

Université Paris VII

FR 9004530  
JP**THESE**

présentée par

**Del Buono Luigi**

pour obtenir

le titre de Docteur de l'Université Paris VII  
(Spécialité physique des particules)Sujet: Réalisation d'un système d'acquisition de données dans le cadre de  
l'expérience H1

Soutenue le 5 Juin 1989

devant la commission d'examen:

MM. Jean Paul	REPELLIN
Etienne	BARRELET
Franz	EISELE
Bernard	GROSSETETE
Louis	KLUBERG

**Université Paris VII**

**THESE**

présentée par

**Del Buono Luigi**

pour obtenir

le titre de Docteur de l'Université Paris VII  
(Spécialité physique des particules)

Sujet: Réalisation d'un système d'acquisition de données dans le cadre de  
l'expérience H1

Soutenue le 5 Juin 1989

devant la commission d'examen:

MM. Jean Paul	REPELLIN
Etienne	BARRELET
Franz	EISELE
Bernard	GROSSETETE
Louis	KLUBERG

## Abstract

The acquisition and trigger system for H1 liquid argon calorimeter deals with severe constraints which have to be taken into account.

We describe the system which results from these constraints, emphasizing the solutions adopted to meet the specificities of the detector and the difficult experimental conditions at HERA: high physical background ( $10^{4-5}$  Hz), physics and background events pile up (10 %), large crossing frequency of proton and electron bunches (10.4 MHz).

Next, we present a detailed description of the acquisition and online control scheme used during the calorimetry tests in SPS beam, at CERN. This test system, prefiguring the final one (which will start to work at the end of 1989), includes a fast frontal processor CAB (taking charge of the electronics read out and sequencing, and furthermore producing simple histograms). The CAB is controlled by a MicroVax computer which realizes the user interface, allowing a quick visualisation and verification of the acquired data, these functions being performed in a multitasking environment.

## Résumé

Nous exposons ici les contraintes qui pèsent sur l'acquisition et le déclenchement du calorimètre à argon liquide de l'expérience H1.

La description du système découlant de ces contraintes met en évidence les solutions qui ont été adoptées pour répondre aux caractéristiques particulières du détecteur et aux conditions expérimentales difficiles existant sur le collisionneur HERA: bruit de fond physique élevé ( $10^{4-5}$  Hz), empilement d'événements physiques et de bruit de fond dans le calorimètre (10 %), fréquence de croisement des paquets d'électrons et de protons très grande (10.4 MHz).

La suite de l'exposé décrit en détail le schéma d'acquisition et de contrôle en ligne qui est utilisé pour les tests de calorimétrie dans le faisceau du SPS, au CERN. Ce système de test, qui préfigure dans ses grandes lignes le système qui fonctionnera lors de l'expérience finale, comprend un processeur frontal rapide CAB prenant en charge d'une part la lecture et le séquençage de l'électronique, et d'autre part le calcul d'histogrammes simples. Le CAB est contrôlé par un ordinateur MicroVax assurant l'interface avec l'utilisateur et permettant une visualisation et une vérification rapide des données acquises, cela dans un environnement multitâche.

# Chapitre 1

## Introduction

L'expérience H1 aura lieu à la fin de l'année 1990, auprès de l'accélérateur de particules HERA, actuellement en cours de construction à Hambourg.

Comme la plupart des détecteurs importants de cette époque, H1 est construit dans une optique plutôt généraliste, dans le sens où il offre une polyvalence lui permettant de s'intéresser à des domaines variés de la physique des particules moderne.

L'anneau HERA étant un collisionneur électron-proton ( $30 \times 800$  GeV), l'objectif principal des expériences qu'il accueille est l'amélioration de la connaissance de la structure du proton, et, par voie de conséquence, la vérification (ou l'infirmité...) des prédictions de la théorie standard (QCD + électrofaible). HERA permet également d'atteindre des régions cinématiques favorisant la production de quarks lourds, l'étude d'une éventuelle structure des quarks ou de l'électron, la détection des nouvelles particules prédites ou non par les diverses théories actuellement concurrentes.

Cependant, avant d'en arriver là, il faut construire le détecteur, et pour cela tenir compte des spécificités de HERA; en effet, HERA est le premier anneau de collision électron-proton à haute énergie, cette originalité entraîne des contraintes et des problèmes inédits jusqu'ici. L'un des plus marquants est lié à la fréquence de rencontre des faisceaux d'électrons et des faisceaux de protons (les paquets d'électrons et de protons se croisent toutes les 96 nanosecondes) très

grande comparée à celles que l'on connaît sur les accélérateurs moins récents ou les collisionneurs électron-positron et proton-antiproton (croisement toutes les 22 microsecondes au LEP et toutes les 7 microsecondes au  $S\bar{p}\bar{p}S$ ).

Un autre point important est lié à la cinématique des collisions électron-proton: à cause de la grande différence d'impulsion entre l'électron et le proton, le référentiel du centre de masse n'est pas confondu avec le référentiel du laboratoire mais se déplace notablement dans la même direction que le proton; ceci fait que les trajectoires des particules produites lors de l'interaction se trouvent rassemblées de manière prédominante dans un cône centré autour de la direction du proton. Cette dissymétrie est inhabituelle pour les expériences sur collisionneurs, puisque jusqu'à présent ceux-ci ont produit uniquement des collisions particule-antiparticule, qui, bien sûr, sont symétriques avant-arrière du point de vue cinématique.

Tout cela fait de H1 une aventure un peu à part dans l'ensemble des grandes expériences des années 90, elle pourra réserver des surprises appréciables. Le défi qu'elle représente a su séduire l'auteur de cette thèse, puisqu'il travaille depuis deux ans au sein de l'équipe H1 du LPNHE (Paris). L'activité de ce groupe est centrée sur l'acquisition des données du sous détecteur principal de H1: le calorimètre à argon liquide.

Au cours des deux dernières années, notre groupe a fortement contribué aux différents essais en faisceau, réalisés au SPS du CERN. L'esprit de ces essais était double:

- Etudier la réponse des diverses parties du calorimètre aux particules réelles.
- Se rapprocher progressivement de la configuration de l'expérience finale en ce qui concerne l'électronique d'acquisition et le programme de contrôle en ligne.

Pour ces études en faisceau, j'ai personnellement travaillé à la conception des diverses parties du programme de contrôle (qui supervise toute la chaîne d'acquisition). Implantée sur ordinateur MicroVax et sur le microprocesseur CAB, cette configuration continuera à fonctionner pour de nouveaux essais au CERN dans le courant de l'été 1989.

Je participe également à l'élaboration du programme d'acquisition et du programme de contrôle finals pour le calorimètre à argon liquide, qui sera prêt à fonctionner en situation réelle à DESY fin 1989, avec une partie du calorimètre.

Dans la suite, je décrirai les principes et le développement de ce système d'acquisition, en insistant sur la prise en compte des contraintes dues à la physique étudiée, au bruit de fond, au détecteur, à la technique. Je parlerai également des leçons que notre équipe a pu tirer de son activité lors des essais au CERN. Dans ce but, ce rapport est séparé en deux parties principales, dont la distinction me paraît naturelle:

- Une première partie, exposant les caractéristiques du détecteur H1 et la physique concernée, en insistant sur les choix et les contraintes qu'elles imposent à l'acquisition.
- Une seconde partie, plus importante, qui décrira le système d'acquisition final du calorimètre et les différentes étapes l'ayant précédé, en faisant ressortir la manière dont les diverses contraintes sont satisfaites.

# Chapitre 2

## Présentation de l'expérience

Ce chapitre entend donner une vue d'ensemble de la situation expérimentale à HERA: caractéristiques de la machine, physique que l'on pourra voir. La seconde partie du chapitre décrit en détail le détecteur H1 et ses différentes parties, ainsi que les performances que l'on en attend. La partie finale analyse les sources de bruit de fond présentes à HERA, leur intensité est un problème important pour le détecteur et son système d'acquisition.

### 2.1 L'accélérateur HERA

HERA et les différents étages de préaccélération sont représentés sur la figure 2.1.

HERA est un anneau de collision électron (30 GeV) contre proton (820 GeV), produisant des événements asymétriques avec une énergie dans le centre de masse de  $\sqrt{s} = 314$  GeV.

Les deux faisceaux sont accélérés dans des anneaux séparés de 6.3 Km de circonférence, les protons pouvant atteindre l'énergie de 820 GeV grâce aux aimants supraconducteurs dont est équipé leur anneau. HERA produit 220 paquets d'électrons et de protons dans chaque anneau, pour une luminosité maximale de  $2 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Les trajectoires de ces paquets sont déviées pour se rencontrer (collision frontale) dans une zone de 50 cm environ autour de chacun des 4 points d'interaction prévus, provoquant des croisements ep toutes les 96 ns. Ce temps très court, on le verra, est une contrainte majeure sur la structure

des détecteurs construits pour HERA.

Après une première période de 2 à 3 ans, HERA devrait produire des faisceaux d'électrons et de positrons polarisés.

Le tableau 2.1 donne quelques chiffres intéressants concernant HERA.

Pour l'instant, aucun retard important n'est enregistré dans la construction, HERA devrait donc commencer à produire des collisions  $ep$  à la fin de l'année 1990, comme prévu. Deux collaborations travaillent actuellement à construire des détecteurs polyvalents de grande taille pour HERA: ZEUS et H1. Dans les deux cas, les prises de données débiteront fin 1990, avec les premières collisions.

Quantité	Protons	Electrons	unité
Champ magnétique	4.6	0.17	Tesla
Intervalle énergie	300-820	10-33	Gev
Longueur paquets	11	0.8	cm
Luminosité	$2.10^{31}$		$\text{cm}^{-2}/\text{s}$

Tableau 2.1: Quelques chiffres concernant HERA

## 2.2 Physique à HERA-H1

### 2.2.1 Cinématique $ep$ à HERA

La cinématique des collisions à HERA donne une morphologie inhabituelle aux événements qui y sont produits, comme l'on peut s'en rendre compte sur la figure 2.2 qui montre un cas typique (courant neutre). On voit clairement l'effet d'asymétrie sur les directions des produits de la collision dû à la différence d'impulsion entre les protons et les électrons. Sur la figure adjacente 2.3, un diagramme classique indique la correspondance, dans le cas des processus électro-faibles intervenant au premier ordre, entre les valeurs des variables standards  $x$  (fraction du moment du proton portée par le quark interagissant avec l'électron) et  $Q^2$  (masse du boson échangé), et les directions du jet électron-quark et du

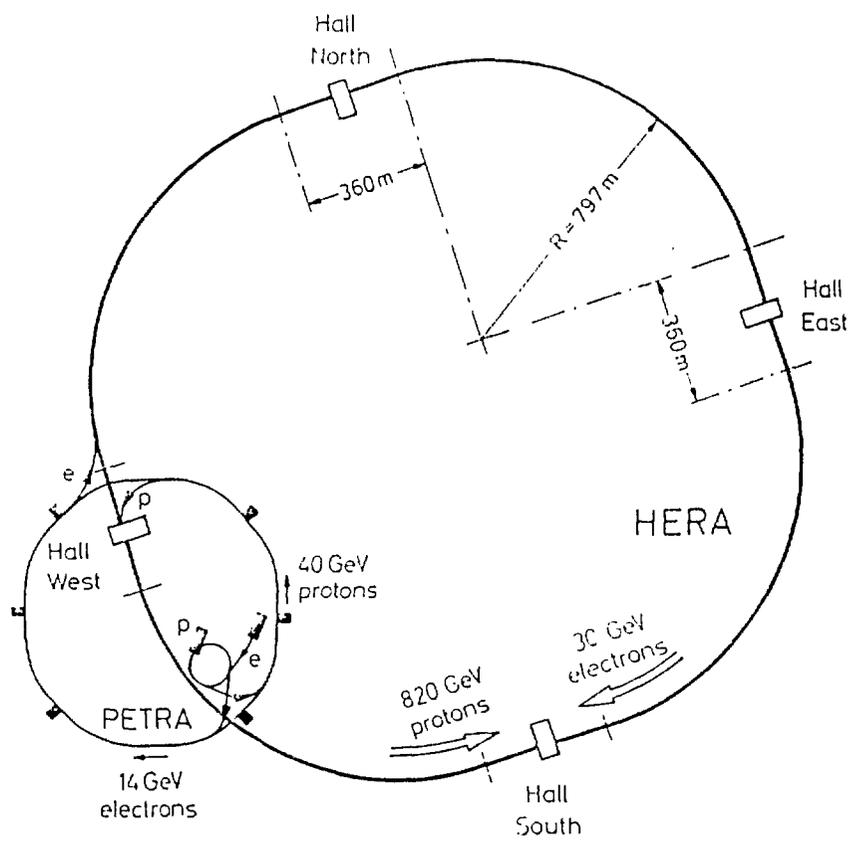


Figure 2.1: Le complexe DESY et ses accélérateurs

lepton produits.

Avec un  $Q^2$  moyen de l'ordre de 3000 GeV<sup>2</sup> (pour les courants chargés), les événements à HERA présentent une forte densité de particules produites à l'avant du détecteur (c'est à dire dans la direction de la vitesse du proton). Dans le cas typique des processus électrofaibles du premier ordre, on peut observer les particules suivantes:

- Le jet des quarks "spectateurs" du proton, produit très à l'avant dans un cône de quelques milliradians, et dont la plus grande partie s'échappe dans le tube à vide.
- Le jet produit par le quark interagissant avec l'électron, souvent à l'avant, ayant une énergie typique de quelques dizaines de GeV, et parfois beaucoup plus quand il est produit à l'avant (dans la direction du proton).
- Un lepton isolé souvent très énergétique et transversal, produit avec le jet issu de l'hadronisation des produits de la collision électron-quark.

