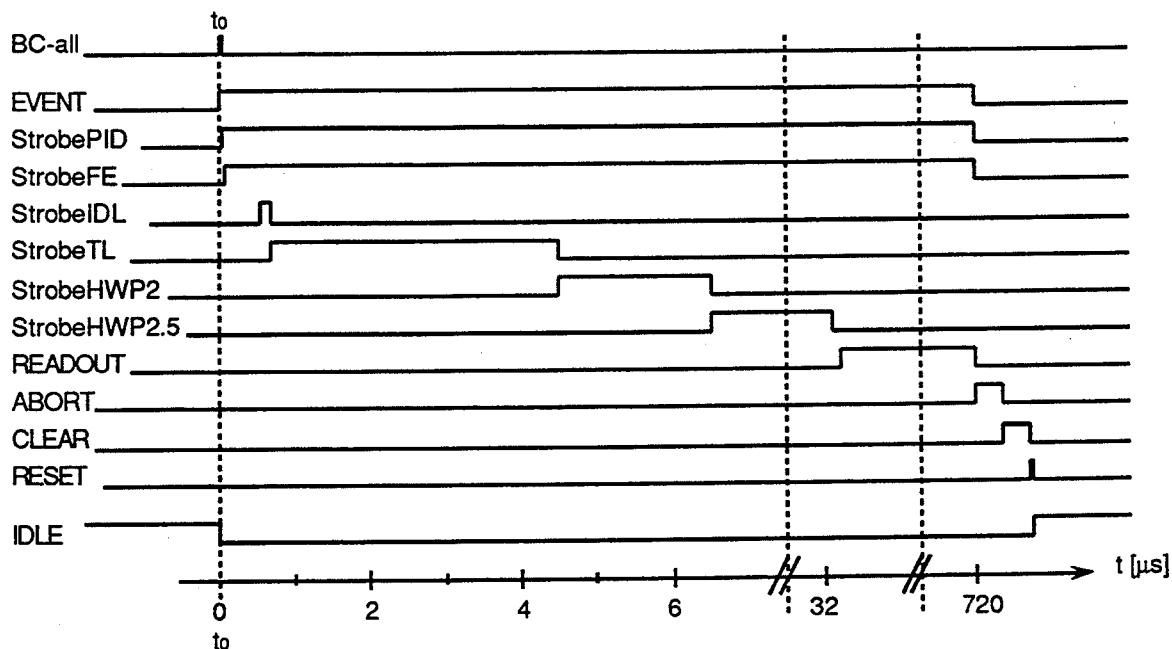


Figure 4-6: Exemple de chronogramme, dans le cas où toutes les décisions du trigger sont positives. Le séquenceur passe par tous les états décrits dans la figure 4-2. L'état "READOUT" est long, car le Trigger Control a reçu le signal GLOBAL-BUSY (autrement, le séquenceur quitte l'état "READOUT" au bout de 220 ns). On a effectué dans cet exemple une acquisition dont la durée a été d'un peu moins de 720 μ s... D'autre part, à la sortie de l'état "StrobeHWP2.5", comme il n'y a aucune écriture sur cassette (signal GLOBAL-BUSY inactif), le séquenceur reste dans l'état "Ready_R/O" exactement 200 ns avant d'aller dans l'état "READOUT" (voir annexe C).

4.3 L'EDL ("Early Decision Logic") et le Pt-Cut

Rappelons que dans le premier étage du trigger (l'Early Decision Logic ou EDL), on exige qu'au moins 2 scintillateurs S1 soient déclenchés et qu'au moins un PID indique qu'une particule l'a traversé à une vitesse inférieure à un certain seuil ($\beta < 0.81$). Ce critère de sélection ne suffit pas à cause du nombre important de pions peu énergétiques ($p < 190$ MeV) présents dans des événements $p\bar{p} \rightarrow \dots$ purement pioniques (voir annexe B). Le Pt-Cut complète le critère de sélection de l'EDL en imposant une contrainte cinématique sur toute particule annonçant une vitesse $\beta < 0.81$: le Pt-Cut demande en plus que l'impulsion transverse soit supérieure à un certain seuil ($P_t > 200$ MeV, par exemple). De fait et idéalement, un pion ne peut répondre à ces deux critères à la fois...[6][18]

4.3.1 L'EDL

La sélection de l'EDL doit s'opérer très rapidement car elle est responsable de l'envoi ou non du signal de déclenchement des sous-détecteurs : StrobeFE.

L'EDL est déclenché par le signal StrobePID venant du Trigger Control et sa décision est retournée au Trigger Control par le signal GoodPID.

4.3.1.1 La logique d'entrée :

L'EDL reçoit des PIDs des impulsions d'environ 40 ns à travers 8 bus de 32 bits:

- 2 bus concernent les scintillateurs S1 et 2 autres bus les scintillateurs S2, chaque scintillateur pouvant donc fournir au plus deux impulsions. Pour un scintillateur donné, si une impulsion est détectée, le trigger estime que ce scintillateur a répondu. Il suffit donc d'effectuer un "ou" logique des deux impulsions provenant du même scintillateur : les modules "2-OR" effectuent cette opération (voir figure 4-8) [18]. On obtient ainsi 2 bus de 32 bits, soit un par couche de scintillateurs [14].
- 4 bus concernent les détecteurs Cherenkov, chaque détecteur pouvant donc fournir 4 impulsions. Pour un détecteur donné, si au moins 2 impulsions sont détectées, le trigger estime que ce détecteur a répondu. Il suffit donc d'effectuer une coïncidence majoritaire des 4 impulsions provenant du même détecteur : les modules "m-OR" effectuent cette opération (voir figure 4-8) [18]. On obtient ainsi 1 seul bus de 32 bits. A noter que la coïncidence majoritaire permet d'ignorer la réponse d'un détecteur Cherenkov dans le cas où un kaon très énergétique ($0.81 \leq \beta \leq 0.83$) l'a traversé, car ces kaons émettent peu de lumière Cherenkov [14].

4.3.1.2 Le déclenchement et les patterns S1, S2 et C :

Par définition, le déclenchement de l'EDL est la fabrication de 3 patterns de 32 bits chacun (les patterns S1, S2 et C) à partir des impulsions de 40 ns venant par les 3 bus de 32 bits décrits dans le paragraphe précédent. Ces patterns s'obtiennent grâce au front avant du signal StrobePID (sortie de registres non réinitialisables). Cette opération est assez délicate car les impulsions possèdent un certain jitter, assez important concernant celles associées aux compteurs Cherenkov (environ 10 ns). Comme l'EDL doit donner sa réponse le plus rapidement possible, on a quand même décalé le front avant du signal StrobePID d'environ 8 ns, conformément à la figure 4-7.

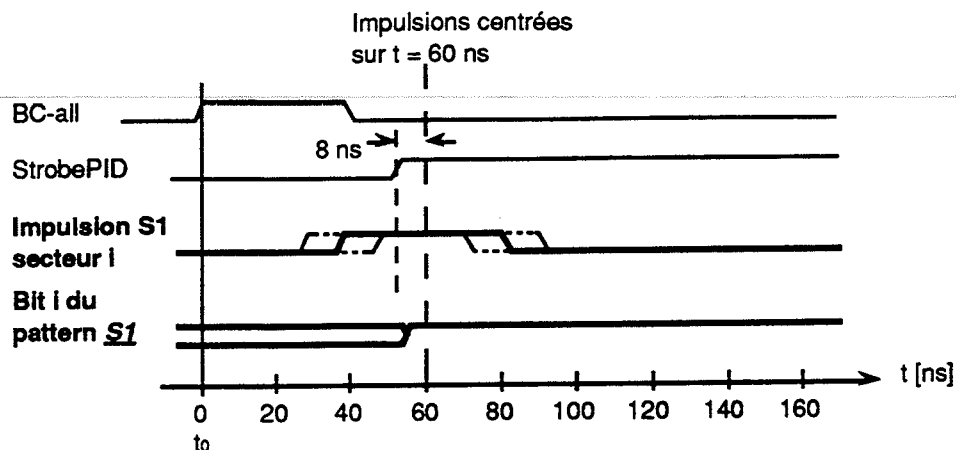


Figure 4-7 : Le chronogramme du déclenchement de l'EDL : cet exemple montre la fabrication du bit i ($0 \leq i \leq 31$) du pattern $S1$. Le scintillateur $S1$ du secteur i a répondu ! Malgré le jitter important (environ 10 ns), on a avancé légèrement le front avant du signal StrobePID afin d'envoyer le signal StrobeFE le plus rapidement possible.

4.3.1.3 Le pattern S/CS :

Avec les 3 patterns $S1$, $S2$ et C , complètement stables jusqu'au prochain front avant du signal StrobePID, on fabrique un nouveau pattern (S/CS), dont chaque bit (i) est donné par :

$$S/CS[i] = S1[i] \text{ and } S2[i] \text{ and } \text{not}(C[i]) \quad (4.1)$$

Sous la condition que la fabrication des patterns $S1$, $S2$ et C s'est effectuée correctement, cela signifie que si le bit i de ce pattern est actif, le PID du secteur i a signalé le passage d'une particule d'une vitesse $\beta < 0.81$ (on parlera d'un secteur avec signature S/CS). Cette opération est effectuée par 2 modules "C1" (voir figure 4-8) [18]. Ces modules fournissent au module responsable de la génération du signal GoodPID un signal (respectivement KI pour les 16 bits de poids faible et Kh pour les 16 bits de poids fort) indiquant la présence d'au moins un bit actif dans le pattern S/CS .

4.3.1.4 Le signal GoodPID :

Le signal GoodPID doit signaler au Trigger Control dans les plus brefs délais si l'EDL accepte l'événement en cours.

$$\text{GoodPID} = 1 \Leftrightarrow \text{Mult}(S1) \geq 2 \text{ and } \text{Mult}(S/CS) \geq 1 \text{ and } \bar{P} = 1 \quad (4.2)$$

... où $\text{Mult}(S1)$ est le nombre de bit(s) actif(s) dans le pattern $S1$ et $\text{Mult}(S/CS)$ le nombre de bit(s) actif(s) dans le pattern S/CS . Comme il se doit, le signal P valide la décision de l'EDL (voir paragraphe 3.2.3).

Cette définition correspond au critère de sélection (type de décision) T3 de l'EDL. Sont aussi prévus :

$$T0 : \quad \text{GoodPID} = 1 \Leftrightarrow N(S1) \geq 1 \quad (4.3)$$

$$T1 : \quad \text{GoodPID} = 1 \Leftrightarrow N(S1) \geq 1 \text{ ET } \bar{P} = 1 \quad (4.4)$$

$$T2 : \quad \text{GoodPID} := 1 \quad (4.5)$$

Le critère de sélection (type de décision) T0 est prévu pour effectuer de l'acquisition de donnée avec des rayons cosmiques. Le Beam Counter est modifié à cet effet et ne correspond plus à la description donnée dans le paragraphe 3.2.

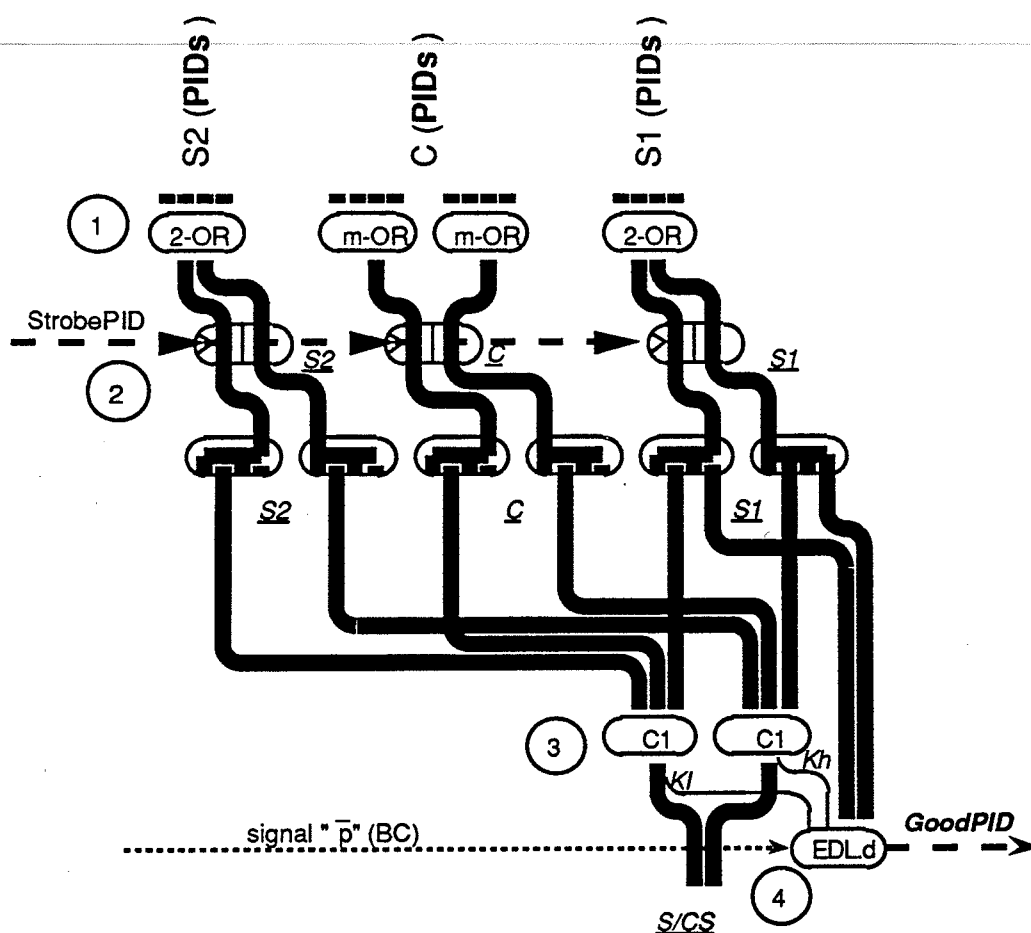
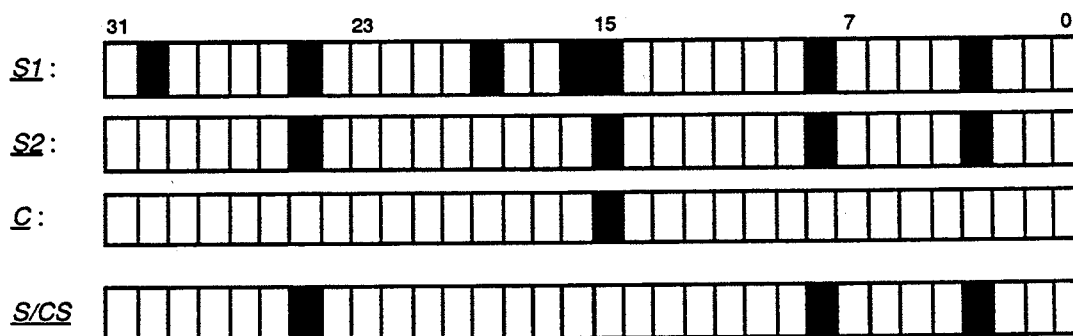


Figure 4-8: Logique de l'EDL (voir annexes D et E).

- 1) Logique d'entrée.
- 2) Déclenchement de l'EDL et fabrication des patterns S1, S2 et C.
- 3) Calcul du pattern S/CS.
- 4) Décision de l'EDL : génération du signal GoodPID.

A noter que lors d'une acquisition, les patterns S1, S2 et S/CS sont lus grâce au système de monitoring du trigger : le SPY [23].

En guise de conclusion, je présente crûment un exemple de contenu des patterns S1, S2, C et S/CS que l'on peut obtenir à la sortie de l'EDL :



Ce qui équivaut à la vision du détecteur, et donc d'un événement, qu'a le trigger lorsque l'EDL a terminé son travail (environ 28 ns de travail...) :

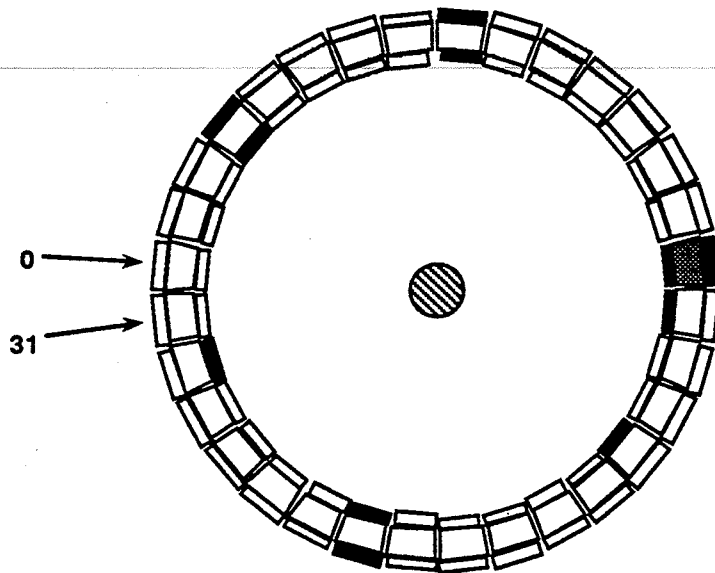


Figure 4-9: La vision du détecteur de CP-LEAR, ainsi que son contenu, à la fin du travail de l'EDL. Les chiffres en caractère gras indiquent les secteurs 0 et 31. Il s'agit en fait de la représentation visuelle des patterns présentés précédemment !
Ici, il s'agit d'un bon événement : GoodPID = 1 !

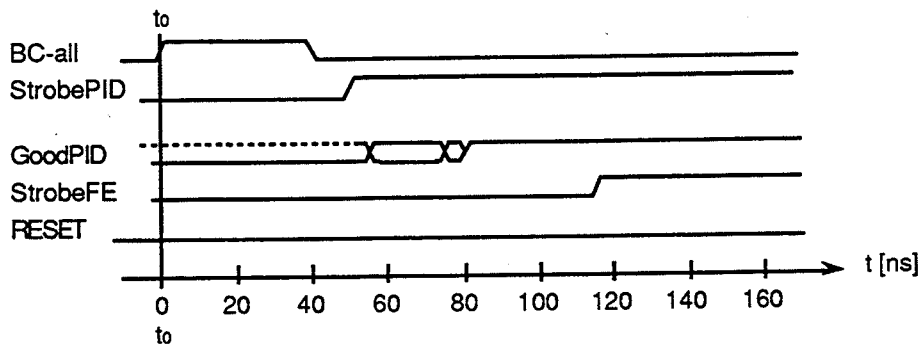


Figure 4-10: Le chronogramme du résultat GoodPID.
Dans ce cas, GoodPID=1 et il n'y a pas eu de signal BC-ALL dans un intervalle de temps inférieur à 90 ns : le Trigger Control passe à l'état "Ones". Le 2^{ème} étage du trigger va entrer en action !

4.3.2 Le Pt-Cut

Le Pt-Cut est déclenché par un signal, nommé DTG (Drift Time Gate) venant de l'électronique de lecture des chambres à dérive. Il a souvent été écrit que le Pt-Cut était indirectement déclenché par le signal StrobeFE, car ce dernier déclenche l'électronique de lecture des sous-détecteurs, donc celle des chambres à dérive. La décision du Pt-Cut est retournée au Trigger Control par le signal GoodPt.

4.3.2.1 Les entrées du Pt-Cut :

Le Pt-Cut reçoit les informations suivantes :

- les fils des chambres DC1 et DC6, soit 640 ($64[\text{mini-sect.}] \times 5[\text{doublets}] \times 2[\text{fils L/R}]$) + 320 ($64[\text{mini-sect.}] \times 5/2[\text{doublets}] \times 2[\text{fils L/R}]$) fils.
- le pattern S/CS venant de l'EDL.

4.3.2.2 La logique du Pt-Cut et le pattern S/CS-Pt :

Retenons qu'un $\pi^\pm$ ayant une impulsion inférieure à 190 MeV provoque typiquement une signature S/CS.

Considérons un secteur PID où une signature S/CS a eu lieu. L'idée est de supposer que cette signature correspond au passage d'une particule chargée provenant du centre du détecteur (trace primaire). Comme cette particule est déviée par le champ magnétique régnant dans le détecteur, elle décrit un cercle dans le plan transverse dont le rayon de courbure est proportionnel à son impulsion transverse. De fait, pour qu'une telle particule soit perçue par le Pt-Cut comme étant fort probablement un kaon, il faut [18][21] :

- au moins 1 doublet (le doublet T dans la figure 4-11 ci-dessous) dont au moins un des fils L ou R est activé, et ce dans un mini-secteur de la chambre DC6 faisant face au PID concerné (voir paragraphe 3.3.2).
- au moins 1 fil activé dans la chambre DC1, de telle sorte qu'il se trouve dans l'ensemble des 3,5,7 ou 9 demi-cellules de dérive disposées symétriquement par rapport à la droite passant au milieu du doublet T et le centre du détecteur. Comme il y a deux fois plus de doublets (cellules de dérive) dans la chambre DC6 que dans la chambre DC1, à toute cellule (doublet) de DC6 correspond une demi-cellule (fil) de DC1.

De fait, on impose une certaine courbure à la trajectoire, donc une limite inférieure pour les impulsions transverses des particules créant une signature S/CS dans les PIDs. Les valeurs de 3,5,7 et 9 demi-cellules correspondent d'ailleurs aux valeurs de coupure en impulsion transverse 800, 400, 270 et 200 MeV respectivement (voir figure 4-11).

A partir du pattern S/CS , on fabrique le pattern $S/CS-Pt$ dont le bit i ($0 \leq i \leq 31$) ne peut devenir actif que si S/CS [i]=1 et si les conditions décrites ci-dessus concernant les fils DC6 et DC1 en face du secteur i impliqué se réalisent. Ce pattern de 32 bits est fourni au module "32-OR" (voir figure 4-12), responsable de la prise de décision du Pt-Cut [18].

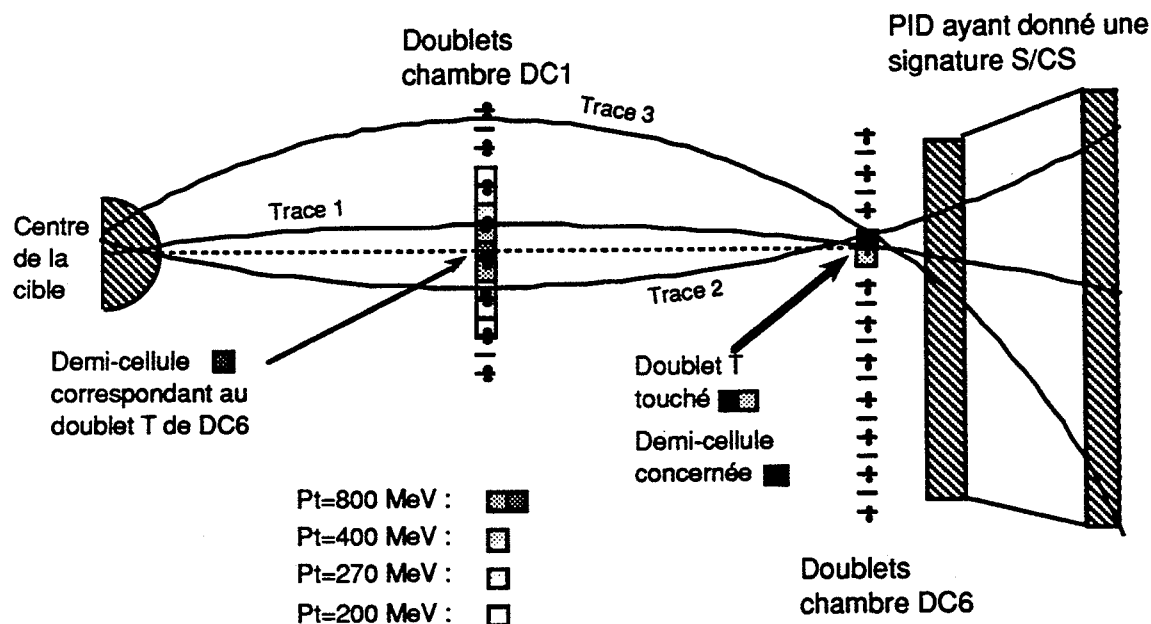


Figure 4-11: Principe de la coupure en impulsion transverse, effectuée par le Pt-Cut. On constate que la trace 1 correspond à une particule d'impulsion transverse $P_t > 800$ MeV, la trace 2 à une particule avec $800 \text{ MeV} > P_t > 400$ MeV et la trace 3 à une particule avec $P_t < 200$ MeV, donc certainement pas un kaon...

4.3.2.3 Le déclenchement du Pt-Cut et le signal GoodPt :

Les bits du pattern $\underline{S/CS-Pt}$ ne peuvent devenir actifs qu'à partir de l'arrivée du front arrière du signal DTG (Drift Time Gate): on déclenche ainsi le Pt-Cut. Le front arrière du signal DTG indique que la migration des ions dans les chambres à dérive est terminée et que l'on peut considérer sans autre la signification de chaque bit $\underline{S/CS-Pt} [i]$.

Le signal GoodPt doit signaler au Trigger Control si le Pt-Cut accepte l'événement en cours. On possède donc 4 critères de sélection (types de décision), tous de forme identique et correspondant chacun à une valeur de coupure sur l'impulsion transverse :

T1n :	GoodPt =1	$\Leftrightarrow$	$\text{Mult}(\underline{S/CS-Pt}) \geq 1$	(Pt > 200 MeV)	(4.6a)
T2n :	GoodPt =1	$\Leftrightarrow$	$\text{Mult}(\underline{S/CS-Pt}) \geq 1$	(Pt > 270 MeV)	(4.6b)
T3n :	GoodPt =1	$\Leftrightarrow$	$\text{Mult}(\underline{S/CS-Pt}) \geq 1$	(Pt > 400 MeV)	(4.6c)
T4n :	GoodPt =1	$\Leftrightarrow$	$\text{Mult}(\underline{S/CS-Pt}) \geq 1$	(Pt > 800 MeV)	(4.6d)

... où $\text{Mult}(\underline{S/CS-Pt})$ est le nombre de bit(s) actif(s) dans le pattern $\underline{S/CS-Pt}$.

Est aussi prévu le critère de sélection (type de décision) trivial :

T0n :	GoodPID :=1	(4.7)
-------	-------------	-------

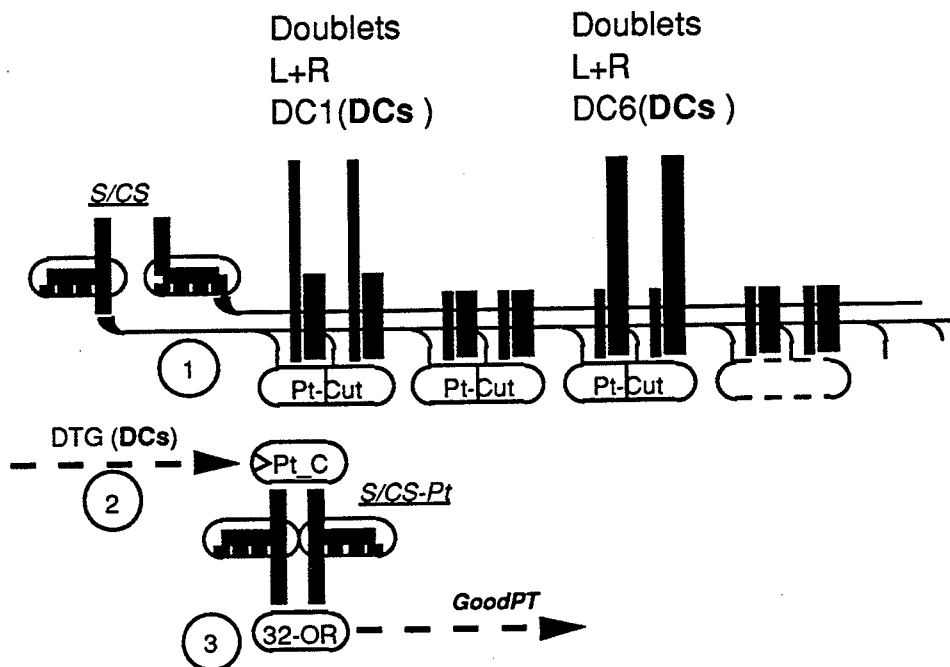


Figure 4-12: Logique du Pt-Cut(voir annexes D et E).

1) Calcul du pattern $\underline{S/CS-Pt}$.

2) Déclenchement du Pt-Cut par le front arrière du signal DTG et validation du pattern $\underline{S/CS-Pt}$.

3) Décision du Pt-Cut : génération du signal GoodPt.

A noter que lors d'une acquisition, le pattern $\underline{S/CS-Pt}$ est lu à travers le SPY [23].

En guise de conclusion, je continue de présenter l'exemple du paragraphe 4.3.1 en donnant le contenu des patterns $\underline{S/CS}$ et $\underline{S/CS-Pt}$ que l'on peut obtenir à la sortie du Pt-Cut. A noter que : $\underline{S/CS-Pt} [i]=1 \Rightarrow \underline{S/CS} [i]=1$, autrement dit, le Pt-Cut renforce l'EDL.

1) Entrée du Pt-Cut :



2) Sortie du Pt-Cut :



Ce qui équivaut à la vision du détecteur, et donc d'un événement, qu'a le trigger lorsque le Pt-Cut a terminé son travail (environ 280 ns de travail...) :

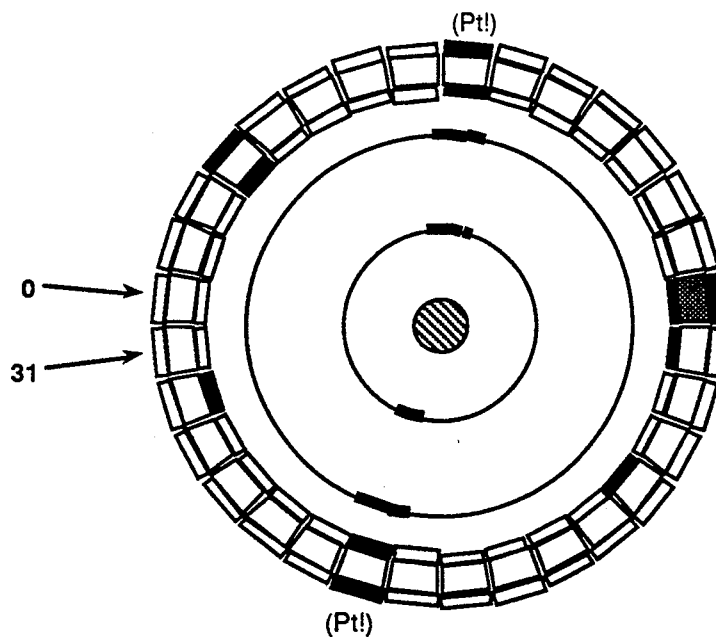


Figure 4-13 : La vision du détecteur de CP-LEAR, ainsi que son contenu, à la fin du travail du Pt-Cut.
Ici, il s'agit d'un bon événement : GoodPt = 1 !

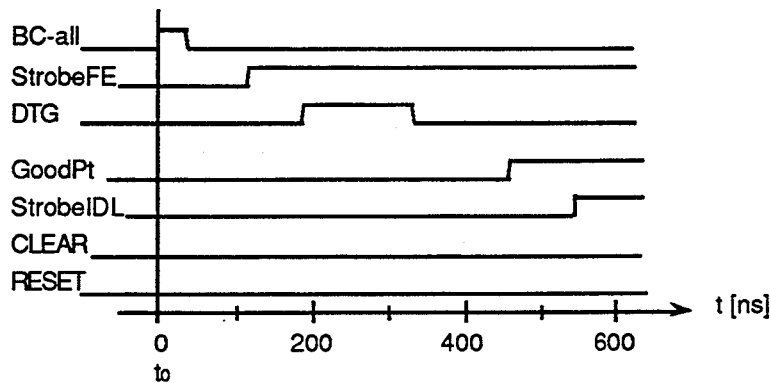


Figure 4-14 : Le chronogramme du résultat GoodPt.
Dans ce cas, GoodPt=1 : le Trigger Control passe à l'état "StrobelDL". Le 3^{ème} étage du trigger va entrer en action !

4.4 L'IDL ("Intermediate Decision Logic")

L'IDL est déclenché par le signal StrobelIDL venant du Trigger Control et sa décision est retournée au Trigger Control par le signal GoodIDL.

Le but de l'IDL est de préparer le trigger dans le but d'effectuer une reconstruction cinématique en ligne d'un événement [18][21]. L'IDL doit donc évaluer sommairement :

- le nombre de traces qui pourraient correspondre à un kaon chargé $K^{+/-}$ provenant du centre du détecteur (traces kaoniques primaires).
- le nombre de traces qui pourraient correspondre à un pion chargé $\pi^{+/-}$ provenant du centre du détecteur (traces primaires): en plus du pion primaire issu des réactions $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$, on peut observer les pions issus de la désintégration rapide du kaon neutre (intervalle de temps propre : $0 \leq t \leq 5\tau_s$).
- le nombre de traces (ne provenant pas forcément du centre du détecteur).

L'IDL permet donc d'éviter une reconstruction cinématique en ligne à partir de situations topologiques non intéressantes.

4.4.1 Les entrées de l'IDL

L'IDL reçoit les informations suivantes :

- les 2 patterns de 64 bits PC1 et PC2 provenant des chambres proportionnelles.
- les 4 patterns de 64 bits DC1, DC2, DC5 et DC6 provenant des chambres à dérive.
- le pattern S1 venant de l'EDL.
- le pattern S/CS-Pt venant du Pt-Cut.

4.4.2 La préparation des patterns KPT, CPT et CT

4.4.2.1 La définition d'une trace au niveau de l'IDL :

Considérons un secteur N ($0 \leq N \leq 31$) où un scintillateur S1 a répondu. Si au moins un fil des chambres à dérive DC5 ou DC6 a été touché dans un des mini-secteurs $2N$, $2N+1$ ou $2N+2$ (modulo 64), l'IDL considère qu'il y a une trace dans le secteur N.

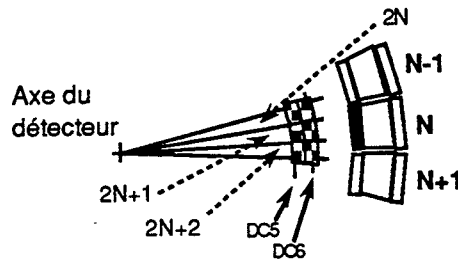


Figure 4-15 : Définition d'une trace au niveau de l'IDL.

En caractère gras, le numéro des secteurs.

En caractère maigre et accompagné d'une flèche traitillée, le numéro des mini-secteurs.

Dans la région , on doit avoir au moins un fil touché pour que le scintillateur S1 du secteur N corresponde à une trace selon l'IDL.

De fait, l'IDL prépare un pattern de 32 bits, le pattern CT (pour Charged Track), chaque bit N actif indiquant la présence d'une trace selon la description ci-dessus :

$$\underline{CT}[N] = \underline{S1}[N] \text{ and } \left(\text{or}_{i=0}^2 (\underline{DC6}[2N+i] \text{ or } \underline{DC5}[2N+i]) \right) \quad (4.8)$$

4.4.2.2 La définition d'une trace primaire au niveau de l'IDL :

Considérons un secteur N ($0 \leq N \leq 31$) dans lequel l'IDL a détecté une trace. Si au moins un fil des chambres à dérive DC1 ou DC2 a été touché dans un des mini-secteurs compris entre $2N-2$ et $2N+4$ (modulo 64) et si au moins un fil des chambres proportionnelles PC1 ou PC2 a été touché dans un des mini-secteurs compris entre $2N-4$ et $2N+6$ (modulo 64), l'IDL considère qu'il y a une trace primaire dans le secteur N .

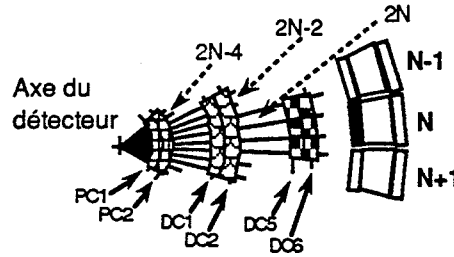


Figure 4-16 : Définition d'une trace primaire au niveau de l'IDL. On doit avoir au moins un fil touché dans la région [schéma], dans la région [schéma] et dans la région [schéma] pour que le scintillateur S1 du secteur N corresponde à une trace primaire selon l'IDL.

De fait, l'IDL prépare un pattern de 32 bits, le pattern CPT (pour Charged Primary Track), chaque bit N actif indiquant la présence d'une trace primaire selon la description ci-dessus :

$$\begin{aligned} \underline{CPT}[N] &= \underline{S1}[N] \text{ and } \left(\text{or}_{i=0}^{+2} (\underline{DC6}[2N+i] \text{ or } \underline{DC5}[2N+i]) \right) \\ &\text{and } \left(\text{or}_{i=-2}^{+4} (\underline{DC2}[2N+i] \text{ or } \underline{DC1}[2N+i]) \right) \\ &\text{and } \left(\text{or}_{i=-4}^{+6} (\underline{PC2}[2N+i] \text{ or } \underline{PC1}[2N+i]) \right) \quad (4.9) \end{aligned}$$

4.4.2.3 La définition d'une trace kaonique primaire au niveau de l'IDL :

Considérons un secteur N ($0 \leq N \leq 31$) dans lequel l'EDL et le Pt-Cut ont conjointement observé le passage d'une particule semblant être un kaon chargé $K^{+/-}$ venant du centre du détecteur. L'IDL va donc renforcer cette observation en imposant qu'au moins un fil des chambres proportionnelles PC1 ou PC2 a été touché dans un des mini-secteurs compris entre $2N-2$ et $2N+4$ (modulo 64). Si cette dernière condition est remplie, l'IDL considère qu'il y a une trace kaonique primaire dans le secteur N .

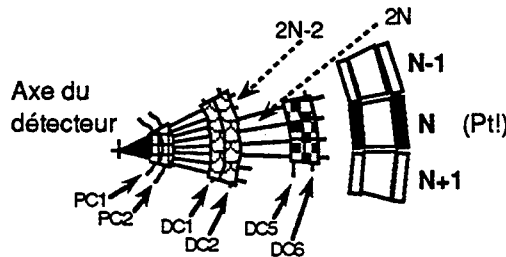


Figure 4-17 : Définition d'une trace kaonique primaire au niveau de l'IDL.

Compte tenu des informations données par le Pt-Cut, on sait qu'il y a un fil touché dans la région [schéma] et dans la région [schéma]. Il faut donc qu'un fil soit touché dans la région [schéma] pour que la réponse S/CS du secteur N corresponde à une trace kaonique primaire selon l'IDL.

De fait, l'IDL prépare un pattern de 32 bits, le pattern KPT (pour Kaonic Primary Track), chaque bit N actif indiquant la présence d'une trace kaonique primaire selon la description ci-dessus :

$$\begin{aligned} \underline{KPT} [N] &= \underline{S/CS-Pt} [N] \\ &\text{and } \left(\text{or}_{i=-2}^{+4} (\underline{PC2} [2N+i] \text{ or } \underline{PC1} [2N+i]) \right) \end{aligned} \quad (4.10)$$

4.4.3 Le déclenchement de l'IDL

La préparation des patterns CT, CPT et KPT s'effectuent par les modules "P-OR", "III-OR", "3-OR", "5-OR" et "C2" dans la figure 4-18 ci-dessous [18].

Par définition, le déclenchement de l'IDL est l'écriture des patterns CT, CPT et KPT dans des registres non réinitialisables à l'aide du front avant du signal StrobelDL envoyé par le Trigger Control. La multiplicité de ces patterns est calculée par les modules "Multiplizität" ("Mult.") pour être communiquée ensuite au module responsable de la prise de décision de l'IDL: le module "IDL-decision" [18].