La densité des particules dans les jets (une dizaine de particules par jet et plus, avec une séparation de quelques degrés entre celles-ci) et leur énergie importante (plusieurs GeV) impose une bonne granularité et une bonne herméticité aux détecteurs construits pour HERA, particulièrement à l'avant.

L'énergie et la direction du lepton doivent être connues avec précision, ceci implique, dans le cas des courants chargés, une excellente mesure de l'impulsion transverse manquante, donc de la direction et des impulsions des particules formant le jet électron-quark. Dans le cas des courants neutres, on mesure directement l'angle et l'énergie de l'électron produit.

### 2.2.2 Les processus physiques intervenant à HERA

Nous allons examiner rapidement les principaux processus permis par la cinématique à HERA.

La limite typique de "visibilité" d'un phénomène à HERA (10 événements par an) est atteinte pour des sections efficaces de 0.1 picobarns, car on attend en régime normal une section efficace inverse de 100 pb<sup>-1</sup> par an. Cette section efficace minimum de 0.1 pb pour les événements détectables à HERA ouvre un champ d'expérience qui est au cœur de la physique actuelle.

#### Courants neutres, courants chargés et tests QCD

Qualitativement, on sait que la section efficace des événements courant neutre produits par échange de Z<sup>0</sup> devient importante devant son équivalent

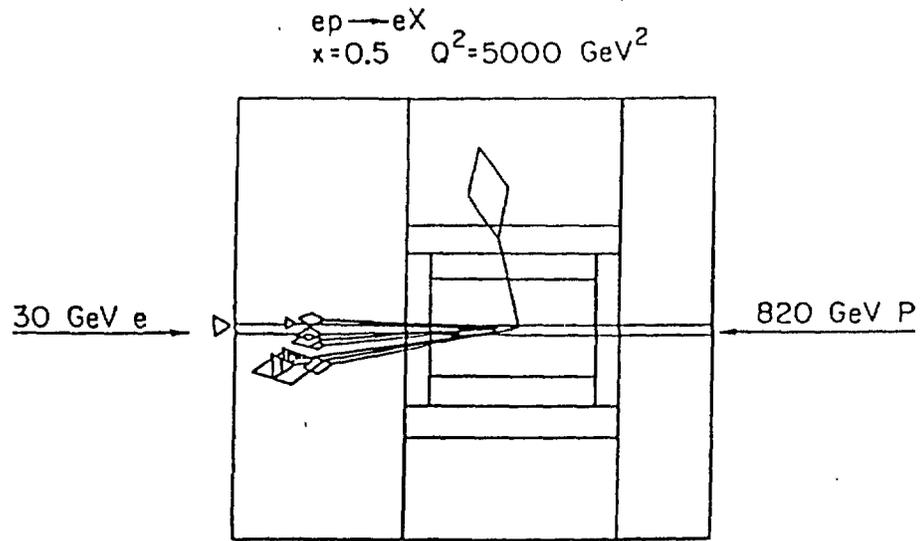


Figure 2.2: Evénement typique à HERA

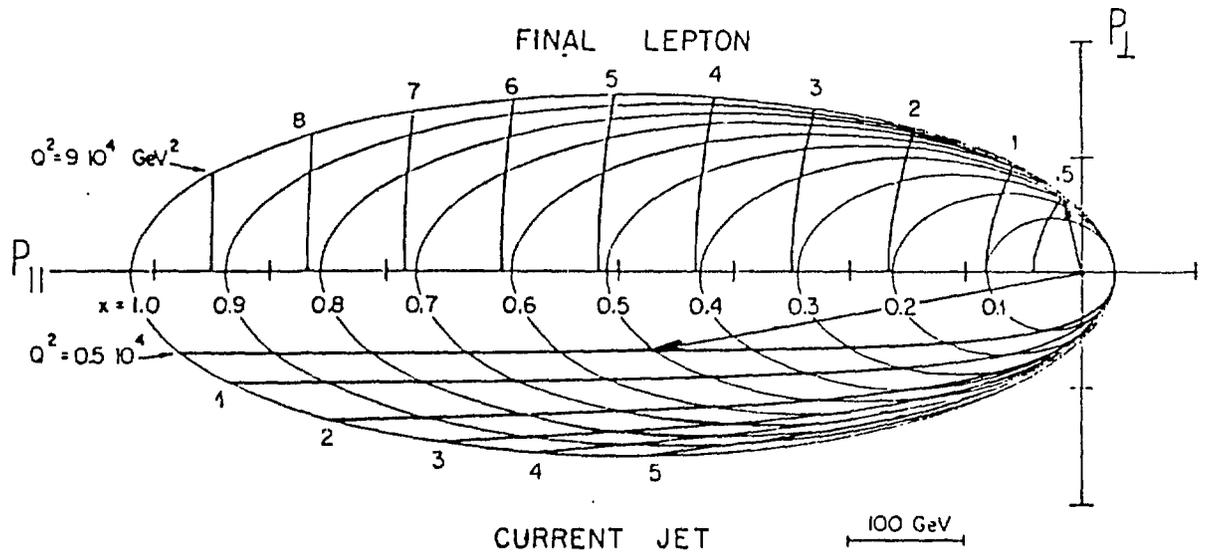


Figure 2.3: Diagramme  $(x, Q^2)$  donnant la direction et l'énergie des produits de la collision eP

purement électromagnétique (échange de  $\gamma$ ) à  $Q^2$  élevé, de même que le terme d'interférence entre les deux processus. Ceci est causé par la masse non-nulle du boson faible neutre (voir la figure 2.4, qui donne également les limites en  $Q^2$  atteintes par des machines récentes et HERA). Le même phénomène se produit pour les courants chargés: à grand  $Q^2$  les sections efficaces  $\gamma$  pur et  $W$  pur deviennent comparables.

La figure 2.5 compare les nombres d'événements obtenus par courant neutre et courant chargé pour différentes valeurs des variables habituelles  $x, y, Q^2$ , ceci pour une section efficace inverse de  $200 \text{ pb}^{-1}$ , obtenue par HERA après 2 ans de fonctionnement normal.

L'expression des sections efficaces fait intervenir les fonctions de structure des différents quarks et des gluons à l'intérieur du proton (dans le modèle des partons) [1], un des objectifs majeurs de HERA est la mesure de celles-ci avec une précision et dans des domaines en  $x$  et en  $Q^2$  jamais atteints jusqu'à présent: bonne statistique pour les événements à très petit  $x$  ( $x < 0.1$ , jusqu'à  $10^{-4}$ ) et à grand  $Q^2$  (jusqu'à  $Q^2 \approx 5 \cdot 10^4 \text{ GeV}^2$ ) [2], les expériences précédentes ont exploré une zone allant de 0 à  $300 \text{ GeV}^2$  environ, avec  $x$  supérieur à  $\approx 0.01$ . L'ouverture de ce nouveau domaine permet de tester les modèles QCD, qui prédisent le comportement de ces fonctions de structure (notamment décroissance logarithmique suivant  $Q^2$ ), les grandes valeurs de  $Q^2$  faisant intervenir les corrections QCD d'ordre plus élevé (cascades de gluons, boucles, etc...).

La mesure de la fonction de structure du gluon à petit  $x$ , encore très mal connue malgré l'importance de ses répercussions physiques, devrait permettre de lever les ambiguïtés qui règnent actuellement sur le comportement des gluons à  $x \approx 0$  (la connaissance de celui-ci est cruciale dans le calcul à haute énergie de nombreuses sections efficaces, importantes pour les processus créés dans les futurs collisionneurs).

Le comportement des fonctions de structure permet également de mesurer le paramètre d'échelle  $\Lambda_{QCD}$  qui gouverne leur évolution, avec une précision de quelques dizaines de Mev pour une valeur de  $\Lambda_{QCD}$  proche de  $200 \text{ Mev}$ .  $\Lambda_{QCD}$  peut aussi être estimé en comparant le nombre d'événements à 1, 2, ...,  $n$  jets (par exemple, au premier ordre QCD, le rapport du nombre d'événements à 2 jets au nombre d'événements à 1 jet est proportionnel à  $\alpha_s$ , ce qui permet de calculer  $\Lambda_{QCD}$ ) [3].

### Mesure des paramètres électrofaibles et boson de Higgs à HERA

HERA atteint un domaine en  $Q^2$  où les interactions électromagnétiques et faibles deviennent de grandeur comparable, autorisant des tests du modèle électrofaible, en complément des expériences du LEP.

Les paramètres principaux de la théorie –les plus intéressants pour HERA sont  $\rho$

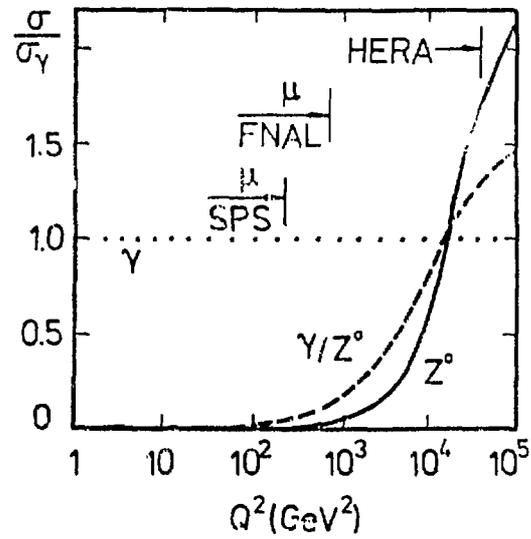


Figure 2.4: Rapport des sections efficaces  $\gamma$  pur, interférence  $\gamma/Z_0$  et  $Z_0$  pur à la section efficace  $\gamma$  pur.

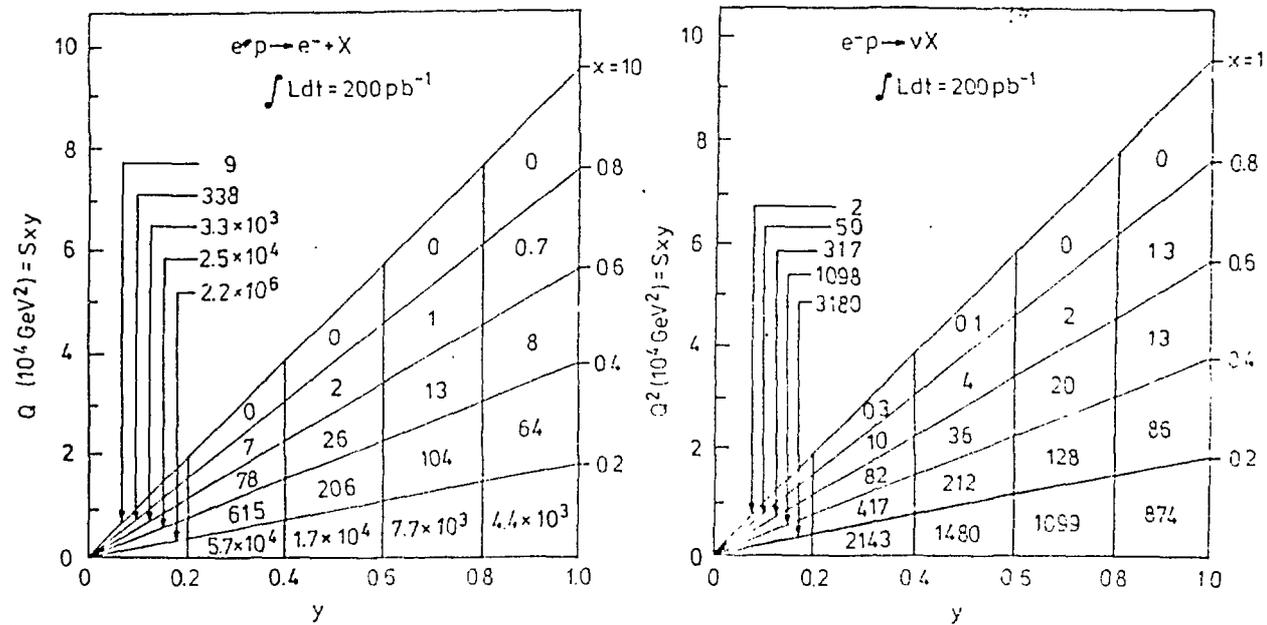


Figure 2.5: Evénements produits pour une section efficace inverse de  $200 \text{ pb}^{-1}$  par les processus courants neutres et courants chargés, suivant les valeurs de  $x, y, Q^2$

(rapport de couplage courants chargés et courants neutres) et  $\sin^2(\theta_w)$  – peuvent être estimés en faisant varier les paramètres cinématiques ( $Q^2$ ) tout en mesurant le rapport des sections efficaces courant neutre–courant chargé, l’asymétrie de la section efficace des événements courant neutre, etc... On peut ainsi arriver, par exemple, à déterminer  $\sin^2(\theta_w)$  avec une erreur statistique de 0.002, pour  $200 \text{ pb}^{-1}$ . Toutefois, ce type de mesure est altéré par la mauvaise connaissance actuelle des fonctions de structure des composants du proton, ce qui est une source d’erreur comparable en importance aux erreurs statistiques.

La situation s’améliorera dans le futur avec l’arrivée de faisceaux d’électrons (et de positrons) polarisés à HERA, ce qui facilitera les mesures d’asymétrie et la mise en évidence de courants droits éventuels (grâce à une polarisation longitudinale des électrons).

On peut également envisager d’étudier les réactions du type:  $eP \rightarrow e(\nu)W^\pm X$  et  $eP \rightarrow e(\nu)Z^0 X$ , qui mènent à la production de bosons faibles. La plus forte contribution vient des processus  $eP \rightarrow eW^\pm X$  pour une petite section efficace de l’ordre de quelques dixièmes de picobarn, la section efficace de production du  $Z^0$  étant encore plus faible. Ceci donnerait quelques dizaines d’événements par an (toujours sur une base de  $100 \text{ pb}^{-1}$ ).