4.4.4 Le signal GoodIDL

Le signal GoodIDL doit signaler au Trigger Control si l'IDL accepte l'événement en cours selon un des 4 critères de sélection (types de décision) choisis :

$$T0nn/T1nn : \text{GoodIDL} := 1 \quad (4.11a)$$

$$\begin{aligned} T2nn : \quad \text{GoodIDL} = 1 &\Leftrightarrow (\text{Mult}(\underline{CT}) \geq 4 \text{ or } \text{Mult}(\underline{CT}) = 2) \\ &\text{and } (4 \geq \text{Mult}(\underline{CPT}) \geq 2) \\ &\text{and } \text{Mult}(\underline{KPT}) \geq 1 \end{aligned} \quad (4.11b)$$

$$\begin{aligned} T3nn : \quad \text{GoodIDL} = 1 &\Leftrightarrow [(\text{Mult}(\underline{CT}) \geq 4 \text{ or } \text{Mult}(\underline{CT}) = 2) \\ &\text{and } (4 \geq \text{Mult}(\underline{CPT}) \geq 2) \\ &\text{and } \text{Mult}(\underline{KPT}) \geq 1] \\ &\text{or } [\text{Mult}(\underline{CT}) = 3 \\ &\text{and } \text{Mult}(\underline{CPT}) = 2 \\ &\text{and } \text{Mult}(\underline{KPT}) \geq 1] \\ &\text{or } [\text{Mult}(\underline{CT}) = 4 \\ &\text{and } \text{Mult}(\underline{CPT}) = 3 \\ &\text{and } \text{Mult}(\underline{KPT}) \geq 1] \end{aligned} \quad (4.11c)$$

$$\begin{aligned} T4nn : \quad \text{GoodIDL} = 1 &\Leftrightarrow \text{Mult}(\underline{CT}) \geq 4 \\ &\text{and } \text{Mult}(\underline{CPT}) = 2 \\ &\text{and } \text{Mult}(\underline{KPT}) \geq 1 \end{aligned} \quad (4.11d)$$

... où $\text{Mult}(\underline{KPT})$ est le nombre de bit(s) actif(s) dans le pattern KPT, $\text{Mult}(\underline{CPT})$ est le nombre de bit(s) actif(s) dans le pattern CPT et $\text{Mult}(\underline{CT})$ est le nombre de bit(s) actif(s) dans le pattern CT.

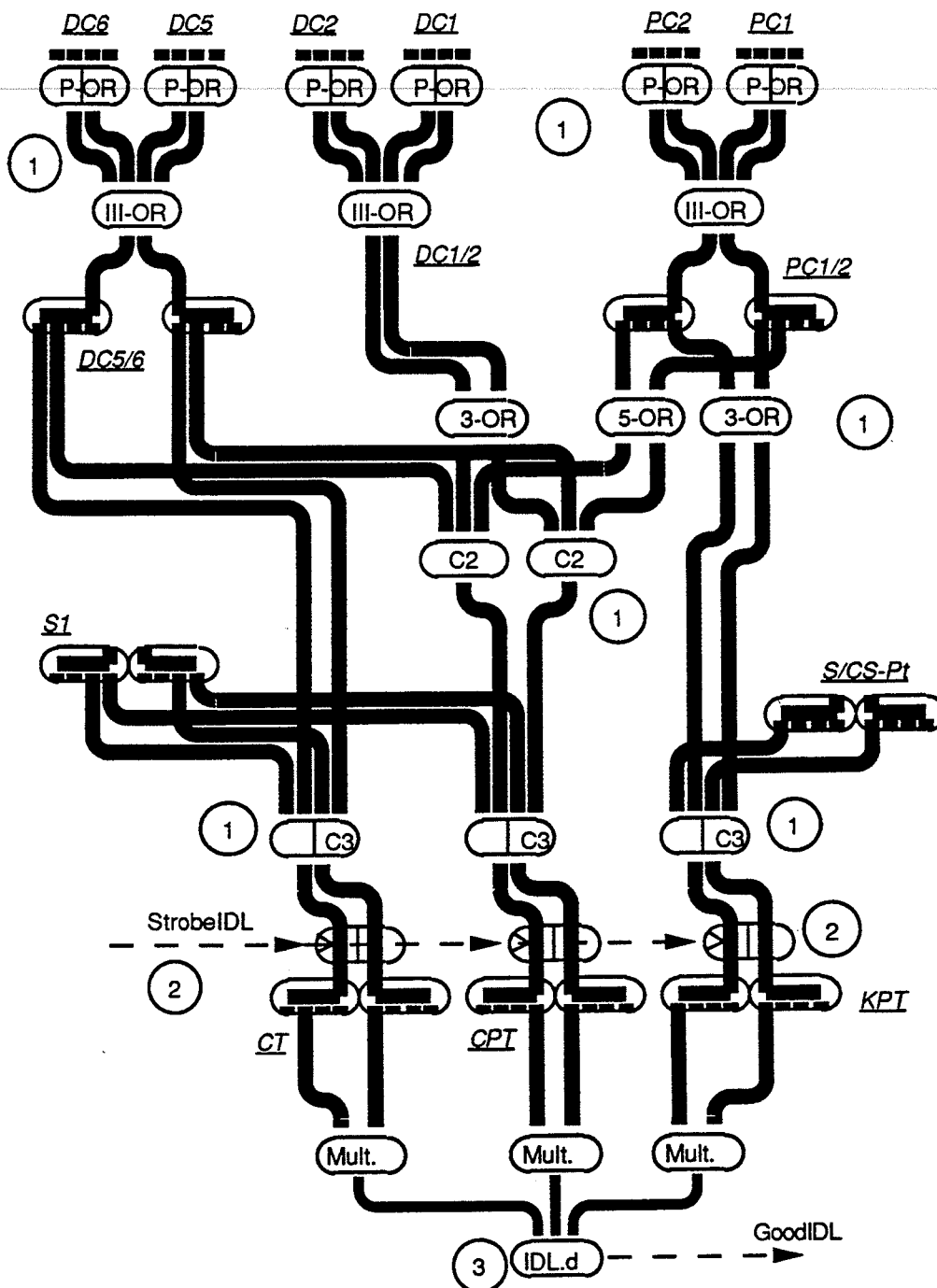


Figure 4-18 : Logique de l'IDL (voir annexes D et E)

- 1) Préparation des patterns CT, CPT et KPT.
- 2) Déclenchement de l'IDL par le signal StrobeIDL.
- 3) Décision de l'IDL : génération du signal GoodIDL.

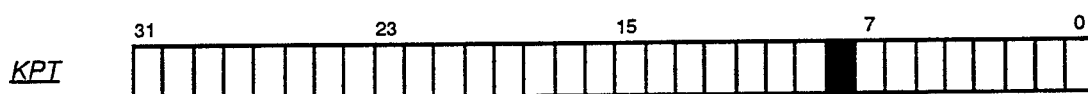
A noter que lors d'une acquisition, les patterns CT, CPT et KPT ainsi que les patterns DC6, DC5, DC2, DC1, PC2 et PC1 sont lus à travers le SPY [23].

Je continue de présenter toujours le même exemple en guise de conclusion : on s'aperçoit que l'IDL renforce encore les deux premiers étages du trigger...

1) Entrée "kaonique" de l'IDL :



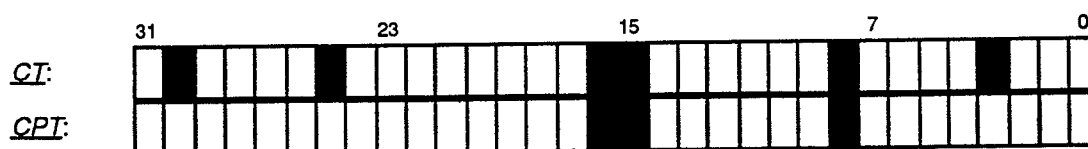
2) Sortie "kaonique" de l'IDL :



3) Entrée "pionique" de l'IDL :



4) Sorties "pioniques" de l'IDL :



Ce qui équivaut à la vision du détecteur, et donc d'un événement, qu'a le trigger lorsque l'IDL a terminé son travail (environ 120 ns de travail...) :

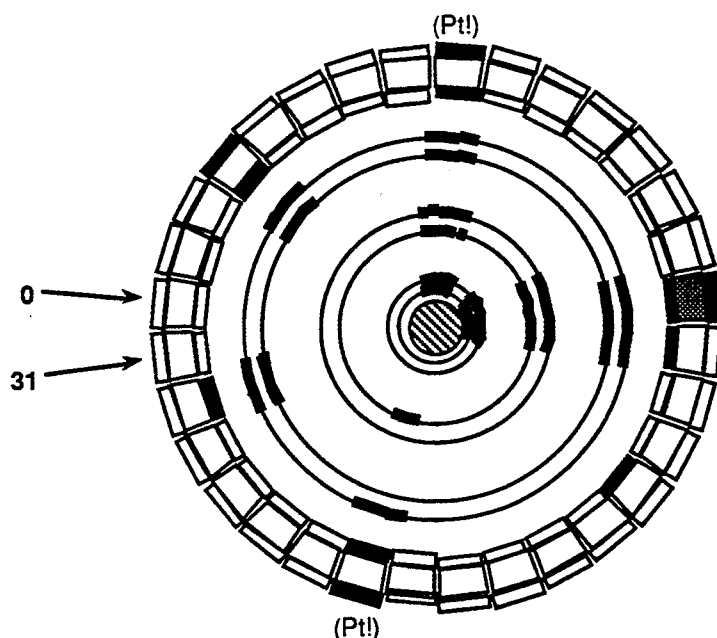


Figure 4-19 : La vision du détecteur de CP-LEAR, ainsi que son contenu, à la fin du travail de l'IDL.
Ici, le trigger accepte l'événement si l'on a choisi le critère de sélection (type de décision) T0nn, T1nn ou T2nn !
Mais le trigger rejette l'événement si l'on a choisi le critère de sélection (type de décision) T3nn ou T4nn.

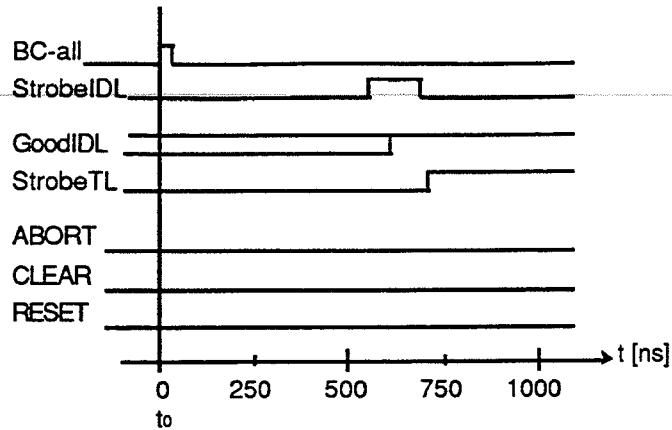


Figure 4-20 : Le chronogramme du résultat GoodIDL.
 Dans le cas où GoodIDL=1, le Trigger Control passe à l'état "StrobeTL". Le 4^{ème} étage du trigger va entrer en action.

4.5 HWP1

4.5.1 Introduction et présentation générale

HWP1 est déclenché par le signal StrobelTL venant du Trigger Control et sa décision est retournée au Trigger Control par le signal GoodHWP1.

4.5.1.1 Les hypothèses et le but de HWP1:

Dans le cadre de la sélection des événements $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$, le travail du 4^{ème} étage du trigger (HWP1) se base sur les hypothèses suivantes :

- 1) La trace du kaon chargé $K^+(K^-)$ provenant du centre du détecteur et traversant les PIDs est associée à un secteur i tel que $KPT[i]=1$ ($\beta < 0.81 \Rightarrow S/CS[i]=1$ et $Pt > 270, 400$ ou 800 MeV selon le choix de la coupure $\Rightarrow S/CS-Pt[i]=1$, ces deux implications faisant abstraction de l'efficacité des sous-détecteurs).
- 2) La trace du pion chargé primaire $\pi^-(\pi^+)$ provenant du centre du détecteur et traversant les PIDs est associée à un secteur j tel que $CPT[j]=1$ ($CT[j]=1$).
- 3) La trace des particules chargées provenant de la désintégration du kaon neutre et traversant les PIDs sont associées à deux secteurs k et l tels que $CT[k]=CT[l]=1$, dans la mesure où le kaon neutre se désintègre selon le mode $K^0(\bar{K}^0) \rightarrow \pi^+ \pi^- (\pi^0) / \pi^+ l^- l'^+ \nu(\bar{\nu})$ en deçà de la chambre à dérive DC6.

Partant de ces hypothèses-là, le but de HWP1 est d'effectuer une analyse cinématique en ligne des événements qui ont passé avec succès les 3 premiers étages du trigger (EDL, Pt-Cut et IDL) pour y déduire l'existence ou non d'un kaon neutre [6][18][21]. HWP1 autorise également les événements $p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- x$ (voir annexe B) de façon à pouvoir calibrer le calorimètre en permanence [24].

4.5.1.2 Structure générale de HWP1:

Bien que HWP1 soit un processeur câblé (fonctionnant à l'aide d'une horloge de 10 MHz) que l'on ne peut interrompre lorsqu'il travaille, on peut mettre en évidence 3 parties bien distinctes, chacune d'elles donnant une décision qui est prise en compte dans la décision finale de HWP1 : GoodHWP1.

- 1) La première partie (que l'on appellera désormais TRACKING) est responsable de la reconstruction des traces paramétrisables (traces passant par au moins trois points). Par rapport aux chambres à dérive et éventuellement aux chambres proportionnelles dans le cas des traces dites primaires, TRACKING permet de connaître désormais la position exacte du passage d'une particule chargée. De plus, TRACKING fournit la coordonnée Z du point d'intersection d'une trace avec les tubes à streamer(STs). La décision de TRACKING est prise en tenant compte du nombre de traces kaoniques primaires, du nombre de traces primaires et du nombre de traces paramétrisables.
- 2) La deuxième partie (que l'on appellera désormais PARAM) est responsable du calcul des paramètres associés à chaque trace primaire (paramétrisable) trouvée par TRACKING :
 - ρ (l'inverse du rayon de courbure d'une trace dans le plan transverse).
 - Pt (impulsion transverse de la particule associée à ladite trace).
 - Pz (impulsion longitudinale de la particule associée à ladite trace).
 D'autres paramètres y sont également calculés.
 En tenant compte du signe des particules associées à chaque trace, PARAM renforce encore la décision de TRACKING.
- 3) La troisième partie (que l'on appellera désormais KINEMATIC) est responsable du calcul des paramètres cinématiques associés à la masse manquante d'au moins une paire $K^{+/-} - \pi^{-/+}$ hypothétique. Une coupure sur ces paramètres fournit une décision supplémentaire.

4.5.2 TRACKING : la reconstruction des traces

4.5.2.1 Les entrées de TRACKING :

TRACKING possède à son entrée :

- les 2 patterns CT et KPT, dont certains de leurs bits actifs sont associés à des traces, certaines kaoniques et primaires ($KPT[i]=1 \Rightarrow CT[i]=1$). Ces patterns sont livrés au module "Track Launcher", responsable de la réception du signal de déclenchement de HWP1 (StrobeHWP1), du démarrage de l'horloge de 10 MHz rythmant le travail de HWP1, de l'ordonnance des reconstructions des traces ainsi que de l'arrêt de l'horloge de 10 MHz lorsque HWP1 aura terminé son travail (via le signal StopCK, voir aussi figure 4-2).
 - les patterns PC1 et PC2, ainsi que DC1, DC2, DC3, DC4, DC5 et DC6 venant respectivement des chambres proportionnelles et des chambres à dérives. Ces patterns sont livrés à 8 modules "Track Follower", soit un pattern par module.
 - le pattern ST venant des chambres à streamer, livré à un module "Track Follower".
- Les 9 modules "Track Follower" sont responsables dans leur ensemble de la recherche des traces.

De fait, avant de commencer son travail, HWP1 possède une information par secteurs et mini-secteurs (PCs et DCs), soit une imprécision allant de ± 4.7 mm (PC1) jusqu'à ± 2.5 cm (DC6) sur la position du passage d'une particule chargée et ce, dans la mesure où un mini-secteur touché correspond bien au passage d'une particule chargée !

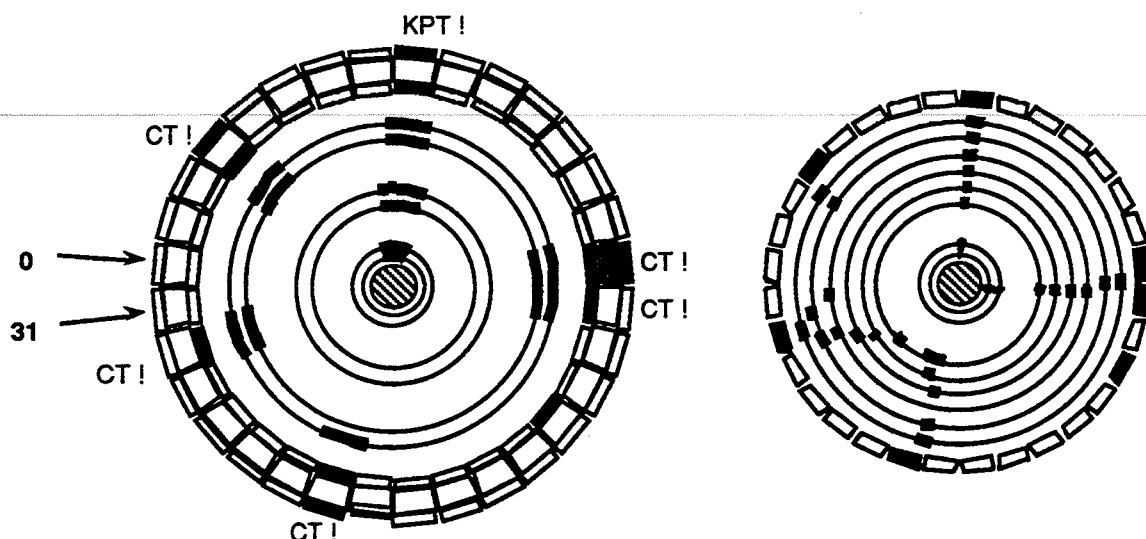


Figure 4-21 : A gauche, la vision du détecteur que possède le module "Track Launcher" et à droite, celle que possèdent globalement les 9 modules "Track Follower" avant le travail de TRACKING (HWP1).

4.5.2.2 La recherche des traces - Le paramètre Z :

Considérons un secteur i tel que $CT[i]=1$ (ou $KPT[i]=CT[i]=1$), ce qui correspond à envisager un secteur i où le "Track Launcher" identifie la présence d'une trace éventuelle passant à travers le scintillateur S1 (PID) correspondant.

Par définition, la recherche de cette trace revient à essayer de substituer aux informations $DC6, DC5, \dots, PC2$ et $PC1$ des informations détaillées permettant de localiser précisément la position des points d'intersection de cette éventuelle trace avec le rayon de chaque chambre à dérive, chaque chambre proportionnelle et les chambres à streamer. Compte tenu du fait que les réactions $p\bar{p} \rightarrow \dots$ ont lieu au centre du détecteur, on essaie de suivre cette trace de l'extérieur vers l'intérieur du détecteur (soit de la chambre à dérive DC6 dans les 7 mini-secteurs $2i-2, 2i-1, \dots, 2i+4$ vers la chambre proportionnelle PC1, en effectuant la moindre déviation géométrique possible en passant d'une chambre à l'autre). Parallèlement, on considère les chambres à streamer dans les secteurs $i-1, i$ et $i+1$ [18][21].

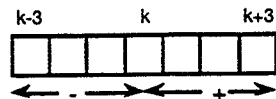
La recherche d'une trace par rapport aux chambres à dérive et aux chambres proportionnelles :

Le "Track Launcher" et 8 modules "Track Follower" sont connectés en chaîne (voir figure 4-22) le long de laquelle se propage une information, nommée "Ed's Word", qui permet d'orienter la recherche de la trace. Cette information, d'abord générée par le "Track Launcher", puis se transmettant de "Track Follower" en "Track Follower", comporte les principaux signaux suivants [25]:

- $VALID = 1$ signifie, à la sortie du "Track Launcher", que l'IDL a détecté la présence d'une trace.
A la sortie d'un "Track Follower", $VALID=1$ signifie que ce dernier a trouvé quelque chose parmi les bits qu'on lui a demandé de considérer dans le pattern $DCi (PCi)$ venant de la chambre à laquelle il est associé.
- A la sortie d'un "Track Follower", $VALID=0$ et $DOUBTFUL=1$ signifie que ce dernier n'a rien trouvé parmi les bits qu'on lui a demandé de considérer dans le pattern $DCi (PCi)$ venant de la chambre à laquelle il est associé.
- A la sortie d'un "Track Follower", $VALID=0$ et $DOUBTFUL=0$ ($\Rightarrow TRACK_LOST=1$) signifie que la trace est perdue !...

En fait, les deux bits $DOUBTFUL$ et $TRACK_LOST$ permettent de ne pas perdre de trace à cause de l'inefficacité des chambres. Il faut donc que 2 "Track Followers" successifs ne trouvent rien pour qu'une trace soit considérée comme perdue.

- A^* (6bits) = $k \pmod{64}$, qui, lorsque $VALID=1$ ou $DOUBTFUL=1$, demande au "Track Follower" de considérer la région constituée par les 7 mini-secteurs centrés sur le mini-secteur k , soit les bits $k-3, k-2, \dots, k+3$ du pattern DCi (PCi) venant de la chambre à laquelle il est associé :

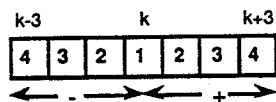


A la sortie du "Track Launcher", soit à l'entrée du "Track Follower" associé à la chambre DC6, $A^* = k = 2i+1 \pmod{64}$ dans le cas où $CT[i]=1$ (secteur i touché).

A noter qu'il est possible de rétrécir cette fenêtre à 5 ou 3 mini-secteurs.

Un "Track Follower" attribue à ces 7 mini-secteurs des priorités. Il trouve quelque chose si et seulement si il trouve un mini-secteur k' actif (bit k' du pattern DCi (PCi) actif) et qu'il ne trouve aucun autre mini-secteur actif de priorité plus haute ou égale parmi ces 7 mini-secteurs. Dans ce cas, à la sortie du "Track Follower", $A^* = k'$ et le "Track Follower" suivant centrera sa fenêtre sur le mini-secteur k' . S'il n'a rien trouvé, sa sortie vaudra $A^* = k$, la valeur à l'entrée...

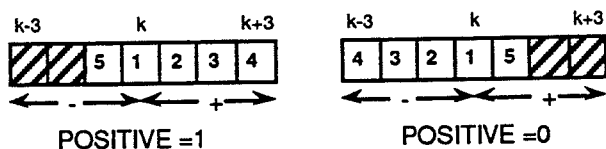
- $CHARGE_UNDEFINED = 1$ signifie, lorsque $VALID=1$ ou $DOUBTFUL=1$, qu'aucune direction de recherche ne peut être privilégiée. Ainsi, le "Track Follower" accordera les priorités de recherche suivantes (plus haute priorité = 1; plus basse priorité = 4) :



A la sortie du "Track Launcher", $CHARGE_UNDEFINED = 1$.

Pour une trace donnée, un "Track Follower" centré sur le mini-secteur k fait définitivement basculer le signal $CHARGE_UNDEFINED$ à 0 si et seulement si il a trouvé quelque chose grâce à un mini-secteur k' actif de priorité ≥ 2 ($k-k' \neq 0$), car on observe ainsi une déviation de la trace par rapport aux mini-secteurs.

- $POSITIVE = 1(0)$ signifie, lorsque $CHARGE_UNDEFINED = 0$ et, lorsque $VALID=1$ ou $DOUBTFUL=1$, que la direction "+" ("−") doit être privilégiée dans l'attribution des priorités (plus haute priorité = 1; plus basse priorité = 5; les mini-secteurs sont à ignorer et la fenêtre effective ne comporte plus que 5 mini-secteurs!) :



A la sortie du "Track Launcher", $POSITIVE = 1$ par défaut.

A la sortie d'un "Track Follower" centré sur le mini-secteur k , $POSITIVE = 1$ si et seulement si :

- le "Track Follower" a trouvé quelque chose grâce au mini-secteur k' tel que $k'-k = 1, 2$ ou $3 \pmod{64}$.
- à son entrée $POSITIVE=1$ et le "Track Follower" a trouvé quelque chose grâce au mini-secteur $k'=k$.
- à son entrée $POSITIVE=1$ et le "Track Follower" n'a rien trouvé.

Les signaux $CHARGE_UNDEFINED$ et $POSITIVE$ ne sont que des signaux d'orientation de recherche et n'ont rien à voir avec le signe de l'éventuelle particule qui aurait engendré la trace que l'on essaye de rechercher !

- $KAONLIKE = 1$ signifie que la trace en question est kaonique et primaire, toujours selon l'IDL. Ce bit n'est ni utilisé et ni modifié par les modules "Track Follower", il n'est que transmis aux modules "Config" effectuant la décision de TRACKING.

The diagram illustrates the timing and data flow for the KPI interface. Key signals include:

- SirobeTL** and **CLEAR**: Input signals to the **TL** (Timing Logic) block.
- StopCK** and **StartCK**: Clock signals derived from the **TL** block.
- Ed's word**: A data signal that is the output of the **TL** block and the input to the **DC6** block.
- DC6** through **DC1**: Data Channels. Each has an **IE** (Input Enable) signal and a **FE** (Feedback) signal. They are connected to **TF** (Transfer Function) blocks and **DC** (Data Channel) blocks.
- PC2** and **PC1**: Process Control signals. Each has an **IE** signal and a **FE** signal.
- PC1 Infos** and **PC2 Infos**: Information signals for the process control blocks.
- DC1 Infos** through **DC6 Infos**: Information signals for the data channels.
- TL/CONF**: A configuration signal for the **TL** block.
- ST** (Status) and **ST Infos**: Status signals for the **TL** block.
- AOV1(z)** and **msb(Z)**: Output signals for the **TL** block.

4 - 24

La recherche d'une trace par rapport aux chambres à streamer :

Le "Track Launcher", 1 unité d'un module "Delay" et 1 module "Track Follower" sont utilisés pour interroger les chambres à streamer (voir figure 4-22 ci-dessus). L'unité du module "Delay" ne fait que retarder l'interrogation afin que l'électronique de lecture des chambres à streamer (conversion en Z) soit prête au moment de l'interrogation. Le protocole de recherche de trace (information "Ed's Word") est absolument identique à celui adopté pour la recherche des traces par rapport aux chambres à dérive et aux chambres proportionnelles [24].

Une petite différence existe cependant : le pattern ST contient 32 bits (32 secteurs) contrairement aux patterns DCi et PCi (64 bits). On résout ce problème en connectant chaque bit ST [i] ($0 \leq i \leq 31$) à l'entrée $2i+1$ du "Track Follower" associé aux chambres à streamer. Ainsi, lorsque le "Track Launcher" fournit l'adresse $A^* = 2i+1$, le "Track Follower" va centrer sa fenêtre sur le mini-secteur $2i+1$ (qui correspond au secteur i des chambres à streamer) et seuls les mini-secteurs $2i-1$, $2i+1$ et $2i+3$, correspondant au secteurs $i-1$, i et $i+1$ respectivement, seront considérés.

Ainsi, après une interrogation, à un bit du pattern ST (32 bits), on a substitué une information contenant 16 bits (+ 2 signaux de validation)! Cette information est traitée avant celles des chambres à dérive et des chambres proportionnelles. En effet, comme le but (qui sera expliqué plus en détail dans le sous-paragraphe 4.5.2.3 suivant) est de remplacer chaque information des chambres à dérive et des chambres proportionnelles par un angle ϕ , et que ces chambres possèdent un léger voilage géométrique, chaque angle ϕ dépend en fait aussi des deux bits les plus significatifs de Z (un des bits est le bit de signe en fait) [12][24].

Le paramètre Z :

La transformation de l'information venant des chambres à streamer s'effectue par une unité de "LUT" ("Look-Up-Table") alors que les deux bits de validation sont réservés pour les modules "Config", responsables de la décision de TRACKING. Cette unité de la "LUT" fournit le paramètre Z de la trace que l'on est en train de rechercher : l'unité choisie pour décrire Z est 1/128 cm. Ce nombre est un mot de 16 bits, signé et complémentaire à 2 [26][27].

La fonctionnalité de TRACKING (pipe-line) :

L'idée est de rechercher une trace après l'autre. Pour ce faire, chaque module ("Track Launcher", "Track Follower", "Delay", "LUT" ou "Look-Up-Table" et l'électronique de lecture des chambres) ne doivent délivrer leur(s) information(s) au(x) module(s) suivant(s) qu'avec un front avant d'un signal : ce signal a pour nom SYSCLOCK qui n'est rien d'autre que le signal de l'horloge de 10 MHz rythmant le travail de HWP1. On a donc affaire à un pipe-line !

TRACKING s'occupe d'abord des traces kaoniques primaires selon l'IDL, en commençant par les secteurs de poids faible et s'occupe ensuite des autres traces (non kaoniques), toujours en commençant par le secteur de poids faible. Concrètement, en prenant l'exemple donné dans la figure 4-21, le "Track Launcher" distribuera l'information "Ed's Word" concernant d'abord le secteur 8 (KPI [8] = 1), puis celle concernant les secteurs 3, 15, 16, 25 puis 30 (CI [3] = CI [15] = CI [16] = CI [25] = CI [30] = 1)(voir figures 4-23 ci-dessous) :

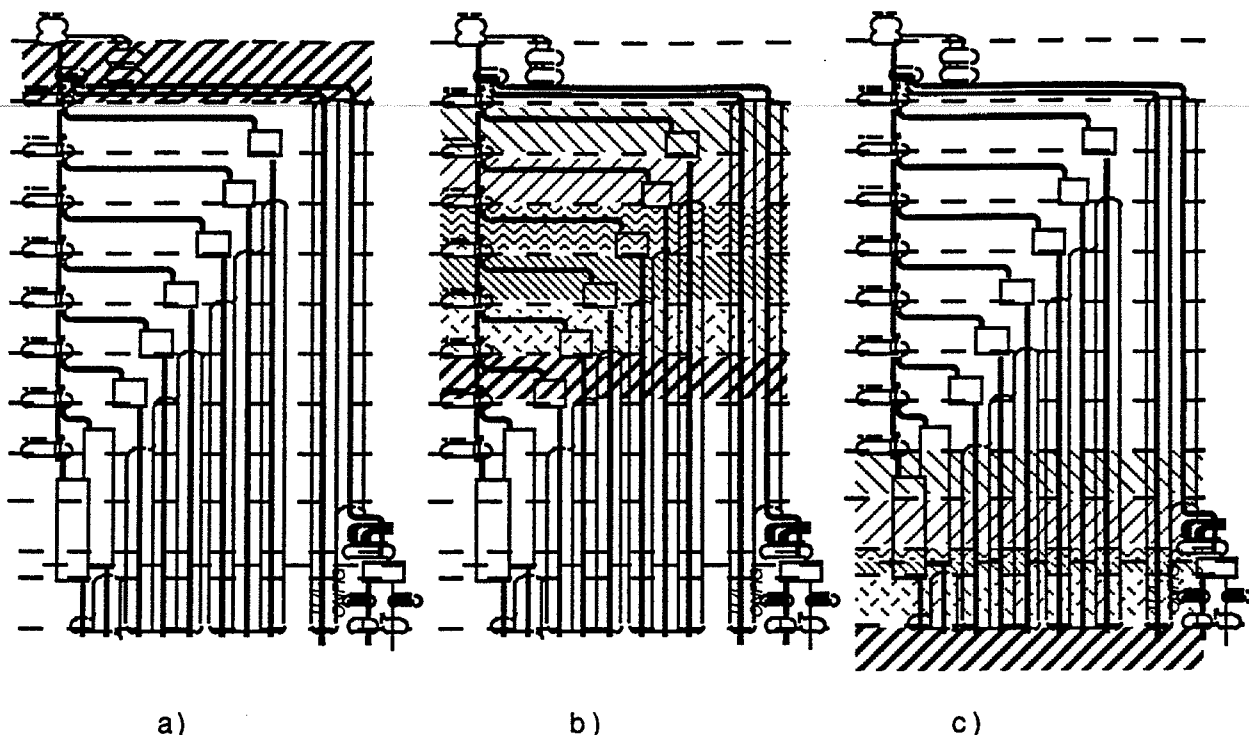


Figure 4-23 : Représentation temporelle du schéma de l'électronique de la recherche des traces (figure 4-22).

a) Situation après 1 front avant du signal SYS\$CLOCK : le "Track Laucher" a livré l'information "Ed's Word" concernant le secteur 8 au "Track Follower" associé à la chambre DC6, ainsi qu'à 2 unités de Delay, une unité délivrera cette information aux modules suivants (4 modules "Config", absents des figures 4-22 et 4-23) après 13 fronts avant du signal SYS\$CLOCK et l'autre délivrera cette information au "Track Follower" associé aux chambres à streamer après 9 fronts avant du signal SYS\$CLOCK.

b) Situation après 7 fronts avant du signal SYS\$CLOCK : le "Track Laucher" ne livre plus d'information. Toutes les informations relatives à la 1^{ère} trace ($KPT [8]=1$) se trouve dans la région hachurée , celles concernant la 2^{ème} trace ($CT [3]=1$) se trouve dans la région hachurée , celles concernant la 3^{ème} trace ($CT [15]=1$) se trouve dans la région hachurée , celles concernant la 4^{ème} trace ($CT [16]=1$) se trouve dans la région hachurée , celles concernant la 5^{ème} trace ($CT [25]=1$) se trouve dans la région hachurée  et celles concernant la 6^{ème} trace ($CT [30]=1$) se trouve dans la région hachurée .

c) Enfin, après 14 fronts avant du signal SYS\$CLOCK, toutes les informations concernant la 1^{ère} trace et provenant des chambres à dérive et des chambres proportionnelles sont disponibles à l'entrée des modules "Config". Le 15^{ème} front avant du signal SYS\$CLOCK délivrera aux modules "Config" les informations concernant la 2^{ème} trace...

J'ai poursuivi l'exemple montré dans la figure 4-21.

Bien entendu, l'algorithme appliqué par la chaîne des modules "Track Follower" implique qu'il existe une forte probabilité que toutes ces informations soient associées à une seule trace physique.

4.5.2.3 La reconstruction des traces et les modules "Config":

Les entrées des modules "Config":

Les 4 modules "Config", qui constituent en fait l'unité de la prise de décision de TRACKING, reçoivent [24][28]:

- les informations venant indirectement (via des unités de modules "Delay") de l'électronique de lecture des chambres à dérive et des chambres proportionnelles (bas de la figure 4-22 et voir figure 4-24 ci-dessous). Chaque information (14 bits pour les chambres à dérive et 11 bits pour les chambres proportionnelles) est accompagnée de deux signaux de validation :
 - $A1=1$ signifie que l'électronique de lecture de la chambre livrant cette information a trouvé quelque chose dans le mini-secteur concerné.
 - $A0=1$ signifie que cette information est utilisable par le trigger(HWP1-TRACKING) dans le sens où il n'y a absolument aucune ambiguïté sur la position de l'éventuelle trace dans le mini-secteur concerné.

Si $A0=A1=1$, l'interrogation de l'électronique de la chambre en question est couronnée de succès ! A un mini-secteur touché, on a substitué un point (par définition, on appellera désormais un point toute information accompagnée par les 2 signaux de validation actifs, soit $A0=A1=1$) !

- les 2 bits les plus significatifs de Z de façon à tenir compte du voilage des chambres à dérive dans la reconstruction géométrique des traces. Ces 2 bits sont accolés aux informations provenant de l'électronique de lecture des chambres à dérive ou proportionnelles par les modules "Config" de façon à alimenter correctement les "LUT" ("Look-Up-Table") effectuant la conversion 'information-chambre' $\rightarrow$ 'angle ϕ '.
- les 2 signaux de validation $A1(Z)$ et $A0(Z)$ venant indirectement (via une unité d'un module "Delay") de l'électronique de lecture des chambres à streamer (voir bas de la figure 4-22 et voir figure 4-24 ci-dessous). Pour qu'une trace soit considérée, il faut $A1(Z)=A0(Z)=1$!
- l'adresse A du secteur i (5 bits les plus significatifs de l'adresse A*) d'où est parti la recherche de la trace, accompagnée par les signaux VALID et KAONLIKE, venant indirectement (via une unité d'un module "Delay") du "Track Launcher" (voir aussi figure 4-22) : c'est le mot TL-to-CONFIG.

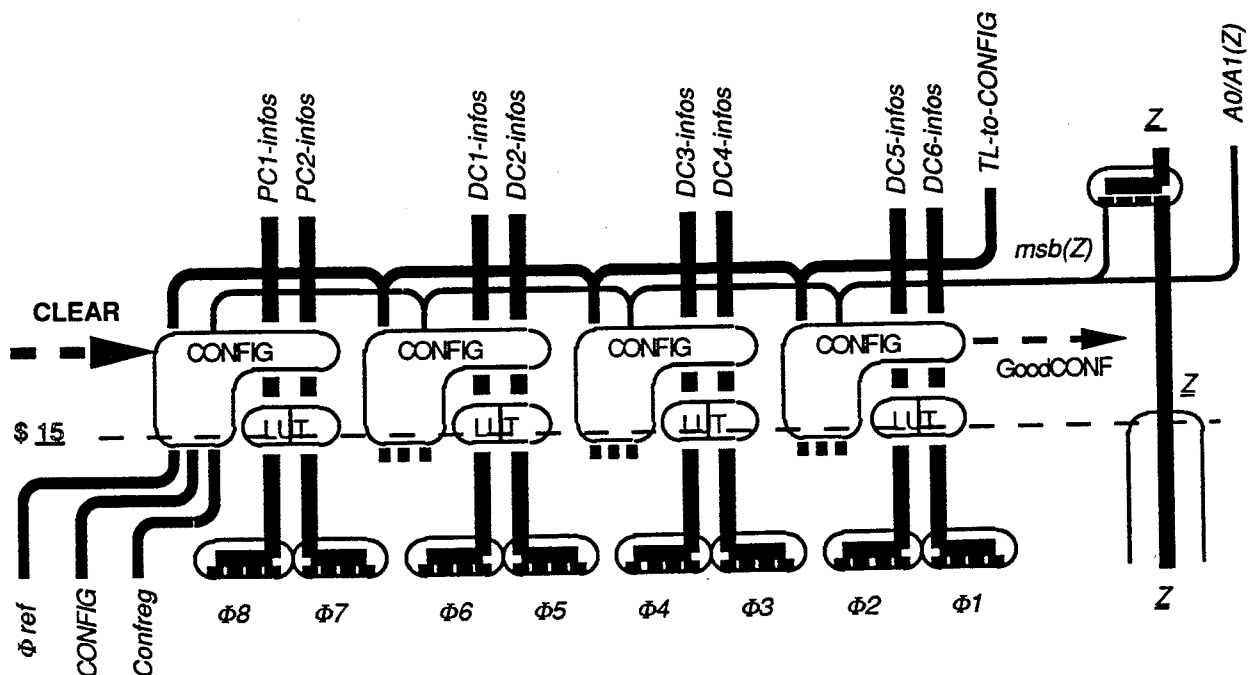


Figure 4-24 : Schéma de l'électronique de la reconstruction des traces. Ce schéma est la suite du schéma présenté dans la figure 4-22 (voir annexes D et E).