La production directe et la détection de nouveaux bosons vecteurs à HERA sera très difficile ( $W'$  et  $Z'$ , limites courantes sur la masse:  $m_{W'} \gtrsim 200 \text{ GeV}$  et  $m_{Z'} \gtrsim 300 \text{ GeV}$ , celles-ci dépendant du modèle employé), les sections efficaces des processus concernés étant encore plus faibles que pour la production des  $W^\pm$  et  $Z^0$ . Cependant, si ces nouveaux couplages existent, ils provoquent des déviations dans les sections efficaces et les asymétries des processus courant neutre–courant chargé (à nouveau, l’utilisation de faisceaux d’électrons fortement polarisés est ici déterminante), ce qui donne un moyen indirect de les mettre en évidence, ou en tout cas de repousser les limites sur leur masse.

Les processus  $eP \rightarrow e(\nu)H^0 X$  (modèle standard, aux ordres les plus bas) conduisant à la production d’un boson de Higgs sont représentés sur la figure 2.6. Les mécanismes de production dominants sont ceux où le Higgs est couplé à une particule de masse élevée, donc essentiellement ceux qui font intervenir la fusion  $W^+W^-$  et  $Z^0Z^0$ ; de toute manière, la section efficace totale (comprenant tous les processus précédents) ne dépasse pas quelques centièmes de picobarns, même pour des Higgs assez légers (voir figure 2.7 la dépendance à la masse du Higgs).

Les diagrammes d’ordres plus élevés (fusion  $\gamma\gamma$ , par exemple) ne changent pas beaucoup les choses. La production de Higgs chargés dans le cadre des extensions du modèle standard est également très improbable; il faut donc conclure que la détection de Higgs à HERA est quasiment impossible [4].

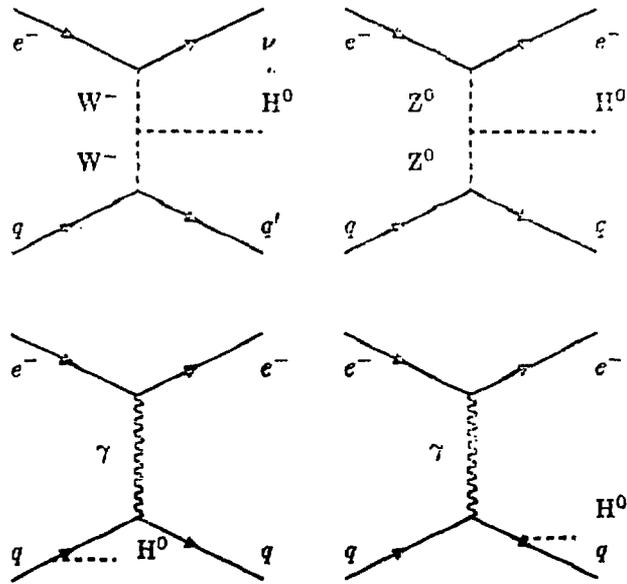


Figure 2.6: Diagrammes des processus de production du Higgs de plus bas ordre, dans le cadre du modèle standard

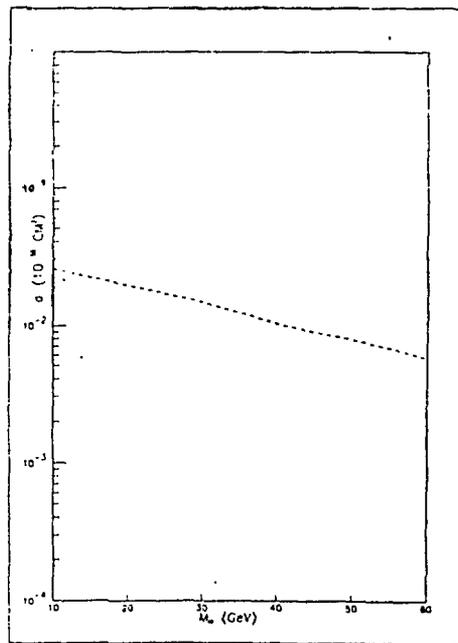


Figure 2.7: Evolution de la section efficace de production du Higgs avec sa masse hypothétique

## Physique des saveurs lourdes

La fusion boson-gluon sera à HERA une source importante de quarks lourds: paires  $c\bar{c}$ ,  $b\bar{b}$ ,  $t\bar{t}$ ; la production directe par courant chargé au premier ordre est possible également (voir diagrammes figure 2.8), mais négligeable même si l'on considère la contribution des quarks lourds dans la constitution du proton.

Le processus dominant est de loin la fusion photon-gluon pour les quarks "légers"  $c$  et  $b$  (à  $Q^2 \approx 0$ : l'électron n'est pas détecté car perdu dans le tube à vide), tandis que pour les quarks plus massifs (top) il faut tenir compte de la production par  $W^\pm$  (voir sections efficaces figure 2.10) qui devient même prépondérante si le top a une masse assez élevée [5].

Les sections efficaces de ces processus sont telles que l'on pense produire à HERA, pour une section efficace inverse de  $100 \text{ pb}^{-1}$ , environ  $10^8$  quarks  $c$  ( $\sigma(eP \rightarrow cX) \approx 1 \mu\text{b}$ ),  $8 \cdot 10^5$  quarks  $b$  ( $\sigma(eP \rightarrow bX) \approx 8 \text{ nb}$ ), et une dizaine de quarks top ( $\sigma(eP \rightarrow tX) \approx 0.13 \text{ pb}$ , pour  $m_t = 60 \text{ GeV}$ ).

Les quarks lourds sont produits à l'avant, leur hadronisation forme des jets à forte multiplicité (20–30), assez "ouverts" (surtout pour le quark top, voir figure 2.9); les quarks légers forment des jets plus resserrés, étant donné la moins grande énergie disponible (corrélation impulsion transverse / masse des quarks). L'énergie de ces jets croît avec la masse des quarks mis en jeu.

S'il est possible de détecter et de signer avec une bonne efficacité ces événements, ces chiffres ouvrent des perspectives intéressantes: recherche du top jusqu'à  $m_t \approx 80 \text{ GeV}$  [6], mesure des éléments de la matrice de Kobayashi-Maskawa (et surtout  $|V_{bu}|$ , à travers la désintégration du quark  $b$ ), tests QCD (fonction de structure du gluon), oscillations  $B\bar{B}$ , etc...

## Tests des nouvelles théories et nouvelle physique

Le domaine cinématique ouvert à HERA permet de mettre à l'épreuve, de manière directe ou indirecte, les diverses théories prétendant succéder au modèle standard (GUT, SUSY, supercordes, technicouleur, sous-structure des quarks et des leptons, etc...). Nous passons rapidement en revue les phénomènes par lesquels elles pourraient se manifester [7]:

- Termes de contact ou sous structure de l'électron et/ou des quarks (faisant intervenir le paramètre d'échelle  $\Lambda_c$ ): grâce aux déviations par rapport à la section efficace modèle standard des processus  $eP \rightarrow eX$ , HERA peut voir des effets jusqu'à des valeurs de  $\Lambda_c$  entre 4 et 7 TeV pour des faisceaux d'électrons non polarisés, et jusqu'à 5–8 TeV pour des faisceaux polarisés (polarisation longitudinale  $\approx 80\%$ ) permettant de mesurer les asymétries droite-gauche, de charge, etc... Suivant le type de couplage considéré, les expériences récentes donnent  $\Lambda_c > 2\text{--}4 \text{ TeV}$ . HERA ne crée donc pas de révolution dans ce domaine.

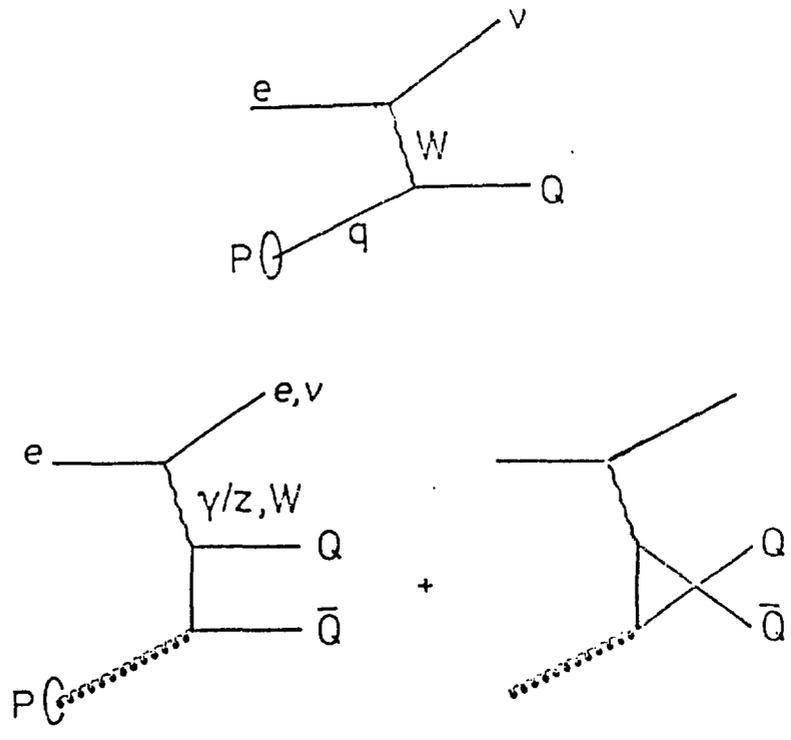


Figure 2.8: Diagrammes des processus menant à la production de quarks lourds

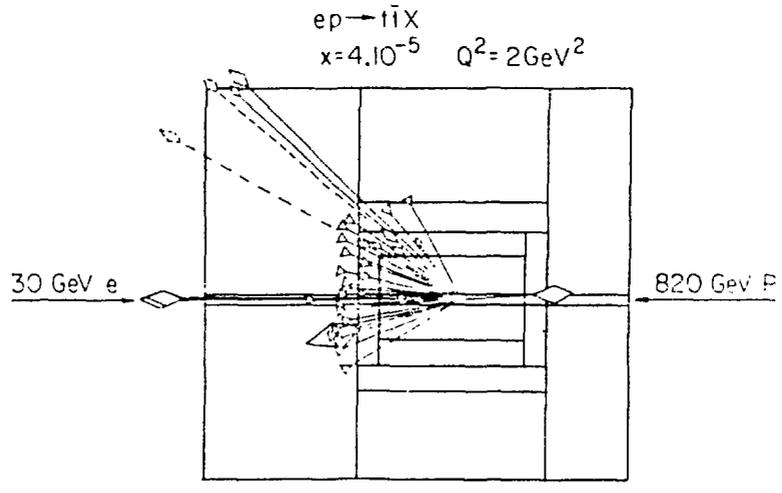


Figure 2.9: Un événement typique  $t\bar{t}$  pour  $m_t = 40 \text{ GeV}$

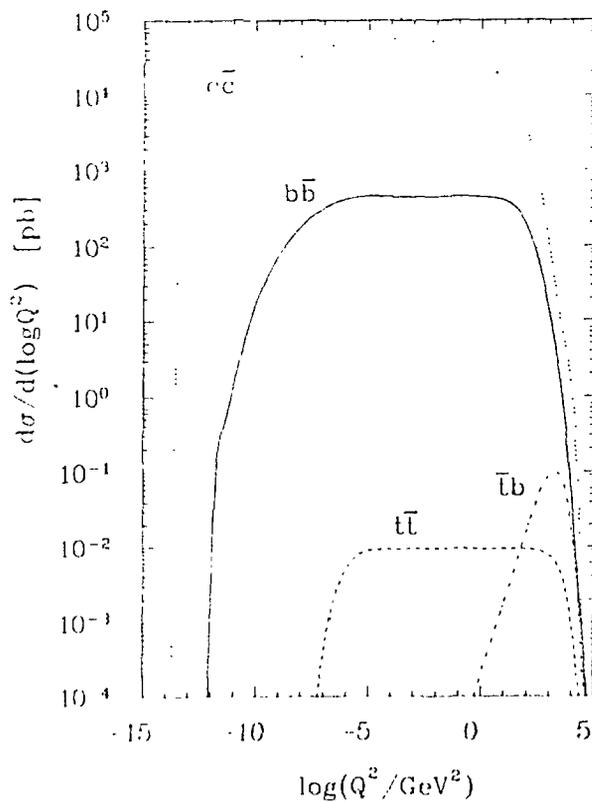
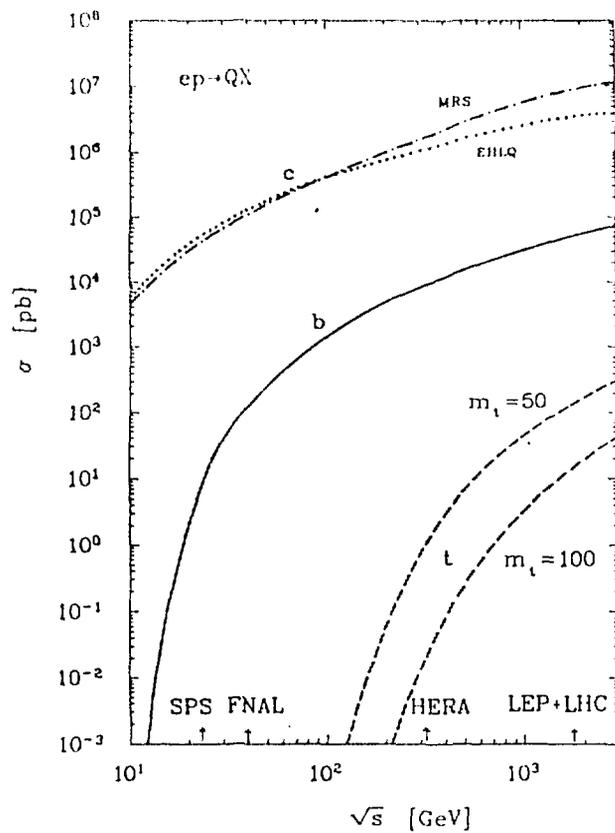