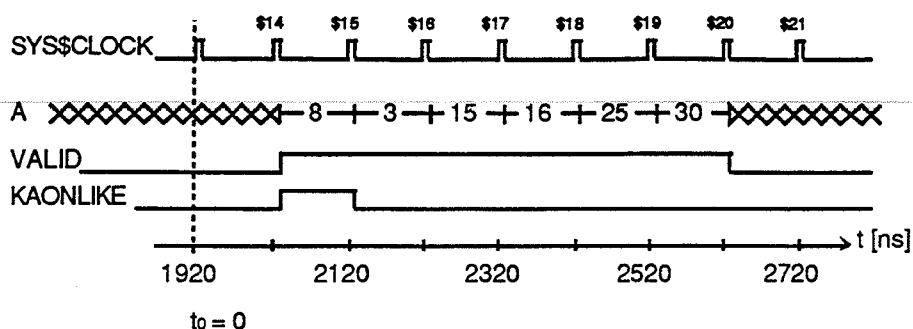


Figure 4-25 : Chronogramme du mot de 7 bits TL-to-CONFIG en fonction du signal SYS\$CLOCK, à l'entrée des modules "Config". Un numéro \$N au dessus de chaque impulsion du signal SYS\$CLOCK signifie qu'il s'agit de la N^{ème} impulsion dudit signal. Dans les figures 4-22 et 4-24, un tel numéro signifie qu'il faut N front(s) avant(s) du signal SYS\$CLOCK pour délivrer les informations de la première trace en dessous de la ligne traitillée correspondant au numéro \$N (dans la figure ci-dessus et dans la figure 4-22, le 14^{ème} front avant du signal SYS\$CLOCK libère les informations de la première trace à la sortie des modules "Delay" et d'une unité du module "LUT" fournissant la coordonnée Z) (voir annexe D).

Ce chronogramme correspond à l'exemple donné par la figure 4-21.

Les définitions des modules "Config" :

Afin de prendre une décision, communiquée par le signal GoodCONF à l'unité responsable de la génération du signal GoodHWP1, les modules "Config" sont obligés de poser des définitions strictes par rapport aux traces candidates qui se présentent successivement à son entrée :

- une trace est valide à la sortie des modules "Config" (à la sortie de TRACKING) si et seulement si les 3 conditions suivantes sont remplies :
 - $A1(Z)=A0(Z)=1$ (l'information venant des tubes à streamer est significative : la coordonnée Z est connue !).
 - il existe au moins 3 points dans les chambres à dérive et proportionnelles : on a donc une trace paramétrisable...
 - cette trace n'a jamais été vue ! On évite ainsi ce que l'on appelle le double-tracking (voir exemple ci-dessous) en considérant que 2 traces sont identiques si tous leurs points sont identiques par rapport aux chambres à dérive et proportionnelles.

A la sortie des modules "Config", une trace valide se manifeste par le signal VRAI-VALID=1 et est définie désormais comme strictement valide.

Les modules "Config" doivent compter le nombre de traces strictement valides à leur sortie : Nt.

- une trace est primaire à la sortie des modules "Config" (à la sortie de TRACKING) si et seulement si il existe au moins un point dans les chambres proportionnelles.
A la sortie des modules "Config", une trace primaire se manifeste par le signal PRIMARY=1. Les modules "Config" doivent compter le nombre de traces primaires et strictement valides à leur sortie : Np.
- une trace est kaonique et primaire à la sortie des modules "Config" (à la sortie de TRACKING) si et seulement si il existe au moins un point dans les chambres proportionnelles et si KAONLIKE=1 pour cette trace. Les modules "Config" n'ont aucune action sur ce signal : celui-ci se transmet...

Les modules "Config" doivent compter le nombre de traces kaoniques, primaires et strictement valides à leur sortie : Nk.

A noter qu'en imposant la première condition de validité ci-dessus et en ne travaillant qu'avec des points dans le plan transverse (chambres à dérive et chambres proportionnelles utilisées sans faire usage de leurs strips en hélice dont le temps de réponse est par ailleurs très long), on émet l'hypothèse que tous les points d'une trace se trouvent dans un même plan contenant le centre du détecteur (de la cible) et le point donné par les chambres à streamer. Compte tenu du fait que les réactions d'annihilation $p\bar{p} \rightarrow \dots$ n'ont pas toujours lieu au centre même de la cible (voir figure 4-26 ci-dessous) et qu'il existe une imprécision de $\sigma_z = 1.5$ cm sur le paramètre Z, cette hypothèse induit une sensible imprécision sur l'impulsion longitudinale p_z calculée en ligne (voir paragraphe 4.5.3) ainsi que sur tous les paramètres utilisant p_z .

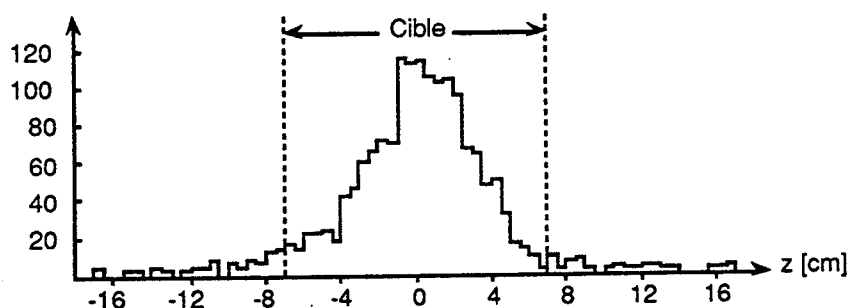


Figure 4-26 : Distribution longitudinale des vertex d'annihilation des antiprotons $p\bar{p} \rightarrow \dots$ dans (et autour de) la cible [12].

Les décisions des modules "Config" :

En fonction des définitions ci-dessus, on peut choisir différents critères de sélection (types de décision) :

$$T0nnn/T1nnn : \quad \text{GoodCONF} = 1 \quad (4.12a)$$

$$T2nnn : \quad \text{GoodCONF} = 1 \Leftrightarrow \begin{aligned} & (N_t = 4 \quad \text{or} \quad N_t = 2) \\ & \text{and} \quad (4 \geq N_p \geq 2) \\ & \text{and} \quad N_k \geq 1 \end{aligned} \quad (4.12b)$$

$$T3nnn : \quad \text{GoodCONF} = 1 \Leftrightarrow \begin{aligned} & [(N_t = 4 \quad \text{or} \quad N_t = 2) \\ & \text{and} \quad (4 \geq N_p \geq 2) \\ & \text{and} \quad N_k \geq 1] \\ & \text{or} \quad [N_t = 3 \\ & \text{and} \quad N_p = 2 \\ & \text{and} \quad N_k \geq 1] \\ & \text{or} \quad [N_t = 4 \\ & \text{and} \quad N_p = 3 \\ & \text{and} \quad N_k \geq 1] \end{aligned} \quad (4.12c)$$

$$T4nnn : \quad \text{GoodCONF} = 1 \Leftrightarrow \begin{aligned} & N_t = 4 \\ & \text{and} \quad N_p = 2 \\ & \text{and} \quad N_k \geq 1 \end{aligned} \quad (4.12d)$$

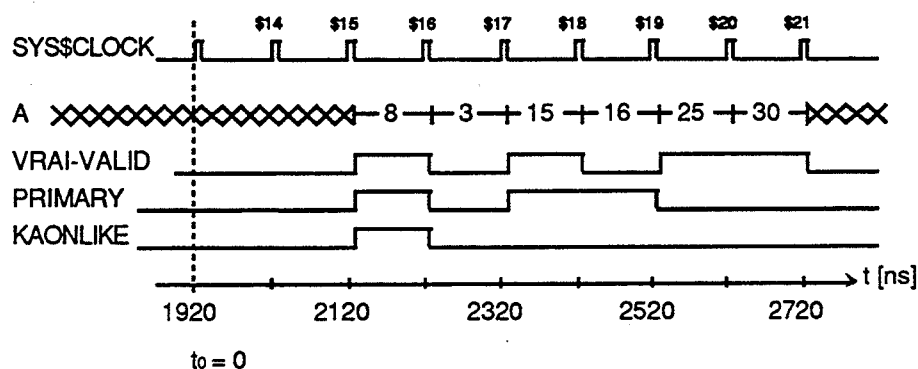


Figure 4-27 : Chronogramme des signaux VRAI-VALID, PRIMARY et KAONLIKE, ainsi que A qui n'est rien d'autre que le numéro du secteur où la recherche de la trace a commencé (mot ConfReg de la figure 4-24).

La 2^{ème} trace n'est pas strictement valide car $A0(Z)=0$ en suivant toujours le même exemple.

La 4^{ème} trace ne l'est pas non plus car c'est la même trace que la 3^{ème} (double tracking).

Au temps $t=2730$ ns, la décision de TRACKING (ou des modules "config") tombe : GoodCONF=1 car on a $Nk=1$, $Np=2$ et $Nt=4$ qui est valable pour n'importe quel type de décision

La reconstruction des traces :

Chaque trace strictement valide contient entre 3 et 8 points dans les chambres à dérive et proportionnelles. A chaque point, fourni par une chambre j donnée de rayon r_j connu (dans les coordonnées cylindriques), correspond une coordonnée angulaire ϕ_j donnée par une unité de "LUT" associée à la chambre j en question (voir figure 4-24). Ainsi, on peut dire qu'une trace est reconstruite lorsqu'on peut lui associer N coordonnées (r_j, ϕ_j) correspondant aux points j censés lui appartenir ($3 \leq N \leq 8$).

L'unité choisie pour décrire les angles ϕ_j est $2\pi/65536$: les mots ϕ_j ($1 \leq j \leq 8$) sont des mots de 16 bits complémentaires à 2 ($\phi_j \in [0,FFFF]$ en langage hexadécimal) dans le système de coordonnées cylindriques adopté dans le paragraphe 3.1.2.[29].

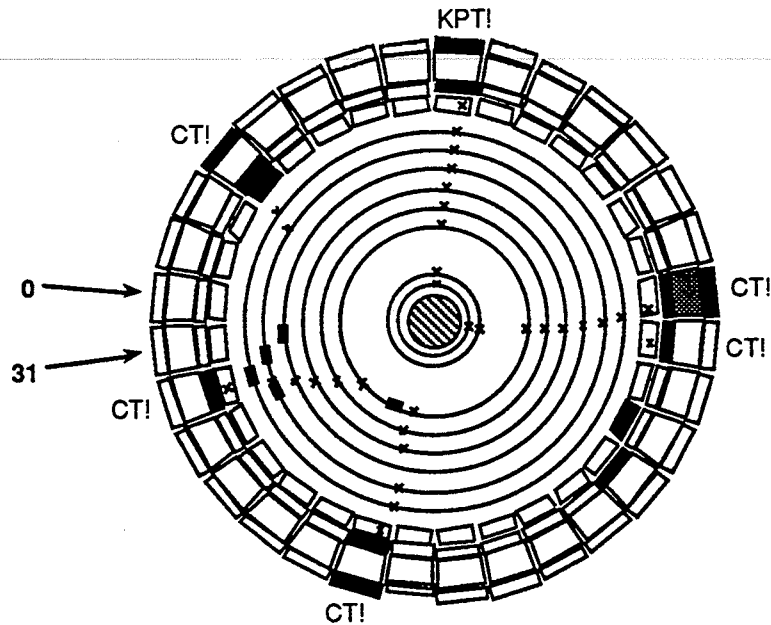


Figure 4-28 : Vision du détecteur que possède le trigger à la fin du travail de TRACKING. A noter que la chambre à streamer du secteur 3 (trop de tubes avec des valeurs de z différentes ?) ainsi que la chambre DC6 dans le mini-secteur 61 (trop de fils touchés ?) n'ont pu délivrer une information physiquement utilisable... La chambre DC5 n'a pas été interrogée concernant les mini-secteurs 60 et 62, car le "Track Follower" qui lui est associé, lancé sur le mini-secteur 61, n'a pas pu choisir si la trace éventuelle passait par le mini-secteur 60 ou 62 (priorités identiques !). De même, on ne connaît pas le contenu des mini-secteurs 63 de la chambre DC4 et 52 de la chambre DC1 (question de priorités dans l'algorithme appliqué par les modules "Track Follower").

Il est à noter que l'on ne connaît pas le signe des particules qui ont créé ces traces : en fait, on ne connaît pas les paramètres principaux de ces traces et la connaissance de ces derniers se fera lors de l'étape suivante, PARAM, et dans le cas où ces traces sont primaires et strictement valides. Rappelons encore que ce sont sur les kaon $K^{+/-}$ et pion $\pi^{+/-}$ chargés et primaires directement issus des réactions $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$ que HWP1 focalise la plus grande partie de son attention.

En vue de l'étape suivante, les modules "Config" distribuent 3 mots supplémentaires à la partie PARAM de HWP1 :

- CONFIG (8 bits) : chaque bit de ce mot est associé à une chambre (le bit 0 est associé à la chambre DC6,..., le bit 7 à la chambre PC1). Si un bit est actif, il signifie que l'information provenant de la chambre à laquelle il est associé est totalement significative : on a affaire à un point. Ainsi, le nombre de bits actifs dans le mot CONFIG est le nombre N de points d'une trace dans les chambres à dérive et proportionnelles.
- ϕ_{ref} (5 bits) : en plus du bit VRAI_VALID, les modules "Config" fournissent les 4 bits les plus significatifs du secteur i où la recherche de la trace a commencé. En fait, en décalant ces bits de 12 bits à gauche (multiplication par 2^{12}), on obtient en fait la coordonnée angulaire de l'axe du secteur i en accord avec le choix des unités des angles ϕ_i ($\phi_i \in [0,FFFF]$) et avec le système de coordonnées cylindriques adopté dans le paragraphe 3.1.2.[29].
- ConfReg (8 bits) : ce mot, prévu aussi pour la partie HWP2 du trigger, contient :
 - l'adresse A (5 bits) du secteur d'où la recherche de la trace est partie.
 - les 3 signaux VRAI-VALID, PRIMARY et KAONLIKE.

Le paramètre Z de la trace est également fourni à la partie PARAM de HWP1 et prévu aussi pour la partie HWP2 du trigger.

A noter que lors d'une acquisition sont lus à travers le SPY (monitorage) [23] :

- tous les patterns venant des chambres à dérives (6 patterns DCi de 64 bits), des chambres proportionnelles (2 patterns PCi de 64 bits) et des chambres à streamer (ST de 32 bits).
- concernant les traces valides à l'entrée de HWP1 (traces accompagnées du signal VALID=1):
 - tous les mots "Ed's Word" venant des modules "Track Launcher" et "Track Follower" (10 mots de 16 bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1).
 - toutes les informations provenant des chambres à dérives (6 mots *DCi-infos* de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1), des chambres proportionnelles (2 mots *PCi-infos* de 13(16)bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1) et des chambres à streamer (1 mot *ST-infos* de 18(32)bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1).
 - les informations CONFIG et Confreg venant des modules "Config" (1 mot de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1).
 - les angles ϕ_i (8 mots de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1, un angle correspondant à une information physiquement inutilisable vaut 0 par défaut).
 - le paramètre Z (1 mot de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1, une valeur de Z correspondant à une information physiquement inutilisable vaut 0 par défaut).

4.5.3 PARAM : le calcul des paramètres associés aux traces

4.5.3.1 Les 3 paramètres principaux ρ , Φ_c et ε d'une trace :

Dans le plan transverse du système de coordonnées cylindriques $O r \phi$ (voir paragraphe 3.1.2) et sous réserve de toute erreur de recherche de trace, les points (r_i, ϕ_i) calculés par TRACKING sont disposés le long d'un arc de cercle dont le rayon R est proportionnel à l'impulsion transverse de la particule qui a créé cette trace.

Comme le but de HWP1 nécessite des calculs cinématiques en ligne à partir des impulsions $\vec{p}(K^{+/-})$ et $\vec{p}(\pi^{-/+})$ des particules primaires (issues directement des réactions $P\bar{P} \rightarrow \dots$), on doit donc dans un premier temps calculer leurs impulsions transverse et longitudinale à partir du rayon de courbure R et de la coordonnée Z (déjà calculée par TRACKING) associées à chaque trace primaire et strictement valide.

Définitions des paramètres ρ , Φ_c et ε :

En premier lieu, on doit donc calculer les 3 paramètres suivants (voir figure 4-29) [26][30][31] :

- ρ : la courbure (nombre signé), proportionnelle à l'inverse du rayon de courbure au signe de la trace près (par convention, le signe d'une trace vaut +1 lorsque la particule a été déviée dans le sens rétrograde par rapport au système de coordonnées $O r \phi$; comme on change périodiquement l'orientation du champs magnétique, le signe d'une trace ne correspond pas forcément au signe de la particule qui l'a créée).
- $\varepsilon = R_c - R$ (nombre signé) donne la plus courte distance entre le cercle qui profile le mieux cette trace et l'origine O. S'il est positif, ce paramètre indique que l'origine O se trouve à l'extérieur du cercle (R_c est la distance entre l'origine O et le centre du cercle).
- Φ_c : l'angle entre l'axe Ox et le vecteur tangent au cercle au point le plus proche de l'origine O et orienté en direction des points (r_i, ϕ_i) de la trace ($\Phi_c \in [0, 2\pi]$ et $\Phi_c \equiv \Phi_{ref}$, la coordonnée angulaire de l'axe du secteur i d'où la recherche de la trace a commencé).

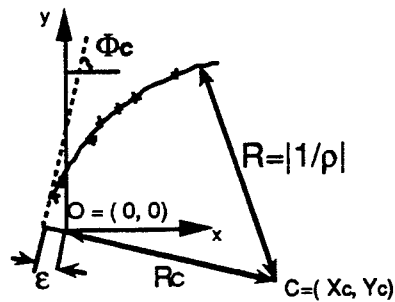


Figure 4-29 : Définition des paramètres $R=|1/\rho|$, Φ_c et ϵ .
NB : O est le centre du détecteur [30][31].

Conditions de validité pour le calcul des paramètres ρ , Φ_c et ϵ :

Les paramètres ρ , Φ_c et ϵ peuvent s'exprimer linéairement en fonction des N angles Φ_i fournis par TRACKING ($4 \leq N \leq 8$ pour les traces primaires), dans la mesure où les deux conditions suivantes sont remplies [30][31]:

- ϵ doit être petit ($\epsilon^2 \approx 0$), ce qui est généralement le cas pour les traces primaires (voir figure 4-30).

- le rayon de courbure doit être grand ($R \gg \epsilon$, voir figure 4-31).

Ces deux conditions impliquent que $\Phi_c - \Phi_i$ est également très petit quel que soit i (en radian, $\sin(\Phi_c - \Phi_i) \approx \Phi_c - \Phi_i, \forall i$) [30][31].

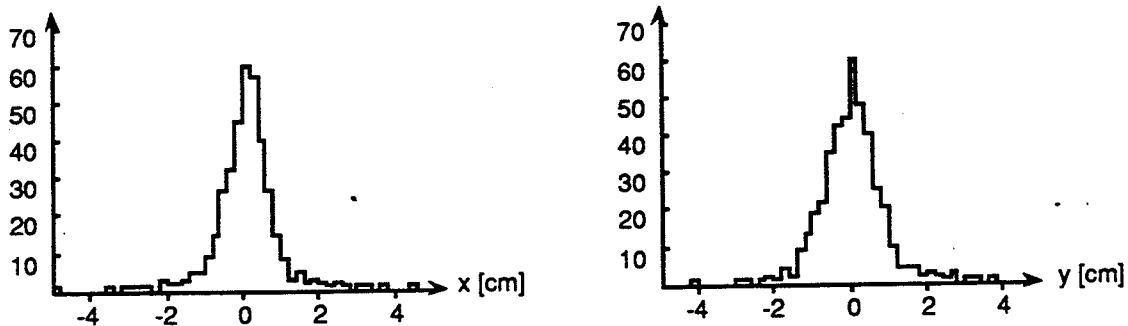


Figure 4-30 : Distribution du vertex d'annihilation en fonction des coordonnées x (à gauche) et y (à droite) pour montrer que ϵ est bel et bien petit [9]...

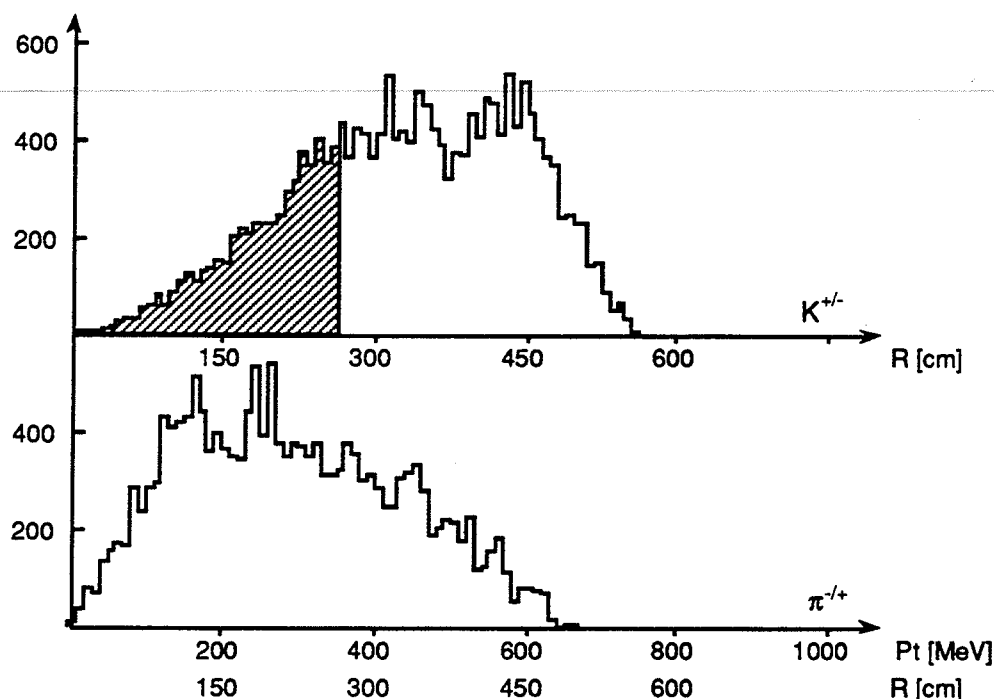


Figure 4-31 : Distribution de l'impulsion transverse du kaon primaire(en haut) et du pion primaire(en bas) dans les événements $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$ en tenant compte d'une coupure nette sur l'impulsion transverse du kaon primaire chargé (350 MeV), montrant ainsi que le rayon de courbure des traces primaires est bel et bien grand dans l'immense majorité des cas, même concernant le pion primaire chargé [27]...

Le calcul des paramètres ρ , Φ_c et ϵ :

Par conséquent, ces paramètres peuvent être calculés sans itération à l'aide des formules suivantes [30][31] :

$$\rho = \sum_{i=1}^N R_i(\text{CONFIG}) \phi_i \quad \sum_{i=1}^N R_i(\text{CONFIG}) = 0 \quad (4.13a,b)$$

$$\Phi_c = \sum_{i=1}^N F_i(\text{CONFIG}) \phi_i \quad \sum_{i=1}^N F_i(\text{CONFIG}) = 1 \quad (4.14a,b)$$

$$\epsilon = \sum_{i=1}^N E_i(\text{CONFIG}) \phi_i \quad \sum_{i=1}^N E_i(\text{CONFIG}) = 0 \quad (4.15a,b)$$

Ces équations s'obtiennent en fittant le cercle d'équation $(x-X_c)^2 + (y-Y_c)^2 = R^2$ à travers les N points (r_i, ϕ_i) par la méthode de la minimisation des moindres carrés (voir figure 4-29), en tenant compte des conditions de validité exposées précédemment ($\epsilon^2 \approx 0$, $\sin(\Phi_c - \phi_i) \approx \Phi_c - \phi_i \ll 1$) [30][31].

Les coefficients $R_i(\text{CONFIG})$, $F_i(\text{CONFIG})$ et $E_i(\text{CONFIG})$ dépendent des rayons r_i des chambres à dérive et des chambres proportionnelles qui ont répondu favorablement lors de la recherche de la trace en question, du nombre N de ces chambres, donc aussi de la topologie de ces chambres grâce au mot de 8 bits CONFIG donné par TRACKING [30][31].

Les équations (4.13b), (4.14b) et (4.15b) expriment l'invariance du calcul des paramètres ρ et ϵ sous rotation autour du point O (axe du détecteur/centre de la cible). Cette propriété d'invariance est exploitée afin d'augmenter la précision du calcul de ces paramètres

selon les formules (4.13a) et (4.15a). En effet, profitant qu'en première approximation on a $\Phi_c \equiv \Phi_{ref}$, où Φ_{ref} est donné par TRACKING (4 bits de poids fort de l'adresse A du secteur i d'où la recherche de la trace a commencé), on calcule les expressions suivantes [18][21][30][31]:

$$\rho = \sum_{i=1}^N R_i(\text{CONFIG}) (\Phi_i - \Phi_{ref}) \quad (4.16)$$

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^N E_i(\text{CONFIG}) (\Phi_i - \Phi_{ref}) \quad (4.17)$$

Chaque terme $\Phi_i - \Phi_{ref}$ est petit. Comme les calculs sont effectués sur 16 bits et que l'on a pour ainsi dire annulé les 4 bits de poids fort du mot donnant la valeur de l'angle, on peut aisément effectuer la somme de 8 termes $R_i/E_i(\text{CONFIG})(\Phi_i - \Phi_{ref})$ sans risque d'overflow : on n'est pas obligé de décaler à droite chaque terme pour se protéger d'un overflow, donc on gagne en précision!

Chacun de ces paramètres sont calculés à l'aide de 4 modules "SumPF" ("Sum and Product of Functions") et d'un module "AaS" ("Add and Shift")[18]. En prenant l'exemple du paramètre ρ , chaque module "SumPF" effectue l'addition de 2 termes $R_i(\text{CONFIG})(\Phi_i - \Phi_{ref})$: chaque "SumPF" est donc associé à deux chambres à dérive ou proportionnelles. Le module "AaS" achève le calcul décrit par l'équation (4.16). Comme il se doit, ces paramètres sont calculés pour chaque trace, en pipe-line (voir figure 4-32). A noter que bien qu'ils sont calculés aussi pour les traces secondaires, ils ne seront pas utilisés ultérieurement dans les calculs cinématiques...

Les unités choisies pour décrire ces paramètres sont les suivantes [27]:

- ρ : nombre de 16 bits signé, complémentaire à 2, en $1/41721,5 \text{ cm}^{-1}$.
- Φ_c : nombre de 16 bits complémentaire à 2, en $2\pi/65536$ radians.
- ε : nombre de 16 bits signé, complémentaire à 2, en $1/163 \text{ cm}$.

4.5.3.2 Les impulsions longitudinales et transversales liées à une trace :

L'impulsion transverse p_t :

L'impulsion transverse p_t s'obtient directement à partir de la courbure ρ par une unité de "LUT" ("Look-Up-Table"). L'unité choisie pour décrire p_t est $1/4 \text{ MeV}$ [27]. Ce nombre est un mot de 16 bits complémentaire à 2, non signé.

L'impulsion longitudinale p_z :

On part du principe que l'impulsion longitudinale est proportionnelle au paramètre Z donné par TRACKING et à l'impulsion transverse (voir paragraphe 4.5.3.2 et figure 4-26). L'unité choisie pour décrire p_z est $1/4 \text{ MeV}$ [27]. Ce nombre est un mot signé de 16 bits, complémentaire à 2[26].

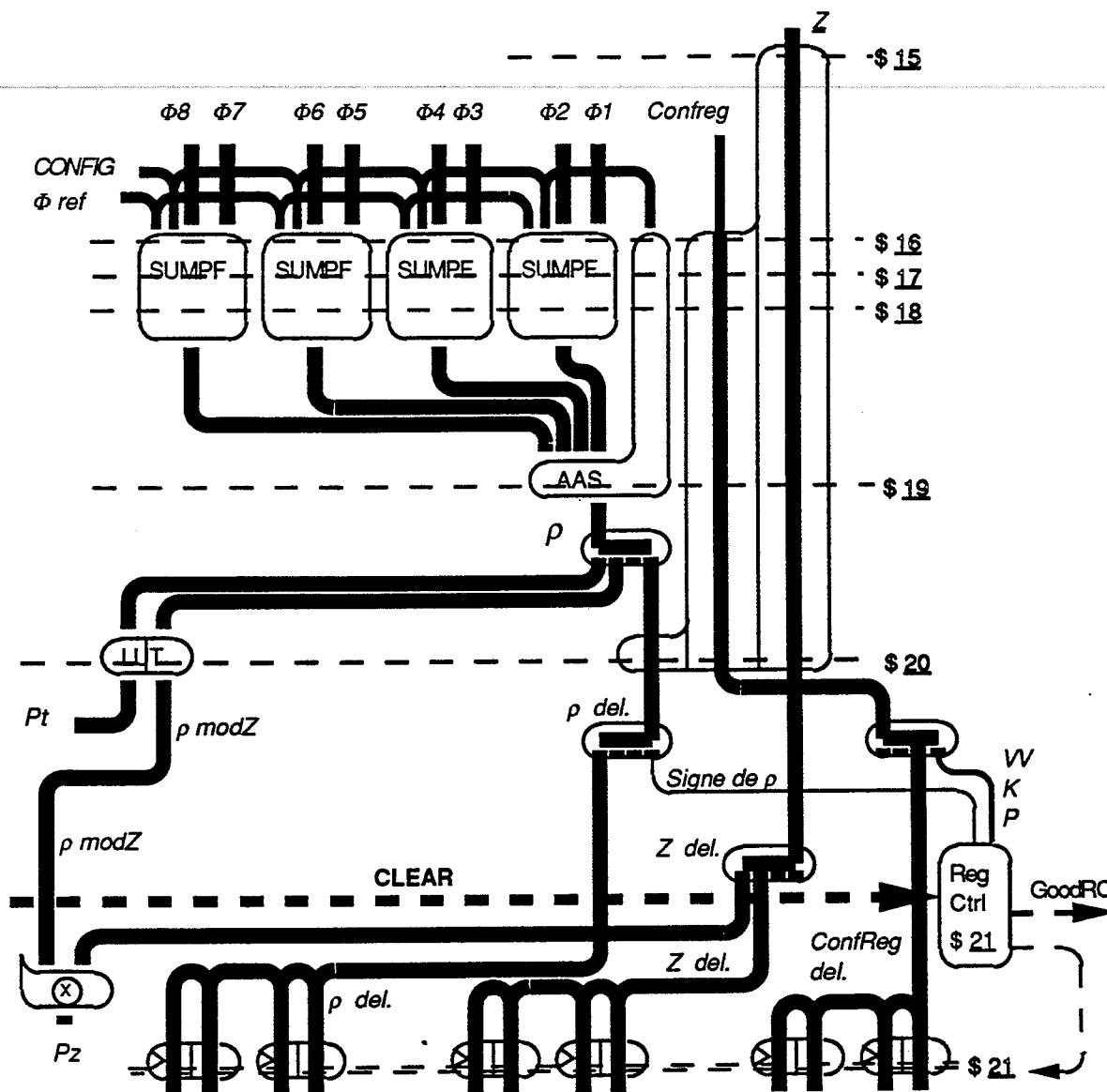


Figure 4-32 : Schéma de l'électronique du calcul des paramètres ρ , ρ_t et ρ_z . Le schéma de l'électronique de calcul des paramètres ϕ_c et ε est tout à fait analogue : aussi, cette électronique a participé directement dans les prises de décision de HWP1 avant 1993, contrairement à celle associée aux paramètres ϕ_c et ε (voir annexes D et E).

4.5.3.3 Le "Register Control" et les décisions de PARAM :

Le "Register Control" a 2 fonctions à remplir :

- prendre une décision en fonction des signaux VRAI-VALID, PRIMARY et KAONLIKE venant des modules "Config" et du signal Signe-de- ρ (bit de signe du paramètre ρ), tous ces signaux ayant dû passer à travers des unités de module "Delay" (voir figure 4-32). En fait, le "Register Control" doit renforcer la décision des modules "Config" en tenant compte du signe des traces primaires et strictement valides. Cette décision est communiquée par le signal GoodRC à l'unité responsable de la génération du signal GoodHWP1.
- sauvegarder le mot ConfReg et les paramètres ρ , Z et ε associés à chaque trace primaire et strictement valide (VRAI-VALID=1). De même, le "Register Control" devra, en utilisant le signal SYSCLOCK, générer les signaux assurant le bon fonctionnement de la partie suivante de HWP1 : KINEMATIC (voir paragraphe 4.5.4 suivant).

Les décisions du module "Register Control" :

PARAM accepte l'événement en cours selon l'un des 9 critères de sélection (types de décision) choisi (à noter que chaque critère accepte les événements à 2 traces kaoniques primaires et strictement valides, comme il se doit, dans la mesure où ces 2 traces sont de signes opposés : afin de calibrer le calorimètre en permanence [24], on autorise les événements $p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- x$, donc les événements avec $N_k=2$ (2)) :

$$T0nnnn : \quad \text{GoodRC} := 1 \quad (4.18a)$$

$$T2nnnn : \quad \text{GoodRC} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad (N_t = 2) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2)) \quad (4.18b)$$

$$T3nnnn : \quad \text{GoodRC} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \begin{aligned} &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 3) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 3) \text{ and } (N_k = 1(2))] \end{aligned} \quad (4.18c)$$

$$T4nnnn : \quad \text{GoodRC} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad (N_t = 4) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2)) \quad (4.18d)$$

$$T5nnnn : \quad \text{GoodRC} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad (N_t = 4) \text{ and } (N_p = 4) \text{ and } (N_k = 1(2)) \quad (4.18e)$$

$$T6nnnn : \quad \text{GoodRC} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \begin{aligned} &[(N_t = 2) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 3) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 3) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 4) \text{ and } (N_k = 1(2))] \end{aligned} \quad (4.18f)$$

$$T7nnnn : \quad \text{GoodRC} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \begin{aligned} &[(N_t = 2) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 4) \text{ and } (N_k = 1(2))] \end{aligned} \quad (4.18g)$$

$$T8nnnn : \quad \text{GoodRC} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \begin{aligned} &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 3) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 3) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 4) \text{ and } (N_k = 1(2))] \end{aligned} \quad (4.18h)$$

$$T9nnnn : \quad \text{GoodRC} = 1 \quad \Leftrightarrow \quad \begin{aligned} &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 2) \text{ and } (N_k = 1(2))] \\ &\text{or} \\ &[(N_t = 4) \text{ and } (N_p = 4) \text{ and } (N_k = 1(2))] \end{aligned} \quad (4.18i)$$

A noter que, lorsque $N_p=2$ ou $N_p=4$ ci-dessus, la somme des signes de chaque trace primaire et strictement valide doit être nulle, autrement dit, on exige une conservation de la charge ! Dans le cas où $N_p=3$ (cas prévu pour récupérer des événements avec 2 traces primaires où TRACKING en a vu 3), on exige que cette somme des signes soit égale à ± 1 .

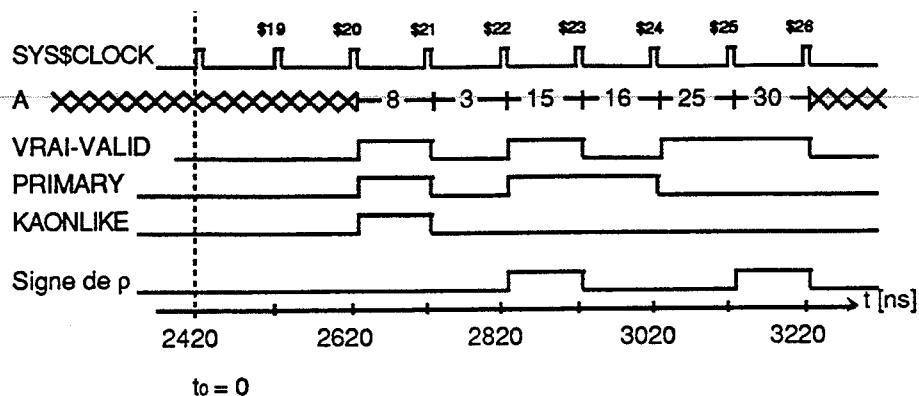


Figure 4-33 : Chronogramme des signaux VRAI-VALID, PRIMARY, KAONLIKE et Signe-de-p, à l'entrée du module "Register Control". Bien que le numéro A du secteur où la recherche de la trace a commencé n'est pas utilisé dans le "Register Control", il est quand même représenté dans ce chronogramme. En effet, au signal Signe-de-p et au numéro des impulsions SYS\$CLOCK près, il s'agit du même chronogramme que celui à l'entrée des modules "Config" (Figure 4-27).

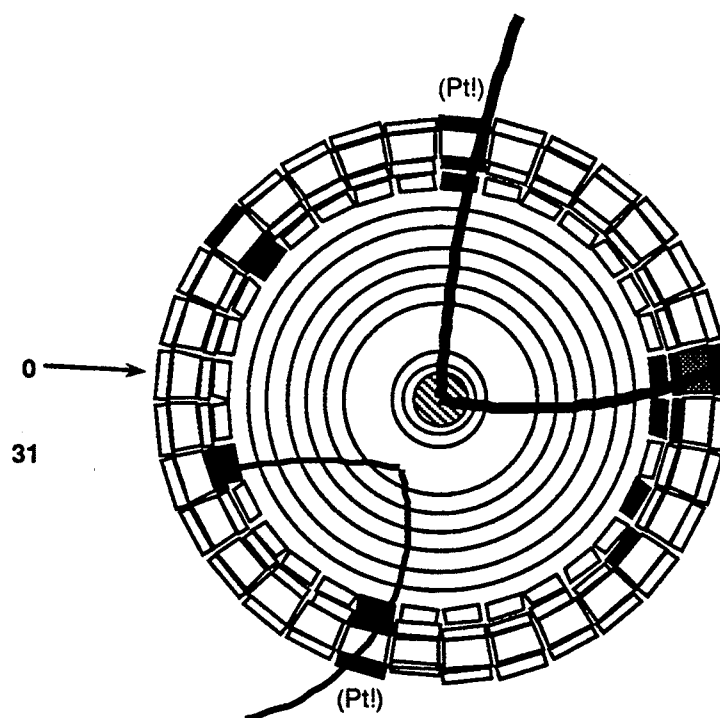


Figure 4-34 : Pseudo-vision du détecteur que possède le trigger à la fin du travail de PARAM. En effet, les traces primaires (dessinées par des lignes épaisses) sont considérées comme vues (dans la mesure où la recherche des traces s'est effectuée sans erreur, que les rayons de courbure des traces primaires soient grands et que le paramètre ϵ associé à chaque trace soit petit : c'est le cas dans notre exemple). Dire que le trigger voit les traces secondaires (associées aux secteurs 25 et 30) est dangereux : le "Register Control" ne tient d'ailleurs pas compte du signe des traces secondaires(non primaires)...

A noter que concernant les traces valides à l'entrée de HWP1 (traces accompagnées du signal VALID=1), sont lus à travers le SPY (monitorage) lors d'une acquisition [23] :

- le paramètre p (plus précisément p_{del} qui contient exactement la même information, voir figure 4-32), soit 1 mots de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1 (une information accompagnée par VRAI-VALID=0 vaut 0 par défaut).
- le paramètre ε , soit 1 mots de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1 (une information accompagnée par VRAI-VALID=0 vaut 0 par défaut).
- le paramètre ϕ_c , soit 1 mots de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1 (une information accompagnée par VRAI-VALID=0 vaut 0 par défaut).
- l'impulsion transverse p_t , soit 1 mots de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1 (une information accompagnée par VRAI-VALID=0 vaut 0 par défaut).
- l'impulsion longitudinale p_z , soit 1 mots de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1 (une information accompagnée par VRAI-VALID=0 vaut 0 par défaut).
- le statut du "Register Control" (il n'est fait nullement mention de ce mot ci-dessus : il s'agit d'un ensemble de signaux indiquant ce qu'il se passe dans le "Register Control" à chaque front avant du signal SYSCLOCK), soit 1 mots de 13(16)bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1.