Figure 2.10: Sections efficaces inclusives de production des quarks lourds en fonction de l'énergie dans le centre de masse et de  $\text{Log}(Q^2)$

- **Leptoquarks et leptogluons:** HERA, en tant que collisionneur électron-quark, est bien adapté à la production de particules ayant des nombres quantiques leptoniques et hadroniques non nuls. Un leptoquark scalaire  $S$ , par exemple, produirait une signature très claire en tant que résonance dans la réaction  $e q \rightarrow S \rightarrow e q$ , et cela avec une bonne statistique de production (plusieurs milliers d'événements par an). HERA devrait être capable de repousser les limites sur les masses de particules de ce type jusqu'à 300 GeV environ, la théorie (technicouleur, supercordes) prévoit des masses de l'ordre de 160 GeV. La production directe de leptoquarks ( $e P \rightarrow (LQ) X$ ) est beaucoup moins probable, on prévoit seulement quelques événements par an, difficiles à signer.
- **Electrons excités ( $e^*$ ):** la réaction de production élastique  $e P \rightarrow e^* P$  est facile à signer, la désintégration de l'électron excité produit un photon et un électron à grand angle l'un de l'autre, et aucune autre trace dans le détecteur... Pour ce genre de mécanismes de production, pour une masse  $e^*$  de l'ordre de 200 GeV et pour  $\Lambda_c = 1$  TeV, on prévoit  $\approx 10$  événements par an [8].
- **Particules supersymétriques:** la section efficace des réactions les plus intéressantes à HERA dans ce domaine, du type  $e P \rightarrow \tilde{e} \tilde{q} X$  dépend dans une bonne mesure de la somme des masses du squark et du sélectron produits. La limite courante donne  $m_{\tilde{e}} + m_{\tilde{q}} > 85$  GeV, pour cette valeur la section efficace de telles réactions est de l'ordre de quelques picobarns. HERA pourra prouver l'existence de squarks et de sélectrons si  $m_{\tilde{e}} + m_{\tilde{q}} < 180$  GeV.

## 2.3 Le détecteur H1

Les caractéristiques principales de H1, qui découlent des choix initiaux faits pour ce détecteur, sont les suivantes:

- Très bonne mesure des électrons produits, isolés ou non, dans toutes les zones du détecteur (avec un effort particulier à l'avant), grâce à la résolution spatiale et énergétique élevée du calorimètre électromagnétique, complétement par la détection de traces. La bonne résolution est permise par l'utilisation d'un calorimètre à argon liquide, avec lequel il est facile d'avoir une bonne segmentation.  
Ceci reflète directement la volonté de bien mesurer les événements DIS courant neutre, importants pour la connaissance des fonctions de structure.
- Bonne granularité et bonne herméticité du calorimètre hadronique pour la résolution des jets, l'identification des particules restant à la charge du détecteur de traces; l'herméticité est garantie par un "détecteur de fin de gerbe" situé à l'arrière du calorimètre hadronique. Ce calorimètre n'effectue pas de compensation, mais la résolution en énergie reste à la limite des performances que l'on peut atteindre grâce à ce type de calorimètre.
- Stabilité de la réponse temporelle du détecteur, grâce au choix de la technique de calorimétrie à argon liquide: pas de vieillissement des matériaux, pas de dégradation de l'appareillage due au passage des particules. Ceci garantit une mesure cohérente des phénomènes rares et évite d'avoir à faire des calibrations *absolues* périodiques pour la calorimétrie.

La philosophie suivie par la collaboration ZEUS est différente [9], les efforts portant particulièrement sur une bonne mesure des jets hadroniques, ce qui se traduit notamment par l'utilisation d'un calorimètre Uranium-scintillateur *compensé* possédant une meilleure résolution en énergie hadronique que le calorimètre de H1. La contrepartie de ce choix est la difficulté d'avoir une bonne résolution spatiale (elle est beaucoup plus grossière que pour le calorimètre à argon liquide de H1), ce qui a des effets négatifs, surtout sur la mesure des leptons produits (et particulièrement sur ceux qui se trouvent dans les jets), et laisse reposer l'identification individuelle des particules presque entièrement sur le système de détection de traces.

Une autre conséquence importante des choix calorimétriques de ZEUS est la nécessité de limiter le champ magnétique dans lequel sont plongés les PM de lecture du calorimètre, ce qui impose une bobine *centrale*, entourant uniquement le détecteur de traces, contrairement à H1, où la bobine beaucoup plus large

entoure complètement les chambres centrales et le calorimètre. Cela a deux conséquences pour ZEUS: meilleure résolution sur l'impulsion des traces (grâce au champ plus fort), mais épaisseur de matière morte plus importante devant le calorimètre, ce qui dégrade ses performances. Cela dit, ZEUS a des qualités certaines, les plus marquantes par rapport à H1 étant l'excellente couverture et instrumentation à l'arrière (événements à bas  $x$  et bas  $Q^2$ ), et la présence d'un détecteur de vertex spécialisé près de l'axe des faisceaux.

Nous décrivons maintenant la structure et les différents éléments qui forment H1.

### 2.3.1 Structure globale de H1

Les figures 2.11 et 2.12 représentent l'ensemble du détecteur en coupe longitudinale (le long du faisceau) et transversale.

Les composants principaux de H1 sont les suivants:

- Un système de détection de traces, séparé en partie "avant" et partie "arrière" (1 et 2 sur les figures), comprenant une série de chambres à fils et de chambres à dérive. La partie avant comporte un détecteur à radiation de transition utilisé pour la discrimination  $e-\pi$ . Il n'y a pas pour l'instant de détecteur de vertex prévu.
- Le calorimètre "froid", constitué par des plaques d'acier et de plomb plongées dans l'argon liquide. Il comprend une partie électromagnétique (3) et une partie hadronique (4). L'ensemble est réfrigéré à  $-180$  °C dans un cryostat spécial. Ce calorimètre n'est pas "compensé" (contrairement à son équivalent dans ZEUS).
- Deux calorimètres "chauds", l'un (10) à l'avant (Cuivre + diodes silicone) et l'autre (5) à l'arrière (Plomb + scintillateurs), complétant la couverture angulaire du calorimètre froid.
- Une bobine supraconductrice (6), de type DELPHI, produisant un champ longitudinal homogène de 1.2 Tesla dans la partie centrale. Un aimant de compensation (11) est nécessaire pour conserver la circulation du champ magnétique nulle sur le trajet du faisceau.
- Un détecteur de muons constitué de plaques de fer (7) instrumenté (tubes à dérive intercalés entre les plaques), et d'un ensemble de chambres à muons (9). L'avant du détecteur est couvert par un spectromètre à muon (8) entouré de chambres à dérive. Le fer sert également de détecteur de fin de gerbe pour le calorimètre et de retour pour le flux du champ magnétique central.

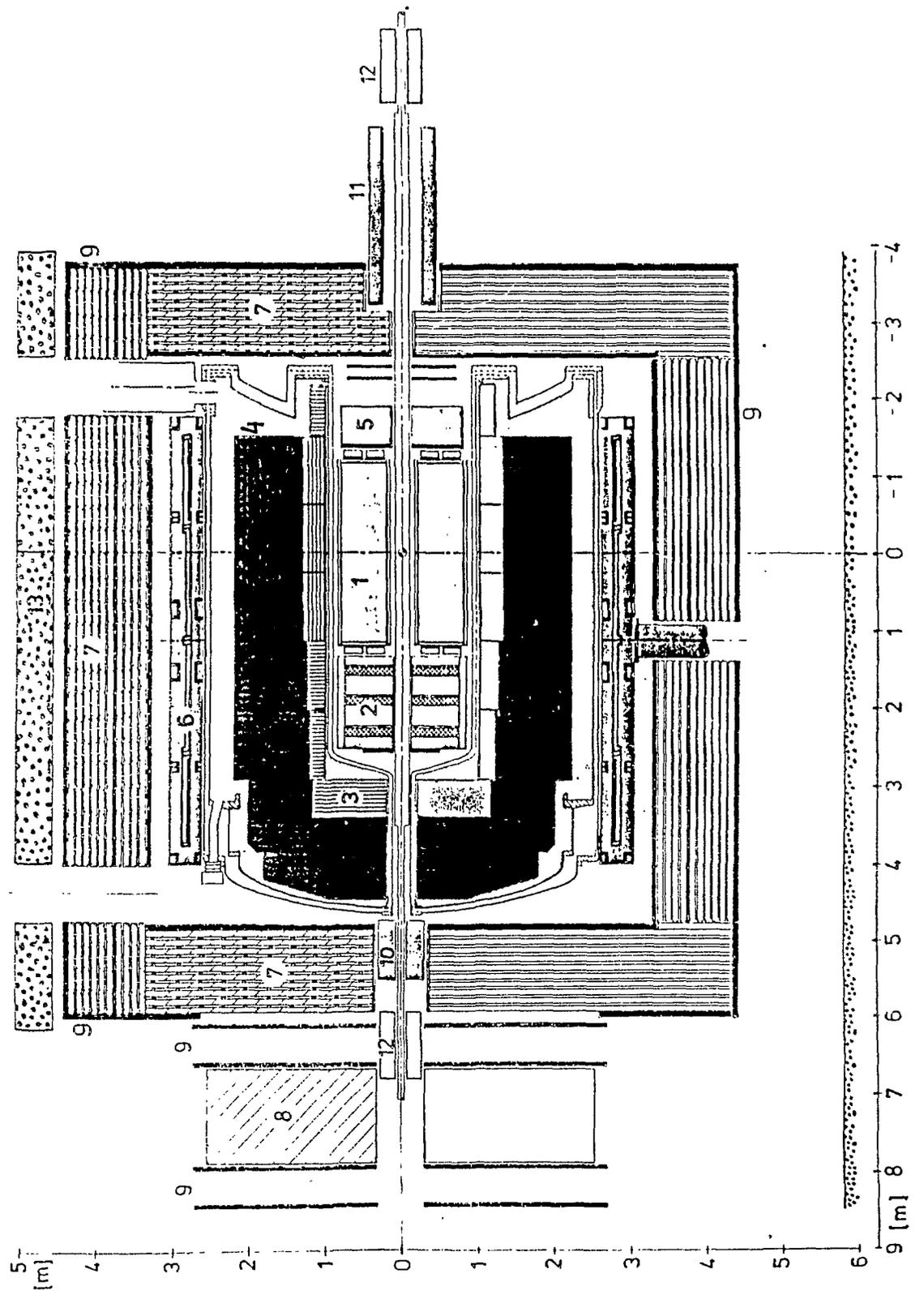


Figure 2.11: Le détecteur H1 vu en coupe longitudinale

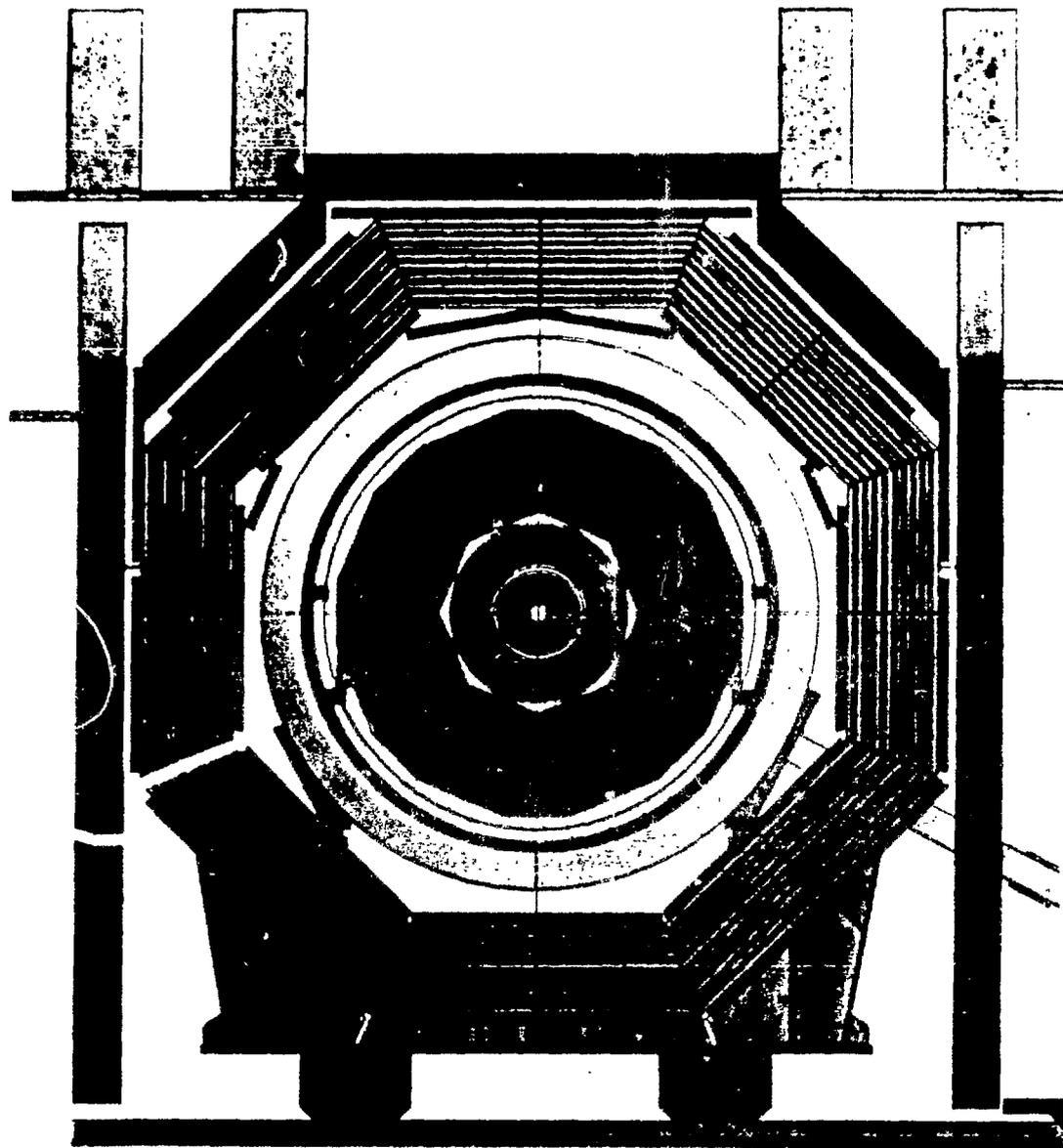


Figure 2.12: Le détecteur H1 vu en coupe transversale

- A l'avant et à l'arrière du détecteur, une série de scintillateurs proches du tube à vide, destinés à mesurer des temps de vol.
- Un moniteur de luminosité formé par deux compteurs Cerenkov étiquetant les électrons du faisceau déviés à petit angle ( $\theta < 1$  mrad) en détectant les photons émis par rayonnement synchrotron, toujours à petit angle (réaction  $eP \rightarrow eP\gamma$ ). Ce système sera utilisé également pour améliorer la détection des événements à bas  $Q^2$ .

La fréquence des coïncidences  $e\gamma$  est estimée à  $\approx 30$  KHz. Ce détecteur fournit une estimation rapide mais grossière de la luminosité; pour arriver à une meilleure précision il faut faire intervenir des réactions à plus faible section efficace, détectées grâce à l'ensemble H1 lui-même, on peut alors atteindre  $\approx 10\%$  en précision sur la calibration absolue de la luminosité.

H1 se présente ainsi comme trois ensembles distincts de détection que les particules traversent successivement, les deux premiers étant plongés dans le champ magnétique produit par la bobine supraconductrice:

- La partie centrale (la plus proche du point d'interaction), dont le rôle est de mesurer l'impulsion et la direction des particules chargées (ainsi que le signe de leur charge) directement après leur production.
- La partie intermédiaire "calorimétrie", dont l'élément principal est le calorimètre à argon liquide. Elle est chargée de mesurer l'énergie des particules (neutres et chargées) et leur direction jusqu'à des valeurs élevées d'impulsion.
- La partie externe, qui n'est pas soumise directement au champ magnétique, destinée à mesurer la direction ainsi que l'impulsion des muons sortant du détecteur, en plus du rôle qu'elle joue en tant qu'absorbeur de fin de gerbe.

La figure 2.11 donne une idée de l'asymétrie entre partie avant (direction des protons) et partie arrière du détecteur, l'avant étant systématiquement plus instrumenté: meilleure herméticité et granularité du calorimètre, détecteur de muons supplémentaire, ensemble de détection de traces plus sophistiqué, etc...

Nous passons maintenant rapidement en revue les différents sous-détecteurs de H1.

### 2.3.2 Le détecteur de traces

La figure 2.13 nous montre la structure de cette partie du détecteur; il comprend une partie avant, centrale, et arrière.

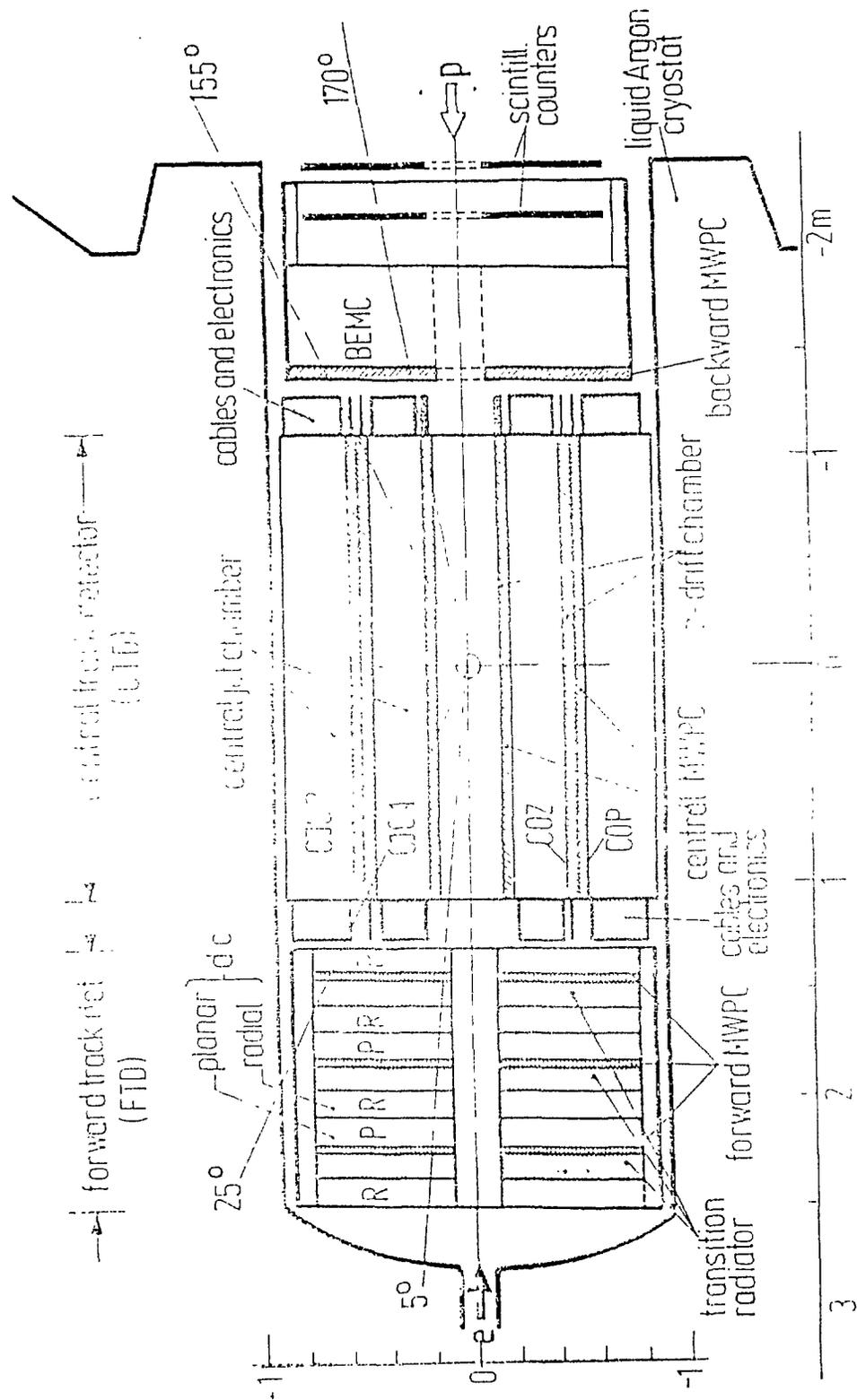


Figure 2.13: Le détecteur de traces H1 vu en coupe longitudinale

## Le détecteur de traces central

Il est constitué par (voir coupe transversale figure 2.14):

- Une chambre à dérive centrale (CJC) de type JADE, dont les fonctions sont triples: mesurer les quantités  $r\phi$  pour une particule avec précision ( $\approx 100 \mu\text{m}$ , ce qui donne  $\delta p/p^2 \approx 0.3 \%$   $\text{GeV}^{-1}$ ), donner une évaluation de la coordonnée  $z$  (précision  $\approx 24 \text{ mm}$ ), et mesurer la perte d'énergie linéaire ( $dE/dx$  estimé avec une précision de 6%). Cette chambre est en fait divisée en deux parties concentriques CJC1 et CJC2 (pour garder un temps de dérive raisonnable) couvrant la zone  $30^\circ < \theta < 150^\circ$ , qui contiennent chacune plusieurs milliers de fils parallèles à l'axe du faisceau. Les fils sont organisés en plans orientés à 30 degrés de la direction radiale, la distance entre les fils selon ces plans radiaux étant de 5 mm. Avec un système de ce type on a typiquement des temps de dérive de l'ordre de 1.5  $\mu\text{s}$ , pour des champs de  $\approx 1 \text{ Kv/cm}$  (avec un mélange de Xénon et de propane à pression atmosphérique).
- Deux autres chambres à dérive, l'une (CIZ) située sur le pourtour interne de CJC1 et l'autre (COZ) sur le pourtour externe (4 plans de fils sensibles lus par des cathodes planes, pour cette dernière). Elles réalisent la mesure de la coordonnée  $z$  avec précision ( $\approx 350 \mu\text{m}$ ) et une mesure plus grossière de  $r\phi$  (précision de 25 mm pour la chambre interne, et 10 mm pour la chambre externe).
- Deux chambres à fils proportionnelles. La première (CIP) est située très près du tube à vide et comporte 3 plans, entre les plans 2 et 3 se trouve la chambre CIZ. La seconde (COP), analogue, est située entre le pourtour interne de CJC2 et la chambre COZ, elle comporte 2 plans. Ces deux chambres sont destinées à être utilisées par le déclenchement de premier niveau, et réagissent très rapidement aux passages des particules (en moins de 50 ns: on ne lit pas les fils-anodes mais seulement les plaques formant les cathodes), en contrepartie elles ont une mauvaise résolution spatiale (32 secteurs en  $\phi$  et 60 secteurs en  $z$  pour COP). Les secteurs angulaires (venant du point d'interaction) définis par les cathodes sont appelés "Big Rays".

## Le détecteur de traces avant

La densité de particules à l'avant du détecteur (et le bruit de fond important, voir plus bas) rend critique la détection et la reconnaissance des traces dans cette région du détecteur. Pour cette raison le détecteur de traces avant a une structure plus complexe que celle du détecteur central, avec:

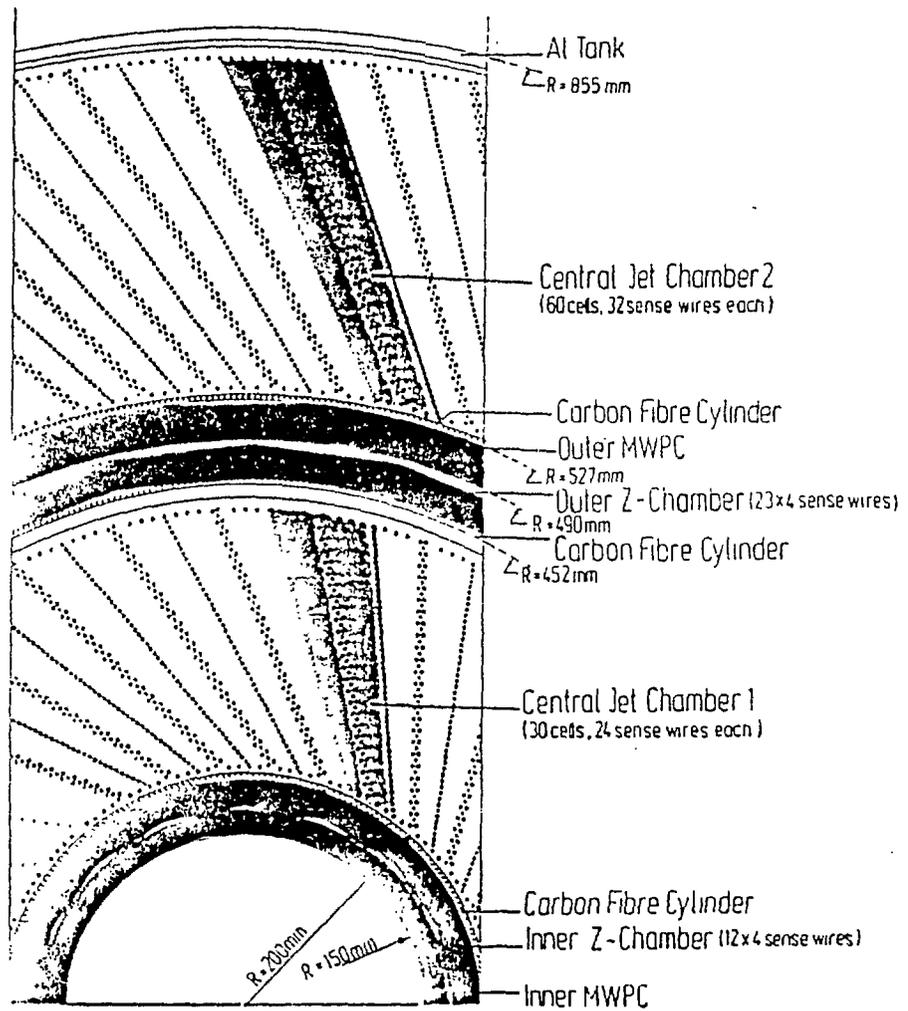


Figure 2.14: Coupe transversale du détecteur de traces central

- 3 chambres à dérives *radiales* ("R", voir figures 2.13 et 2.15, chaque chambre comportant environ 600 fils sensibles orientés radialement par rapport à l'axe du faisceau, organisés en 48 secteurs angulaires entourant le tube à vide.  
Elles mesurent la quantité  $r\phi$  avec précision (estimation présente:  $\approx 300 \mu\text{m}$ , séparation de 2 traces éloignées de  $\approx 1.5 \text{ mm}$ ), les fils sont lus également pour déterminer la distance radiale de la trace (précision de  $\approx 7\text{mm}$ ); enfin, ces chambres doivent détecter les rayons X émis par les électrons lors du passage dans les radiateurs de transition (ceux-ci les précèdent immédiatement sur le trajet des particules).
- 3 chambres à dérive *planaires* ("P", voir figure 2.16) dont les fils sont transverses par rapport à l'axe du faisceau et sont organisés en 3 modules de 4 plans orientés à 60 degrés l'un par rapport à l'autre. Avec cette structure, on atteint une précision sur la mesure de  $\theta$  inférieure à 1 mrad. L'information "coordonnée radiale" (perpendiculaire à celle qui est mesurée avec la plus grande précision) est également lue.
- 3 chambres à fils rapides (MWPC), chacune comprenant 2 plans de fils parallèles perpendiculaires au faisceau et 3 plans de cathodes planes, qui sont les seules à être lues. Ces cathodes segmentent le plan des chambres en  $r$  (21 segments) et en  $\phi$  (8 segments), donnant une résolution spatiale limitée. Ces chambres, comme leurs analogues de la partie centrale, fournissent des signaux en un temps très court ( $<50 \text{ ns}$ ) au système de déclenchement.
- 3 plans (TR) de radiateurs de transition (polyéthylène), destinés à discriminer les électrons des pions à l'avant du détecteur, donc à haute impulsion.