De plus, en cas de dysfonctionnement de la paramétrisation, est prévue la lecture de la sortie d'un groupement de 4 modules "SumPF".

La sauvegarde des paramètres liés aux traces primaires :

Le mot ConfReg et les paramètres p , Z et ε associés à chaque trace primaire n'interviennent plus que dans la décision de HWP2 [19]. Comme ils se propagent en mode pipe-line dans HWP1, le but du "Register Control" revient à démultiplexer le mot ConfReg et les 3 paramètres décrits ci-dessus, selon le protocole suivant (voir figure 4-35) :

- dans les registres N° 1 (unités de module "Pipe-Line Register") sont stockées les informations (ConfReg, p , Z , ε) concernant la première trace strictement valide et primaire. Dans la mesure où l'IDL n'est pas passif (décision différente des décisions 0 ou 1 conformément aux équations (4.11)), et compte tenu du fonctionnement du "Track Launcher", on sait que les traces kaoniques et primaires sont traitées avant toutes les autres: dans ce cas, les registres N° 1 contiendront les informations d'une trace kaonique, primaire et strictement valide.
- dans les registres N° 2 sont stockées les informations (ConfReg, p , Z , ε) concernant la première trace strictement valide et primaire de signe opposé à la trace dont les informations sont déjà stockées dans les registres N° 1. Comme on laisse passer les événements possédant 2 kaons de signe opposé, les registres N° 2 peuvent contenir les informations d'une trace kaonique, primaire et strictement valide.
- dans les registres N° 3 sont stockées les informations (ConfReg, p , Z , ε) concernant la deuxième trace strictement valide et primaire de signe opposé à la trace dont les informations sont déjà stockées dans les registres N° 1. Dans la mesure où le "Register Control" est actif dans sa décision (décision différente des décisions 0 ou 1 conformément aux équations (4.18)), les registres N° 3 peuvent contenir uniquement les informations d'une trace non kaonique, primaire et strictement valide.
- dans les registres N° 4 sont stockées les informations (ConfReg, p , Z , ε) concernant la première trace strictement valide et primaire de même signe que la trace dont les informations sont déjà stockées dans les registres N° 1. Dans la mesure où le "Register Control" est actif dans sa décision (décision différente des décisions 0 ou 1 conformément aux équations (4.18)), les registres N° 3 peuvent contenir uniquement les informations d'une trace non kaonique, primaire et strictement valide.

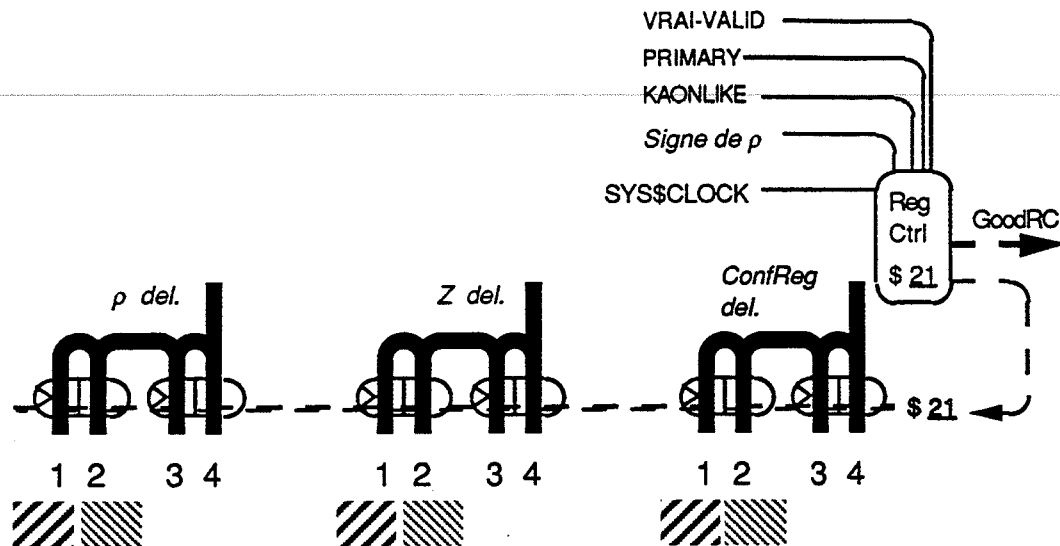


Figure 4-35 : Fonctionnement de la sauvegarde des informations (ConfReg, p , Z , ϵ). Il s'agit en fait du bas de la figure 4-32. En reprenant toujours le même exemple concret donné par les figures 4-23 et 4-33, on a 2 traces primaires et strictement valides. La première, kaonique, voit ses informations stockées dans les registres N°1 (zones hachurées ) , la seconde, de signe opposé, dans les registres N°2 (zones hachurées ). Les registres N°3 et N°4 ne seront pas occupés dans ce cas... A noter que le paramètre ϵ ne se trouve pas mentionné dans ce schéma, bien que la logique qui lui est associée soit totalement identique.

Chaque information est ensuite distribuée par un module "F/O-4fold" : lorsque HWP1 aura terminé son travail, toutes les informations seront prêtes, démultiplexées et disponibles pour HWP2.

4.5.3.4 Le rapport entre HWP1 et HWP2.5 :

Les événements "Golden" ($p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$) où le kaon neutre se désintègre en pions neutres correspond au cas où $N_k=1$, $N_p=2$ et $N_t=2$. De fait, le processeur HWP1 doit pouvoir avertir le processeur HWP2.5 qu'un tel événement a pu avoir lieu dans le détecteur. C'est pourquoi le "Register Control" génère le signal TPTT, qui signifie Two Primaries and Two Tracks, donc que $N_p=N_t=2$. TPTT fait partie du mot indiquant le statut du "Register Control" lu à travers le SPY lors d'une acquisition (TPTT est complètement stable lorsque HWP1 a terminé son travail).

Lorsque TPTT=1 au début de son travail, HWP2.5 doit en quelque sorte effectuer une recherche des photons issus de la désintégration des pions neutres à partir des données HGP du calorimètre électromagnétique [20][24].

4.5.4 KINEMATIC : une coupure cinématique

4.5.4.1 Les calculs de KINEMATIC :

La partie KINEMATIC de HWP1 ne considère que des paires de particules, issues du centre du détecteur (traces primaires) et de signe opposé [6][18][21][26].

Il est important de signaler d'emblée que lors des événements $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$ possédant 4 traces primaires dont une seule kaonique (désintégration du K_S), KINEMATIC est incapable de distinguer parmi les deux pions chargés de signe opposé au kaon lequel est issu de la réaction $p\bar{p} \rightarrow \dots$, soit lequel est issu de la désintégration du kaon neutre!

Le calcul de la masse manquante :

KINEMATIC calcule en ligne la masse manquante de la paire de particules associées aux paramètres sauvegardés dans les registres 1 et 2 (et aussi 1 et 3 dans le cas où il y aurait 2 traces primaires de signe opposé à la première trace primaire). KINEMATIC doit donc évaluer la(les) valeur(s) suivante(s) [26] :

$$M_{m_{2,3}}^2 = [2m_p - (E_1 + E_{2,3})]^2 - [\vec{p}_1 + \vec{p}_{2,3}]^2 \quad (4.19)$$

...où m_p est la masse du proton (antiproton). Si les hypothèses de base sont vérifiées, à savoir que la première trace est associée à un kaon chargé, la seconde trace (ou bien la troisième trace) est associée à un pion chargé de signe opposé directement issu de la réaction $p\bar{p} \rightarrow \dots$ et l'événement en cours correspond bien à un événement du type $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$, on doit avoir $M_{m_2}^2 = m_0^2$ (ou $M_{m_3}^2 = m_0^2$), le carré de la masse du kaon neutre. Il est clair que compte tenu de toutes les imprécisions entachant les calculs précédents, KINEMATIC n'exige pas une égalité stricte, d'où la nécessité d'utiliser des comparateurs approximatifs pour évaluer la(les) réponse(s) $M_{m_2}^2$ ($M_{m_3}^2$). A la fin du calcul de la masse manquante, on exige donc :

$$\begin{aligned} \text{Limite}_{\text{inf}}(M_m) &< M_{m_2} < \text{Limitesup}(M_m) \\ \text{ou} \\ \text{Limite}_{\text{inf}}(M_m) &< M_{m_3} < \text{Limitesup}(M_m). \end{aligned}$$

Ce calcul de la masse manquante devient complètement non significatif dans le cas des événements $p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- x$, car KINEMATIC effectue des assignements explicites, exprimés par les équations (4.20) ci-dessous. Or, lorsque de tels événements se produisent, les registres 2 contiennent des informations kaoniques (associés au signal KAONLIKE=1).

$$E_1 = \sqrt{\vec{p}_1^2 + m_K^2} \quad E_{2,3} = \sqrt{\vec{p}_{2,3}^2 + m_\pi^2} \quad (4.20)$$

...où m_K est la masse du kaon chargé et m_π est la masse du pion chargé.

Comme le calcul de la masse manquante n'a pas été utilisé dans la décision de HWP1 avant 1993, je n'en parlerai pas par la suite !

Le coupure $p_K - p_\pi$:

KINEMATIC calcule aussi en ligne la grandeur suivante [24]:

$$p_1 + p_{2,3} = |\vec{p}_1| + |\vec{p}_{2,3}| \quad (4.21)$$

En imposant la condition $p_1 + p_{2,3} > 750$ MeV, on effectue une coupure cinématique équivalente ou voire même plus efficace que celle introduite par la condition imposée à la fin du calcul de la masse manquante [24].

Un avantage supplémentaire de ce calcul est qu'il n'y a aucun assignement explicite, à savoir que les termes m_K et m_π n'apparaissent pas dans les calculs puisque :

$$p_1 + p_{2,3} = \sqrt{p_{t_1}^2 + p_{z_1}^2} + \sqrt{p_{t_{2,3}}^2 + p_{z_{2,3}}^2} \quad (4.22)$$

Un corollaire de ce fait est que les événements $p\bar{p} \rightarrow K^+ K^-$ remplissent la condition $p_1 + p_{2,3} > 750 \text{ MeV}$.

4.5.4.2 Le semi pipe-line :

On effectue les opérations arithmétiques décrites ci-dessus à l'aide de modules "Arithmetic-on-16bit" (une unité d'addition/soustraction et une unité multiplicative), "LUT", "Pipe-Line Register", etc.[18]. La logique les effectuant sera décrite dans le paragraphe 4.5.4.3 suivant car, avant de présenter cette logique, je dois exposer brièvement ce que j'appelle le semi pipe-line.

Comme nous l'avons vu, les parties TRACKING et PARAM de HWP1 fonctionnent en mode pipe-line. Par conséquent, les impulsions p_t et p_z , ainsi que le paramètre Φ_C associés à chaque trace se suivent ! Or, les calculs cinématiques comportent des opérations $A \times B$ et $A \pm B$, où A et B sont des grandeurs associées à 2 traces différentes. Considérons le cas où N grandeurs G_i se suivent en mode pipe-line et supposons que l'on aimerait calculer les N-1 grandeurs $G_1 \times G_j$, $j \geq 2$.

- Une façon de résoudre ce problème est de démultiplexer ces N informations et de paralléliser l'opération $G_1 \times G_j$, ce qui nécessite la présence de N-1 modules ou unités de module effectuant cette opération " $\times$ ". Comme il se doit, chaque module ou unité de module possède deux entrées (appelons-les les entrées gauche et droite) et une sortie.
- J'ai proposé une autre façon de résoudre ce problème en n'utilisant qu'un module (unité de module), de stabiliser la première valeur G_1 à l'entrée gauche et de continuer à opérer en mode pipe-line en dirigeant les N-1 autres valeurs vers l'entrée droite dudit module (unité de module). De fait, on diminue de beaucoup le nombre de modules utilisés.

Ainsi, dans le contexte de la coupure $p_K - p_\pi$, on doit calculer :

- p_1 : norme de l'impulsion de la 1ère particule correspondant à la première trace strictement valide et primaire (kaonique si l'IDL n'est pas passif).
- p_2, p_3, p_4 : norme de l'impulsion des autres particules correspondant aux autres traces strictement valides et primaires (semi pipe-line). Ces informations se transmettent toujours en mode pipe-line le long du câble nommé $p_{2,3,4}$.
- $p_1 + p_2, p_1 + p_3, p_1 + p_4$: ces informations se transmettent toujours en mode pipe-line le long du câble nommé $p_{1+p_{2,3,4}}$.
- $CUT(p_1 + p_{2,3,4})$: signal indiquant si $p_1 + p_2 > 750 \text{ MeV}$, $p_1 + p_3 > 750 \text{ MeV}$ et $p_1 + p_4 > 750 \text{ MeV}$ (semi pipe-line). Ce dernier test n'a aucune signification physique, car il s'agit de la somme des impulsions de particules de mêmes signes.
- $CUT(p_1 + p_2)$, $CUT(p_1 + p_3)$: signaux indiquant respectivement si $p_1 + p_2 > 750 \text{ MeV}$ et $p_1 + p_3 > 750 \text{ MeV}$ (démultiplexage : fin du semi pipe-line).

4.5.4.3 La logique de la coupure $p_K - p_\pi$:

La logique de la coupure $p_K - p_\pi$ se trouve à la suite de la logique du calcul du paramètre p (voir figure 4-32) : elle ne possède comme entrée que les grandeurs p_t et p_z et est présentée dans la figure 4-36 ci-dessous.

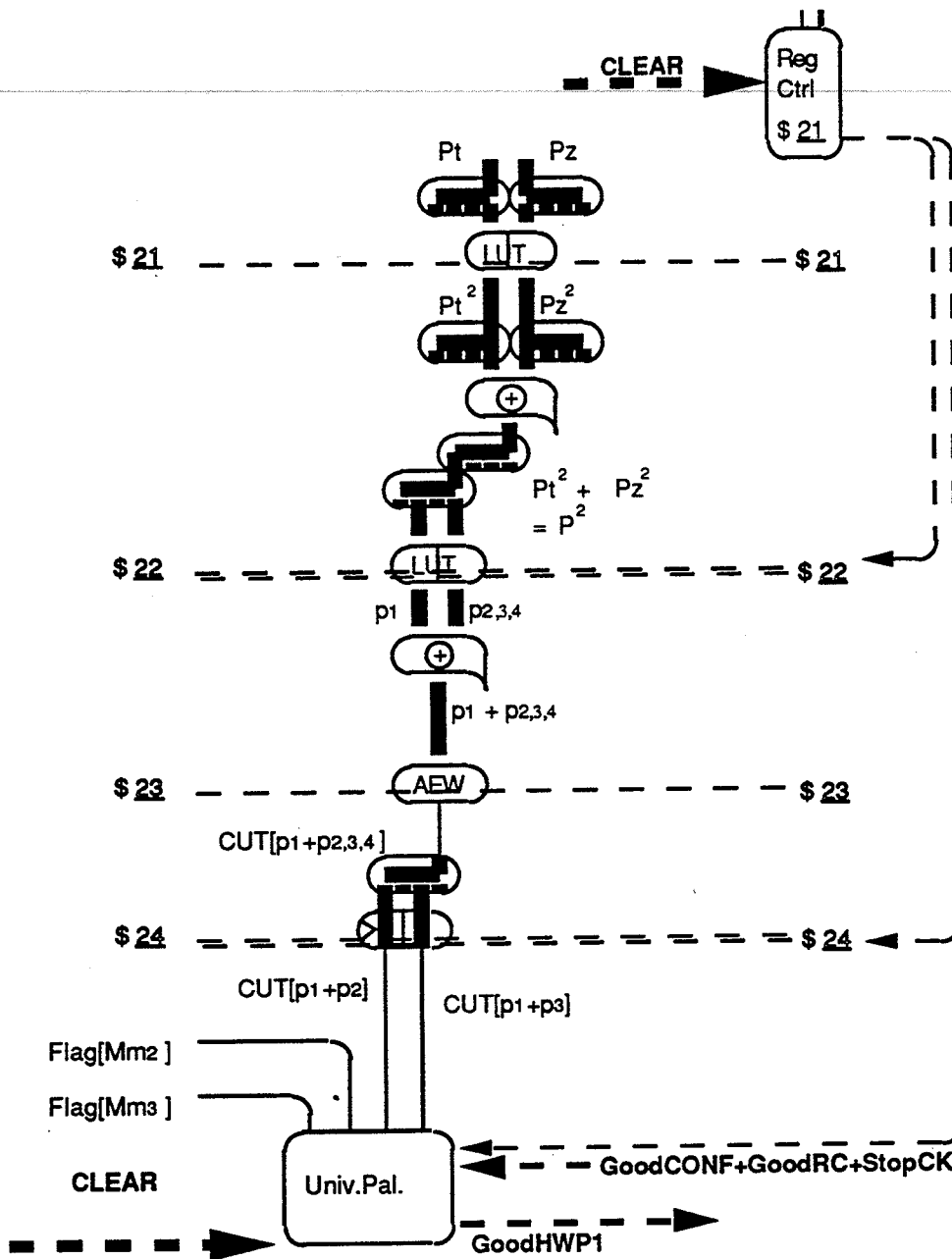


Figure 4-36 : Shéma de l'électronique effectuant la coupure p_k-p_κ . Les lignes traitillées horizontales No 22 et 24 sont doublées, car elles symbolisent des signaux remplaçant le signal SYS\$CLOCK quant à leur fonction primordiale (sauvegarder des informations dans des registres, dans des unités de "LUT", etc.). Ces signaux sont générés par le "Register Control" à partir du signal SYS\$CLOCK et distribués dans la logique de KINEMATIC pour appliquer le principe du semi pipeline (voir annexes D et E).

En guise de conclusion, je présente dans un tableau ci-dessous le comportement de la partie concernant la coupure p_k-p_κ de KINEMATIC en fonction de l'exemple qui a été proposé jusqu'ici :

	\$21	\$22	\$23	\$24	\$25	\$26	\$27
p^2							
p_1							
$p_{2,3,4}$							
$p_1+p_{2,3,4}$		????	????				
CUT($p_1+p_{2,3,4}$)			????	????	OK !	OK !	OK !
CUT(p_1+p_2)						OK !	OK !
CUT(p_1+p_3)							

Tableau 4-1 : Chaque case contient l'information contenue dans le câble de 17 bits, indiqué dans le schéma de la figure 4-36 et dont le nom se trouve à gauche, en fonction du nombre de fronts avant du signal SYS\$CLOCK. Par exemple, en 3^{ème} ligne et 4^{ème} colonne, le câble $p_{2,3,4}$ contiendra la norme de l'impulsion de la particule associée à la 3^{ème} trace lancée par le "Track Launcher", mais associée à la deuxième trace primaire et strictement valide. En l'occurrence, son signe est opposé au signe de la première trace : l'information contenue dans le câble $p_1+p_{2,3,4}$ a une signification physique et, comme l'indique la case en 6^{ème} ligne et 6^{ème} colonne, $p_1+p_2 > 750$ MeV. Comme GoodCONF = GoodRC = 1, GoodHWP1 = 1, dans notre exemple ! Le protocole de hachure est absolument identique à celui adopté dans la figure 4-23, qui traite le même exemple...

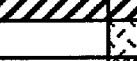
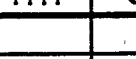
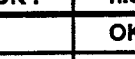
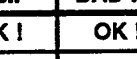
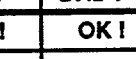
	\$21	\$22	\$23	\$24	\$25	\$26	\$27
p^2							
p_1							
$p_{2,3,4}$							
$p_1+p_{2,3,4}$		????					
CUT($p_1+p_{2,3,4}$)			????	OK !	n.s..	BAD !	BAD !
CUT(p_1+p_2)					OK !	OK !	OK !
CUT(p_1+p_3)							BAD !

Tableau 4-2 : Représentation temporelle du schéma de l'électronique de la recherche des traces (figure 4-22) dans le cas d'un événement à 4 traces primaires et strictement valides, la première est symbolisée par la région hachurée  (trace kaonique). Les 2 traces de signe opposé sont symbolisés par les régions hachurées  et , la trace de même signe par . Les sommes p_1+p_2 () et p_1+p_3 () ont une signification physique, la première de ces valeurs répond à la condition $p_1+p_2 > 750$ MeV. La somme p_1+p_4 () n'a aucune signification physique ! D'où la case "n.s.." (5^{ème} ligne et 5^{ème} colonne).

A noter que concernant les traces valides à l'entrée de HWP1 (traces accompagnées du signal VALID=1), sont lus à travers le SPY (monitorage) lors d'une acquisition [23] :

- le carré de l'impulsion p^2 , exprimé en unités de 2^{12} MeV², soit 1 mot de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1 (une information accompagnée par VRAI-VALID=0 vaut 0 par défaut)[27].
- la valeur se trouvant sur le cable $p_1+p_{2,3,4}$, exprimé en unités de 1/4 MeV, soit 1 mot de 16bits $\times$ le nombre de traces avec VALID=1 [27]. Le premier de ces mots associé à une trace primaire et strictement valide ne signifie rien, puisqu'il s'agit de $p_1+?=????$ (voir tableaux 4-1 et 4-2 ci-dessus...). La signification des autres mots est déduite de l'analyse des informations reçues des modules "Config"(TRACKING) et du signe du paramètre p (PARAM).

4.5.4.4 La génération du signal GoodHWP1 :

L'unité effectuant la décision de KINEMATIC est la même que celle prenant la décision de HWP1. Il s'agit d'une unité de module "Universal PAL" (voir figure 4-36). Avant 1993, KINEMATIC acceptait l'événement en cours selon l'un des 2 critères choisis ci-dessous :

T0nnnnn : GoodHWP1 =1 $\Leftrightarrow$ (GoodRC=1) and (GoodCONF=1) (4.23 a)

T1nnnnn : GoodHWP1 =1 $\Leftrightarrow$ (GoodRC=1) and (GoodCONF=1)
and
[CUT(p_1+p_2)=1 or CUT(p_1+p_3)=1] (4.23 b)

Le signal GoodHWP1 n'a une signification que lorsque le processeur HWP1 a terminé son travail, soit après 24+N fronts avant du signal SYS\$CLOCK, où N est le nombre de traces valides au niveau du "Track Launcher". Ce dernier génère donc le signal StopCK, fourni au Trigger Control d'une part et au module "Universal PAL" mentionné ci-dessus d'autre part : le signal GoodHWP1 est donc un niveau de transition qui ne peut devenir actif que lorsque le signal StopCK devient actif. Lorsqu'il devient actif, GoodHWP1 permet au séquenceur du Trigger Control de démarrer l'étage suivant du trigger : HWP2.

GoodHWP1 se désactive grâce au signal CLEAR venant du Trigger Control.

4.6 Les processeurs HWP2 et HWP2.5

Faisons abstraction des événements $p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- x$ et supposons que HWP1 a terminé avec succès son travail (GoodHWP1=1) selon des critères de sélection (types de décision) qui ne sont pas passifs. Deux faits sont à souligner :

- HWP1 présente au moins une paire $K^+-\pi^-$ (ou $K^-\pi^+$) hypothétique associée au vertex d'annihilation $p\bar{p} \rightarrow \dots$ si l'événement en cours est du type "Golden" ($p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$). Le but de HWP2 est donc de confirmer l'hypothèse de la paire $K^+-\pi^-$ (ou $K^-\pi^+$) [19].
 - il existe des événements à deux traces : HWP1 ne perçoit qu'une paire $K^+-\pi^-$ (ou $K^-\pi^+$) hypothétique. Si l'événement en cours est du type "Golden" ($p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$), deux cas de figure se présentent :
 - 1) le kaon neutre s'est désintégré en pions neutres dans le détecteur.
 - 2) le kaon neutre s'est désintégré en dehors des chambres (désintégration de 96% des K_L) ou bien ses produits de désintégration n'ont pas été vus par le détecteur (passage par les bouchons du détecteur par exemple).
- Le but de HWP2.5 est d'éliminer les événements supposés du type "Golden" présentant ce deuxième cas de figure [20][24].

4.6.1 HWP2

Le processeur HWP2 démarre sur le front avant du signal StrobeHWP2 et sa réponse est retournée au Trigger Control par le signal GoodHWP2.

Le principe consiste à obtenir les informations ADCs et TDCs provenant de l'électronique de lecture des PIDs à partir des 2(3 ou 4) mots ConfReg mis à disposition par le processeur HWP1 : ces mots ConfReg (un mot par trace) permettent l'interrogation de l'électronique de lecture des PIDs directement depuis HWP2. Pour chaque trace (associée à un secteur donné par le mot ConfReg), HWP2 calcule les valeurs suivantes [19] :

- dE/dx à partir de la valeur des ADCs du scintillateur S1 concerné : il s'agit de l'énergie déposée dans ce scintillateur S1 par la particule qui l'a traversé.
- TOF à partir de la valeur des TDCs du scintillateur S1 concerné : il s'agit du temps de vol de la particule à une constante additive près.
- NPE à partir de la valeur des ADCs du compteur Cerenkov C concerné : il s'agit du nombre de photo-électrons générés dans le compteur Cerenkov par la particule qui l'a traversé.

D'autre part, HWP2 calcule ces mêmes grandeurs à partir des paramètres p et Z en provenance de HWP1 et indirectement de l'assignement KAONLIKE contenu dans le mot ConfReg (donnant ainsi la masse qu'il faut assigner à la particule) et les compare avec les valeurs décrites ci-dessus. En fonction du critère de sélection choisi (dE/dx , TOF ou NPE), cette comparaison infirme ou confirme l'assignement KAONLIKE [19].

Le signal GoodHWP2 est actif à la fin du travail de HWP2 si l'assignement KAONLIKE est confirmé pour au moins une paire $K^+-\pi^-$ (ou $K^--\pi^+$) proposée par HWP1, en fonction de l'un des 8 critères choisis (critère trivial : GoodHWP2:=1; critère le plus sévère : au moins une paire valable selon dE/dx , TOF et NPE).

4.6.2 HWP2.5

Le processeur HWP2.5 démarre sur le front avant du signal StrobeHWP2.5 et sa réponse est retournée au Trigger Control par le signal GoodHWP2.5, validée par le signal Strobe2.5. Il n'est actif que si l'on ne choisit pas un critère de sélection trivial (GoodHWP2.5:=1) et si l'on a affaire à un événement à deux traces (primaires), d'où la nécessité d'utiliser le signal TPTT mentionné dans le paragraphe 4.5.3.4.

Lorsqu'on requiert la participation active du processeur HWP2.5, celui-ci devra calculer le nombre de pieds de gerbe dans le calorimètre électromagnétique : il s'agit de compter le nombre de groupements de bits actifs dans le Hit Group Pattern (voir paragraphe 3.5) associés à une gerbe ou au passage d'une particule chargée [20]. Ce nombre doit être supérieur à un certain seuil, fixé à 4, 5 ou 6 selon la mission que l'on désire accorder au processeur HWP2.5 [24] :

- si le seuil vaut 4, on ne risque pas de rejeter des événements "Golden", mais on risque d'en sélectionner certains avec lesquels on sera dans l'incapacité de reconstruire le vertex de désintégration du kaon neutre en pions neutres (par manque de photons...).
- si le seuil vaut 6, on risque de rejeter des événements "Golden", du fait que le kaon chargé primaire (ou le pion chargé primaire) a diffusé dans la région externe des PIDs...

Hormis le seuil de déclenchement mentionné ci-dessus, 2 critères de sélection existent pour HWP2.5 : le critère de sélection trivial (GoodHWP2.5:=1) et le critère de sélection actif (HWP2.5 participe à la décision du trigger). En cas de décision favorable, une acquisition (écriture de l'événement sur cassette) va s'effectuer!

4.7 L'interface entre le système d'acquisition (DAQ) et le trigger

4.7.1 LORCOM

LORCOM (L^Ook-up-table and R^Egister C^Ontrol M^Odule) est un protocole de communication entre une station CAMAC et certains modules du trigger : "Pipe-Line Register", "Pt-Cut Controller", "Look-up-Table", "SumPF", "AaS" et "AEW" [18]. Nous attribuons à LORCOM les 3 buts essentiels suivants [18][32]:

- Choisir le type de sélection du trigger en fonction des critères de sélection (types de décision) exprimés dans les équations (4-2 → 4-5)[EDL], (4-6 → 4-7)[Pt-Cut], (4-11)[IDL], (4-12), (4-18) et (4-23)[HWP1]. LORCOM n'intervient pas dans le choix du critère de sélection (type de décision) de HWP2 et HWP2.5. Ce choix s'opère à distance (REMOTE CONTROL) via un module "Pipe-Line Register".
- Charger les modules "Look-up-Table", "SumPF", "AaS" et "AEW" avec des fichiers qui sont remis à jour en fonction de la calibration du détecteur effectuée très régulièrement.
- Débugger le trigger en ligne.

4.7.2 Le monitoring du trigger : le SPY

Le SPY a déjà été mentionné à la fin des paragraphes traitant des 4 premiers étages du trigger : il s'agit d'un ensemble de modules occupant 2 baies, responsable de l'acquisition des données du trigger [23]. Le SPY est déclenché par le signal SPY-MAN (voir annexe C) et est réinitialisé à la fin de chaque acquisition (transfert des données du SPY vers le VALETplus associé au trigger) [33].

Les entrées du SPY qui n'ont pas encore été mentionnées sont les suivantes :

- les données des processeurs HWP2 et HWP2.5.
- le numéro du trigger, qui correspond aux critères de sélection (types de décision) choisis dans les 4 premiers étages du trigger (voir ci-dessus, paragraphe 4.7.1). Deux mots de 16 bits sont réservés pour cela : TRIGGER_WORD1 et TRIGGER_WORD2 [32].
- 3 mots de 16 bits réservés pour la lecture de niveaux de décision venant de différentes parties du trigger : DECISION_WORD1, DECISION_WORD2 et RC_WORD (venant du "Register Control") [32].

Ces 3 mots contiennent des niveaux de décision qui proviennent de chaque étage du trigger et qui ne dépendent pas du type de sélection choisi, permettant ainsi une analyse de l'efficacité stricte du trigger (voir chapitre suivant).

4.7.3 Le système de comptage

Les signaux tels que BC-ALL, $\bar{P}$, EVENT, CLEAR, etc., sont envoyés vers des compteurs qui sont lus tous les 1000 événements [34]. Les signaux StrobePID, StrobeFE, StrobeIDL, StrobeTL, StrobeHWP2 (malheureusement, StrobeHWP2.5 ne s'y trouve pas encore !!!) et READOUT y sont envoyés, de manière à mesurer la courbe de réjection du trigger (voir chapitre suivant). Parallèlement, ces compteurs sont également lus sur des écrans cathodiques.

Chapitre 5

Performances du trigger

Conclusions sur l'efficacité du trigger

5.1 Commentaires sur la qualité des événements sélectionnés par le trigger

5.1.1 Définitions et premiers résultats

5.1.1.1 Les taux d'acceptance et de réjection du trigger et des étages du trigger - La courbe de réjection du trigger :

Considérons N_0 événements $p\bar{p} \rightarrow \dots$ traités par le trigger (on dit qu'un événement $p\bar{p} \rightarrow \dots$ est traité par le trigger lorsqu'il déclenche le Trigger Control conformément aux explications données dans les paragraphes 3.2.3 et 4.2.1). Ce dernier, quel que soit le type de sélection choisi, sélectionne N_6 événements qui seront écrits sur cassette parmi ces N_0 événements (l'indice 6 rappelle que cette sélection s'opère en 6 étapes, car le trigger se subdivise en 6 étages):

$$N_6 = A \times N_0 \quad (5.1 a)$$

...où A est le taux d'acceptance du trigger ($R=1/A$ est le taux de réjection du trigger), dans lequel sont aussi compris des effets qui ne sont pas directement associés au trigger, comme on le verra plus loin. A cause des dimensions du détecteur (dont l'angle solide est inférieur à 4π stéradians), de l'efficacité des sous-détecteurs et du trigger, etc., on a toujours la relation $A < 1$ ($R > 1$). Dans le cadre de l'étude de la violation CP, le taux d'acceptance du trigger doit être beaucoup plus petit que 1 ($A \ll 1$) du fait que l'on doit éliminer le plus possible d'événements purement pioniques (voir équation (5.3a)).

De même, on peut considérer N_{j-1} événements ($j > 0$) à l'entrée du $j^{\text{ème}}$ étage du trigger. A la sortie de cet étage, il ne restera plus que N_j événements de telle sorte que :

$$N_j = A_j \times N_{j-1} \quad (5.1 b)$$

...où A_j est le taux d'acceptance du $j^{\text{ème}}$ étage du trigger ($R_j=1/A_j$ en est le taux de réjection).

Ces taux d'acceptance (de réjection) dépendent bien entendu du type de sélection du trigger. Je présente ci-dessous des résultats obtenus avec les types de sélection T605172223 et plus particulièrement T607163323. Ces types de sélection signifient :

- T60d1cba23 → Sélection HWP2.5 No 6 (on demande au moins 6 pieds de gerbe).
- T60d1cba23 → (Réservé).
- T60d1cba23 → Sélection HWP2 No d (coupures sur dE/dx et TOF si d=5 et coupures sur dE/dx, NPE et TOF si d=7)).
- T60d1cba23 → Sélection KINEMATIC No 1 (voir éq. (4.23b)).
- T60d1cba23 → Sélection PARAM No c (voir éq. (4.18g) pour c=7 et (4.18f) pour c=6).
- T60d1cba23 → Sélection TRACKING No b (voir éq. (4.12b) pour b=2 et (4.12c) pour b=3).
- T60d1cba23 → Sélection IDL No a (voir éq. (4.11b) pour a=2 et (4.11c) pour a=3).
- T60d1cba23 → Sélection Pt-Cut No 2 (voir éq. (4.6b)).
- T60d1cba23 → Sélection EDL No 3 (voir éq. (4.2)).

Les taux de réjection des différents étages du trigger se présentent sous la forme d'un histogramme, appelé courbe de réjection du trigger, comprenant 6 colonnes (voir figure 5-1 ci-dessous) :

- la 1^{ère} colonne représente le nombre de fronts avants du signal StrobePID sur le nombre de fronts avants du signal StrobeFE, soit le taux de réjection $R_1 = 1/A_1$ de l'EDL. A cause de la FENETRE de COLLISION (90 ns), ce taux de réjection dépend de la fréquence d'arrivée des antiprotons dans le détecteur : par exemple, s'il y avait 1 antiproton toutes les 10 ns (100 MHz), ce taux de réjection serait pratiquement infini ($A_1=0$).
- la 2^{ème} colonne représente le nombre de fronts avants du signal StrobeFE sur le nombre de fronts avants du signal StrobeIDL, soit le taux de réjection $R_2 = 1/A_2$ du Pt-Cut.
- la 3^{ème} colonne représente le nombre de fronts avants du signal StrobeIDL sur le nombre de fronts avants du signal StrobeTL, soit le taux de réjection $R_3 = 1/A_3$ de l'IDL.
- la 4^{ème} colonne représente le nombre de fronts avants du signal StrobeTL sur le nombre de fronts avants du signal StrobeHWP2, soit le taux de réjection $R_4 = 1/A_4$ de HWP1.
- la 5^{ème} colonne représente le nombre de fronts avants du signal StrobeHWP2 sur le nombre de fronts avants du signal READOUT, soit le taux de réjection de HWP2 et de HWP2.5 réunis : $R_5 \times R_6 = (1/A_5) \times (1/A_6)$.
- la 6^{ème} colonne représente le nombre de fronts avants du signal StrobePID sur le nombre de fronts avants du signal READOUT, soit le taux de réjection $R = 1/A$ du trigger.

Ces taux de réjection ont pu être mesurés grâce au système de comptage mentionné dans le paragraphe 4.7.3 [34][35].

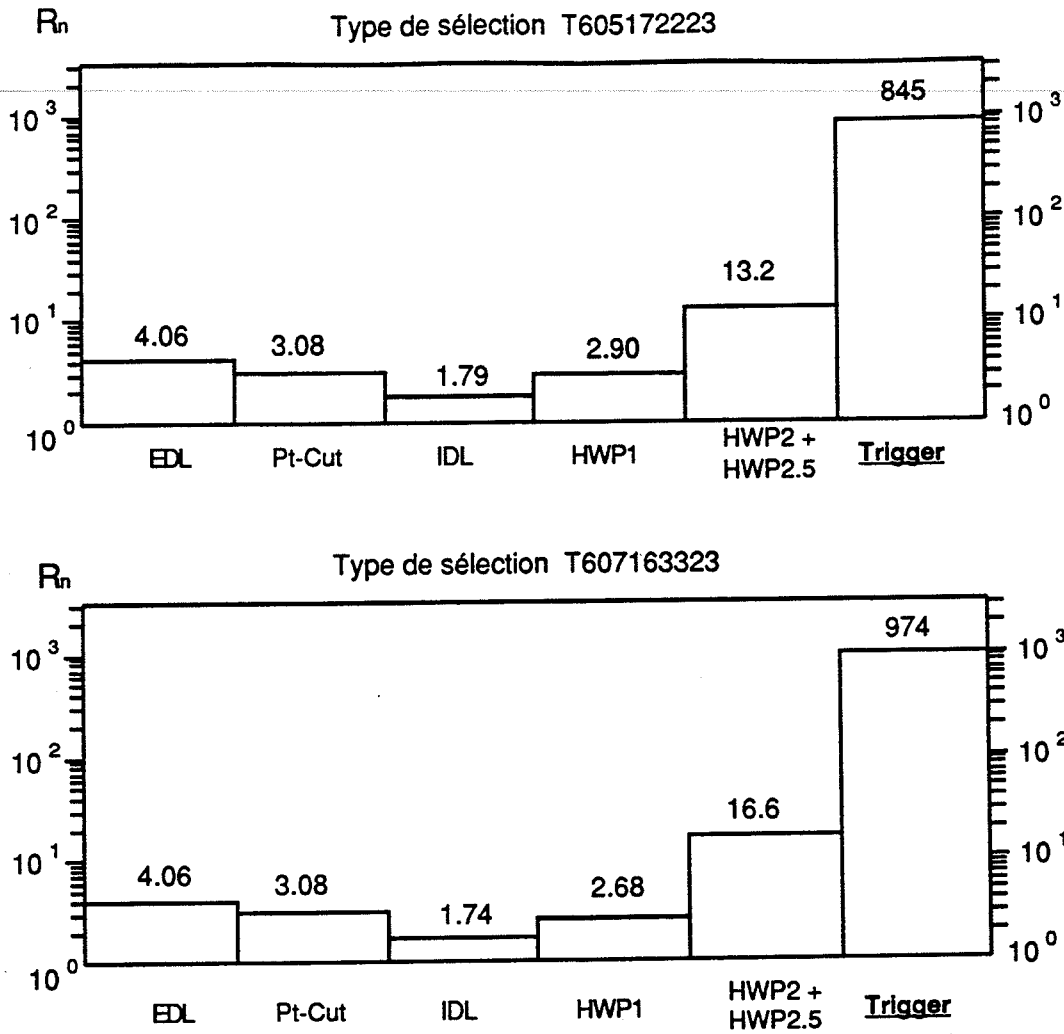


Figure 5-1 : Courbe de réjection obtenue avec les types de sélection T605172223 et T607163323 : dans le premier cas, le trigger de PS195 accepte 1 événement sur 845 environ, soit $R = 1/A \approx 834$ et dans l'autre cas 1 événement sur 974 [35].

5.1.1.2 Les taux d'acceptance et de réjection spécifiques du trigger et des étages du trigger :

Les N_0 événements que nous avons considéré se répartissent en 4 catégories d'événements (voir annexe B) :

- P_0 événements purement pioniques.
- F_0 événements kaoniques "Pseudo-Golden".
- K_0 événements kaoniques.
- G_0 événements "Golden".

Comme il se doit :

$$N_0 = P_0 + F_0 + K_0 + G_0 \quad (5.2)$$

En vertu des données de l'annexe B, les nombres P_0 , F_0 , K_0 et G_0 respectent les proportions suivantes :

$$P_0 \approx 257.0 \times G_0 \quad (5.3a)$$

$$F_0 \approx 1.2 \times G_0 \quad (5.3b)$$

$$K_0 \approx 3.7 \times G_0 \quad (5.3c)$$

Nous pouvons de fait écrire les équations (5.1a) et (5.1b) sous la forme :

$$N_6 = P_6 + F_6 + K_6 + G_6 = A_p \times P_0 + A_f \times F_0 + A_k \times K_0 + A_g \times G_0 \quad (5.4A)$$

$$N_j = P_j + F_j + K_j + G_j = A_{pj} \times P_{j-1} + A_{fj} \times F_{j-1} + A_{kj} \times K_{j-1} + A_{gj} \times G_{j-1} \quad (5.4B)$$

...où :

- P_6 est le nombre d'événements purement pioniques écrits sur cassette et A_p est le taux d'acceptance spécifique du trigger par rapport aux événements purement pioniques (idéalement, $A_p = 0$, à moins que l'on veuille écrire quelques événements de ce type sur cassette à des fins de normalisation ou autre...):

$$P_6 = A_p \times P_0 \quad (5.5aA)$$

P_j est le nombre d'événements purement pioniques sélectionnés par le $j^{\text{ème}}$ étage du trigger et A_{pj} est le taux d'acceptance spécifique du $j^{\text{ème}}$ étage du trigger par rapport aux événements purement pioniques ($R_{pj} = 1/A_{pj}$ en est le taux de réjection spécifique):

$$P_j = A_{pj} \times P_{j-1} \quad (5.5aB)$$

- F_6 est le nombre d'événements kaoniques "Pseudo-Golden" écrits sur cassette et A_f est le taux d'acceptance spécifique du trigger par rapport aux événements kaoniques "Pseudo-Golden" (idéalement, $A_f = 0$...):

$$F_6 = A_f \times F_0 \quad (5.5bA)$$

F_j est le nombre d'événements kaoniques "Pseudo-Golden" sélectionnés par le $j^{\text{ème}}$ étage du trigger et A_{fj} est le taux d'acceptance spécifique du $j^{\text{ème}}$ étage du trigger par rapport aux événements kaoniques "Pseudo-Golden" ($R_{fj} = 1/A_{fj}$ en est le taux de réjection spécifique) :

$$F_j = A_{fj} \times F_{j-1} \quad (5.5bB)$$

- K_6 est le nombre d'événements kaoniques écrits sur cassette et A_k est le taux d'acceptance spécifique du trigger par rapport aux événements kaoniques (idéalement, $A_k = 1$ car on veut écrire ces événements sur cassette...):

$$K_6 = A_k \times K_0 \quad (5.5cA)$$

K_j est le nombre d'événements kaoniques sélectionnés par le $j^{\text{ème}}$ étage du trigger et A_{kj} est le taux d'acceptance spécifique du $j^{\text{ème}}$ étage du trigger par rapport aux événements kaoniques ($R_{kj} = 1/A_{kj}$ en est le taux de réjection spécifique):

$$K_j = A_{kj} \times K_{j-1} \quad (5.5cB)$$

- G_6 est le nombre d'événements "Golden" écrits sur cassette et A_g est le taux d'acceptance spécifique du trigger par rapport aux événements "Golden" (idéalement, $A_g \approx 0.5$ car on rejette les événements "Golden" dans lesquels le $K^0(\bar{K}^0)$ se désintègre en dehors de la zone de temps propre où l'interférence $K^0\bar{K}^0$ a lieu, à savoir en dehors de l'intervalle de temps propre $0 \leq \tau \leq 20\tau_s$):

$$G_6 = A_g \times G_0 \quad (5.5dA)$$

G_j est le nombre d'événements "Golden" sélectionnés par le $j^{\text{ème}}$ étage du trigger et A_{gj} est le taux d'acceptance spécifique du $j^{\text{ème}}$ étage du trigger par rapport aux événements "Golden" ($R_{gj}=1/A_{gj}$ en est le taux de réjection spécifique):

$$G_j = A_{gj} \times G_{j-1} \quad (5.5dB)$$

Les taux d'acceptance spécifique A_{pj} , A_{fj} , A_{kj} et A_{gj} ne peuvent en aucun cas être mesurés. En effet, si une partie seulement des produits d'une réaction $p\bar{p} \rightarrow \dots$ sont détectés (pour des questions d'acceptance géométrique par exemple) et que l'événement associé est accepté par le trigger (écrit sur cassette), il est généralement impossible de déterminer quel est le type des particules qui n'ont pas été détectées. Donc, il est impossible de déterminer pour un tel événement s'il est pionique, kaonique, kaonique "Pseudo-Golden" ou "Golden". Autrement dit, après analyse des événements sur cassette, on pourra reconnaître des événements pioniques, kaoniques, kaoniques "Pseudo-Golden", "Golden" et des événements dont on ne possède qu'une partie de l'information (événements "de type inconnu", parmi lesquels même des événements "Golden" peuvent se trouver !).

Dans le cadre de l'étude de la violation CP, une mesure de l'efficacité du système de sélection de l'expérience CPLEAR (trigger et détecteur) peut se ramener essentiellement à une mesure des taux de réjection spécifique pionique R_p et R_{pj} ($1 \leq j \leq 6$). Une mesure de ces taux peut s'effectuer à l'aide de la courbe de réjection du trigger (figure 5-1) et d'une estimation des autres taux de réjection spécifique R_{fj} , R_{kj} et R_{gj} par simulation Monte Carlo (compte tenu de la non mesurabilité de ces grandeurs !)[36]. Je postule de fait, en prenant un risque très modéré (voir figure 5-2), que les taux de réjection spécifique R_{fj} , R_{kj} et R_{gj} du trigger correspondent à ceux simulés par Monte-Carlo...

5.1.1.3 Le rapport signal/bruit à la sortie d'un étage du trigger - La qualité des événements écrits sur cassette :

On peut définir le rapport signal/bruit à la sortie du $j^{\text{ème}}$ étage du trigger comme suit :

$$q_j = \frac{G_j}{N_j} = \frac{G_j}{P_j + F_j + K_j + G_j} \quad (5.6a)$$

Il s'agit en fait du rapport du nombre d'événements "Golden" sélectionnés par le $j^{\text{ème}}$ étage du trigger sur le nombre total d'événements sélectionnés par le $j^{\text{ème}}$ étage du trigger.

Ce rapport traduit la qualité des événements écrits sur cassette lorsque $j=6$:

$$q = q_6 = \frac{G_6}{N_6} = \frac{G_6}{P_6 + F_6 + K_6 + G_6} \quad (5.6b)$$

Bien que les analyses hors ligne conduisant à la mesure exacte de ce rapport sont en cours en ce moment, une première estimation a pu avoir lieu [37] :

$$q \cong 10\% = 0.1 \quad (5.6c)$$

5.1.1.4 La pseudo-efficacité d'un étage du trigger - La courbe de pseudo-efficacité du trigger :

La courbe de pseudo-efficacité du trigger est un histogramme à 9 colonnes où chacune des 8 premières colonnes représente la proportion des événements écrits sur cassette qui remplissent les critères de sélection d'un étage ou d'un sous-étage donné du trigger en accord avec les données provenant directement des sous-détecteurs [38]. La mesure de la pseudo-efficacité d'un étage du trigger s'effectue en déduisant une erreur

éventuelle de l'étage précédent afin d'éviter la propagation d'une erreur et afin d'obtenir ainsi une information concernant un seul et unique étage. Ainsi :

- la 1^{ère} colonne représente la pseudo-efficacité de l'EDL : ε_{EDL} .
- la 2^{ème} colonne représente la pseudo-efficacité du Pt-Cut : ε_{Pt} .
- la 3^{ème} colonne représente la pseudo-efficacité de l'IDL : ε_{IDL} .
- la 4^{ème} colonne représente la pseudo-efficacité de TRACKING : ε_{Tr} .
- la 5^{ème} colonne représente la pseudo-efficacité de PARAM : ε_{Par} .
- la 6^{ème} colonne représente la pseudo-efficacité de KINEMATIC : ε_{Kin} .
- la 7^{ème} colonne représente la pseudo-efficacité de HWP2 : ε_{H2} .
- la 8^{ème} colonne représente la pseudo-efficacité de HWP2.5 : $\varepsilon_{H2.5}$.

On parle ainsi de pseudo-efficacité, car les nombres ci-dessus dénoncent les cas où un étage donné du trigger fournit une réponse positive alors qu'il n'aurait jamais dû le faire mais ne dénonce pas les cas où un étage donné du trigger ne fournit pas une réponse positive alors qu'il aurait dû le faire (cas où l'écriture sur cassette ne peut en aucun cas avoir lieu, compte tenu de la programmation du séquenceur du Trigger Control exposé dans la figure 4-2).

- la 9^{ème} colonne indique la proportion des événements écrits sur cassette dont les données provenant des sous-détecteurs sont en accord avec la décision finale prise par le trigger (traduite par l'envoi du signal READOUT). Il s'agit encore d'une pseudo-efficacité.

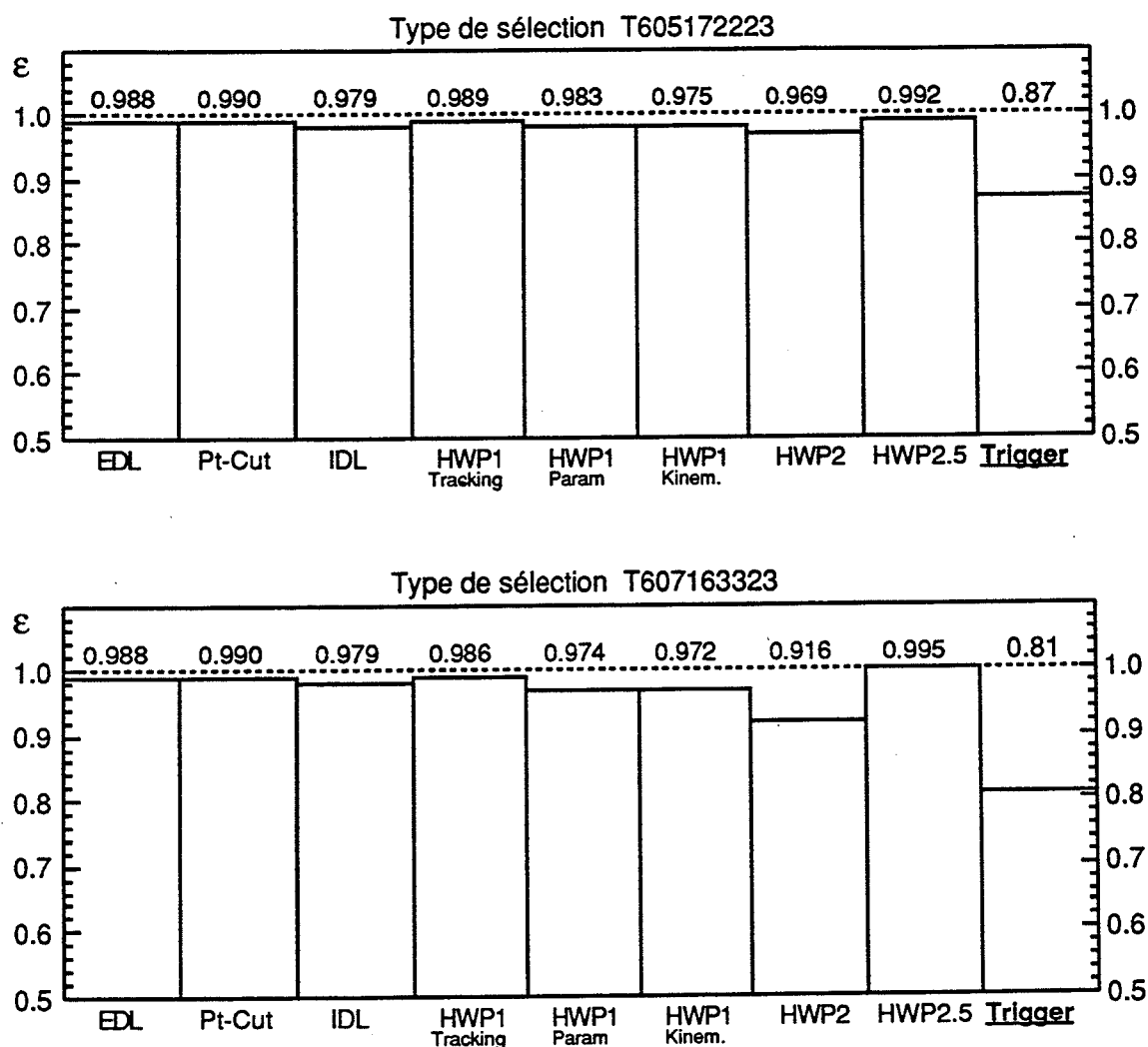


Figure 5-2 : Courbe de pseudo-efficacité obtenue avec les types de sélection T605172223 et T607163323 [35].

De fait, une analyse de l'efficacité stricte du trigger ne peut s'effectuer qu'en étudiant des données récoltées avec un type de sélection absolument trivial : $T000000002=T2$ où tous les étages du trigger fournissent toujours une réponse positive ! En effet, des niveaux de décision ne dépendant pas du type de sélection choisi et provenant de chaque étage du trigger peuvent ainsi être lus dans les 3 mots DECISION_WORD1, DECISION_WORD2 et RC_WORD envoyés au SPY (voir paragraphe 4.7.2) [38]. Il est à noter que l'efficacité de la logique d'entrée du Trigger Control (FENETRE de COLLISION) ne peut pas être mesurée ainsi, car la réjection d'un événement par le signal COLLISION est commandée uniquement par le Trigger Control (les 6 étages du trigger ne participent pas du tout à la décision...).

5.1.2 Effets liés au taux de réjection de l'EDL

5.1.2.1 Effets ne modifiant quasiment pas le rapport signal/bruit :

Réjection due à la FENETRE de COLLISION :

La FENETRE de COLLISION du Trigger Control rejette environ 9% des No événements de départ (on considère que tous les No événements sont corrélés à un front avant des signaux EVENT et StrobePID, donc qu'un signal BC-ALL provoquant l'activation de la FENETRE de COLLISION ne peut en aucun cas être corrélé à un des No événements de départ, puisque l'exercice est justement de voir ce qu'il peut se passer lorsque ces No événements déclenchent le Trigger Control...).

Eventuelle réjection due au signal $\bar{P}=0$:

Une éventuelle réjection peut provenir du fait qu'un signal BC-ALL peut ne pas être corrélé à un signal $\bar{P}$ valide. En fait, lors des dernières périodes d'acquisition de CPLEAR (septembre et novembre 1992), le rapport du nombre de fronts avant du signal $\bar{P}$ sur le nombre de fronts avant du signal BC-ALL était pratiquement égal à 1 (ce qui signifie en fait que le faisceau d'antiprotons était d'une très grande pureté). Il n'y a donc quasiment pas de réjection due à cet effet.

Réjection due à l'acceptance géométrique des PIDs :

L'angle solide couvert par les PIDs vaut $S_{PIDs} \equiv 0.93 \times 4\pi$ stéradians (voir paragraphe 3.4).

Réjection due à l'inefficacité des scintillateurs S1 :

L'efficacité des scintillateurs S1 vaut $\varepsilon_{S1} \equiv 0.97$ (voir paragraphe 3.4.1), ce qui correspond à une inefficacité d'environ 3 %.

Eventuelle réjection due à la mauvaise prise en compte par l'EDL des données des scintillateurs S1 (ou éventuel mauvais fonctionnement de l'EDL) :

On peut se poser la question suivante : se peut-il que des impulsions associées au scintillateurs S1 n'arrivent pas en phase par rapport au signal de déclenchement de l'EDL, StrobePID, à cause d'un jitter trop important comme pourrait le laisser supposer la figure 4-7 (voir paragraphe 4.3.1.2)? En fait, concernant les scintillateurs S1 et S2, il n'en est quasiment rien et la réjection due à la mauvaise prise en compte des données des scintillateurs S1 (et S2) peut être considérée comme nulle. Comme on le verra, le problème est un peu différent concernant les impulsions associées aux compteurs Cerenkov qui, par contre, présentent un jitter plus important (multiple réflexion de la lumière Cerenkov dans les guides de lumière).

5.1.2.2 Effets donnant aux pions une signature $\overline{SCS}$ (renforcement du bruit pionique) :

Acceptance des événements pioniques dues aux signatures $\overline{SCS}$ créées par les pions et à l'inefficacité des compteurs Cerenkov :

Théoriquement, pour qu'un pion provoque une signature $\overline{SCS}$ en traversant un PID, il doit posséder une impulsion au moins inférieure à 190 MeV (à trop basse énergie, il n'atteint pas le scintillateur S2 et ne provoque donc pas de signature $\overline{SCS}$ non plus...). En fait, les distributions en impulsion du nombre de pions donnant une signature S1 et du nombre de pions donnant une signature $\overline{SCS}$ ont été mesurées en fonction de l'impulsion à partir d'événements purement pioniques [39]. D'où a été possible de tirer la courbe de probabilité qu'un pion chargé donnant une signature S1 donne aussi une signature $\overline{SCS}$ en fonction de son impulsion.

$\frac{N(\pi^\pm \leftrightarrow \text{signature } \overline{SCS})}{N(\pi^\pm \leftrightarrow \text{signature } S1)}$

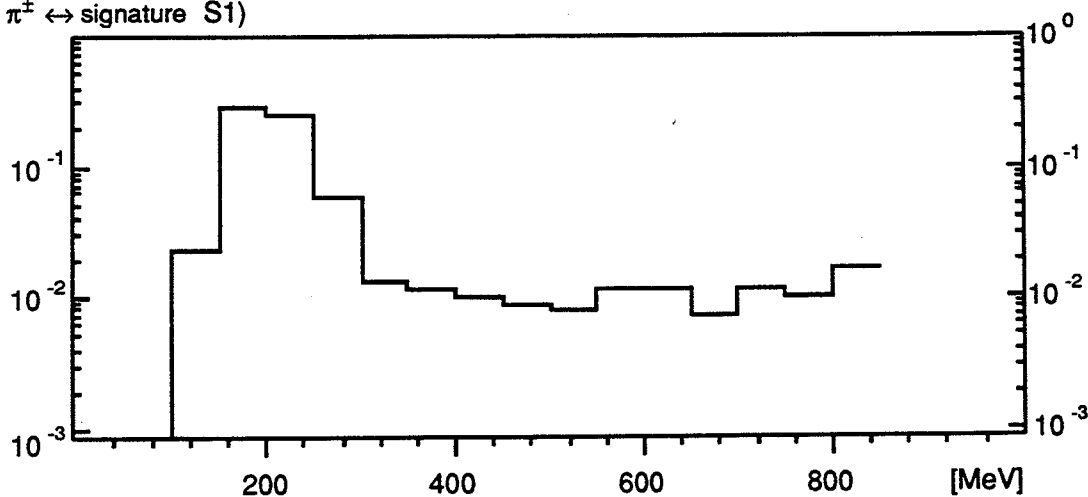


Figure 5-3 : Distribution en impulsion du nombre de pions donnant une signature $\overline{SCS}$ sur le nombre de pions donnant une signature S1, déduite à partir de l'étude d'événements purement pioniques [39].

Comme on le voit, la probabilité qu'un pion chargé génère une signature $\overline{SCS}$ est encore grande entre 190 et 300 MeV. Plus grave (voir paragraphe 5.1.3 suivant), elle se stabilise autour de 1 % au delà de 300 MeV !

Acceptance des événements pioniques due à la mauvaise prise en compte par l'EDL des données des compteurs Cerenkov (mauvais fonctionnement de l'EDL) :

Il s'agit du problème décrit dans le paragraphe 5.1.2.1 ci-dessus : mais l'important jitter des impulsions associées aux compteurs Cerenkov nous oblige à ne pas négliger le nombre d'impulsions qui n'arrivent pas en phase avec le déclenchement de l'EDL. En fait, le principal paramètre permettant de mesurer cet effet est la pseudo-efficacité ϵ_{EDL} de l'EDL, car une mauvaise relation de phase entre ces impulsions et le signal StrobePID peut transformer facilement une signature $\overline{SCS}$ en une signature $\overline{SCS}$ (voir figure 4.7, paragraphe 4.3.1.2).

5.1.2.3 Effets ne donnant pas aux kaons une signature $\overline{SCS}$ (diminution du signal "Golden") :

Réjection des événements "Golden" due à la désintégration du kaon chargé :

Le kaon chargé $K^+(K^-)$ possède un temps de vie de $\tau = 1.24 \times 10^{-8}$ s ($c\tau = 370.9$ cm) ! De fait, on peut postuler qu'en moyenne, un kaon $K^+(K^-)$ a une probabilité d'environ $1/4 = 0.25$ de se désintégrer en deçà des PIDs. D'où une réjection supplémentaire qui n'est de loin pas négligeable [40] !

Réjection des événements "Golden" due à la lumière Cerenkov indirectement induite par les kaons :

Théoriquement et idéalement, un kaon d'impulsion inférieure à 600 MeV, soit de vitesse $\beta < 0.76$ (voir figure 4-31), provoque une signature $\overline{SCS}$ en traversant un PID (à trop basse énergie, il n'atteint pas le scintillateur S2 et ne provoque donc pas de signature $\overline{SCS}$). En fait, la distribution en impulsion du rapport du nombre de kaons donnant les signatures S1 et S2 sur le nombre de kaons donnant une signature $\overline{SCS}$ a été mesurée en étudiant des événements kaoniques [41]. D'où a été possible de tirer 2 courbes de probabilité qu'un kaon chargé donnant une signature S1 et une signature S2 donne aussi une signature $\overline{SCS}$ en fonction de son impulsion. Ces deux courbes ont été mesurées séparément pour le K^+ et pour le K^- , pour des valeurs d'impulsion comprises entre 150 et 600 MeV [41].

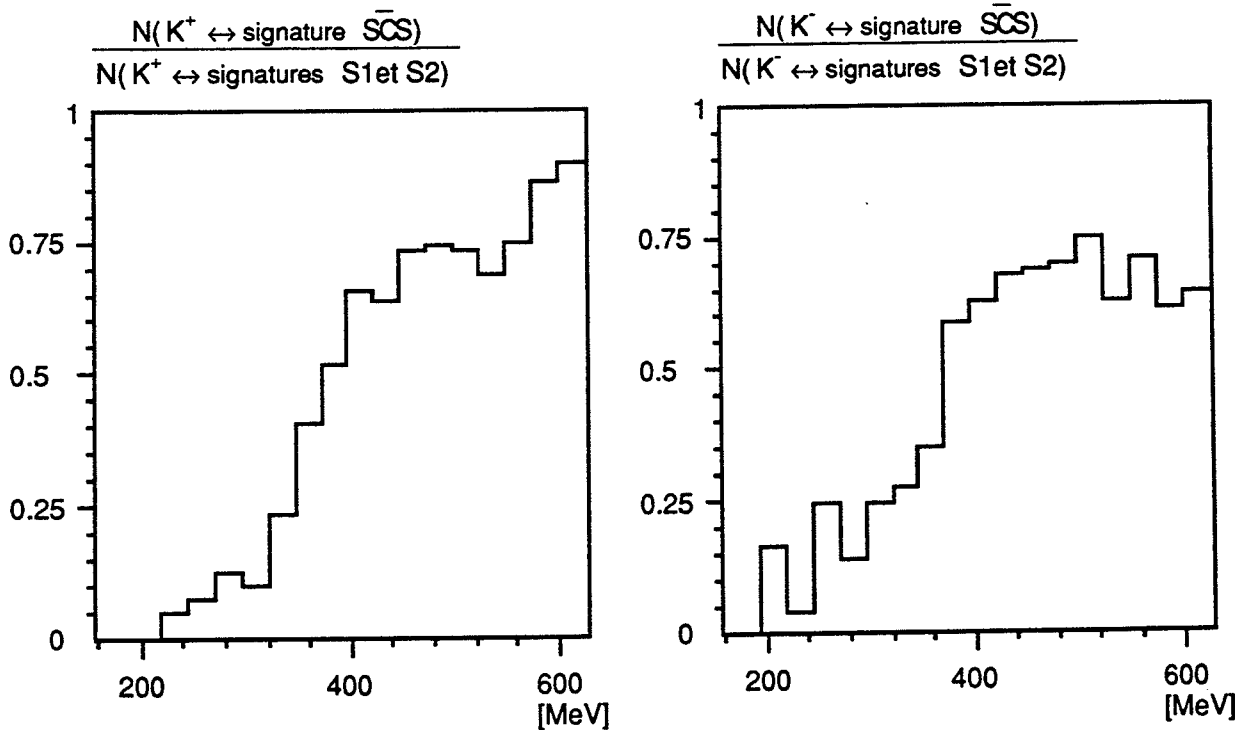


Figure 5-4 : Distributions en impulsion du nombre de kaons donnant une signature $\overline{SCS}$ sur le nombre de kaons donnant une signature S1 et une signature S2, déduite à partir de l'étude d'événements kaoniques [41].

Il est à noter que ces deux courbes ne sont pas identiques à cause de la différence entre les sections efficaces des réactions $K^+p(n,d,N) \rightarrow \dots$ et $K^-p(n,d,N) \rightarrow \dots$, où p,n,d et N symbolisent un proton, un neutron, un deutéron et un noyau atomique respectivement [42]. Ceci a pour conséquence une asymétrie dans les nombres de K^+ et de K^- pris en compte sur cassette. Concernant les événements "Golden", ce phénomène induit une asymétrie dans le nombre de K^0 et de $\bar{K}^0$ calculé ($K^0/\bar{K}^0 \neq 1$). Cette cause de l'asymétrie $K^+/K^- \neq 1$, comme on le verra dans le paragraphe 5.1.3 suivant, n'est pas forcément unique !

5.1.2.4 Résultats obtenus concernant les taux de réjection spécifique de l'EDL et le facteur de qualité à la sortie de l'EDL :

	i	R _i	R _{pi}	R _{fi}	R _{ki}	R _{gi}	q _i
EDL	1	4.06	4.085	3.729	3.146	2.899	0.533 %

Tableau 5-1 : Résultats obtenus concernant l'EDL : les taux de réjection spécifiques R_{fi}, R_{ki} et R_{gi} ont été calculés par des simulations Monte-Carlo [36]. Ces résultats ont été obtenus avec le type de sélection T607163323.

On peut effectuer les constatations suivantes :

- 1) $R_{p1} \equiv R_1$ compte tenu de la très forte proportion des événements pioniques à l'entrée et à la sortie de l'EDL.
- 2) Bien que $R_{g1} < R_{k1} < R_{f1} < R_{p1}$, le rapport signal/bruit q_1 est étonnamment faible : rappelons que le taux de branchement des événements "Golden" est de $0.004 = 0.4\%$ (voir annexe B), qui constitue en fait le rapport signal/bruit initial q_0 !

5.1.3 Effets liés au taux de réjection du Pt-Cut

5.1.3.1 Effets ne modifiant quasiment pas le rapport signal/bruit :

Eventuelle réjection additionnelle due à l'acceptance géométrique des chambres à dérive :

L'angle solide couvert par les chambres à dérive vaut $S_{DCs} \equiv 0.91 \times 4\pi$ stéradians (voir paragraphe 3.3.2). D'où une infime réjection additionnelle due à la différence négative $S_{DCs} - S_{PIDs} \equiv -0.02 \times 4\pi < 0$.

Réjection due à l'inefficacité des chambres à dérive :

L'efficacité des chambres à dérive vaut $\epsilon_{DC} \equiv 0.96$ (voir paragraphe 3.2.2), ce qui correspond à une inefficacité d'environ 4 %.

Eventuelle réjection due à la mauvaise prise en compte par le Pt-CUT des données des chambres à dérive (éventuel mauvais fonctionnement du Pt-Cut) :

Une réjection pourrait provenir du fait que le front avant du signal DTG arrive avant le front avant d'un signal de transition annonçant qu'un fil a été touché. Cette réjection est en fait considérée comme nulle compte tenu de la grande marge que l'on a donné à la largeur du signal DTG (voir figure 4-14, paragraphe 4.3.2.3).

Acceptance due à des canaux bruyants (mauvais fonctionnement du Pt-Cut):

Il a été observé certains canaux (ici, un canal est par définition un signal différentiel associé à un fil des chambres à dérive) bruyants, à savoir qu'ils ont une très grande propension à s'activer de façon permanente. Ainsi, dans un secteur i en face d'une région des chambres à dérive où un tel bruit électronique s'observe, une réponse $S/CS-Pt [i]=1$ peut très bien être associée à la réponse des PIDs $S/CS [i]=1$, à la réponse d'une chambre (DC1 par exemple) et d'un bruit (canaux DC6 bruyants). Cette acceptance est en partie responsable du fait que la pseudo-efficacité ϵ_{Pt} du Pt-Cut ne vaut pas 1 !

Acceptance due à des points non corrélés :

Dans la logique du Pt-Cut (voir paragraphe 4.3.2.2), on demande une réponse des PIDs $S/CS [i]=1$ et deux réponses des chambres à dérive (DC6 et DC1) de telle sorte qu'elles soient associées à des fils activés disposés selon une certaine manière dans le plan ϕ . Par contre, on ne sait pas a priori si ces fils ont été activés par la même particule et, par conséquent, s'ils sont associés à la même trace. La réponse est que ce n'est pas toujours le cas! On peut de ce fait avoir des traces associées à des particules de relativement basse impulsion transverse (200 MeV par exemple), effectuer une coupure à 270 MeV et obtenir malgré tout une réponse $S/CS-Pt [i]=1$.

Réjection(acceptance) due à un mauvais alignement des sous-détecteurs :

Dans la figure 4-11 du paragraphe 4.3.2.2, la logique du Pt-Cut est exposée dans le cadre d'un alignement parfait des sous-détecteurs entre eux (PIDs $\leftrightarrow$ DC) et des chambres à dérive entre elles (DC6 $\leftrightarrow$ DC1). Une légère rotation d'au moins une chambre à dérive par rapport à la position d'alignement idéal (mauvais alignement en ϕ) induit une plus grande réjection pour les particules d'un certain signe (en fonction du sens de la rotation et en fonction du sens du champ magnétique, que l'on inverse périodiquement) et une plus grande acceptance pour les particules de signe opposé. Ce fait entre en ligne de compte dans l'asymétrie du rapport du nombre de K^+ sur le nombre de K^- ($K^0/K^0 \neq 1$ concernant les événements "Golden"). Ce rapport ne dépend pas de l'angle azimutal ϕ si l'on ne tient compte que des effets dûs au mauvais alignement en ϕ du détecteur et des effets dûs à la différence du comportement du K^+ et du K^- dans les PIDs [43].

Il peut aussi exister un mauvais alignement en r (les axes des PIDs et des chambres DC6 et DC1 ne sont pas alignés), qui pourrait entrer en ligne de compte dans l'asymétrie du rapport $K^+/K^- \neq 1$. En fait, on n'a pas observé d'effet dû à un tel mauvais alignement (extrêmement minime)[43]...

Réjection(acceptance) due à la position du faisceau par rapport à l'axe du détecteur :

Lorsque le faisceau d'antiprotons n'est pas centré au point de coordonnées $(x,y)=(0,0)$ dans le plan transverse, à savoir dans l'axe du détecteur, cela induit un effet de réjection (acceptance) analogue à celui induit par un mauvais alignement en ϕ des sous-détecteurs PID et des chambres à dérive DC1 et DC6. La différence est que le rapport du nombre de K^+ sur le nombre de K^- calculé secteur par secteur dépend de l'angle azimutal ϕ [43]... Le monitoring en ligne du trigger permet de dénoncer une telle situation (voir figure 5-5 ci-dessous)

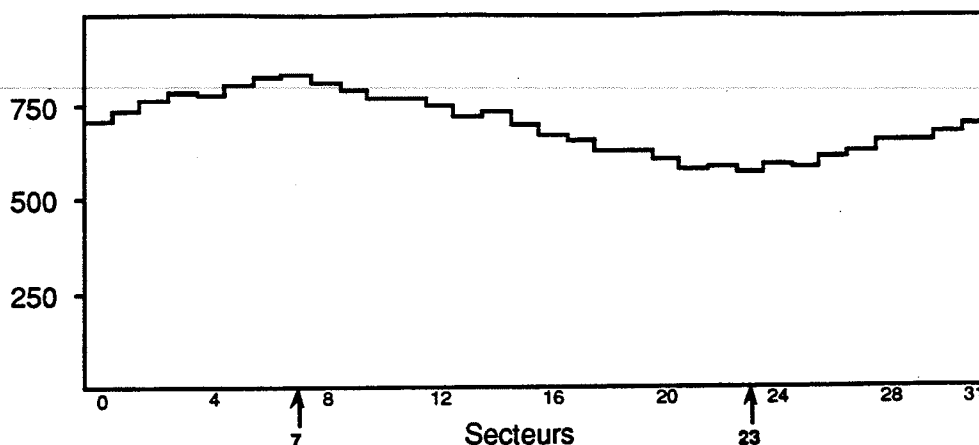


Figure 5-5 : Exemple de hit-map $\overline{SCS}$ -pt (distribution par secteur du nombre d'événements ayant donné une réponse $\frac{S}{CS-Pt}$ [i]=1) que l'on obtient à la sortie du spy (monitorage) lorsque le faisceau est décentré [43].

5.1.3.2 Commentaires sur l'obtention d'un bruit pionique et sur la réduction du signal "Golden" à la sortie du Pt-Cut :

Le bruit pionique à la sortie du Pt-Cut :

Malheureusement, même si l'on effectue une coupure en impulsion transverse de 270 ou 400 MeV (800 MeV diminue trop le signal "Golden", comme l'indique la figure 4-31 du paragraphe 4.5.3.1), l'inefficacité des compteurs Cerenkov, présentée dans la figure 5-3, laisse passer beaucoup de pions. Ceux-là se présenteront à l'entrée de l'IDL, puis à l'entrée de HWP1 dans le cas où l'événement est accepté par l'IDL, comme des kaons ! D'où le nom que l'on a donné à un des signaux du mots "Ed's Word" (voir paragraphe 4.5.2.2) : KAONLIKE ("Comme un kaon !"). Les dés sont jetés !

La réduction du signal "Golden" induite par la coupure en impulsion transverse :

Dans le principe de la sélection des kaons au niveau des 2 premiers étages du trigger, on effectue une coupure cinématique. Donc, pour les besoins de la cause, on a accepté de perdre volontairement une partie des événements "Golden" : ceux dont l'impulsion transverse du kaon chargé est inférieure à un certain seuil (270 ou 400 MeV, voir figure 4-31) !

5.1.3.3 Résultats obtenus concernant les taux de réjection spécifique du Pt-Cut et le facteur de qualité à la sortie du Pt-Cut :

	i	R _i	R _{pi}	R _{li}	R _{ki}	R _{gi}	q _i
EDL	1	4.06	4.085	3.729	3.146	2.899	0.533 %
Pt-Cut	2	3.08	<u>3.158</u>	1.734	1.816	1.288	<u>1.274 %</u>

Tableau 5-2 : Résultats obtenus concernant le Pt-Cut (avec rappel des résultats concernant l'EDL)[36].
Ces résultats ont été obtenus avec le type de sélection T607163323.

On peut effectuer les constatations suivantes :

- 1) $R_{p2} \equiv R_2$ compte tenu de la très forte proportion des événements pioniques à l'entrée et à la sortie du Pt-Cut.
- 2) Les différences entre R_{g2} et R_{k2} (R_{l2}) d'une part, et entre R_{k2} (R_{l2}) et R_{p2} d'autre part sont plus nettes.
La première différence est due au fait que les réactions "Golden" créent 3 particules (2 kaons et un pion) alors que la majorité des événements kaoniques créent plus de 4 particules (2 kaons et 2 pions au moins).
La deuxième différence est normale : on aurait simplement voulu la voir plus forte !

5.1.4 Effets liés au taux de réjection de l'IDL

Acceptance géométrique des chambres proportionnelles :

Il est à noter qu'il n'existe aucune réjection additionnelle due à l'acceptance géométrique des chambres proportionnelles puisque l'angle solide couvert par les chambres proportionnelles vaut $SPCs \equiv 0.94 \times 4\pi$ stéradians (voir paragraphe 3.3.1) et que la différence $SPCs - \min(SPIDs, SDCs) = SPCs - SDCs \equiv +0.03 \times 4\pi$ est positive.

Réjection(acceptance) due à l'inefficacité des chambres à dérive et des chambres proportionnelles :

L'efficacité des chambres à dérive vaut $\varepsilon_{dc} \equiv 0.96$ et celle des chambres proportionnelles $\varepsilon_{pc} \equiv 0.99$ (voir paragraphe 3.2.1). Cette réjection est donc très faible, surtout si l'on a affaire à des traces primaires (traces provenant de la cible).

Ces inefficacités peuvent aussi induire des mauvaises acceptances, puisque l'équation (4.11b) présente des conditions sur les nombres de traces et de traces primaires à l'aide d'intervalles bornés supérieurement.

Acceptance (réjection) due à des canaux bruyants ou un dysfonctionnement de l'IDL :

Ce problème a déjà été mentionné concernant le Pt-Cut. A ce problème, il faut toujours ajouter celui de la fiabilité électronique de l'IDL. Cette acceptance est responsable du fait que la pseudo-efficacité ε_{IDL} de l'IDL ne vaut pas 1.

Comme décrit ci-dessus, ces bruits ou ces dysfonctionnements peuvent aussi provoquer une réjection (non trahie par la pseudo-efficacité ε_{IDL} de l'IDL).

	i	R_i	R_{pi}	R_{fi}	R_{ki}	R_{gi}	q_i
EDL	1	4.06	4.085	3.729	3.146	2.899	0.533 %
Pt-Cut	2	3.08	3.158	1.734	1.816	1.288	1.274 %
IDL	3	1.74	<u>1.764</u>	1.379	1.462	1.271	<u>1.745 %</u>

Tableau 5-3 : Résultats obtenus concernant l'IDL (avec rappel des résultats concernant les étages précédents)[36].
Ces résultats ont été obtenus avec le type de sélection T607163323.

On peut effectuer les constatations suivantes :

- 1) $R_{p3} \equiv R_3$ compte tenu de la très forte proportion des événements pioniques à l'entrée et à la sortie de l'IDL.
- 2) Les différences entre R_{g3} , R_{k3} et R_{l3} sont faibles car le critère de sélection de l'IDL est basée sur une observation très sommaire du détecteur (voir figure 4-19).
Le taux de réjection est faible pour la même raison...