Les quatre premiers éléments sont assemblés en modules identiques que les particules traversent dans l'ordre: chambre planaire, chambre à fil, radiateur de transition, et chambre radiale. Les éléments de ces modules ne sont pas orientés de la même manière pour chaque module, les chambres radiales, par exemple, subissent une rotation (autour de l'axe du faisceau) quand on passe d'un module à l'autre. Les simulations montrent qu'avec une configuration de ce genre, la reconnaissance des traces dans les jets devrait atteindre une efficacité de 95 % au moins.

#### La détection de traces arrière

A l'arrière ( $\approx 150^\circ < \theta < 175^\circ$ ) se trouve une chambre à fils proportionnelle (BPC) qui peut mesurer les traces des particules chargées (en  $x$  et en  $y$ ) avec

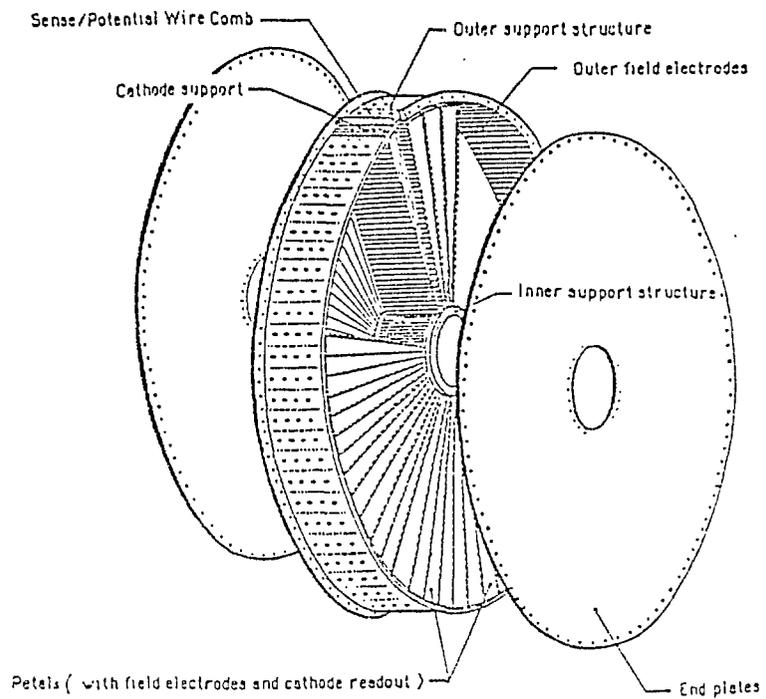


Figure 2.15: Les chambres à dérive radiales

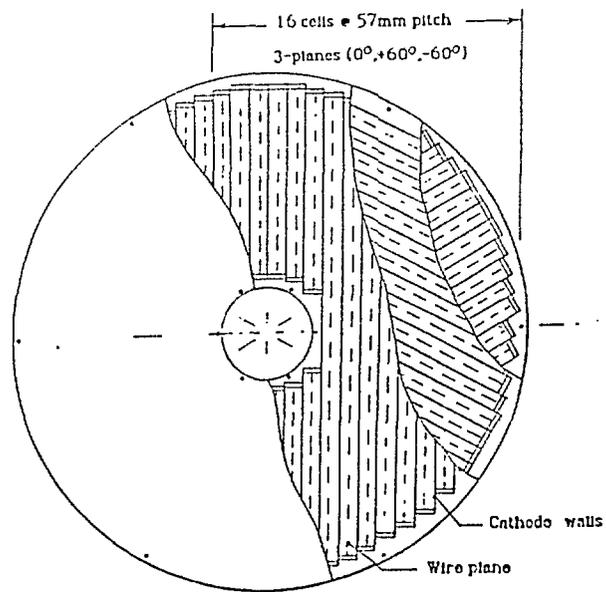


Figure 2.16: Les chambres à dérive planaires

une résolution de 2 mm, essentiellement les électrons issus d'événements à très bas  $x$  et  $Q^2$ .

Deux plans de scintillateurs annulaires (4 anneaux indépendants lus par 24 PM) sont montés derrière la BPC, et utilisés en veto, dans le but de couper le bruit de fond créé par le halo et les muons du faisceau (par différence de temps de vol: les scintillateurs sont situés à 2 m environ du point d'interaction, la résolution temporelle est de  $\approx 3$  ns). Les photomultiplicateurs choisis sont capables de fonctionner dans le champ magnétique de 1.2 Tesla.

### 2.3.3 La calorimétrie

#### Le calorimètre à argon liquide

Ce sous-détecteur et les différents modules le constituant est représenté sur la figure 2.17.

Le calorimètre froid est maintenu en permanence dans son bain d'argon liquide à température fixe, ce qui demande un système cryogénique imposant et une grande fiabilité du matériel (électronique ou autre) plongé avec le calorimètre dans l'argon, sous peine, en cas de problème majeur, de devoir réchauffer et ouvrir le cryostat pour réparer, ce qui bloque le détecteur pendant 6 mois environ...

Les parois du cryostat sont optimisées en fonction de deux contraintes importantes: limitation de l'épaisseur des matériaux inertes que doivent traverser les particules avant de développer leur gerbe dans le calorimètre, et rigidité suffisante (dépendant de la température) pour arriver à un bon alignement du calorimètre avec le reste du détecteur.

Le choix de la collaboration s'est porté sur un calorimètre à argon liquide essentiellement à cause de la faible variation de la réponse du détecteur au cours du temps, qui n'impose pas de calibrations absolues périodiques, et aussi à cause de l'homogénéité spatiale que l'on peut atteindre sans trop de contraintes dans les différentes régions du calorimètre. Le désavantage est évidemment l'impossibilité de compenser directement, au niveau du détecteur, la différence de réponse en énergie hadronique et électromagnétique, qui est le principe retenu par la collaboration ZEUS. Dans la section consacrée plus bas aux performances du calorimètre, nous verrons comment H1 compte limiter les conséquences de ce problème.

Le calorimètre froid couvre une zone en  $\theta$  étendue ( $4^\circ < \theta < 152^\circ$ ); du point de vue mécanique, il est découpé en modules d'un type donné (CB, FB, etc...



voir figure 2.18 pour un exemple de module) formant des "octants", eux-mêmes couplés en "roues" (voir figure 2.19).

Chaque module (excepté la partie arrière extrême) comprend une section destinée à mesurer l'énergie électromagnétique, que les particules traversent en premier lieu, et une partie plus adaptée à la mesure de l'énergie des gerbes hadroniques, que les particules énergétiques traversent ensuite. Ces deux parties ont des caractéristiques différentes [10]:

- Section électromagnétique: l'absorbeur est constitué par des plaques de plomb ( $\approx 2.4$  mm), chaque plaque est entourée par un sandwich de G10 et de peinture résistive (pour éviter les claquages). Le calorimètre forme une succession de sandwiches de ce type, les intervalles remplis d'argon représentant l'espace actif (2.5 mm). Un sandwich sur deux est équipé de plaques de cuivre ( $35 \mu\text{m}$ , fixées sur G10) sur lesquelles on lit le signal produit par la dérive des charges dans l'argon, le sandwich adjacent imposant la haute tension.

La taille typique des plaques de lecture varie de  $3 \times 3 \text{ cm}^2$  à l'avant, à  $4 \times 4 \text{ cm}^2$  jusqu'à  $\theta < 80^\circ$ , et  $8 \times 8 \text{ cm}^2$  pour  $\theta > 80^\circ$ , reflétant les contraintes physiques sur la granularité.

- Section hadronique: l'absorption dépend ici de plaques d'acier inox (16 mm). La lecture est réalisée par des modules indépendants (3 sandwiches de cuivre et de G10) glissés dans l'argon entre les plaques, le sandwich central supporte les cellules de lecture. La taille typique de ces plaques de lecture hadroniques est double de celles de leur équivalent électromagnétique, ce qui tient compte du fait que les gerbes hadroniques sont plus étendues que les gerbes électromagnétiques et permet de garder une structure grossièrement projective en  $\phi$  à partir du point d'interaction (voir figure 2.20).

Les cellules physiques ne sont pas lues individuellement par l'électronique, mais auparavant regroupées entre elles en segments (voir figure 2.21). Ceci donne une "profondeur" de 3 segments (ou 4, à l'avant) aux sections électromagnétiques (soit respectivement  $\approx 20$  et  $30$  longueurs de radiations), suffisante pour mesurer des électrons jusqu'à 250 GeV. De manière analogue, les sections hadroniques sont découpées en 4 et 5 segments (à l'avant), pour une profondeur totale (vue du point d'interaction) de 4 à 9 longueurs d'interaction. L'orientation des cellules de lecture est soit parallèle soit perpendiculaire à l'axe du faisceau, de manière à ce que les particules incidentes attaquent les modules avec un angle optimal (voir figure 2.17). L'ensemble représente environ 45000 canaux physiques à lire.

La structure semi-projective en  $\phi$  et en  $\theta$  des tours de lecture se recoupe avec

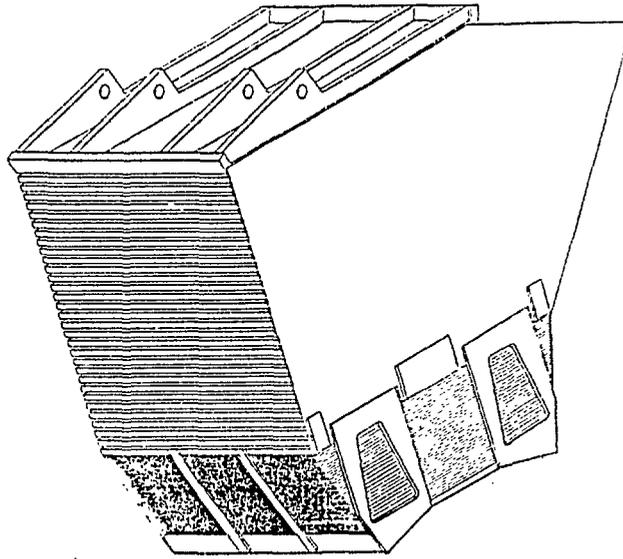


Figure 2.18: Un module CB

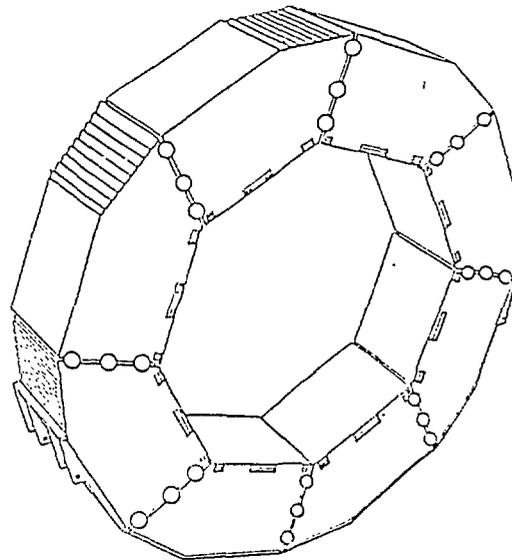


Figure 2.19: Une roue du calorimètre

la segmentation des chambres à fils rapides du détecteur de traces, la segmentation en tours du calorimètre est représentée sur la figure 2.21.

Le temps de dérive des charges produites par le passage des particules dans l'argon liquide est de l'ordre de quelques centaines de nanosecondes, l'intégration du signal durant plusieurs microsecondes. Ce temps de réponse élevé et la longue "mémoire" du calorimètre, comparés au temps séparant chaque croisement eP, rendent délicate l'acquisition pour ce détecteur, le chapitre 3 examine les solutions apportées à ces problèmes.

Les performances du calorimètre sont discutées dans une section séparée (voir plus bas).

### **Le calorimètre chaud avant**

Cet élément couvre la zone en  $\theta$  allant de  $\approx 12.5$  mrad à 60 mrad, il complète la couverture angulaire avant du calorimètre froid jusqu'à la limite donnée par le tube à vide.

Son rôle essentiel est de mesurer les impulsions transverses des particules (hadrons, surtout) émises très à l'avant du détecteur, une bonne connaissance de l'impulsion transverse totale des événements étant importante pour la physique. Dans ce but, il possède une bonne résolution angulaire en  $\theta$  ( $< 5$  mrad), mais par contre sa précision sur la détermination de l'énergie des hadrons est assez mauvaise (au mieux  $100\%/\sqrt{E}$ ), d'autant plus qu'il est précédé d'une quantité appréciable de matière inerte (1 à  $1.5 X_0$ ).