5.1.5 Commentaires sur le taux de réjection de HWP1

5.1.5.1 Effets de réjection associés à TRACKING :

Réjection(acceptance) due à l'inefficacité des chambres à dérive et des chambres proportionnelles :

Déjà mentionnée concernant le Pt-Cut et l'IDL, l'inefficacité des chambres à dérive et des chambres proportionnelles peut parfois être tenue pour responsable de la perte d'une trace (primaire) et induire de fait une réjection (ou une acceptance, puisque l'on applique un critère de sélection à l'aide d'intervalles bornés supérieurement).

Réjection(acceptance) due à l'éventuel mauvais fonctionnement de TRACKING :

La réjection(acceptance) ne peut s'obtenir que par perte d'information lors de la recherche de traces. Par exemple, je vois difficilement l'électronique de lecture des chambres à dérive inventer une information totalement utilisable associée à un mini-secteur qui n'a même pas été touché. Partant de ce fait, une perte d'information peut se produire par un mauvais dialogue entre les modules "Track Follower" et l'électronique de lecture des chambres à dérive et des chambres proportionnelles (ou les modules "Track Follower" entre eux). La pseudo-efficacité de TRACKING ϵ_{tr} nous donne une information concernant ce mauvais fonctionnement, et ainsi, bien entendu, concernant toute sorte de mauvais fonctionnements de TRACKING, pour autant qu'ils induisent des réponses positives (de HWP1 !).

Réjection(acceptance) due à une erreur de recherche de trace :

La logique présentée dans le paragraphe 4.5.2.2 peut parfois être induite en erreur par des situations topologiques particulières. D'où une réjection qui a une forte propension à diminuer le signal ! Je présente donc ci-dessous deux événements "Golden" qui seront rejetés par le trigger où le type de sélection est T605172223.

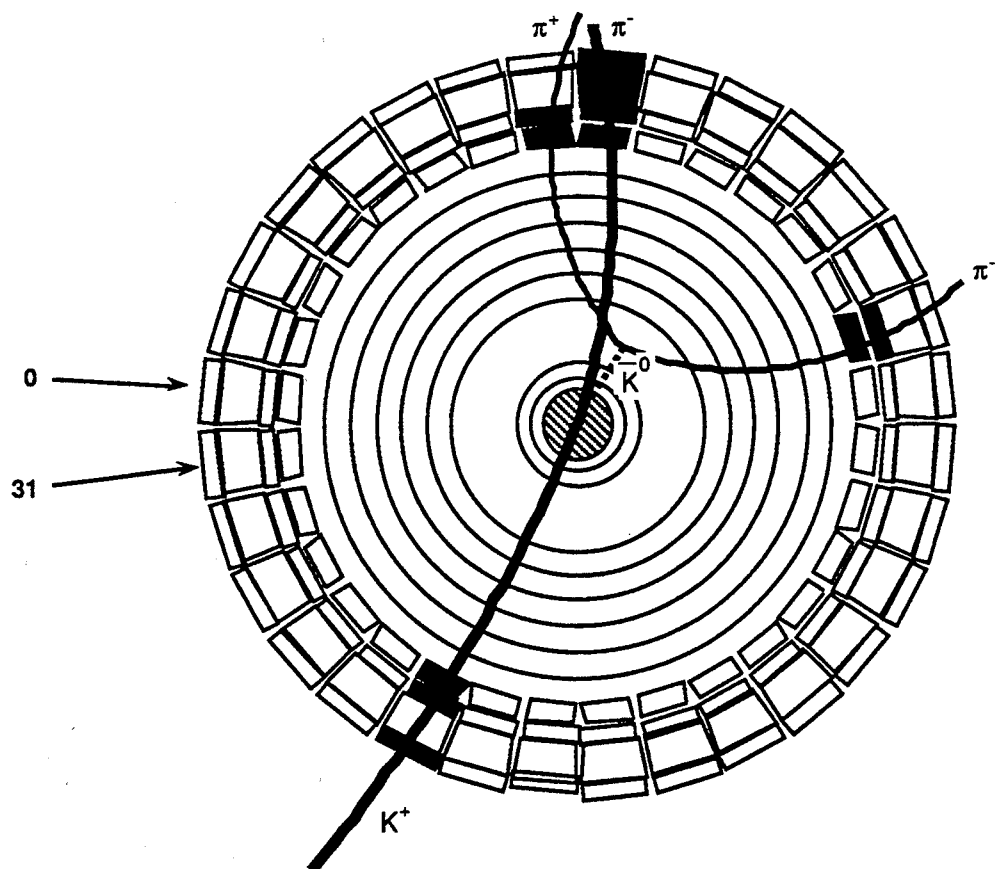


Figure 5-6 : Exemple d'événement $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ qui a induit au niveau de l'IDL, de TRACKING et de PARAM 3 traces primaires (et valides au sens stricte, dont une kaonique dans le secteur 26) et une trace secondaire dans le secteur 14 (4 traces valides au sens stricte). Cet événement est rejeté avec le type de sélection T605172223.

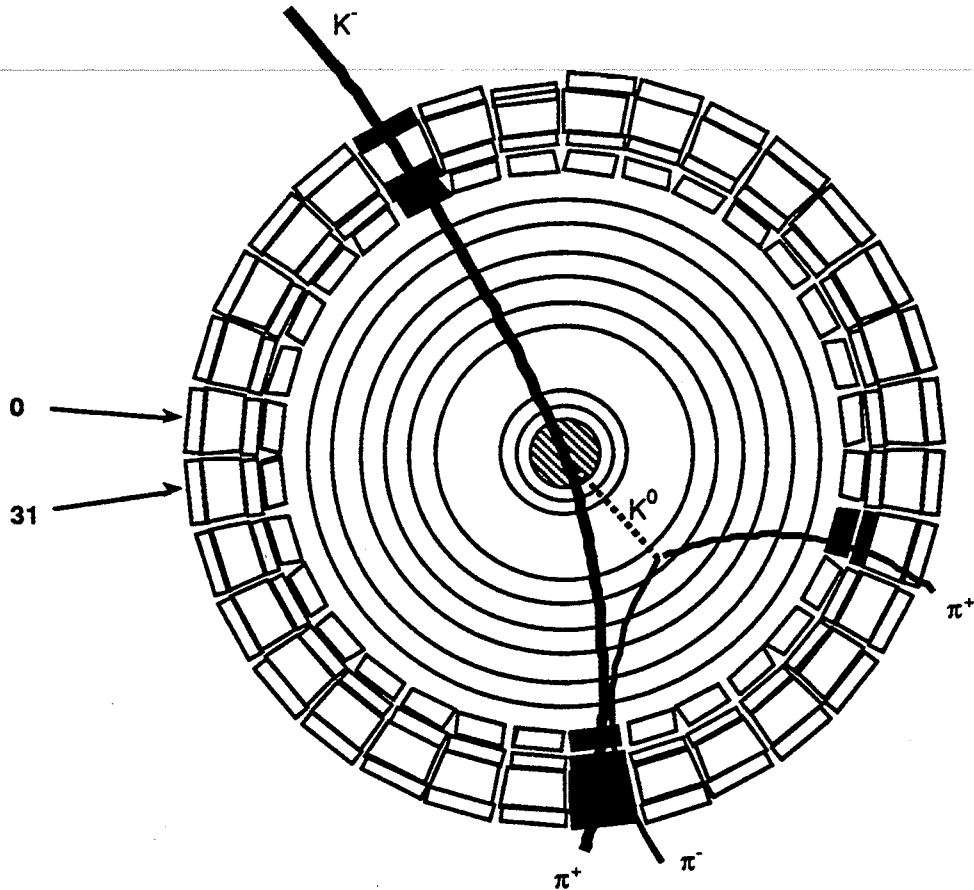


Figure 5-7 : Exemple d'événement $p\bar{p} \rightarrow K^-\pi^+K^0$ qui a induit au niveau de l'IDL, de TRACKING et de PARAM 2 traces primaires (et valides au sens stricte, dont une kaonique dans le secteur 5) et une trace secondaire dans le secteur 17 (3 traces valides au sens stricte). Cet événement est rejeté avec le type de sélection T605172223.

C'est la raison de l'introduction du trigger T607163323, où les critères de sélection T3nn au niveau de l'IDL (l'équation (4.11c) remplace l'équation (4.11b)), T3nnn au niveau de TRACKING (l'équation (4.12c) remplace l'équation (4.12b)) et T6nnnn au niveau de PARAM (l'équation (4.18f) remplace l'équation (4.18g)) ont été proposés par Jacques Derre en été 1992 [31]. Le critère de sélection T7nnnnnn au niveau de HWP2 est le plus sévère. Il est à noter que le K^0 et le $\bar{K}^0$ sont les seules particules neutres pouvant créer une telle paire de traces secondaires dans la région des chambres à dérive [40]. Idéalement, des événements rejetés par T605172223 et acceptés par T607163323 sont donc soit "Golden", soit "Pseudo-Golden". Donc, vu la grande proportion d'événements pioniques à l'entrée de HWP1, on renforce davantage le signal "Golden".

Aussi, le phénomène de diffusion élastique des pions(kaons) chargés dans les scintillateurs S1 peuvent aussi induire une réjection(acceptance) si ces particules sont renvoyées vers l'intérieur du détecteur après avoir excité un scintillateur S1, puis déviées par le champ magnétique vers un autre secteur où elles excitent le scintillateur S1 associé. La recherche de traces est leurrée par une telle situation topologique.

Eventuelle réjection(acceptance) additionnelle due à l'acceptance géométrique des chambres à streamer :

L'angle solide couvert par les chambres à streamer vaut $S_{STs} \equiv 0.90 \times 4\pi$ stéradians (voir paragraphe 3.3.3). D'où une infime réjection additionnelle due à la différence négative $S_{STs} - S_{DCs} = S_{STs} - \min(S_{PIDs}, S_{DCs}, S_{PCs}) = S_{STs} - S_{DCs} \equiv -0.01 \times 4\pi < 0$.

Réjection(acceptance) due à l'inefficacité des chambres à streamer :

L'efficacité des chambres à streamer vaut $\varepsilon_{STs} \equiv 0.98$ (voir paragraphe 3.3.3), ce qui correspond à une inefficacité d'environ 2 %. D'où une réjection(acceptance).

Ici, je tiens déjà compte d'un éventuel mauvais fonctionnement dans le dialogue entre le module "Track Follower" et l'électronique de lecture des chambres à streamer et qui rentre en ligne de compte dans la pseudo-efficacité de TRACKING ε_{Tr} (voir ci-dessus concernant le dialogue entre TRACKING et l'électronique de lecture des chambres à dérive et des chambres proportionnelles).

5.1.5.2 Effets de réjection associés à PARAM :

Réjection(acceptance) due à l'éventuel mauvais fonctionnement de PARAM :

PARAM est la première entité du trigger à ne pas être en contact avec le détecteur. Hormis un effet qui sera décrit ci-dessous, l'inefficacité électronique de PARAM est la seule cause d'une mauvaise réjection(acceptance) au niveau de PARAM. En cas d'acceptance, cette inefficacité peut être mesurée par la pseudo-efficacité de PARAM ε_{Par} .

Un problème a été constaté dans l'électronique calculant le paramètre p : dégradation dans le temps de l'exactitude du calcul de p l... Ce problème n'a toujours pas trouvé d'explication à ce jour et, durant la dernière période d'acquisition (novembre 1992), l'unique recours a été d'échanger l'électronique calculant le paramètre p avec celui calculant le paramètre ε , puisque ce dernier n'entrait dans aucune décision.

Réjection(acceptance) due au mauvais calcul du signe de p induite, soit par la désintégration d'une particule, soit par une erreur de recherche de trace :

Rappelons que le kaon chargé $K^+(K^-)$ possède un temps de vie de $\tau = 1.24 \times 10^{-8}$ s ($c\tau = 370.9$ cm), soit une probabilité d'environ $1/4 = 0.25$ de se désintégrer en deçà des PIDs [40]. Lors de la désintégration du kaon dans les chambres à dérive ou les chambres proportionnelles, l'angle formé par les impulsions du kaon chargé et de la particule chargée issue de cette désintégration peut valoir jusqu'à 40° pour un kaon ayant une impulsion de 300 MeV... De fait, on observe deux segments de traces qui seront perçus par TRACKING comme une trace et de fait induire une erreur dans le calcul de p . Ceci concerne moins la désintégration du pion chargé, puisque le pion chargé $\pi^+(\pi^-)$ possède un temps de vie de $\tau = 2.60 \times 10^{-8}$ s ($c\tau = 7.804$ m), soit une probabilité d'environ 0.08 de se désintégrer en deçà des PIDs et, d'autre part, l'angle maximal entre les impulsions d'un pion de 300 MeV et du muon issu de la désintégration du pion (99.99 % des cas) se ramène à 22° [40].

Une erreur de calcul absolument analogue peut également se produire suite à une erreur de recherche de trace (voir la trace issue du secteur 7 dans la figure 5-6 par exemple).

Ces erreurs de calcul peuvent introduire une très légère réjection(acceptance), même si nous ne considérons que le signe de p dans la décision de PARAM... Cependant, ces deux cas de figure sont absolument catastrophiques (voir paragraphe 5.1.5.3), car pour une telle "trace", les points ne sont plus dans le même plan (sauf cas rarissime !).

5.1.5.3 Effets de réjection associés à KINEMATIC :

Réjection(acceptance) due à l'éventuel mauvais fonctionnement de KINEMATIC :

KINEMATIC est la seconde entité du trigger à ne pas être en contact avec le détecteur. Contrairement à PARAM, l'inefficacité électronique de KINEMATIC n'est pas l'unique cause d'une mauvaise réjection(acceptance), car plusieurs effets, décrits ci-dessous, peuvent intervenir... En cas d'acceptance, l'inefficacité électronique peut être mesurée par la pseudo-efficacité de KINEMATIC ϵ_{Kin} .

Réjection(acceptance) due au mauvais calcul du paramètre ρ et de l'impulsion transverse P_t :

Le paramètre ρ nous permet de calculer trace par trace l'impulsion transverse P_t , puis l'impulsion longitudinale P_z , ces deux valeurs permettant de calculer ensuite la valeur de $|\vec{p}_1| + |\vec{p}_i|$ sur laquelle on effectuera une coupure ($\vec{p}_1$ est l'impulsion de la 1^{ère} trace primaire, valide au sens stricte et accompagnée du signal KAONLIKE=1; $\vec{p}_i$ est l'impulsion de la j^{ème} trace primaire et valide au sens stricte). Enumérons quelques effets qui peuvent induire une erreur sur le calcul de ρ (donc sur l'impulsion transverse P_t , comme le montre la figure 4-32), erreur qui peut se répercuter dans la décision de KINEMATIC :

- 1) Comme indiqué dans le paragraphe 4.5.3.1, le calcul du paramètre ρ exige des hypothèses au départ : la trace doit avoir un grand rayon de courbure (grande impulsion transverse de la particule associée) et passer très près de l'axe du détecteur (ϵ très petit). Si ces conditions ne sont pas remplies pour une trace primaire et valide au sens stricte, le calcul de ρ devient approximatif. Mais, comme le montre la figure 4-31, une telle réjection(acceptance) est très faible.
- 2) Il a déjà été mentionné ci-dessus la possibilité d'une désintégration d'une particule chargée ou la possibilité d'une erreur de recherche de trace. L'effet ici est non négligeable.
- 3) Il a déjà été mentionné dans le paragraphe 5.1.3 la possibilité d'un mauvais alignement des sous-détecteurs qui peut, à la rigueur, induire un faux calcul de ρ , puisque l'information reçue concernant une trace ne correspond pas à une information géométriquement exacte. Si l'alignement des sous-détecteurs est parfait, il est à noter qu'un mauvais centrage du faisceau n'induit pas d'erreur sur ρ , sauf si le décentrage devient catastrophiquement grand (ϵ non négligeable). Du jamais vu pour ainsi dire !

Réjection(acceptance) due au mauvais calcul de P_z induite par un mauvais calcul du paramètre ρ :

Enumérons maintenant les deux principaux effets qui peuvent induire une erreur sur le calcul de l'impulsion longitudinale P_z :

- 1) Comme le montre la figure 4-32, une erreur de calcul du paramètre ρ induit une erreur sur le calcul de l'impulsion longitudinale P_z .
- 2) La figure 4-26 nous indique que le plan contenant la trace ne passe pas forcément à l'origine (voir paragraphe 4.5.2.3). Prenons un exemple où $P_t=200$ MeV et $Z=+20$ cm: KINEMATIC calculera $P_z \cong 67.8$ MeV $\Rightarrow P=|\vec{P}|= 211.2$ MeV. Mais si la trace est partie du point de coordonnées $(x,y,z)=(0,0,-4$ cm), on aura en réalité :
 $P_z \cong 81.4$ MeV $\Rightarrow P=|\vec{P}|= 215.9$ MeV. L'effet reste faible, mais il existe néanmoins.

5.1.5.4 Résultats obtenus concernant les taux de réjection spécifique de HWP1 et le facteur de qualité à la sortie de HWP1 :

	i	R _i	R _{pi}	R _{fi}	R _{ki}	R _{gi}	q _i
EDL	1	4.06	4.085	3.729	3.146	2.899	0.533 %
Pt-Cut	2	3.08	3.158	1.734	1.816	1.288	1.274 %
IDL	3	1.74	1.764	1.379	1.462	1.271	1.745 %
HWP1	4	2.68	<u>2.798</u>	2.296	1.822	1.236	<u>3.784 %</u>

Tableau 5-4a : Résultats obtenus concernant HWP1 (avec rappel des résultats concernant les étages précédents)[36].
Ces résultats ont été obtenus avec le type de sélection T607163323.

On peut constater pour le moment une belle décroissance des taux de réjection spécifique $R_{g4} < R_{k4} < R_{f4} < R_{p4}$. Pour l'expliquer, on a besoin d'autres informations données dans le tableau 5-4b ci-dessous.

Notons que R_p et R_{p4} commencent à se distinguer (on le voit dans le rapport signal/bruit à la sortie de HWP1).

	j	R _{4j}	R _{p4j}	R _{f4j}	R _{k4j}	R _{g4j}	q _{4j}
TRACKING	1	A = ?	a = ?	1.123	1.136	1.109	?
PARAM	2	B = ?	b = ?	1.065	1.138	1.059	?
KINEMATIC	3	C = ?	C = ?	1.912	1.409	1.052	3.784 %

Tableau 5-4b : Résultats Monte-Carlo obtenus concernant les 3 parties de HWP1 [36].
Ces résultats ont été obtenus avec le type de sélection T607163323.

On peut ainsi mieux expliquer certains résultats livrés par le tableau 5-4a :

- 1) TRACKING n'effectue pratiquement aucune différence entre les événements "Golden" et kaoniques : ces 3 types d'événements présentent des configurations topologiques tout-à-fait similaires.
- 2) PARAM rejette un peu plus les événements kaoniques : il est probable que cela soit dû à la désintégration du kaon chargé, induisant parfois une erreur sur le signe de la courbure calculée (voir équation (4.18f)).
- 3) Les différences entre les taux de réjection spécifique au niveau de KINEMATIC sont dues à la différence entre le nombre de produits de désintégration dans les événements "Golden" et le nombre de produits de désintégration dans les événements kaoniques (voir paragraphe 5.1.3.3).
- 4) Les valeurs de R_{4j} , R_{p4j} , q_{41} et q_{42} ne peuvent pas être connues, puisque nous n'avons pas d'information fournie au système de comptage, concernant ces valeurs (HWP1 ne donne qu'un unique signal au Trigger Control : GoodHWP1).
Les seules relations que l'on peut tirer sont : $A \times B \times C = 2.68$ et $a \times b \times c = 2.798$ (voir tableau 5-4a).

5.1.6 Présentation des taux de réjection de HWP2 et HWP2.5

Je ne présenterai aucun commentaire concernant les effets de réjection liés aux processeurs HWP2 et HWP2.5, sauf peut-être le fait qu'une amélioration dans le dialogue entre HWP1 et HWP2 concernant la transmission des données associées aux traces primaires, valides au sens strict et de signe opposé à la première trace (primaire, valide au sens strict et accompagnée du signe KAONLIKE=1) est à apporter (fin 1992)!

	i	R _i	R _{pi}	R _{fi}	R _{ki}	R _{gi}	q _i
EDL	1	4.06	4.085	3.729	3.146	2.899	0.533 %
Pt-Cut	2	3.08	3.158	1.734	1.816	1.288	1.274 %
IDL	3	1.74	1.764	1.379	1.462	1.271	1.745 %
HWP1	4	2.68	2.798	2.296	1.822	1.236	3.784 %
HWP2	5	A=?	<u>a = ?</u>	1.813	3.146	1.523	<u>?</u>
HWP2.5	6	B=?	<u>b = ?</u>	2.674	4.200	4.176	<u>9.874 %</u>

Tableau 5-5 : Résultats obtenus concernant HWP1 (avec rappel des résultats concernant les étages précédents)[36].
Ces résultats ont été obtenus avec le type de sélection T607163323.

On peut effectuer les observations suivantes :

- 1) Le taux de réjection spécifique R_{ks} est élevé, car HWP2 s'attend à une paire K- π .
- 2) Le fort taux de réjection R_{g6} est dû au fait qu'une grande partie des événements "Golden" qui ont franchi tous les étages du trigger avec succès contiennent des KL, qui se désintègrent pratiquement toujours en dehors du détecteur (on ne peut avoir 6 pieds de gerbe avec de tels événements).
- 3) Le rapport signal/bruit q₆ obtenu est en plein accord avec l'équation (5.6c)[37].
- 4) Les événements kaoniques et "Golden" (ceux que l'on voulait sélectionner) représentent 16.7 % des événements écrits sur cassette. Ne reste plus qu'à espérer que peu d'entre eux fassent partie des événements "de type inconnu" (voir paragraphe 5.1.1.2).

5.1.7 Synthèse

Je présente maintenant les différents résultats obtenus ci-dessus (tableaux 5-1, 5-2, 5-3, 5-4a et 5-5, en tenant compte des 3 équations (5.3)) à l'aide de 3 graphiques : l'un représente la courbe de réjection en utilisant une échelle verticale logarithmique et les deux autres représentent les rapports signal/bruit obtenus après chaque étage du trigger (un des graphiques utilise une échelle verticale logarithmique). Dans ces graphiques, une différenciation est faite compte tenu des 4 types d'événements pris en compte par le trigger. Mais rappelons ici qu'il faut faire très attention au fait qu'il existe à la sortie du trigger (sur cassette) une catégorie d'événements qui seront "de type inconnu". Ces événements font partie de n'importe quel type d'événements (pioniques, kaoniques, kaoniques "Pseudo-Golden" ou "Golden") et sont, par définition, des événements ayant franchi avec succès tous les étages du trigger mais dont une partie de l'information est perdue.

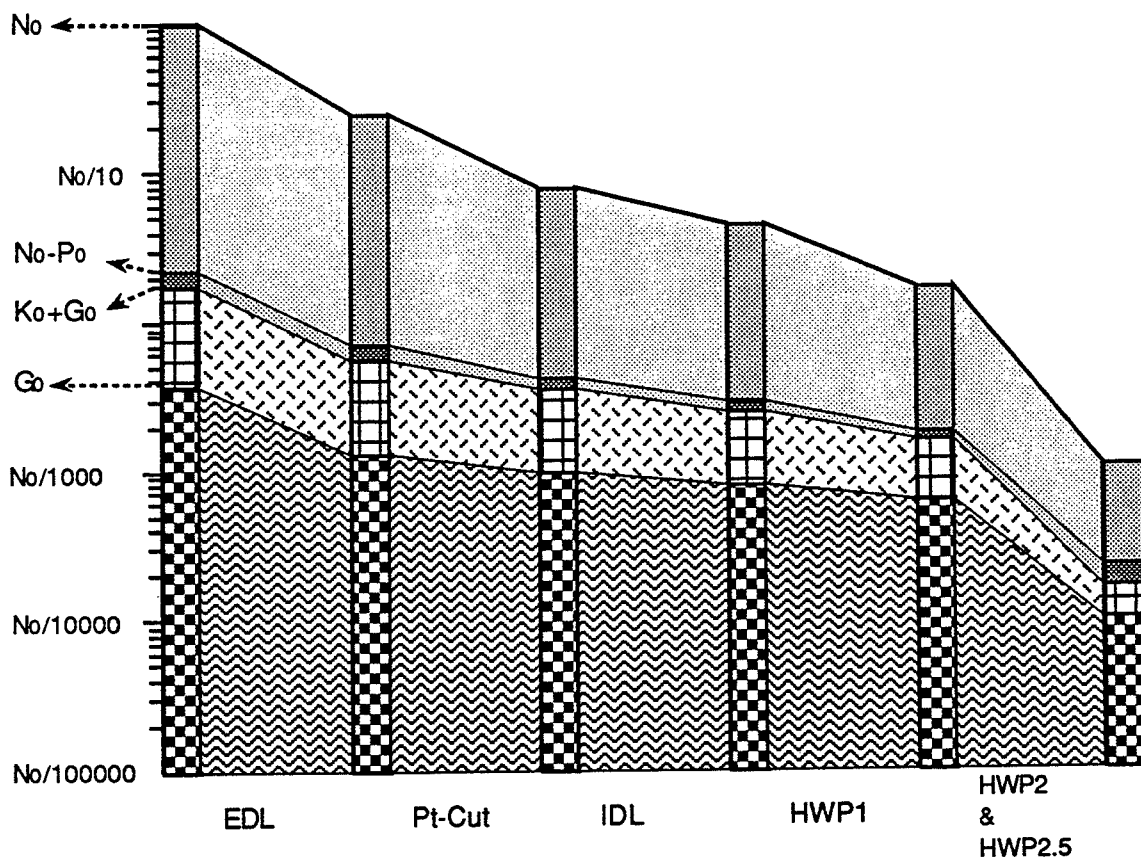


Figure 5-8 : Courbes de réjection obtenues. En ordonnée, se trouve les nombres N_i ($i=0,1,2,3,4$ et 6). Les zones  et  concernent les événements "Golden", les zones  et  concernent les événements kaoniques, les zones  et  concernent les événements kaoniques "Pseudo-Golden" et les zones  et  concernent les événements pioniques. Avant la prise en charge par l'EDL, on trouve la répartition des N_0 événements : $N_0 = P_0 + F_0 + K_0 + G_0$, $N_0 - P_0 = F_0 + K_0 + G_0$, $K_0 + G_0$ et G_0 . Après traitement du $j^{\text{ème}}$ étage du trigger ($j \neq 5$ car HWP2 et HWP2.5 sont confondus), on trouve la répartition des événements dans la colonne où toutes les courbes sont horizontales : $N_j = P_j + F_j + K_j + G_j$, $N_j - P_j = F_j + K_j + G_j$, $K_j + G_j$ et G_j [36].

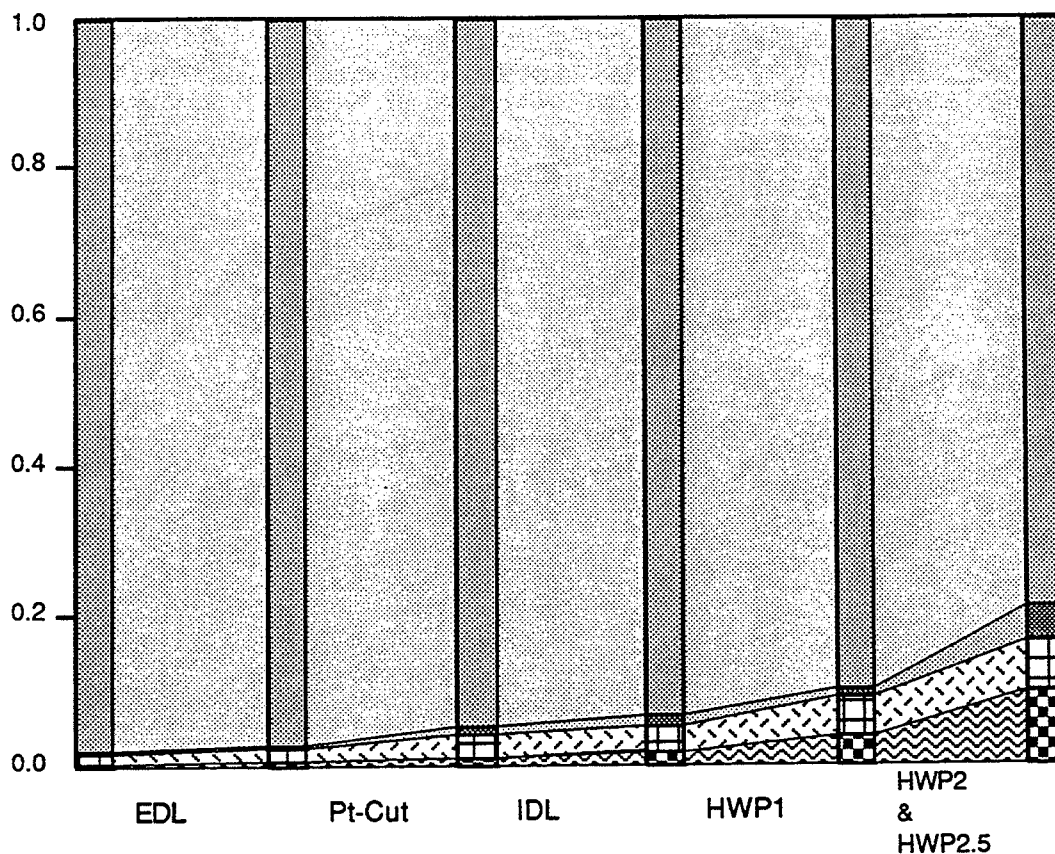


Figure 5-9 : Les rapports signal/bruit obtenus. En allant du haut vers le bas : la 1^{ère} courbe représente le rapport du nombres d'événements kaoniques "Pseudo-Golden", kaoniques ou "Golden" sur le nombre total d'événements (les zones  et  concernent les événements pioniques), la 2^{ème} courbe représente le rapport du nombres d'événements kaoniques ou "Golden" sur le nombre total d'événements (les zones  et  concernent les événements kaoniques "Pseudo-Golden") et la 3^{ème} courbe représente le rapport du nombres d'événements "Golden" sur le nombre total d'événements (les zones  et  concernent les événements kaoniques et les zones  et  concernent les événements "Golden"). Donc, la 3^{ème} courbe représente la courbe des rapports signal/bruit [36].

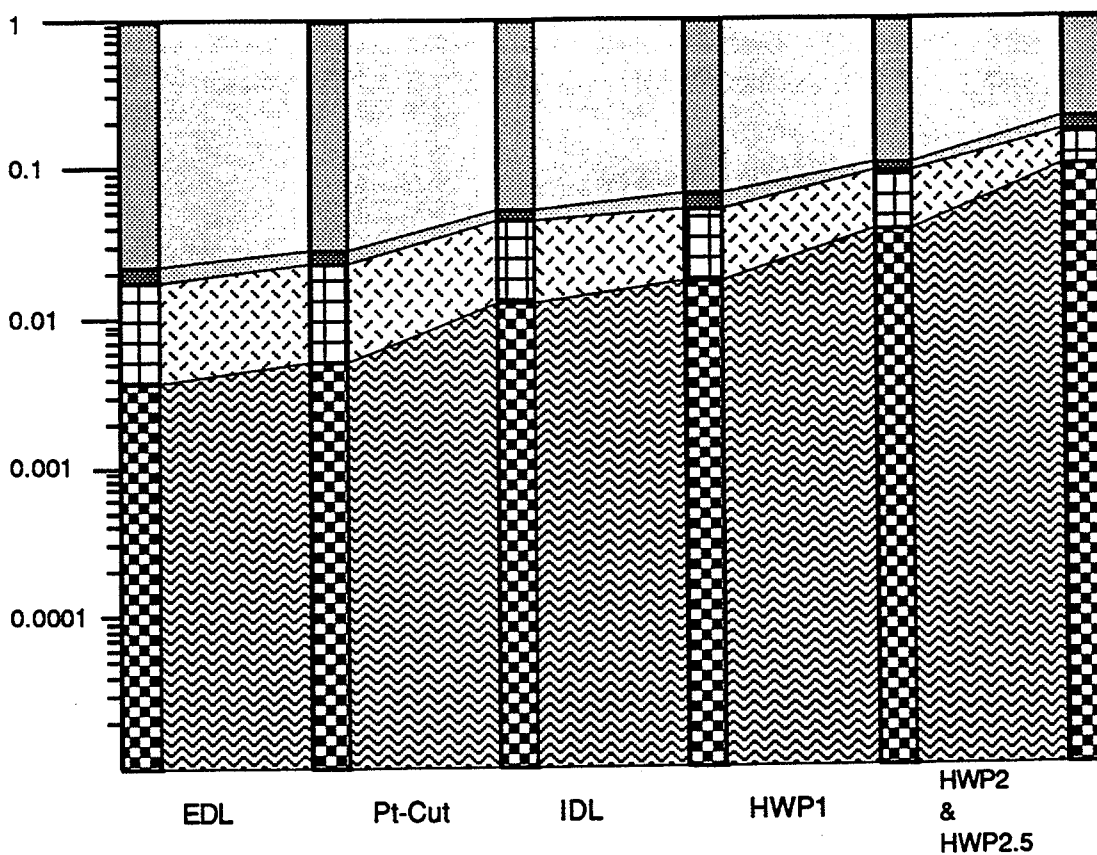


Figure 5-10 : Représentation du graphique 5-9 (rapports signal/bruit après chaque étape du trigger), en utilisant une échelle verticale logarithmique [36].

En conclusion, on peut constater que les deux premiers étages du trigger laissent passer beaucoup trop de bruit pionique ! Pour remédier à cet état de fait, des améliorations sont envisagées au niveau de l'EDL[24], du Pt-Cut [24], de l'IDL[44] et de KINEMATIC [24][45].

D'autre part, il est étonnant de voir que, même si l'on utilise un trigger fiable à 100 % (simulation Monte Carlo [36]), on obtient un rapport signal/bruit de 10 %, comparable à celui obtenu lors de la dernière acquisition (voir équation (5.6c))[37]. Bien que la courbe de pseudo-efficacité du trigger (figure 5-2) ne soit pas parfaite ($\epsilon_{\text{TRIGGER}} \neq 1$) et que des améliorations techniques sont donc nécessaires, on peut dire que le trigger de CP-LEAR est fiable : il fait son travail, même si ce dernier se base beaucoup sur des critères topologiques au départ (1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème} et 6^{ème} étages).

5.2 Commentaires sur la rapidité du trigger

5.2.1 Taux d'acquisition obtenu

Non seulement le trigger de CP-LEAR doit être fiable concernant la qualité des événements écrits sur cassette, mais il doit l'être aussi dans la diminution du temps mort de l'acquisition.

Considérons à nouveau les No événements présentés dans le paragraphe 5.1.1.1. En fait, l'opération représentée par l'équation (5.1a) doit être exécutée par le trigger dans les plus brefs délais, afin de diminuer le plus possible le temps mort de l'acquisition et d'accroître ainsi la statistique. Le taux d'acquisition que l'on a obtenu lors de la dernière période de prise de données (novembre 1992) a été de :

$$E \cong 360 \pm 10 \text{ événements écrits sur cassette/seconde} \quad (5.7)$$

Ce résultat a été obtenu avec un faisceau d'environ 900000 ± 150000 antiprotons/seconde. Ce taux dépend en effet du nombre d'antiprotons arrivant dans le détecteur par unité de temps; lorsque ce nombre devient trop grand, la FENETRE de COLLISION induit une diminution du taux d'acquisition. Le taux d'acquisition dépend aussi du type de sélection choisi : le résultat (5.7) a été obtenu avec le type de sélection T607163323. D'autre part, la vitesse du système de transfert des données limitent ce taux à environ 1000 événements/seconde (il faut aussi tenir compte de la dimension des événements : un événement avec 2 particules dans le détecteur et un autre avec 7 particules ne seront pas lus avec la même vitesse).

Les No événements que l'on considère vont obligatoirement occuper le Trigger Control, plus ou moins longtemps selon le nombre d'étage(s) du trigger qu'ils franchissent individuellement (le Trigger Control est occupé lorsqu'il se trouve dans n'importe quel état, sauf les états "IDLE" et "Inhibit"). Je représente ci-dessous une façon de visualiser ce fait en montrant une courbe (qui n'est pas une courbe de temps mort) dont l'intégrale représente le temps durant lequel le Trigger Control est occupé par ce No événements.

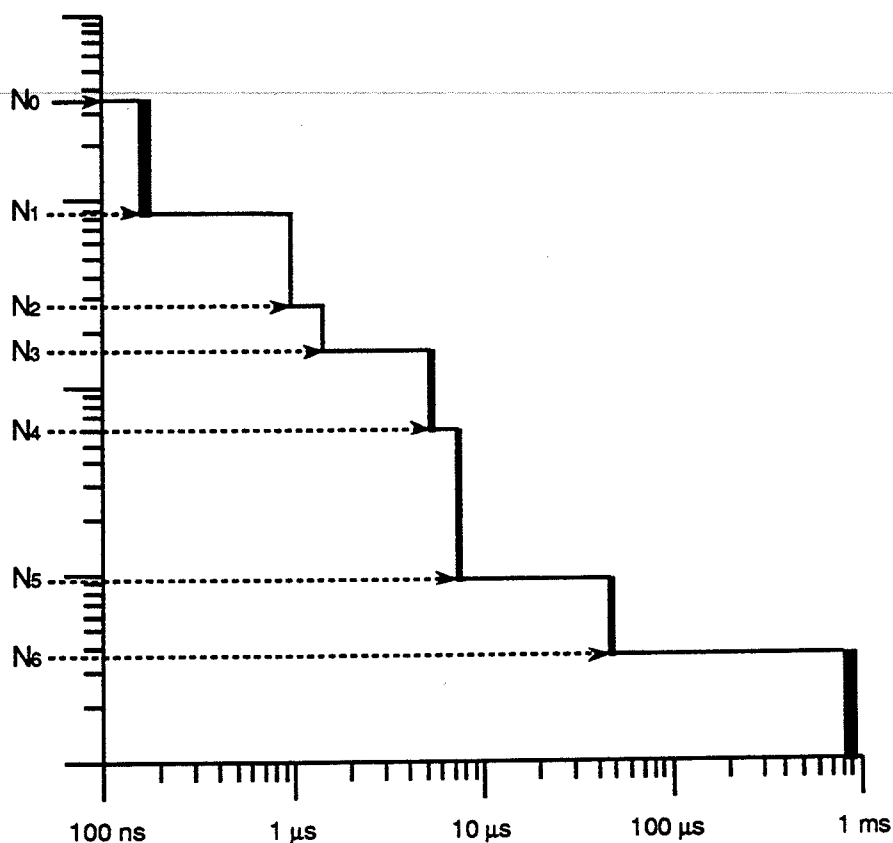


Figure 5-11 : Temps d'occupation T du Trigger Control.
 Par exemple, le rectangle le plus bas représente le temps d'occupation du Trigger Control par les N_6 événements sélectionnés par les 6 étages du trigger. Ce temps vaut $t_6 \approx N_6 \times 815 \mu s$ où les $815 \mu s$ est le temps moyen séparant le front avant du signal BC-ALL (entrée du Trigger Control) et le front arrière du signal RESET (sortie du Trigger Control). Il comprend entre autre le temps moyen du signal READOUT ($780 \mu s$ environ [46]).
 Ce diagramme a été effectué en fonction des mesures effectuées à la sortie du Trigger Control (échelle horizontale) et en fonction des taux de réjection obtenu dans la figure 5-1 avec le type de sélection T607163323.
 A noter que le taux de réjection de HWP2.5 a été pris en compte dans ce graphique ($R_6 \approx 2.6$), mais pas dans le paragraphe 5.1, car ne provenant pas de la même source [47].

Ce temps d'occupation T me permet d'estimer l'impact que peut apporter les 4 améliorations du trigger décrites ci-dessous concernant le taux d'acquisition.

5.2.2 Améliorations possibles

Quatre améliorations peuvent être apportées concernant le taux d'acquisition :

- 1) optimiser la logique de réinitialisation de la FENETRE de COLLISION [24].
- 2) raccourcir le temps de décision du Pt-Cut, si possible d'environ $100 ns$ [24].
- 3) raccourcir le temps d'arrivée du signal StopCK à l'entrée du Trigger Control : ce raccourcissement prévu à environ $500 ns$ tient compte de la figure 4-6. On a mesuré pour des événements à deux traces au niveau de l'IDL $3740 ns$ entre les fronts avant des signaux StrobeTL et StopCK à l'entrée du Trigger Control, alors que le processeur HWP1 travaille avec $25+n$ fronts avant du signal SYS\$CLOCK, où n est le nombre de traces valides (VALID=1), soit en $2700 ns$ vu que la mesure citée précédemment s'est

effectuée avec $n=2$. En tenant compte du temps de propagation des signaux, on peut même envisager un gain de 900 ns environ !

- 4) modifier le programme d'état (voir figure 4-2) de sorte à éliminer l'état "ABORT", prévu au début de l'expérience pour d'autres types d'opération qui ne concernent en aucun cas les 6 étages du trigger [18]...

On obtiendrait ainsi un autre temps T' d'occupation du Trigger Control.

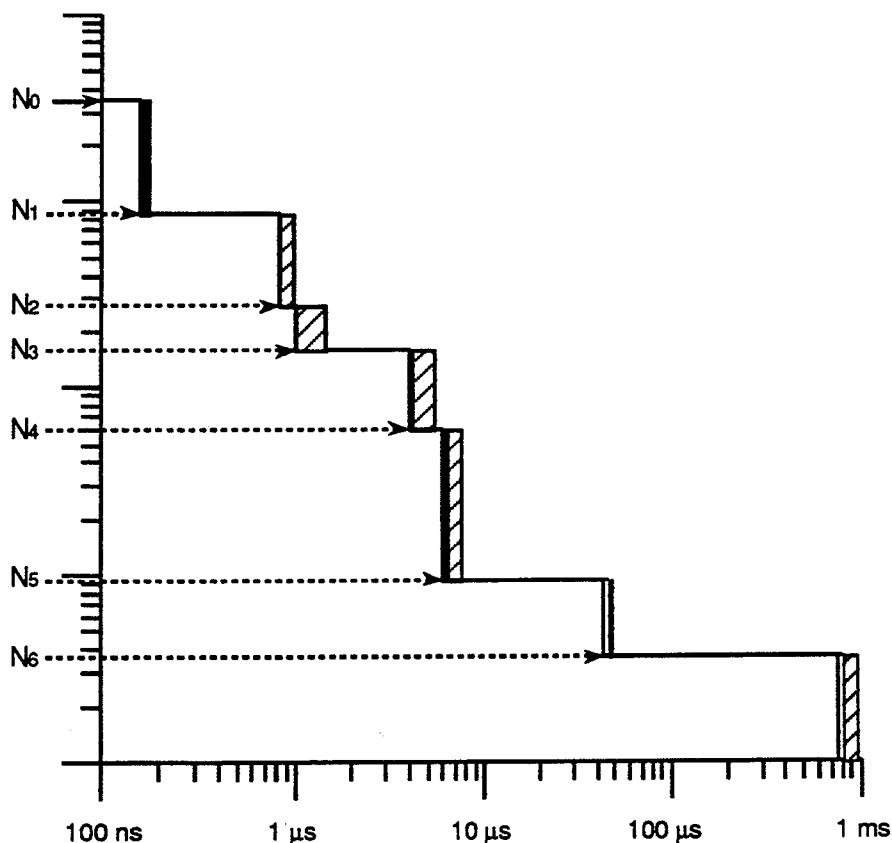


Figure 5-12 : Temps d'occupation T' du Trigger Control après les 3 améliorations constituées par un raccourcissement du temps de décision du Pt-Cut de 100 ns environ, un raccourcissement du temps d'arrivée du signal StopCK à l'entrée du Trigger Control de 900 ns environ et de l'abolition de l'état "ABORT" dans le Trigger Control.

Les zones hachurées représentent le temps gagné grâce aux 3 améliorations citées ci-dessus.

Si l'on effectue ces 3 améliorations, on peut estimer de façon empirique le nouveau taux d'acquisition (en négligeant les états "IDLE" d'une part et en postulant que chaque état "IDLE" dure 1 μ s d'autre part). Je peux donc estimer que le nouveau taux d'acquisition respectera les inégalités suivantes :

$$380 \leq E' \equiv E \times T/T' \leq 390 \text{ écritures sur cassette/seconde} \quad (5.8)$$

Les figures 4-4, 4-5 et 4-6 du paragraphe 4.2.4 s'en trouveraient du coup modifiés.

Evidemment, l'augmentation du taux d'acquisition ne modifiera en aucun cas le rapport signal/bruit des événements écrits sur cassette. Par contre, une éventuelle amélioration de la logique du trigger peut augmenter ce rapport signal/bruit et, aussi, influencer positivement (ou négativement) le taux d'acquisition.

5.3 Addenda

La possibilité de choisir un type de sélection est aussi un fait intéressant à signaler. Je n'ai abordé que deux types de sélection (T605172223 et T607163323) : j'aurais pu aussi mentionner deux types de sélection intéressants, les types T607134423 et T607144423, qui favorisent les événements où une particule neutre se désintègre à l'extérieur des chambres proportionnelles et en deçà de la chambre DC6 en deux particules chargées (aile droite des courbes d'interférence). Dans ce cas, on aurait trouvé un meilleur rapport signal/bruit, mais un taux d'acquisition plus faible dû au très grand taux de réjection de ces types de sélection.

Chapitre 6

Conclusion

Notre travail a permis la mise en oeuvre et la réalisation de plusieurs modules importants des 4 premiers étages du système de déclenchement (trigger) de l'expérience CP-LEAR : ces 4 étages, complétés par les processeurs HWP2 et HWP2.5, constituent un système permettant une reconstruction complète et rapide des événements en ligne sur laquelle une décision est prise selon l'un des 180000 types de décision disponibles. L'ensemble des processeurs du trigger de l'expérience CP-LEAR est en fonctionnement depuis l'été 1992 et a permis la prise de données massives avec des types de sélection très évolués (T605172223 ou T607163323 : environ 320000 événements considérés par seconde pour 350 événements enregistrés sur cassette par seconde !), dans d'excellentes conditions.

Déjà, une asymétrie entre le comportement du K^0 et du $\bar{K}^0$ a pu être mise en évidence dans l'expérience CP-LEAR en utilisant un type de sélection moins évolué (T433). Les résultats obtenus sont [50]:

$$|\eta_{+-}| = [2.32 \pm 0.14(\text{stat.}) \pm 0.03(\text{syst.})] \times 10^{-3}$$

$$\Phi_{+-} = 42.3^\circ \pm 4.4^\circ(\text{stat.}) \pm 0.4^\circ(\text{syst.})$$

...en bon accord avec la moyenne des résultats obtenus précédemment par les autres expériences dans le monde [3]. Mais désormais, l'expérience CP-LEAR est entrée dans sa phase de prise de données massives...

Les types de sélection choisis ont permis une étude simultanée de tous les canaux de désintégration du $K^0/\bar{K}^0$ (en 2 pions, en 3 pions et semi-leptonique) dans un intervalle de temps propre compris entre 0 et 20 τ_s . Nos outils d'analyse hors-ligne, pour le moment très sévères afin de garantir une grande pureté des données utilisées pour la mesure des courbes d'asymétrie, ont permis d'estimer le pourcentage des données correspondant à des événements "Golden" avec désintégration du kaon neutre en 2 pions chargés : entre 5 et 10%.

Cependant, deux points sont à améliorer :

- la sélection du trigger: deux améliorations vont être apportées, l'une consistant à exiger que le vertex secondaire (point de désintégration du kaon neutre) se situe à plus de 1.5 cm de l'axe du détecteur (renforcement de la décision de l'EDL [24]) et l'autre consistant à renforcer la reconnaissance des événements à 4 traces "chargées" (amélioration de HWP1-KINEMATIC [24][45]).
- la diminution du temps mort : il suffit pour cela de raccourcir les temps de décision de chaque étage du trigger dans toutes les mesures du possible. On diminuera ainsi le temps mort associé au trigger.

D'autre part, une amélioration des logiciels d'acquisition (DAQ) et le remplacement des registres de transmission des données en provenance des sous-détecteurs auront lieu dans un avenir tout proche [24]. On diminuera ainsi le temps mort associé au système d'acquisition(DAQ).

Ces deux groupes d'améliorations (trigger+DAQ) permettront de diminuer le temps mort d'environ 50%. Il s'en suivra une statistique par unité de temps environ 2 fois meilleure.

Annexe A

A 1 L'hamiltonien $H = M - i\Gamma$

Toute superposition arbitraire d'états $|K^0\rangle$ et $|\bar{K}^0\rangle$, avec des coefficients dépendant du temps, est représenté par un vecteur d'état à 2 composantes :

$$|\psi(t)\rangle = \begin{pmatrix} A(t)|K^0\rangle \\ B(t)|\bar{K}^0\rangle \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} A(t) \\ B(t) \end{pmatrix} \quad (\text{A.1})$$

D'autre part, l'hamiltonien gouvernant l'évolution de $|\psi(t)\rangle$ au cours du temps se décompose en un hamiltonien "électromagnétique et fort" et un hamiltonien "faible":

$$H = H_0 + H_{WK} \quad (\text{A.2})$$

On représente H , dans la base $|K^0\rangle, |\bar{K}^0\rangle$, par une matrice 2×2 , qui est la somme complexe de la matrice de masse M et de la matrice de désintégration Γ [1]:

$$H = M - i\Gamma = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{pmatrix} - i \begin{pmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} \end{pmatrix} \quad (\text{A.3})$$

A 2 La matrice de masse M

Les éléments de cette matrice sont :

$$M_{11} = \langle K^0 | H | K^0 \rangle + \sum_n \frac{|\langle K^0 | H | n \rangle|^2}{m_{K^0} - E_n} + \dots \quad (\text{A.4a})$$

$$M_{22} = \langle \bar{K}^0 | H | \bar{K}^0 \rangle + \sum_n \frac{|\langle \bar{K}^0 | H | n \rangle|^2}{m_{\bar{K}^0} - E_n} + \dots \quad (\text{A.4b})$$

$$M_{12} = \langle K^0 | H | \bar{K}^0 \rangle + \sum_n \frac{\langle K^0 | H | n \rangle \langle n | H | \bar{K}^0 \rangle}{m_{\bar{K}^0} - E_n} + \dots \quad (\text{A.4c})$$

$$M_{21} = \langle \bar{K}^0 | H | K^0 \rangle + \sum_n \frac{\langle \bar{K}^0 | H | n \rangle \langle n | H | K^0 \rangle}{m_{K^0} - E_n} + \dots \quad (\text{A.4d})$$

- 1) H_0 , qui est la somme des hamiltoniens électromagnétique et fort, conserve l'invariance CPT :

$$m_{K_0} := \langle K^0 | H_0 | K^0 \rangle = \langle \bar{K}^0 | H_0 | \bar{K}^0 \rangle := m_{\bar{K}_0} := m_K \quad (\text{A.5})$$

- 2) Comme les interactions électromagnétique et forte conservent l'étrangeté (les états $|K_0\rangle$ et $|\bar{K}_0\rangle$ sont les états propres de H_0), on a :

$$\langle K^0 | H_0 | \bar{K}^0 \rangle = \langle \bar{K}^0 | H_0 | K^0 \rangle = 0 \quad (\text{A.6a})$$

$$\langle K^0 | H_0 | n \rangle = \langle n | H_0 | K^0 \rangle = \langle \bar{K}^0 | H_0 | n \rangle = \langle n | H_0 | \bar{K}^0 \rangle = 0 \quad (\text{A.6b})$$

3) Comme l'interaction faible au premier ordre obéit à la règle de sélection $|\Delta S| \leq 1$, on a :

$$\langle K^0 | H_{WK} | \bar{K}^0 \rangle = \langle \bar{K}^0 | H_{WK} | K^0 \rangle = 0 \quad (A.7)$$

Les équations (A.4) deviennent donc [1] :

$$M_{11} = m_K + \langle K^0 | H_{WK} | K^0 \rangle + \sum_n \frac{|\langle K^0 | H_{WK} | n \rangle|^2}{m_{K^0} - E_n} + \dots \quad (A.8a)$$

$$M_{22} = m_K + \langle \bar{K}^0 | H_{WK} | \bar{K}^0 \rangle + \sum_n \frac{|\langle \bar{K}^0 | H_{WK} | n \rangle|^2}{m_{\bar{K}^0} - E_n} + \dots \quad (A.8b)$$

$$M_{12} = \sum_n \frac{\langle K^0 | H_{WK} | n \rangle \langle n | H_{WK} | \bar{K}^0 \rangle}{m_{\bar{K}^0} - E_n} + \dots \quad (A.8c)$$

$$M_{21} = \sum_n \frac{\langle \bar{K}^0 | H_{WK} | n \rangle \langle n | H_{WK} | K^0 \rangle}{m_{K^0} - E_n} + \dots \quad (A.8d)$$

A 3 La matrice de désintégration Γ

Les éléments de la matrice de désintégration Γ sont dérivés de l'équation qui décrit la conservation de probabilité :

$$\frac{d}{dt} \langle \psi(t) | \psi(t) \rangle + 2\pi \sum_F \rho(F) |\langle F | H | \psi(t) \rangle|^2 = 0 \quad (A.9a)$$

$$\frac{d}{dt} \langle \psi(t) | \psi(t) \rangle = -2 \langle \psi(t) | \Gamma | \psi(t) \rangle \quad (A.9b)$$

Ses éléments s'écrivent (Règle d'Or de Fermi):

$$\Gamma_{11} = \pi \sum_F \rho(F) |\langle F | H | K^0 \rangle|^2 \quad (A.10a)$$

$$\Gamma_{22} = \pi \sum_F \rho(F) |\langle F | H | \bar{K}^0 \rangle|^2 \quad (A.10b)$$

$$\Gamma_{12} = \pi \sum_F \rho(F) \langle K^0 | H | F \rangle \langle F | H | \bar{K}^0 \rangle \quad (A.10c)$$

$$\Gamma_{21} = \pi \sum_F \rho(F) \langle \bar{K}^0 | H | F \rangle \langle F | H | K^0 \rangle \quad (A.10d)$$

Comme les interactions électromagnétique et forte conservent l'étrangeté (les états $|K_0\rangle$ et $|\bar{K}_0\rangle$ sont les états propres de H_0), on a :

$$\langle K^0 | H_0 | F \rangle = \langle F | H_0 | K^0 \rangle = \langle \bar{K}^0 | H_0 | F \rangle = \langle F | H_0 | \bar{K}^0 \rangle = 0 \quad (A.11)$$

Les équations (A.10) deviennent donc [1] :

$$\Gamma_{11} = \pi \sum_F \rho(F) |\langle F | H_{WK} | K^0 \rangle|^2 \quad (\text{A.12a})$$

$$\Gamma_{22} = \pi \sum_F \rho(F) |\langle F | H_{WK} | \bar{K}^0 \rangle|^2 \quad (\text{A.12b})$$

$$\Gamma_{12} = \pi \sum_F \rho(F) \langle K^0 | H_{WK} | F \rangle \langle F | H_{WK} | \bar{K}^0 \rangle \quad (\text{A.12c})$$

$$\Gamma_{21} = \pi \sum_F \rho(F) \langle \bar{K}^0 | H_{WK} | F \rangle \langle F | H_{WK} | K^0 \rangle \quad (\text{A.12d})$$

Annexe B

B1 Taux de branchement des annihilations $p\bar{p}$ kaoniques

Voici la liste des événements intéressants par rapport à l'étude de la violation CP dans l'expérience CP-LEAR :

Annihilations "Golden" (événements "Golden") :

<u>Canal:</u>	<u>Taux de branchement :</u>
$p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$	0.0015
$p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$	0.0015
$p\bar{p} \rightarrow K^0 \bar{K}^{*0} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$	0.0005
$p\bar{p} \rightarrow K^0 \bar{K}^{*0} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$	0.0005

Ces événements ne sont intéressants que si :

- 1) le kaon primaire chargé et le pion primaire chargé sont vus par le détecteur.
- 2) les produits de désintégration du kaon neutre sont vus par le détecteur (désintégration du kaon neutre dans un intervalle de temps propre t tel que $0 \leq ct \leq 20c\tau_s$).

A noter que 2 canaux peuvent devenir purement pioniques (voire semi-leptonique) de par la désintégration du kaon neutre :

<u>Canal:</u>	<u>Taux de branchement :</u>
$p\bar{p} \rightarrow K^0 \bar{K}^{*0} \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \pi^0$	0.0005
$p\bar{p} \rightarrow K^0 \bar{K}^{*0} \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \pi^0$	0.0005

Sinon, voici la liste des événements inintéressants [48] :

Annihilations kaoniques :

<u>Canal:</u>	<u>Taux de branchement :</u>
$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^-$	0.00085
$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- \pi^0$	0.00101
$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- \eta$	0.00071
$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- \omega$	0.00267
$p\bar{p} \rightarrow K^+ \bar{K}^{*0} \pi^- / K^- \bar{K}^{*0} \pi^+$	0.00147
$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- \pi^0 / K^- K^+ \pi^0$	0.00126
$p\bar{p} \rightarrow K^+ \bar{K}^{*0} \pi^- / K^- \bar{K}^{*0} \pi^+$	0.0027
$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^-$	0.00149
$p\bar{p} \rightarrow K^0 \bar{K}^{*0}$	0.00277
$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^- \pi^0$	0.000654
$p\bar{p} \rightarrow f_1 \pi^+ \pi^-$	0.00204
$p\bar{p} \rightarrow \phi \pi^+ \pi^-$	0.00052
$p\bar{p} \rightarrow a_2^0 \pi^0$	0.00032

Certains événements ci-dessus ne sont pas purement kaoniques (réaction du genre $p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- x$). On peut extraire de cette liste 2 catégories d'événements : l'une que l'on appellera catégorie "Pseudo-Golden"(1) et l'autre qui sera vu par le détecteur comme étant purement pionique, voire semi-leptonique(2). En effet, il se peut que :

$$1) \quad p\bar{p} \rightarrow K^+ \bar{K}^0 \pi^- / K^- \bar{K}^0 \pi^+ \rightarrow K^+ \bar{K}^0 \pi^- \pi^0 / K^- \bar{K}^0 \pi^+ \pi^0$$

$$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- \pi^0 / K^- K^+ \pi^0 \rightarrow K^+ \bar{K}^0 \pi^- \pi^0 / K^- \bar{K}^0 \pi^+ \pi^0$$

$$p\bar{p} \rightarrow K^+ \bar{K}^0 \pi^- / K^- \bar{K}^0 \pi^+ \rightarrow K^+ \bar{K}^0 \pi^- \pi^0 / K^- \bar{K}^0 \pi^+ \pi^0$$

$$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \rightarrow K^+ \bar{K}^0 \pi^- \pi^0 / K^- \bar{K}^0 \pi^+ \pi^0$$

$$p\bar{p} \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \pi^+ \rightarrow K^+ \bar{K}^0 \pi^- \pi^0 / K^- \bar{K}^0 \pi^+ \pi^0$$

$$2) \quad p\bar{p} \rightarrow K^+ \bar{K}^0 \pi^- / K^- \bar{K}^0 \pi^+ \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \pi^+ \pi^- / K^0 \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$$

$$p\bar{p} \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$$

$$p\bar{p} \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \pi^+ \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \pi^0 \pi^0$$

$$p\bar{p} \rightarrow f_1 \pi^+ \pi^- \rightarrow \dots \quad [41]$$

$$p\bar{p} \rightarrow \phi \pi^+ \pi^- \rightarrow \dots \quad [41]$$

$$p\bar{p} \rightarrow a_2^0 \pi^0 \rightarrow \dots \quad [41]$$

B2 Taux de branchement des annihilations $p\bar{p}$ pioniques

Voici la liste des événements inintéressants par rapport à l'étude de la violation CP dans l'expérience CP-LEAR :

Annihilations pioniques :

<u>Canal :</u>	<u>Taux de branchement :</u>
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \rho^- / \pi^- \rho^+$	0.027
$p\bar{p} \rightarrow \pi^0 \rho^0$	0.014
$p\bar{p} \rightarrow \pi^0 \omega$	0.009
$p\bar{p} \rightarrow \rho^0 \eta$	0.006
$p\bar{p} \rightarrow \omega \eta$	0.012
$p\bar{p} \rightarrow \pi^0 f_2$	0.0043
$p\bar{p} \rightarrow \rho^0 f_2$	0.016
$p\bar{p} \rightarrow \omega f_2$	0.0337
$p\bar{p} \rightarrow \rho^0 \rho^0$	0.004
$p\bar{p} \rightarrow \rho^+ \rho^-$	0.008
$p\bar{p} \rightarrow \omega \rho^0$	0.021
$p\bar{p} \rightarrow \pi^0 a_2^0$	0.0201
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ a_2^- / \pi^- a_2^+$	0.0571
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$	0.0145
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \rho^0$	0.015
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^0 \rho^- / \pi^- \pi^0 \rho^+$	0.03
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \omega$	0.031
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta'$	0.0026
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \rho^0$	0.073
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \rho^- / \pi^+ \pi^- \pi^- \rho^+$	0.064

Canal :

Taux de branchement :

$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- \eta$	0.0072
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- \omega$	0.013
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^-$	0.00375
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	0.028
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0$	0.013
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0 \pi^0$	0.238
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0 \pi^0 \pi^0 \pi^0$	0.028
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0 \pi^0$	0.166
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0 \pi^0 \pi^0$	0.042
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^-$	0.021
$p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$	0.018

En plus, il faut tenir compte des annihilations avec des noyaux !

$N\bar{p} \rightarrow xxx$

N étant un noyaux atomique autre qu'un proton.

Ici, xxx représentent des fragments nucléaires pouvant dans certains cas simuler des kaons chargés au niveau des PIDs...

B3 La distinction des événements $p\bar{p} \rightarrow \dots$ en catégories

On distinguera 4 catégories d'événement :

- les événements purement pioniques (97.75 % des événements $p\bar{p} \rightarrow \dots$) où aucun kaon chargé n'est créé.
- les événements kaoniques (1.42 % des événements $p\bar{p} \rightarrow \dots$) où 2 kaons chargés de signe opposé sont créés.
- les événements "Pseudo-Golden" (0.45 % des événements $p\bar{p} \rightarrow \dots$) où l'on observe finalement les réactions $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0 \pi^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0 \pi^0$.
- les événements "Golden" proprement dit (0.38 % des événements $p\bar{p} \rightarrow \dots$) où l'on observe finalement les réactions $p\bar{p} \rightarrow K^+ \pi^- \bar{K}^0$ ou $p\bar{p} \rightarrow K^- \pi^+ K^0$.

Annexe C

C1 Les entrées du Trigger Control

- 1) BC-ALL : provient de la logique associée au Beam Counter et sert à déclencher par son front avant le Trigger Control lorsque le séquenceur de ce dernier est dans l'état "IDLE"(Trigger Control au repos) et qu'il n'y a pas eu d'autre front avant du signal BC-ALL durant les 90 ns précédentes. Dans ces conditions, son front avant s'effectue au temps $t = t_0 = 0$ ns, par définition, et sa durée est d'environ 40 ns (signal NIM).

Si le séquenceur du Trigger Control ne se trouve pas dans l'état "IDLE" :
 - un deuxième signal BC-ALL ralonge la FENETRE de COLLISION s'il arrive à un temps $t < 90$ ns après t_0 et induit une initialisation interne du Trigger Control (20 ns de réinitialisation et le séquenceur se retrouve dans l'état "IDLE"). Tout autre signal BC-ALL ne peut servir qu'à ralonger la FENETRE de COLLISION s'il arrive moins de 90 ns après le front avant du signal BC-ALL précédent.
 - s'il arrive à un temps $t \geq 90$ ns après t_0 , tout signal BC-ALL est ignoré
- 2) GoodPID : décision du 1^{er} étage du trigger (EDL), valide au temps $t = 80$ ns après t_0 .
- 3) GoodPt : décision du 2^{ème} étage du trigger (Pt-Cut), valide au temps $t = 460$ ns après t_0 .
- 4) GoodIDL : décision du 3^{ème} étage du trigger (IDL), valide au temps $t = 600$ ns après t_0 .
- 5) StopCK : indique que le 4^{ème} étage du trigger (HWP1) a fini de travailler. Son front avant a lieu au temps $t = 4240 + n \times 100$ ns après t_0 , où n dépend du nombre de traces. Il est également actif quand le signal d'initialisation CLEAR est actif.
- 6) GoodHWP1 : décision du 4^{ème} étage du trigger (HWP1), valide au temps $t = 3700 \text{ ns} + n \times 100$ ns après t_0 , où n dépend du nombre de traces.
- 7) GoodHWP2 : décision du 5^{ème} étage du trigger (HWP2), valide au temps $t = 6200 \text{ ns} + n \times 100$ ns après t_0 , où n dépend du nombre de traces.
- 8) Strobe2.5 : indique que le 6^{ème} étage du trigger (HWP2.5) a fini de travailler et valide son résultat. Son front avant a lieu au temps $t \approx 31.7 \mu\text{s}$ après t_0 . La largeur de l'impulsion est de 140 ns.
- 9) GoodHWP2.5 : décision du 6^{ème} étage du trigger, valide au temps $t \approx 31.7 \mu\text{s}$ après t_0 .
- 10) GLOBAL_BUSY : Possède plusieurs significations différentes :
 - un transfert de données a lieu entre les sous-détecteurs (ainsi que le SPY) vers des unités responsables de la lecture de chaque sous-détecteur ainsi que du SPY (ROOT READOUT Valet Plus VME System). Le séquenceur du Trigger Control se trouve dans l'état "READOUT" dans lequel il est maintenu grâce au signal GLOBAL_BUSY [33][49].
 - l'unité responsable de la collection des données des divers sous-détecteurs ainsi que du SPY est occupée (EVENT BUILDER) à cause d'un transfert de données des ROOT READOUT Valets vers l'EVENT BUILDER (ou, toutes les 10 secondes, d'un dialogue entre la VAX et l'EVENT BUILDER). Généralement, le séquenceur du Trigger Control se trouve alors dans l'état "ReadyR/O" dans lequel il est maintenu grâce au signal GLOBAL_BUSY [33][49].

- on veut, pour des raisons techniques, rallonger les états d'initialisation "CLEAR" ou "ABORT" (transfert des verniers lorsque le processeur HWP2.5 a donné une réponse négative [24]).

- 11) STOPTRIG : permet de désactiver le Trigger Control (contrôlé à distance par les personnes responsables de la prise des données). Lorsqu'il redevient inactif, le Trigger Control s'initialise complètement !

En plus, sont prévus :

- 12) PANIC : permet de désactiver le Trigger Control. Lorsqu'il redevient inactif, le Trigger Control s'initialise complètement !
- 13) SKIP : permet au séquenceur du Trigger Control de sauter immédiatement de l'état "Ones" (le séquenceur attend le résultat du 2^{ème} étage du trigger) ou de l'état "StrobeIDL" (le séquenceur attend le résultat du 3^{ème} étage du trigger, activant le signal StrobeIDL pendant 120 ns) à l'état "CLEAR" (le séquenceur active le signal CLEAR pendant 360 ns).
- 14) CONTINUE : si la première décision du trigger est bonne (GoodPID = 1 et COLLISION = 0), permet au Trigger Control d'ignorer toutes les autres décisions du trigger et de continuer toute séquence comme si toutes les décisions du trigger étaient bonnes.

C2 Les sorties du Trigger Control

- 1) EVENT : signale que le Trigger Control est déclenché par un signal BC-ALL. Il n'y a pas eu d'initialisation entre temps.
- 2) StrobePID : l'équivalent du signal EVENT, mais retardé de façon à ce que son front avant sauvegarde les informations S1, S2 et C provenant des PIDs (impulsions ECL de 40 ns de large environ) dans des registres (Pipe-Line Register). Autrement dit, StrobePID déclenche le 1^{er} étage du trigger : l'EDL.
- 3) StrobeFE : signale que la première décision du trigger est positive au moment de sa prise en considération (résultat de l'EDL : GoodPID=1) et qu'il n'y a pas eu plus de 1 signal BC-ALL dans un intervalle de temps de 90 ns (COLLISION = 0). StrobeFE déclenche indirectement le 2^{ème} étage du trigger : le Pt-Cut.
- 4) StrobeIDL : signale que la 2^{ème} décision du trigger est positive au moment de sa prise en considération (résultat du Pt-Cut : GoodPt=1). Le séquenceur se trouve dans l'état "StrobeIDL". StrobeIDL déclenche le 3^{ème} étage du trigger : l'IDL.
- 5) StrobeTL : signale que la 3^{ème} décision du trigger est positive au moment de sa prise en considération (résultat de l'IDL : GoodIDL=1). Le séquenceur se trouve dans l'état "StrobeTL". StrobeTL déclenche le 4^{ème} étage du trigger : HWP1.
- 6) StrobeHWP2 : signale que la 4^{ème} décision du trigger est positive au moment de sa prise en considération (résultat de HWP1 : GoodHWP1= (GoodCONF and GoodRC and GoodKIN) = 1). Le séquenceur se trouve dans l'état "StrobeHWP2". StrobeHWP2 déclenche le 5^{ème} étage du trigger : HWP2.

- 7) StrobeHWP2.5 : signale que la 5^{ème} décision du trigger est positive au moment de sa prise en considération (résultat de HWP2 : GoodHWP2=1). Le séquenceur se trouve dans l'état "StrobeHWP2.5".
StrobeHWP2.5 déclenche le 6^{ème} étage du trigger : HWP2.5.
- 8) PR/RD : signale que la 6^{ème} décision du trigger est positive au moment de sa prise en considération (résultat de HWP2.5 : GoodHWP2.5=1). Le séquenceur se trouve dans un état nommé "PR/RD" qui précède l'état "READOUT". Ce signal facilite la lecture des chambres à dérive et il n'est nullement mentionné ailleurs qu'ici.
Dans le paragraphe 4.2 (Le Trigger Control), l'état "PR/RD" est implicitement contenu dans l'état "READOUT".
- 9) SPY-MAN : signal prévu pour le SPY (système de monitoring du trigger), actif si PR/RD est actif mais se désactive dès que READOUT est actif, soit
SPYMAN = PR/RD and not(READOUT). Le séquenceur se trouve dans l'état "PR/RD".
- 10) READOUT : signal distribué à tous les sous-détecteurs, donnant l'ordre d'effectuer une acquisition. Le séquenceur se trouve dans l'état "READOUT".
- 11) ABORT : premier signal d'initialisation. Le séquenceur se trouve dans l'état "ABORT".
- 12) CLEAR : deuxième signal d'initialisation. Distribué à tous les sous-détecteurs, c'est le principal signal d'initialisation. Le séquenceur se trouve dans l'état "CLEAR".
- 13) RESET : dernier signal d'initialisation. Ne concerne que le Trigger Control, bien qu'il soit disponible sur son panneau avant. Le séquenceur se trouve dans l'état "RESET".

Annexe D

Le document ci-dessous est un mode d'emploi pour faciliter la lecture du plan d'installation des 4 premiers étages du trigger en mai 1991. Les figures 4-8, 4-12, 4-18, 4-22, 4-24, 4-32 (4-35) et 4-36 sont des extraits de ce plan. Il y a eu plusieurs versions de ce plan : les figures présentées concernent bien entendu la dernière version (mars 1992). Certains points ne correspondent plus à la toute dernière version, plus compacte et plus lisible. Cette dernière version a une dimension brute de $78 \times 133 \text{ cm}^2$ (20 feuilles A4), réduit d'un facteur 0.64 pour ne faire que $50 \times 85 \text{ cm}^2$. Le document ci-dessous date du mois de mai 1991, puis corrigé en mars 1992 [18].

COMMENT LIRE LE "PLAN" : **SYMBOLIQUE.**

Ce plan a pour but de visualiser 4 informations sur la partie du TRIGGER comprenant l'EDL, le Pt-CUT, l'IDL et HWP1 :

- 1) **La LOGIQUE**, ceci en tenant compte de l'hardware existant.
- 2) **Le NOMBRE de SLOTS UTILISES**, après avoir défini la logique conformément au point 1).
- 3) **Le CABLAGE**, afin de répartir les modules dans les crates en tenant compte de la logique (1^{er} point cité; ne pas oublier que ce plan se lit de haut en bas !) et de la consommation de chaque module (-5 V, -2V et +5 V).
- 4) **Le TIMING**, de façon à ajuster correctement la configuration des "Delays", etc.

LOGIQUE / MODULES (points 1 et 2):

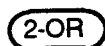
- 1) ***Ne pas confondre un slot et un module.***
Un module occupant un slot est symbolisé par une forme fermée arrondie (lignes de 0.35 mm) sans point de rebroussement, généralement du genre :



(car tous les modules, à une exception près, occupent un slot !)

Exemples :

Le module "2-OR" :



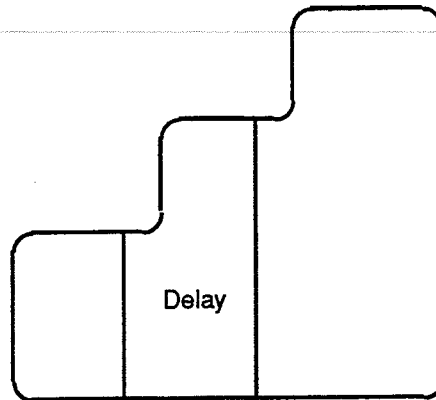
Le module "Pt-CUT":



Le module "Fanout":



Le module "Delay":



Le module "Pipe-Line Register":



Le module "Track Follower":



Le module "Config":



Exception :

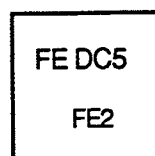
Le module "Track Launcher", qui occupe 2 slots :



- 2) ***Les rectangles (lignes de 0.35 mm) symbolisent les "front end", donc symbolisent des objets qui ne font pas physiquement partie du TRIGGER***

Exemple :

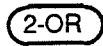
La partie de l'électronique de lecture des chambres à dérive liée à la chambre DC5:



- 3) **Le nom de chaque module est écrit à l'intérieur de la forme fermée arrondie (lignes de 0.35 mm) symbolisant le module.**

Exemples :

Le module "2-OR" :



Le module "Pt-CUT":



Exceptions :

Le module "Fanout":



Le module "Pipe-Line Register":



- 4) **Ne pas confondre un module et une unité. Certains modules possèdent plusieurs unités : pour symboliser cela, la forme représentant le module est partagée en N parties par N-1 ligne(s) verticale(s) (de 0.35 mm d'épaisseur) si le module en question possède N unités.**

Exemples :

Le module "Pt-CUT":



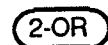
(2 unités)

Le module "Fanout":



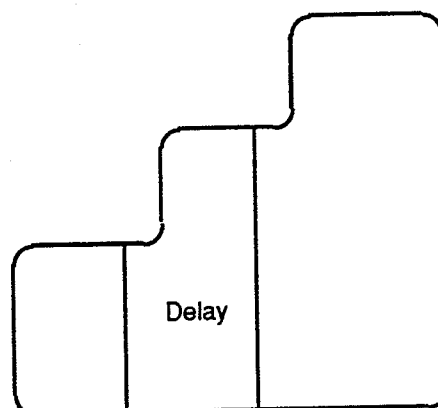
(1 unité)

Le module "2-OR" :



(1 unité)

Le module "Delay":



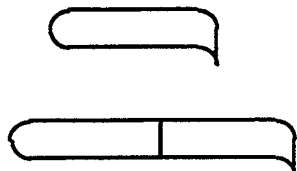
(3 unités)

Le module "Pipe-Line Register":



(2 unités)

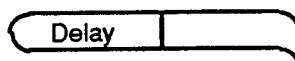
- 5) Si l'on n'utilise qu'une partie des unités d'un module, on symbolise cet état de fait par une forme du type suivant :



Dans le premier cas, on utilise une unité d'un module à N ($N > 1$) unités et dans le second cas, 2 unités d'un module à N ($N > 2$) unités. On tient compte ici du câblage (il est préférable de laisser quelques unités vides que de devoir faire des aller-retours d'un crate, voire d'un rack à l'autre avec les câbles !) !

Exemple :

On n'utilise que 2 unités du module "Delay", qui en possède 3 :



Exemple particulier :

Le module "Arithmetic on 16 bits" possède 2 unités différentes : une additive (addition BCD, addition binaire, soustraction, etc...le tout configurable par 4 bits de configuration) et une autre multiplicative. De fait, pour éviter une inflation du nombre de modules de ce type, il faudra utiliser ces derniers rationnellement. C'est la raison pour laquelle on observe dans le plan les 2 symboles suivants :



Donc un symbole de gauche et un symbole de droite signifient que l'on occupe un slot !

PASSAGE DE L'INFORMATION / CABLAGE (3) :

1) Les modules sont cablés !

Un cable transmet de l'information !

Par conséquent, les lignes de 0.35mm, 0.70mm, 1.40mm, 2.10mm ou 2.80mm représentent de l'information 1, 2, 5, 7, 8, 10, 16-17 ou 20 bits. A l'extérieur des modules (formes fermées arrondies), ces lignes représentent donc des cables !

— 0.35 mm = 1 ou 2 bits (2 ou 4 pôles).

— 0.70 mm = 5 bits (10 pôles).

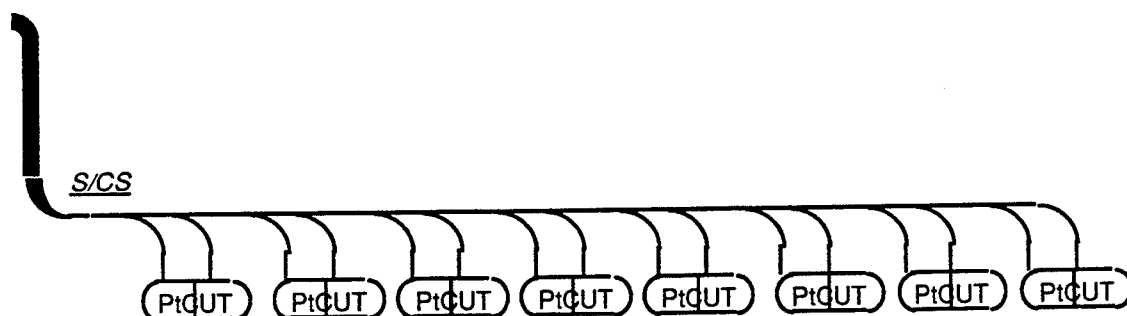
— 1.40 mm = 7,8 ou 10 bits (14,16 ou 20 pôles).

— 2.10 mm = 16 ou 17 bits (34 pôles).

— 2.80 mm = 20 bits (40 pôles).

Cas particuliers :

1) Le hit-map S/CS à l'entrée du Pt-CUT est divisé en 32, car chaque unité de module "Pt-Cut" ne traite qu'un bit. Cela est représenté de la manière suivante...



...car l'EDL fournit 2 cables 34 pôles (traits de 2.10 mm), mais le Pt-CUT nécessite 32 simples connecteurs noirs, donc reçoit 32 bits séparés (traits de 0.35 mm).