Ce calorimètre est constitué par 8 plans d'absorbeur en cuivre (longueur totale 65 cm, soit  $4.3 \lambda$ ) entre lesquels sont intercalés des panneaux de silicium (épaisseur  $300 \mu\text{m}$ ) qui forment le matériel actif, le signal est lu par des plaques de cuivre de  $70 \mu\text{m}$  d'épaisseur, qui donnent une granularité de  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ .

### **Le calorimètre chaud arrière**

Le calorimètre arrière est efficace pour  $150^\circ < \theta < 176^\circ$ . Il utilise des panneaux absorbeurs en plomb (2.5 mm), le matériel actif étant des plans de scintillateurs (4 mm), lus par des photodiodes. Le tout forme 22 longueurs de radiation, avec une granularité de  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  environ pour les cellules de lecture. Les tests indiquent une résolution en énergie (électromagnétique) se comportant comme  $10\%/\sqrt{E} \pm 1.9\%$ .

Il sera utile pour la physique à très bas  $x$  et bas  $Q^2$  (électrons produits à l'arrière).

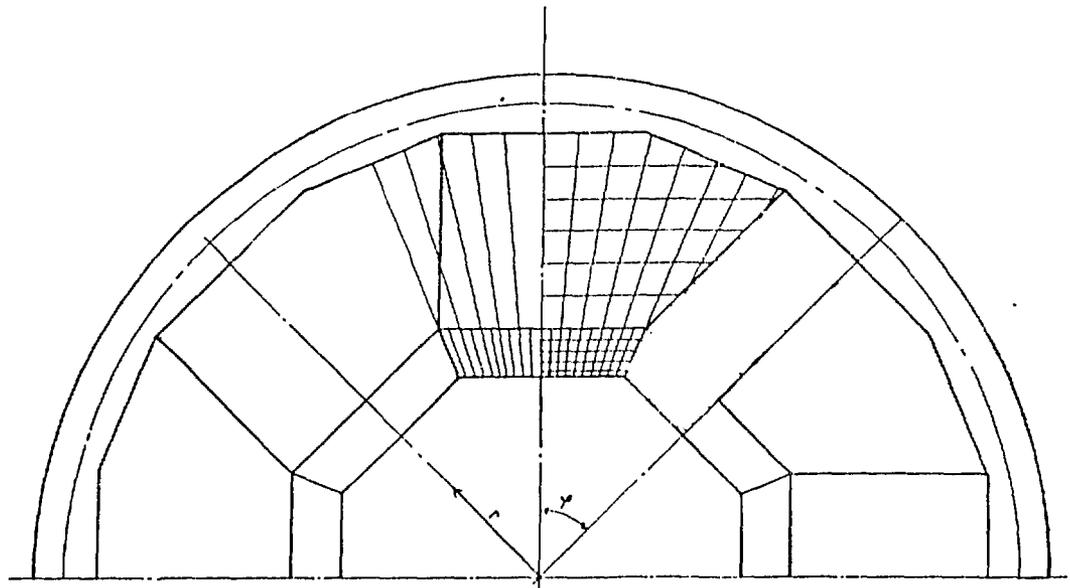


Figure 2.20: Structure projective en  $\phi$  du calorimètre

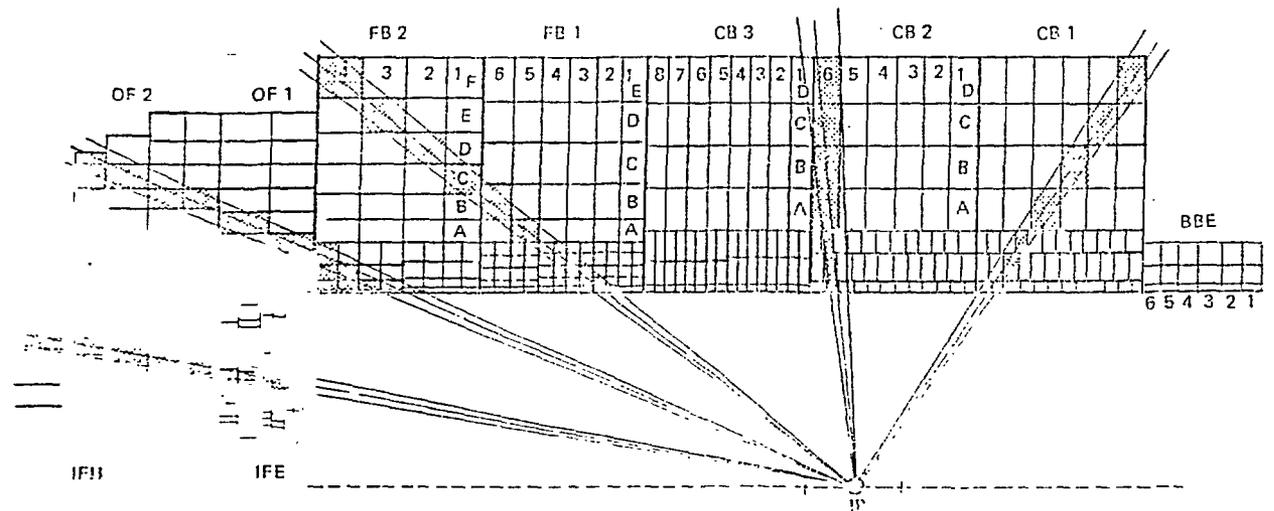


Figure 2.21: Segmentation en  $\theta$  du calorimètre

## 2.3.4 Le détecteur de muons et de fin de gerbe

### La détection des muons

Le détecteur de muons est un élément important de H1, les muons signant souvent des phénomènes rares et intéressants (saveurs lourdes, processus exotiques...). Il comporte deux parties (voir le schéma général du système figure 2.22):

- A l'avant du détecteur H1, un spectromètre à muons constitué par un toroïde long de 1.2 m (développant un champ azymuthal de 1.5 Tesla), encadré par 3 chambres à dérives à l'avant et à l'arrière (voir figure 2.23), chaque trio de chambres comporte deux éléments mesurant  $\theta$  et un élément mesurant  $\phi$ . Ces chambres mesurent la coordonnée perpendiculaire à leurs fils, mais elles fournissent également une information sur la coordonnée parallèle (avec une précision de  $\approx 1\%$  de la longueur du fil). L'angle  $\theta$  couvert par ce détecteur varie entre 5 et 20 degrés, le spectromètre est capable de mesurer l'impulsion des muons avec une résolution s'étageant de 23 % pour 25 GeV/c à 32 % pour 150 GeV/c. La résolution en  $\phi$  et  $\theta$  est de l'ordre de 0.5 mrad.
- Les muons sortant du détecteur (avec  $5^\circ < \theta < 130^\circ$ ) doivent traverser plusieurs plans de tubes à dérive. Ces tubes sont situés sur les faces internes et externes, ainsi qu'entre les segments centraux du fer retournant le flux de la bobine supraconductrice (9 intervalles de largeur variable, entre les plaques de fer de 7.5 cm d'épaisseur). Chacun de ces plans de tubes contient des "bandes" (signal "tout ou rien" sur 1 bit) et des fils parallèles à l'axe du faisceau, ainsi que des "plaques" qui lisent le signal (information sur 8 bits). Les plans mesurent plusieurs quantités: grâce aux bandes, angle  $\phi$  (précision sur la position de la trace:  $\approx 2$  mm) et coordonnée  $z$  (précision:  $\approx 1$  cm), les plaques mesurent l'énergie des particules incidentes (voir plus bas). La résolution en impulsion atteinte s'échelonne de  $\approx 40\%$  pour 5 GeV/c à 80% pour 15 GeV/c, grâce au champ magnétique régnant dans le fer ( $\approx 1.5$  Tesla).

### Le rôle du détecteur de muons dans la calorimétrie

Les plaques des tubes à dérive mesurent l'énergie des particules arrivant dans le fer (qui joue le rôle d'absorbeur), elles donnent en plus une information sur la localisation spatiale du dépôt d'énergie (leur taille varie de  $5 \times 5$  cm<sup>2</sup> à l'avant, jusqu'à un maximum de  $40 \times 50$  cm<sup>2</sup>), l'absorbeur en fer représente 4.5 longueurs d'interaction.

La résolution en énergie atteinte par un tel système a été mesurée au CERN lors de tests en faisceau [1], elle se comporte comme  $100\%/\sqrt{E}$ , cette valeur

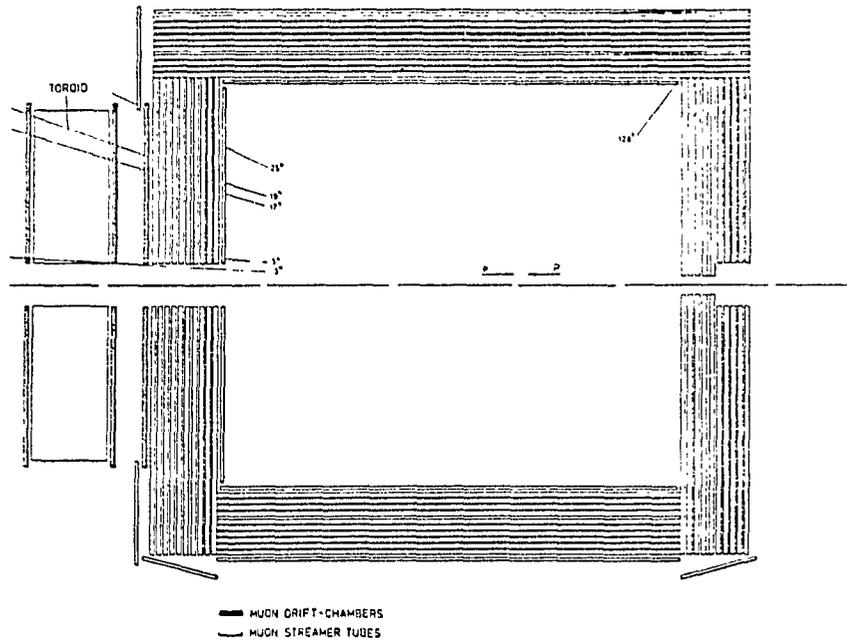


Figure 2.22: Le système de détection de muons

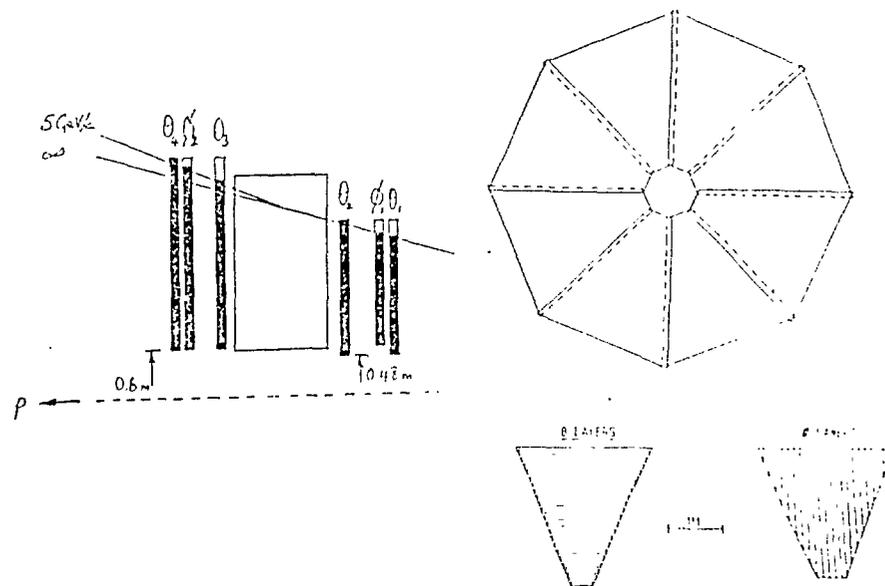


Figure 2.23: La structure des chambres à muons avant

est très proche de ce qui était prévu.

Le détecteur de muons complète ainsi le système de calorimétrie en détectant la queue des gerbes qui ont commencé à se développer dans le calorimètre froid. Dans cet esprit, la structure des plaques de lecture dans les tubes à dérive se recoupe de manière projective avec les tours de lecture des sections hadroniques (même principe que pour les détecteurs de traces, voir plus haut). Des études ont montré l'importance de ce détecteur de fin de gerbe pour arriver à une bonne herméticité [11].

### 2.3.5 Performances du détecteur

#### Performances du calorimètre à argon liquide

Nous revenons ici sur les capacités que l'on attend de la part du calorimètre froid, complété par le détecteur de fin de gerbe.

Le calorimètre froid H1 est *non compensé*. Ceci entraîne, au premier ordre, de médiocres performances brutes pour la mesure des gerbes hadroniques: mauvaise homogénéité en réponse électromagnétique et hadronique (rapport  $e/\pi$  typique de 1.4) et mauvaise mesure de l'énergie hadronique. Des tests en faisceaux (pions et électrons) au SPS du CERN [12] ont montré que la quantité  $\sigma_{E_H}/\sqrt{E_H}$  variait de  $\approx 50$  à  $100$  % selon l'énergie (particules à angle nul, voir figure 2.24), alors que la mesure des gerbes électromagnétiques est bonne, avec une résolution  $\sigma_{E_{el}}/E_{el}$  se comportant comme  $\approx 13\%/\sqrt{E_{el}}$ ,  $\sigma_{E_{el}}/\sqrt{E_{el}}$  ne variant pratiquement pas avec l'énergie.