2) Pour la paramétrisation en Z, un module "Track Follower" est utilisé. Mais sa conception est basée sur un pattern de 64 bits (patterns des Chambres) et la paramétrisation en Z s'effectue avec

le pattern des Streamer Tubes (32 bits). Par conséquent, on est obligé de "splitter" les 2 câbles contenant le pattern ST de façon à connecter les entrées impaires du module "Track Follower" concerné... Cela est symbolisé comme suit :



3) Comme les connecteurs de sortie du Front End des Streamer Tubes (ST infos : réponse des Streamer Tubes à l'interrogation du "Track Follower" 9 correspondant) ne correspondent pas du tout aux connecteurs d'entrée de HWP1 ("F/O 4 Fold", puis parallèlement "LUT" et "Delay"), on a dû faire des échanges de bits, en ignorer certains, etc.(se renseigner auprès de l'inspecteur Giga-Clouzeau pour plus d'information). Cela est symbolisé comme suit :



4) Comme l'ordonnance des bits du mot Ed's word n'est pas conforme à l'entée correspondante du module "Config", on est obligé de déplacer le bit Valid sur le cable allant du module "Delay" au module "Config". C'est la raison du symbole :



- 2) *En principe, la(les) sortie(s) des modules est(sont) différente(s) que l'(les) entrée(s). Donc, un module (forme fermée arrondie en trait de 0.35 mm) n'est jamais traversé par une ligne symbolisant une information(cf. point 1 ci-dessus).*

Exceptions :

Le module "Fanout", car les sorties contiennent la même information que l'entrée :



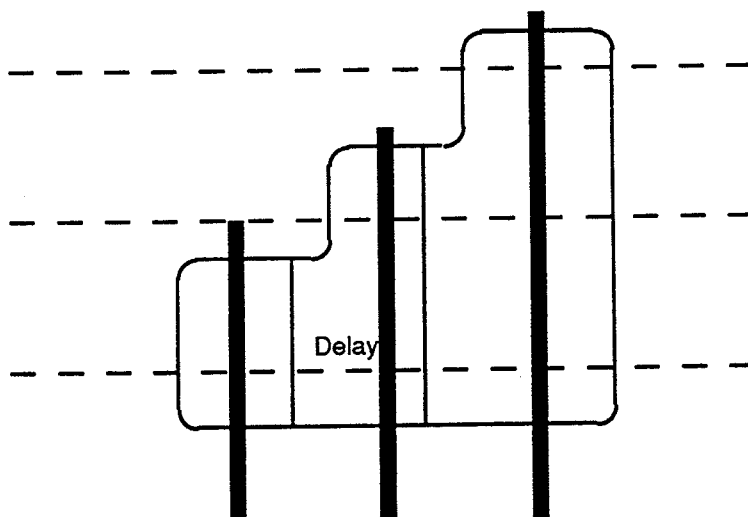
Le module "Pipe-Line Register", car après un front avant du signal "clock"(symbolisé par la droite traitillée : cf. les signaux StrobeFE,

StrobeIDL,etc.), la sortie contiendra la même information que l'entrée avant le front avant du signal "clock" :



Le module "Delay". Il possède 3 unités. Chaque unité reçoit son propre signal de déclenchement (signal SYSSCLOCK rythmant le travail du processeur HWP1) en même temps. Le but d'une unité d'un module "Delay" est de retenir une information et d'attendre N front(s) avant(s) du signal SYSSCLOCK ($0 < N < 16$) avant de libérer l'information en sortie. Dans l'exemple graphique ci-dessous:

- l'unité de gauche donne l'information d'entrée à la sortie après 1 front avant du signal SYSSCLOCK.
- l'unité du centre donne l'information d'entrée à la sortie après 2 fronts avants du signal SYSSCLOCK.
- l'unité de droite donne l'information d'entrée à la sortie après 3 fronts avants du signal SYSSCLOCK.



Le module "Track Follower" transmet au module "Track Follower" suivant (à chaque front avant du signal SYSSCLOCK) une information dont le contenu peut varier, mais dont l'architecture reste la même (cf. Track Following : bits Valid, Doubtful, Track lost, etc.). C'est pourquoi la ligne à l'intérieur du symbole du module "Track Follower" est blanche



- 3) **Les informations provenant de l'extérieur ont un nom et leur origine est écrite entre parenthèse.**

Exemple : S2 (PIDs).

Dans la mesure du possible, chaque information possède un nom !

Exemple : S/CS.

- 4) **Lorsqu'un câble est connecté à plusieurs unités (Daisy Chain) dont une se trouve dans le SPY (multiplexeurs) et que la terminaison se trouve dans une unité du TRIGGER, on symbolise cela par...**



On voit en effet qu'un module donne en sortie une information, que celle-ci part vers le SPY et qu'ensuite l'information se dirige vers une(plusieurs) unité(s) du TRIGGER.

- 5) **Lorsqu'un câble est connecté à une(plusieurs) unité(s) (Daisy Chain) et que la terminaison se trouve dans une unité du SPY (multiplexeur), on symbolise cela par...**



On voit en effet, dans cet exemple, que l'information entre dans le module ("Track Follower" ici), puis part en direction du SPY où se trouvent les terminaisons !

- 6) **Ce "plan" n'a pas la prétention d'indiquer, en cas de Daisy Chain, où doivent se trouver les terminaisons et où il faut les enlever !**

TIMING (4):

- 1) **Le Plan se lit de haut en bas !!!**
- 2) **Les informations descendent !**
- 3) **Tout signal provenant du "Trigger Control" (T.C.) ou de l'extérieur du TRIGGER (Exemple : le signal DTG provenant des Chambres à Dérive [DCs] allant vers le module "Pt-CUT CONTROLLER") est une ligne traitillée de 0.70 mm d'épaisseur (1.40 mm d'épaisseur concernant le signal CLEAR) !**
Le nom du signal, est écrit au-dessus de la ligne si ce signal provient de l'extérieur du trigger (Exemple : le signal DTG provenant des Chambres à Dérive [DCs] allant vers le module "Pt-CUT CONTROLLER")

Exemples :

Signal provenant du "Trigger Control" StrobePID :

StrobePID
- - - - - →

Signal provenant du "Trigger Control" CLEAR :

CLEAR
- - - - - →

- 4) **Tout signal allant vers le "Trigger Control" (T.C.) ou vers l'"Universal PAL" effectuant la décision de HWP1 est une ligne traitillée de 0.70 mm d'épaisseur fléchée !**
Le nom du signal est écrit au-dessus de la flèche.

Exemple :

Le signal GoodEDL délivré par le module "EDL-Decision" :

GoodEDL
← - - - - -

- 5) **Tout signal provenant du générateur du signal SY\$CLOCK (module "Dyn. P. Gen.", rythmant le travail d'HWP1) est représentée par une ligne traitillée de 0.35 mm d'épaisseur non fléchée, accompagnée à gauche et/ou à droite d'un numéro écrit sous la forme \$N. Le nombre N signifie qu'il faut N fronts avant du signal SY\$CLOCK pour amener les informations correspondant à la première "trace" lancée par le "Track Launcher" juste en-dessous de la ligne en question.**

Exemple :

Signaux SY\$CLOCK :

\$12 — — — — — — — — — \$12

- 6) **Le module "Register Control" (fin de la PARAMETRISATION) reçoit le signal SY\$CLOCK afin de le redistribuer conformément à la logique de la partie KINEMATIC ! Cela est représenté par deux lignes traitillées de 0.35 mm d'épaisseur non fléchées, accompagnée à gauche et/ou à droite d'un numéro écrit sous la forme \$N.**

Exemple :

Signaux SY\$CLOCK accompagné par des signaux en provenance du "Register Control":

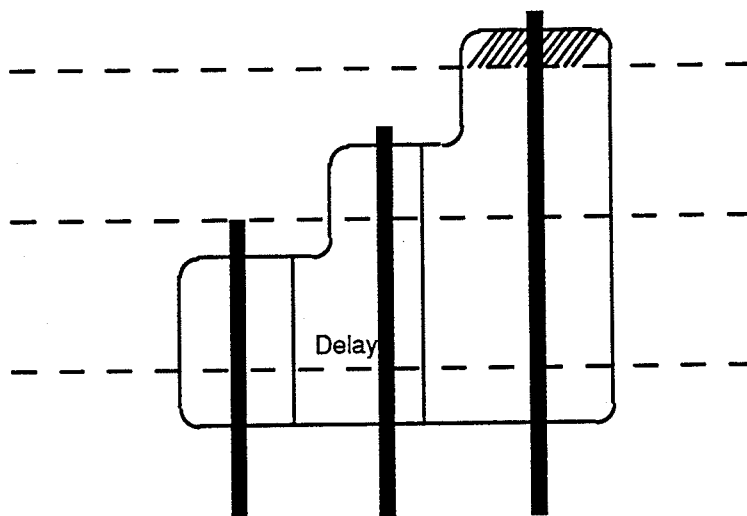
\$12 = = = = = = = = = \$12

- 7) **Lorsqu'une ligne pointillée horizontale non fléchée traverse une série de modules déclenché par un front avant (exemple : les modules "Delay" concernés par le signal SY\$CLOCK), ou pointe en direction d'un module déclenché par un front avant (exemple : les modules "Pipe-Line Register" dans l'EDL, déclenché par le signal StrobePID), cela signifie symboliquement que l'information est stoppée à cet endroit-là et doit attendre le front avant du signal en question pour être traitée plus "bas" !!!**

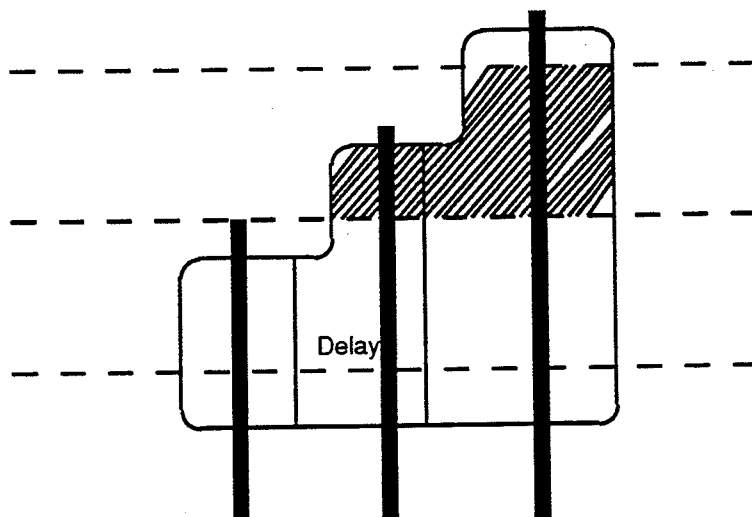
Seul le module "Pt-Controller" utilise le front arrière du signal DTG venant de l'électronique de lecture des chambres à dérive.

Exemple :

Supposons qu'une information se trouve à l'entrée d'une unité d'un module "Delay" (exemple : information de la chambre DC2 relative à la 3^{ème} trace lancée par le module "Track Launcher") :



Après un signal SYS\$CLOCK, cette information sera gardée à l'intérieur de l'unité :



Notons qu'en même temps, l'information (dans notre exemple) relative à la 3^{ème} trace lancée par le "Track Launcher", mais provenant de la chambre DC1 se trouve à l'entrée de l'unité du milieu ! Et ainsi de suite !

- 8) ***Lorsqu'une ligne pointillée horizontale traverse une ligne symbolisant un câble (intersection d'une ligne horizontale-signal avec une ligne verticale-information) hors d'une forme fermée arrondie représentant un module), cela ne signifie pas que l'information est stoppée à cet endroit-là ! L'information continue de descendre !!!***

Encore une remarque...

Il est "Méta-galactiquement" conseillé
(spécialement concernant le point 4), de lire ce
mode d'emploi en regardant le plan,et ceci
de haut en bas !!!

Annexe E

E1 Options mécanique et électronique choisies pour la construction de l'EDL, du Pt-cut, de l'IDL et de HWP1

L'électronique du trigger(ainsi que l'électronique de lecture des sous-détecteurs) se trouve directement à côté du détecteur, dans des chassis(crates) regroupés par 4 dans des baies(racks) conformément à la figure E-1 ci-dessous.

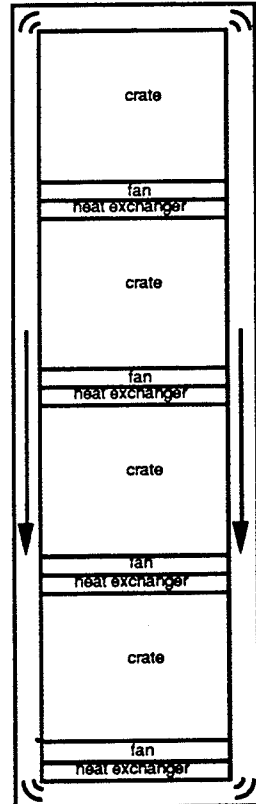


Figure E-1 : Configuration des baies [18].

En dessous de chaque chassis se trouve un échangeur de chaleur surmonté d'un système de ventilation. Les chassis ne doivent donc en aucun cas couper la circulation de l'air, celle-ci devant se situer à environ 2 m/s à 25°C compte tenu de la technologie utilisée (essentiellement 100K ECL) [18].

Les dimensions des chassis contenant le Trigger Control, l'EDL, le Pt-Cut, l'IDL et HWP1 sont conformes au standard EURO. Les cartes des modules ont ainsi une largeur de 160 mm (conforme au standard VME) et une hauteur de 366.7 mm (conforme au standard FASTBUS) : il s'agit du format CPVME [18].

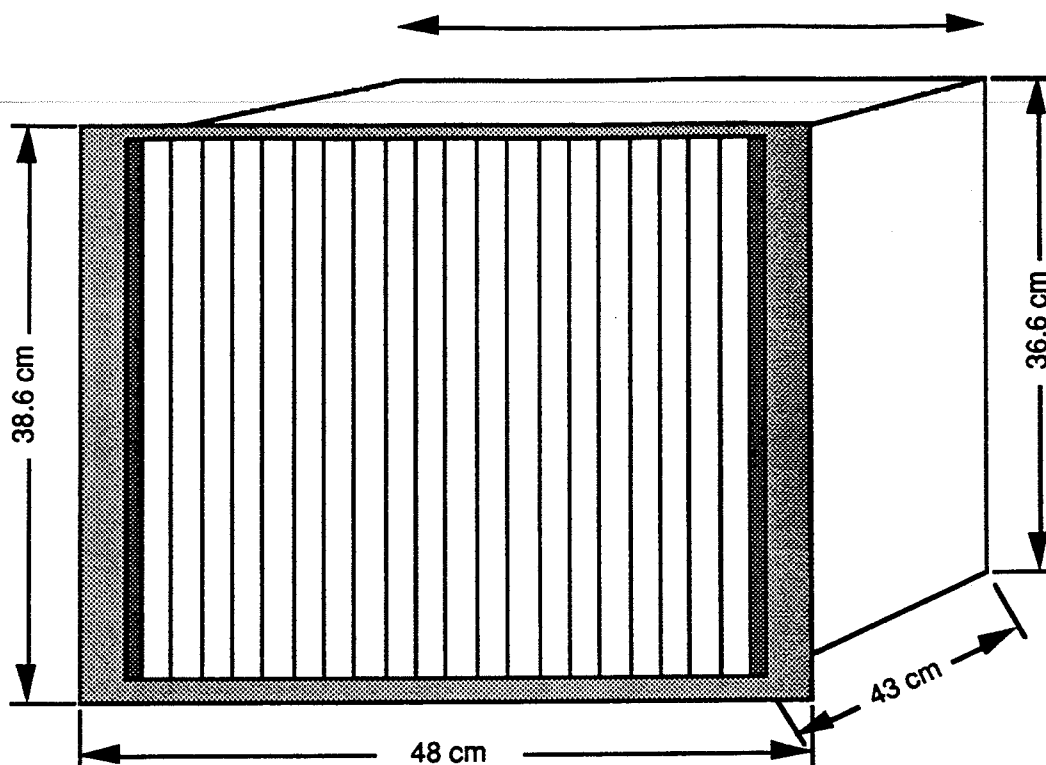


Figure E-2 : Chassis CPVME [18].

Ces chassis contiennent 20 slots (au maximum 20 modules) et sont alimentés en -5V, -2.0V et +5V. Cependant, le courant maximum que peut fournir une alimentation est de 90 A (en -5V), 60 A(en -2V) et 30A(en +5V). De fait, il est nécessaire d'en tenir compte lors de la disposition des modules dans chaque chassis. Les slots non utilisés doivent être fermés par un panneau afin d'éviter la dissipation du flux d'air de refroidissement.

La technologie utilisée est très généralement du 100K ECL [18]. Les signaux reçus et générés par les modules du trigger sont des signaux ECL différentiels (grâce aux circuits intégrés 100114), transmis le long de câbles en paires de fils torsadés au bout desquels sont ajustés soit des connecteurs "Scotchflex" 40(20), 34(17), 20(10), 16(8), 14(7) ou 10(5) pôles(bits) (Num SCEM 09.55.05.2xx.x [CERN]), soit des connecteurs simples "Scotchflex" à 2(1) pôles(bit) (Num SCEM 09.55.18.100.3 [CERN]). Il existe cependant des exceptions à cette règle :

- LORCOM est construit avec de la logique TTL (câbles 26(13) pôles(bits) transmettant des signaux en TTL-Open Collector : pôle "+"=signal, pôle "-"=GND).
- les modules "Pt-CUT" contiennent des ASICs (Application Specific Integrated Circuits) fabriqués en TTL.
- les modules "LUT", "SumPF" et "AaS" contiennent des RAMs en TTL.
- les modules "Delay" contiennent des circuits intégrés en TTL.
- le Trigger Control possède des circuits intégrés MOS(séquenceur) : même plus, il ne possède aucun circuit intégré en 100K ECL.
- certains modules "F/O-4fold" et les modules "F/O-17folds" dupliquant les signaux du Trigger Control sont construits avec des circuits intégrés ECLiPCS (ECL-in-PiCoSeconds).
- les signaux venant de la logique associée au Beam Counter sont des signaux NIM.

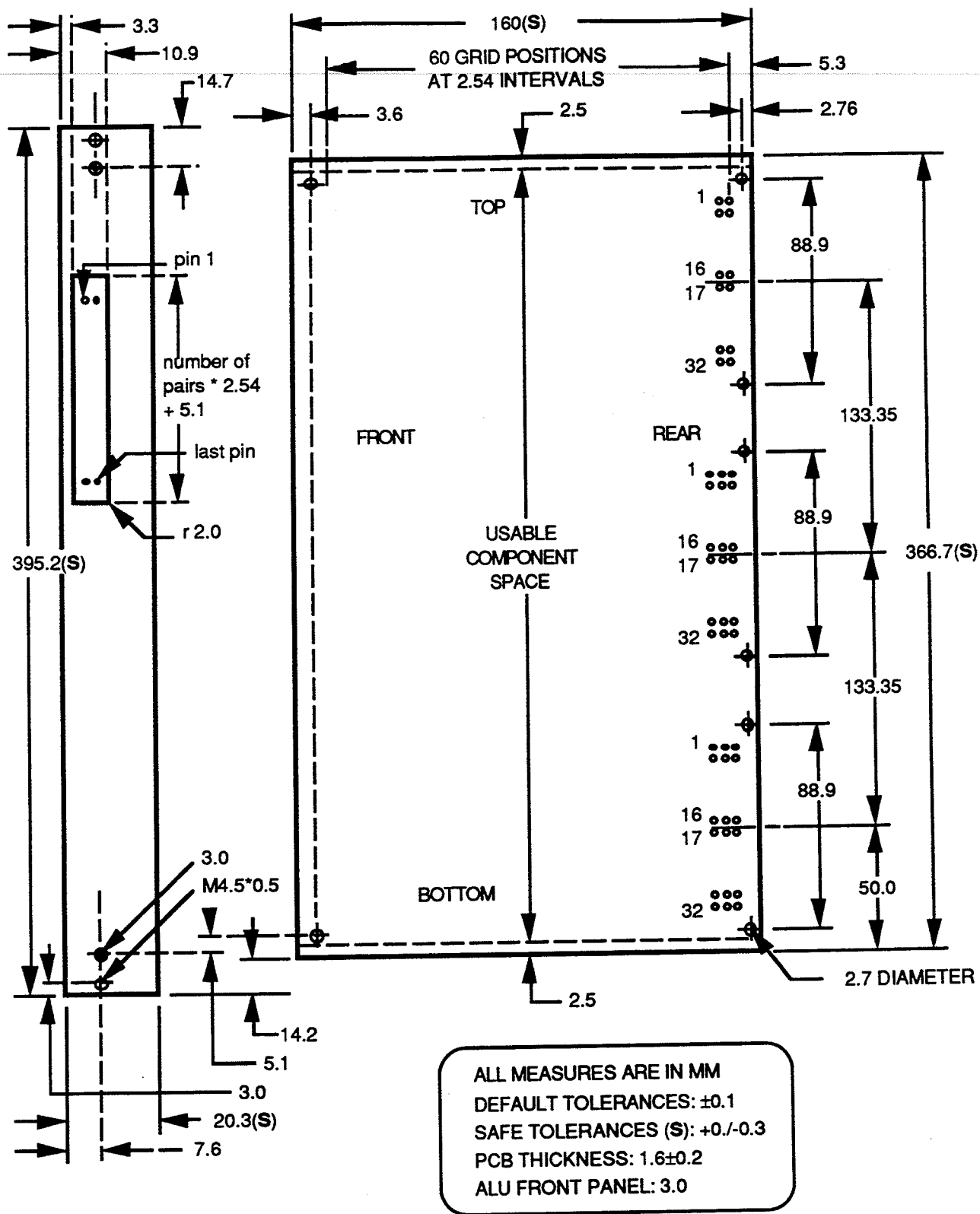


Figure E-3 : Spécifications mécaniques des cartes CPVME [18].

E2 Interface entre le plan (annexe D) et les modules

J'ai choisi de montrer un exemple d'implémentation de modules dans un chassis : la partie de la logique de l'IDL, représentée dans la figure E-4 ci-dessous (c'est une partie de la figure 4-18), répartie dans un chassis qui a pour nom "I1"(voir figure E-5).

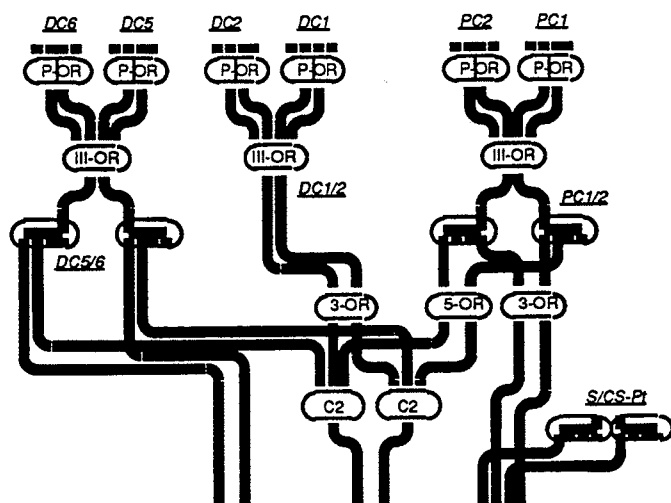


Figure E-4 : Partie de la logique de l'IDL, comprenant 20 modules (20 slots seront utilisés) répartis dans un chassis qui a pour nom "I1".

CRATE "I1" :

61.8 A / -5V.

20.3 A / -2 V.

0.0 A / +5 V.

Utilisation : 100 %

LORCOM : 0

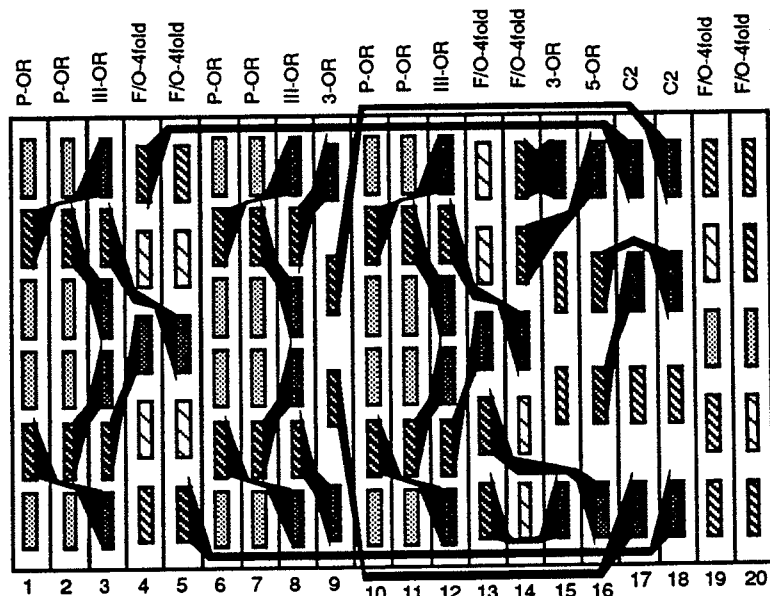


Figure E-5 : Disposition du chassis "I1" contenant la logique associée à la figure E-4. Tous les connecteurs ont 34 pôles dans cet exemple. Les entrées  et  des modules sont connectées respectivement avec une sortie d'un module se trouvant soit dans le chassis "I1" () , soit hors du chassis "I1". Les sorties  sont connectées avec une entrée se trouvant hors du chassis "I1" tandis que les sorties  ne sont pas connectées...

Cette logique consomme nominale 318.7 Watts, soit 278.1 Watt sur l'alimentation en -5V et 40.6 Watts sur l'alimentation en -2V. Comme on peut le constater, ces valeurs de consommation sont inférieures aux 3 valeurs limites de consommation imposées par la puissance de l'alimentation (par sécurité : 85% de la puissance nominale):

$$\begin{array}{llll} 278.1 \text{ W} \leq 344.25 = 85\% \times 405 \text{ W} & \Rightarrow & 61.8 \text{ A} \leq 76.5 = 85\% \times 90 \text{ A} & (-5\text{V}) \\ 40.6 \text{ W} \leq 102 = 85\% \times 120 \text{ W} & \Rightarrow & 20.3 \text{ A} \leq 51 = 85\% \times 60 \text{ A} & (-2\text{V}) \\ 0.0 \text{ W} \leq 127.5 = 85\% \times 150 \text{ W} & \Rightarrow & 0.0 \text{ A} \leq 25.5 = 85\% \times 30 \text{ A} & (+5\text{V}) \end{array}$$

Ainsi, le chassis "I1" peut contenir les 20 modules utilisés par la logique présentée dans la figure E-4 : on utilise le chassis "I1" à 100 % (20 slots utilisés/20 slots disponibles).

LORCOM=N signifie qu'il y a N adresse(s) LORCOM dans un chassis : le chassis "I1" n'en contient pas.

Sur chaque connecteur femelle "Scotchflex" ainsi que sur sa boucle anti-traction est écrite la position que ce connecteur doit occuper. Par exemple, le connecteur femelle à 34 pôles "I1/18/3" doit être branché au 3^{ème} connecteur mâle à 34 pôles en partant du haut du panneau avant du module occupant le 18^{ème} slot du chassis "I1". J'ai proposé ce protocole, adopté pour chaque type de connecteur (40, 34, 20,16,14 et 10 pôles), qui a été très pratique lors de l'implémentation du trigger. De plus, j'ai complété ce protocole par une documentation permettant de connaître l'origine et la destination de chaque câble, ainsi que de connaître l'information et le type d'information (pattern ou données transmis le long d'un pipe-line par exemple) que chaque câble véhicule. N'oublions pas que le Trigger Control, l'EDL, le Pt-cut, l'IDL et HWP1 occupent 13 chassis, remplis entre 65% et 100%, sans compter les deux chassis occupés par le SPY...

Références

- [1] E.D. Commins & P.H. Bucksbaum, Weak interactions of leptons and quarks, Cambridge University Press, Cambridge (1983), p. 244.
- [2] R. Rickenbach, The neutral kaon system, CP-LEAR Int. Rep. EP/PS195/RR/89-008 (juin 1988).
- [3] Phys. Rev. D45 (1992)S1 VII.88.
- [4] CP Violation in Particle Physics and Astrophysics, ed. J.Tran Thanh Van (Editions Frontières, Gif-sur-Yvette, 1990).
- [5] L. Adiels et al., Study of CP violation in a tagged neutral kaon beam, in The Quark Structure of Matter, eds. M. Jacob and K. Winter (World Scientific Publishing, Singapore, 1986), p. 495.
- [6] L. Adiels et al., Tests of CP violation with K^0 and $\bar{K}^0$ at LEAR, CERN/PSCC/85-6/P82 (janvier 1985).
- [7] J. Carvalho & C. Santoni, Results of an analysis of semileptonic events, CP-LEAR Int. Rep. CP/SW/041 (juillet 1992).
- [8] M. Chanel, LEAR performances, in Low Energy Antiproton Physics (LEAP 90), eds. P.Carlson, A.Kerek and S.Szilagyi (World Scientific Publishing, Singapore,1991), p.470.
- [9] M. Van De Putte et CP-LEAR collaboration, $\bar{p}$ -beam monitoring system for CP-LEAR, in IEEE transactions on nuclear science,eds. S.E.Derenzo and W.W.Moses (San Francisco USA, 1989),vol 37,No2,p.53.
- [10] R. Kreuger, communications privées (septembre 1992).
- [11] C. Bula, Isospin mass splitting of the $K^*(892)$ meson, Thèse de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich(1992).
- [12] M. Dejardin, Le détecteur central de l'expérience de violation CP auprès de l'anneau de stockage LEAR(PS195) : étude, réalisation et optimisation, Thèse de l'université de Paris 7 (1992).
- [13] M. Dogson, A new approach to measuring CP violation using K^0 and $\bar{K}^0$ mesons, Thèse de l'université de Liverpool (1990).
- [14] A. Angelopoulos et al., The CP-LEAR particle identification detector, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A311 (1992) 78-90.
- [15] R. Adler et al., Design and test of a prototype gas-sampling electromagnetic calorimeter of high granularity for the CP-LEAR experiment, in Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A321(1992) 458-466.
- [16] C. Guyot, The magnetic Field of the Modified DM2 Magnet, CP-LEAR Int. Rep. CPLEAR/MBL/001 (février 1988).
- [17] F. Bal et al., The Readout System of the CP-LEAR Electromagnetic Calorimeter, CERN/ECP/92-9 (septembre 1992).

- [18] D.A.Tröster, Custom processors,
CERN-EP/CLEAR/HWP/004 (janvier 1990).
- [19] R.Daniel et al., HWP2, HWP Int. Rep. (juillet 1990).
- [20] E.Aslanides et al., Gate arrays for parallel computing in the CP-LEAR calorimeter trigger; testability, simulation and validation, in AIP Conference Proceedings 209, eds. J. Illberg and M.Oothoudt (Santa Fe USA, 1990).
- [21] D.A.Tröster, PS195 electronics reference manual-Dataflow processor concepts, CERN-EP/PS195/DAT/88-009/ELEC-003 (septembre 1988).
- [22] C.Engster and L.v.Köningsveld, communications privées (septembre 1992).
- [23] C. Jacobs, Le "SPY" : Système de lecture et de monitoring du Processeur Hardware HWP de l'expérience CP-LEAR(PS195), CERN-EP/CLEAR/HWP/011 (mars 1991).
- [24] E. Aslanides, communications privées (octobre 1992).
- [25] E. Watson, PS195 Track follower, communication interne non encore publiée + communications privées (octobre 1992).
- [26] J.Derre, CLEAR:Trigger processor kinematics, CERN-EP/PS195/JD/88-009/ELEC-005 (décembre 1988).
- [27] P.Bloch and R.Le Gac, communications privées (novembre 1992).
- [28] J-C.Michau, Module New Configuration, communication interne non encore publiée + communications privées (mars 1992).
- [29] L. Sacks, communications privées (septembre 1992).
- [30] CP Saclay Group, HWP1, Département de Physique des Particules Élémentaires, CEA-IRF, Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay (janvier 1986).
- [31] J.Derre, communications privées (novembre 1992).
- [32] E.Machado, A Trigger Remote Control for CLEAR, CERN-EP/CLEAR/HWP/013 (mai 1991).
- [33] C.P. Bee et al., The CP-LEAR data acquisition system, VMEbus in Research, eds. C.Eck and C.Parkman (Elsevier Science Publishers B.V., North-Holland,1988).
- [34] C.P. Bee and S. Vlachos, VME Scaler Format, CERN-EP/CLEAR/ONLINE/083 (juin 1992).
- [35] P. Fassnacht and R. Le Gac, Stability and Performances of the trigger during period P21, CERN-EP/CLEAR/HWP/022 (janvier 1993).
- [36] P.Bloch, P. Fassnacht and R. Le Gac, communications privées (janvier 1993).
- [37] P.Bloch, communications privées (janvier 1993).
- [38] R. Le Gac, communications privées (janvier 1993).
- [39] P. Bloch, On pionic background rejection, CERN-EP/CLEAR/NORM/6 (février 1992).

- [40] Phys. Rev. D45 (1992)S1 II.6.
- [41] F. Pelucchi, Study of the efficiency of Cerenkov counter using the "second" kaon in $KK\pi\pi$ events, CERN-EP/PS195/FP/90-014/PHY-011 (juillet 1990).
- [42] Phys. Rev. D45 (1992)S1 III.87.
- [43] Ph. Schune and Ch. Yèche, Dependence of the K^+/K^- ratio on ϕ (azimuthal angle): a Pt-Cut effect, CERN-EP/CPLEAR/NORM.-Note I (avril 1991).
- [44] G. Athanasiu, P. Pavlopoulos and S. Vlachos, Real time pattern recognition with artificial neural networks, in Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A324(1993) p.320.
- [45] M. Mikuz and A. Filipcic, Proposal for a 4-track vertex fit in the trigger, CERN-EP/CPLEAR/HWP/021 (septembre 1992).
- [46] T. Ruf, communications privées (février 1993).
- [47] E. Aslanides et M. Fidecaro, communications privées (février 1993).
- [48] R. Rickenbach, Die Entwicklung der Cerenkovdetektor des CP-LEAR Experiments, Thèse de l'université de Bâle (1989).
- [49] D. Francis, communications privées (novembre 1992).
- [50] R. Adler et al., First determination of CP violation parameters from $K^0-\bar{K}^0$ decay asymmetry, in Physics Letters B286(1992) 180-186 (North-Holland).

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord mon directeur de thèse, le Prof. Dr. Lukas Schaller pour la grande confiance qu'il m'a témoignée et pour le soutien qu'il m'a apporté tout au long de ce travail.

Je remercie le coexamineur de cette thèse, le Prof. Dr. Ludwig Tauscher pour la bienveillance à estimer ce travail.

Je tiens à remercier également le Prof. Dr. L. Schellenberg pour son indispensable soutien logistique à la fin de ce travail.

Je remercie aussi Elie Aslanides et Panagiotis "Noullis" Pavlopoulos pour la confiance qu'ils m'ont témoignée lors des étapes cruciales de l'implémentation du système de déclenchement de l'expérience CP-LEAR...

J'envoie des immenses remerciements à Maria Fidecaro : son dévouement pour assurer le bon déroulement de ce travail a été tout simplement extraordinaire ! Et je pèse mes mots !

Aussi, une personne que je tiens particulièrement à remercier est Philippe Bloch, pour tous les services qu'il m'a rendus et les "tuyaux" qu'il m'a donnés. A lui, j'associe également Renaud Le Gac et Patrick Fassnacht. L'apport de ces 3 collaborateurs a été tel qu'ils doivent certainement cauchemarder lorsqu'ils me voient "pointer le bout de mon nez"...

Merci également à Dominik Tröster qui, au début de ma présence au CERN (et également à la fin de la sienne...), m'a prodigué une foule incroyable de conseils : mon cerveau n'a dû en digérer en tout et pour tout qu'environ 10 %... Heureusement, Jacques Derre et Lionel Sacks étaient encore là pour "colmater les trous" : c'est pourquoi je leur adresse également mes plus vifs remerciements.

Je lance aussi mes remerciements (et aussi mon admiration) au groupe des électroniciens du CERN avec qui j'ai collaboré : Edmond John "Ed" Watson, Claude Jacobs, Helmut Wendler et, surtout, Claude Engster et Lambertus "Bert" van Köningsveld. Un mot concernant ces deux fabuleux collaborateurs : ils ont été absolument extraordinaires, autant du point de vue compétence professionnelle que du point de vue relationnel. Deux tout grands Messieurs !

J'associe à ce groupe d'électroniciens les noms de Bernard Maulini, Roger Popelin et Michel Wachnik qui ont participé à l'implémentation du système de déclenchement : leur travail a été prodigieux et les contacts que j'ai eus avec eux extrêmement agréables... Dans la lancée, je remercie également Jose Carlos Da Silva avec qui j'ai étroitement (et fort agréablement) collaboré et Emanuel Machado pour les nombreux conseils pratiques qu'il m'a fournis. Je ne veux pas oublier non plus Jean-Claude Michau qui a apporté une aide non négligeable à la construction du système de déclenchement, ainsi que Denis Linget du groupe d'Orsay (merveilleux groupe !)...

Je remercie aussi notre charmante secrétaire de l'expérience CP-LEAR, Nathalie Cholley, pour son efficacité, l'aide qu'elle m'a apportée et, surtout, pour les nombreuses heures qu'elle a dû perdre à cause d'une utilisation abusive de son Macintosh de ma part. Ces heures lui seront rétribuées ultérieurement...

Cette page de remerciement serait totalement incomplète si j'omettais les remerciements que je dois à mes amis et, surtout, à mes parents qui m'ont aidé et soutenu de façon absolument époustouflante tout au long de ce travail.

A tous : MERCI !!!

Curriculum Vitae

Nom, prénom: FARAVEL Luc

Date et lieu de naissance: 31 juillet 1962 à Morges (VD, Suisse)

Adresse: 130 Chemin de la Montagne
1224 Chêne-Bougeries
Tel.: 0.22/349.06.04

Nationalité: Suisse VD

Etat civil: Célibataire

Etudes et titres obtenus:

- 1967-1969 : Ecole enfantine (Ecole Communale de Martigny).
- 1969-1975 : Ecole primaire (Ecole Communale de Martigny).
- 1975-1977 : Cycle d'orientation (Collège Sainte Marie à Martigny).
- 1977-1982 : Maturité scientifique, type C (Collège de l'Abbaye de Saint-Maurice).
- 1982-1983 : Université de Genève, faculté des sciences, section de chimie.
- 1983-1988 : Université de Genève, faculté des sciences, section de physique avec obtention du diplôme de physique (titre : "Interface entre l'ordinateur AMIGA 1000 et une branche CAMAC avec application au système de calibration du détecteur au BGO de l'expérience L3").
- 1988-1989 : Recherche d'emploi.
- 1989-1992 : Poste d'assistant diplômé à l'Institut de Physique de l'Université de Fribourg. Participation à l'expérience CP-LEAR(PS195) au CERN en vue d'écrire une thèse de doctorat, sous la direction de Prof. Dr. L. Schaller.

Langues:

- Français : langue maternelle.
- Anglais : utilisé dans le milieu professionnel.
- Allemand : connaissance scolaire.

Références:

M. Marc-André Pichard
Professeur
Grand-Rue 5
1890 St-Maurice
Tel.: 025/65.23.55

M. Pierre Extermann
Professeur ordinaire à l'Université de Genève
Rampe de Chanvant 18
1232 Confignon
Tel.: 022/757.28.22

M. Yves Pellouchoud
Réviseur comptable
Petit Vétry
74140 Chens-sur-Léman
Tel.: 0033/50.94.25.51