Le principe adopté par H1 pour atteindre une résolution correcte dans le domaine hadronique [13,14] consiste à corriger les données du calorimètre hors ligne; ceci tranche avec la collaboration ZEUS qui a conçu un calorimètre compensé (Uranium, scintillateur), ayant une résolution *intrinsèque* en énergie hadronique  $\sigma_{E_H}/E_H$  de l'ordre de  $35\%/\sqrt{E}$  (mais par contre une granularité assez grossière).

La méthode de correction rééquilibre le rapport  $e/\pi$  essentiellement en pondérant avec des coefficients différents les dépôts d'énergie dans les cellules des sections hadroniques et électromagnétiques, ces poids dépendant eux-mêmes simplement de l'énergie déposée dans la cellule. Dans la gerbe hadronique, la pondération diminue l'influence des forts dépôts d'énergie localisés (causés par la composante électromagnétique de la gerbe), ce qui a pour effet de rééquilibrer le rapport  $e/\pi$  en donnant plus d'importance à la composante purement hadronique de la gerbe. L'effet de la pondération est représenté sur la figure 2.25, toujours pour les données réelles prises au CERN. L'amélioration est sensible: la résolution en énergie devient  $\sigma_{E_H}/E_H \approx 45\%/\sqrt{E_H}$ ,  $\sigma_{E_H}/\sqrt{E_H}$  est maintenant presque indépendant de l'énergie des particules incidentes, et le rapport  $e/\pi$  est très proche de 1.

Ce qui précède est vrai pour des particules isolées, une étude récente [15] a montré que la résolution en énergie pour les jets est proche et même supérieure à celle obtenue pour une particule isolée (grâce à la composante électromagnétique des jets). Les coefficients de pondération utilisés dans ce cas sont obtenus grâce à une adaptation simple des coefficients calculés pour les particules isolées. On atteint alors une résolution vérifiant  $\sigma_{E_H}/E_H \approx 50\%/\sqrt{E_H}$ , ce qui est un résultat très positif.

Le rôle du détecteur de fin de gerbe est important, les tests du CERN montrent que la quantité  $\sigma_{E_H}/\sqrt{E_H}$  augmente d'environ 5% si l'on supprime le détecteur de fin de gerbe à l'arrière du calorimètre froid, pour des pions isolés de haute énergie [12]. Ce phénomène devrait être moins marqué pour les jets à HERA, qui sont bien contenus la plupart du temps dans le calorimètre froid (dans 95 % des cas pour  $25^\circ < \theta < 130^\circ$ ).

L'influence des imperfections géométriques (distance de  $\approx 2$  cm entre les modules du calorimètre froid) reste limitée, étant donnée la structure non projective de ces interstices dans la partie hadronique du calorimètre.

### Performances globales du détecteur

Aucune étude approfondie n'a été menée pour l'instant dans ce domaine, cependant, certains points importants peuvent être dégagés:

- Les objectifs initiaux des détecteurs principaux vont être atteints: pour la détection de traces,  $\delta P/P^2 \approx 0.3$  %, résolution en  $\theta$  et  $\phi \approx 1$  mrad, séparation de traces éloignées de 2 mm, faible dégradation de ces performances pour des traces se trouvant dans des jets; pour la calorimétrie, résolution en énergie électromagnétique  $\approx 10\%/\sqrt{E_{el}}$ , en énergie hadronique  $\approx 50\%/\sqrt{E_{el}}$  (sauf dans la partie arrière), très bonne herméticité.
- Jusqu'à des impulsions de 30 GeV environ, c'est le détecteur de trace qui fournit la meilleure mesure de P. Au dessus, le calorimètre prend le relais.
- L'identification des électrons est assurée surtout par le calorimètre dans la partie centrale, et par le détecteur de traces à l'avant jusqu'à 150 GeV (mesure de  $dE/dx$ , radiation de transition), où les mesures calorimétriques sont dégradées à cause d'une moins bonne instrumentation et par la plus grande quantité de matériel inerte à traverser pour les particules. Dans les jets, la probabilité de confondre un électron avec un pion après analyse en utilisant seulement l'information du calorimètre (séparation  $e/\pi$ ) n'excède pas  $10^{-3}$ ; le détecteur de trace améliore d'un facteur 10 ou 100 cette séparation (suivant les régions du détecteur), ce qui donne globalement une discrimination de  $10^{-4}$ - $10^{-5}$  entre pi et e.

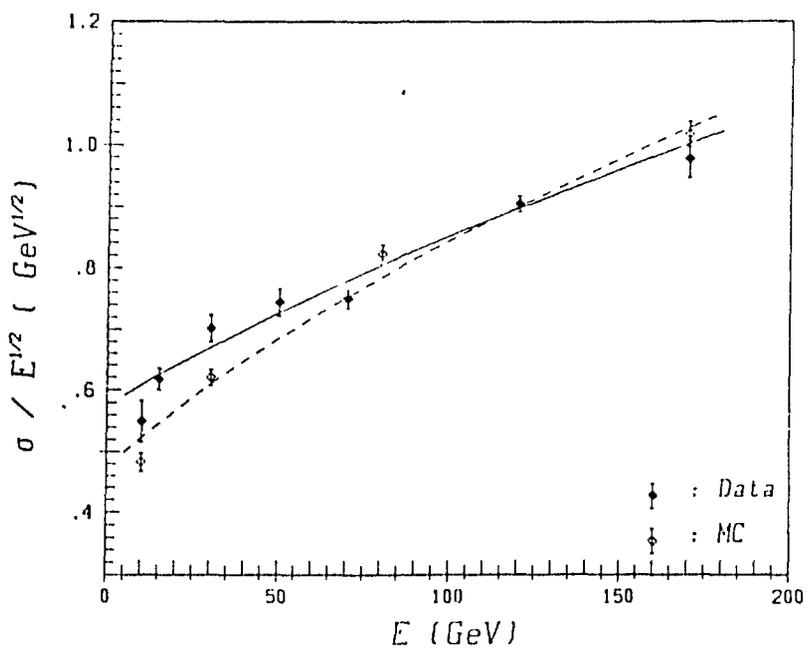


Figure 2.24: La résolution en énergie du calorimètre (pas de pondération)

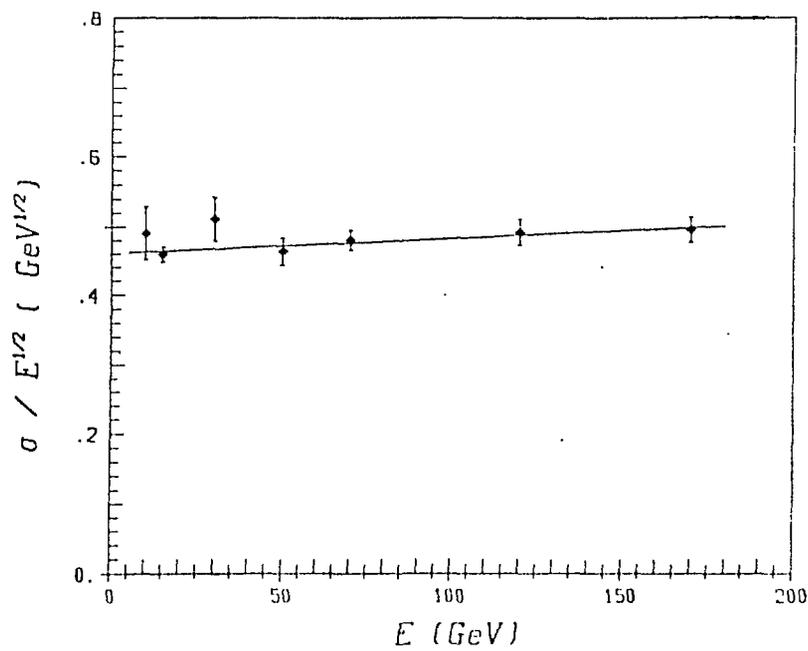


Figure 2.25: La résolution en énergie du calorimètre (après pondération)

- Les muons sont mis en évidence par leur pouvoir de pénétration. La simulation indique que, pour 97 % des événements (avec jets), le lien entre les traces laissées par un muon dans les chambres centrales et celles laissées dans le détecteur de muon externe est correctement fait. La mesure d'impulsion des muons est faite grâce au détecteur de trace jusqu'à 50 GeV environ, les chambres à muons externes sont surtout utilisées pour vérifier la cohérence des mesures du détecteur de trace central (elles ne sont efficaces elles-mêmes pour la mesure de l'impulsion que jusqu'à 10 GeV).

## 2.4 Le bruit de fond à H1

### 2.4.1 Les différents types de bruit de fond

Les quatre sources de bruit de fond présentes à HERA sont:

- Les collisions des particules du faisceau avec les molécules présentes dans le tube à vide [16]. Les plus dangereuses sont celles issues du faisceau de protons, qui donnent lieu à des événements de haute multiplicité (en moyenne 20 particules chargées) énergétiques et ayant une morphologie proche des événements ep normaux.

Pendant la période de démarrage de HERA, on attend dans le tube du faisceau un vide à  $3.10^{-9}$  Torr avec un gaz constitué à 50 % d'hydrogène et à 50 % d'éléments plus lourds (essentiellement air); ces chiffres laissent prévoir une fréquence de 3000 Hz/m pour les événements p-gaz. Malheureusement, cette estimation n'est pas encore très fiable, car elle repose sur l'extrapolation de données p- $\bar{p}$  (UA5, protons de 450 GeV au SPS) à l'énergie de HERA, et surtout car la section efficace d'interaction p-noyau varie avec le nombre de nucléons (A) de la cible comme  $A^{0.7}$ , ce qui introduit une dépendance nette vis à vis de la composition en éléments lourds (métaux notamment) du gaz présent dans le tube à vide, sur laquelle l'incertitude est grande (s'il n'y avait que de l'hydrogène dans le tube, par exemple, la fréquence atteindrait seulement 250 Hz/m).

Les événements p-gaz touchent surtout l'avant du détecteur (toujours à cause de la cinématique), l'ensemble du détecteur est sensible à ce type de bruit dans une zone en z allant de -90 mètres à +5 mètres autour du point d'interaction (l'axe z est orienté dans la direction de la vitesse des protons).

- Les protons et électrons s'échappant du faisceau, qui provoquent des événements à forte multiplicité en interagissant avec les parois du tube à vide et les différents masques et collimateurs de l'axe de faisceau (notamment les masques anti-synchrotron proches de la zone d'interaction). L'interaction du halo avec le tube à vide est réduite autour de la zone d'interaction par un élargissement du diamètre du tube (20 cm). Les événements formant ce type de bruit ont des caractéristiques proches des événements issus des collisions "proton-gaz".

On peut estimer le nombre de protons (toujours plus "dangereux" que les électrons) perdus par le faisceau à partir de la durée de vie de ce même faisceau dans l'anneau HERA (10 heures pour  $2.10^{13}$  protons dans le tube à vide), on arrive ainsi au chiffre de  $\approx 10^5$  protons/m/s hors faisceau (sur une région en z longue de 100 mètres environ): c'est considérable. La majeure partie des pertes a lieu au passage du faisceau dans les quadrupoles précédant immédiatement l'expérience (27 et 40 mètres environ en amont

du faisceau de protons), ce qui aggrave la situation et pourrait donner lieu à un bruit de fond "particules-hors faisceau" encore plus important dans le détecteur...

Les électrons hors faisceau forment surtout un bruit de fond (environ 1000 Hz/m) pour les événements courant neutre à bas  $Q^2$ , ils peuvent également produire des gerbes à forte multiplicité en pénétrant dans les masques anti-synchrotron.

Le halo des faisceaux de protons et d'électrons sera arrêté en partie par le blindage de l'avant et de l'arrière du détecteur (2 m de fer + 1 m de béton pour les protons, et blindage plomb + béton pour les électrons). Pour l'instant ces deux types de bruit de fond (protons et électrons hors faisceau), malgré leur importance, ont été peu étudiés.

- Le rayonnement synchrotron provoqué par la déviation des électrons [17] avant leur entrée dans la zone d'interaction (voir figure 2.26). Les électrons voient leur direction changer de 10 mrad, sur une courbe longue de 13.6 m; sur ce trajet, ils émettent une puissance de  $\approx 5$  KW (pour un courant de 60 mA, à 30 GeV), soit environ  $10^{18}$  photons par seconde ( $E_\gamma > 20$  KeV). Une série de masques et de collimateurs réduit le nombre de photons arrivant dans la région centrale du détecteur à  $\approx 10^8/s$ .

Ces photons produisent des traces dans les chambres centrales (10  $\gamma$  par croisement eP, 100 environ si l'on tient compte de la "mémoire" des chambres à dérive), mais suffisamment peu, pense-t-on, pour ne pas gêner la reconnaissance des événements (pas d'étude précise pour l'instant).

- Les rayons cosmiques, qui sont a priori une source de bruit plus sérieuse qu'elle ne l'est habituellement, à cause de la grande fréquence des croisements eP.

Les particules cosmiques arrivent dans le détecteur à raison de 3000 Hz, mais seul un petit nombre d'entre elles peuvent jouer le rôle d'une trace véritable dans un événement physique, les plus dangereuses étant celles qui passent très près du point d'interaction. Les particules remplissant cette seule condition n'arrivent qu'avec une fréquence de  $\approx 0.1$  Hz, négligeable devant celle des bruits décrits plus haut.

On peut voir facilement que, parmi ces quatre types de bruit de fond, ce sont les deux premiers qui sont de loin les plus potentiellement dangereux pour la physique, par leur fréquence (très) élevée et leur morphologie. Les études portant sur les moyens de remédier à ces difficultés (coupures et algorithmes du déclenchement) font pour l'instant intervenir uniquement le bruit de type "proton-gaz", qui est considéré comme bien représentatif pour les deux premiers types de bruit.

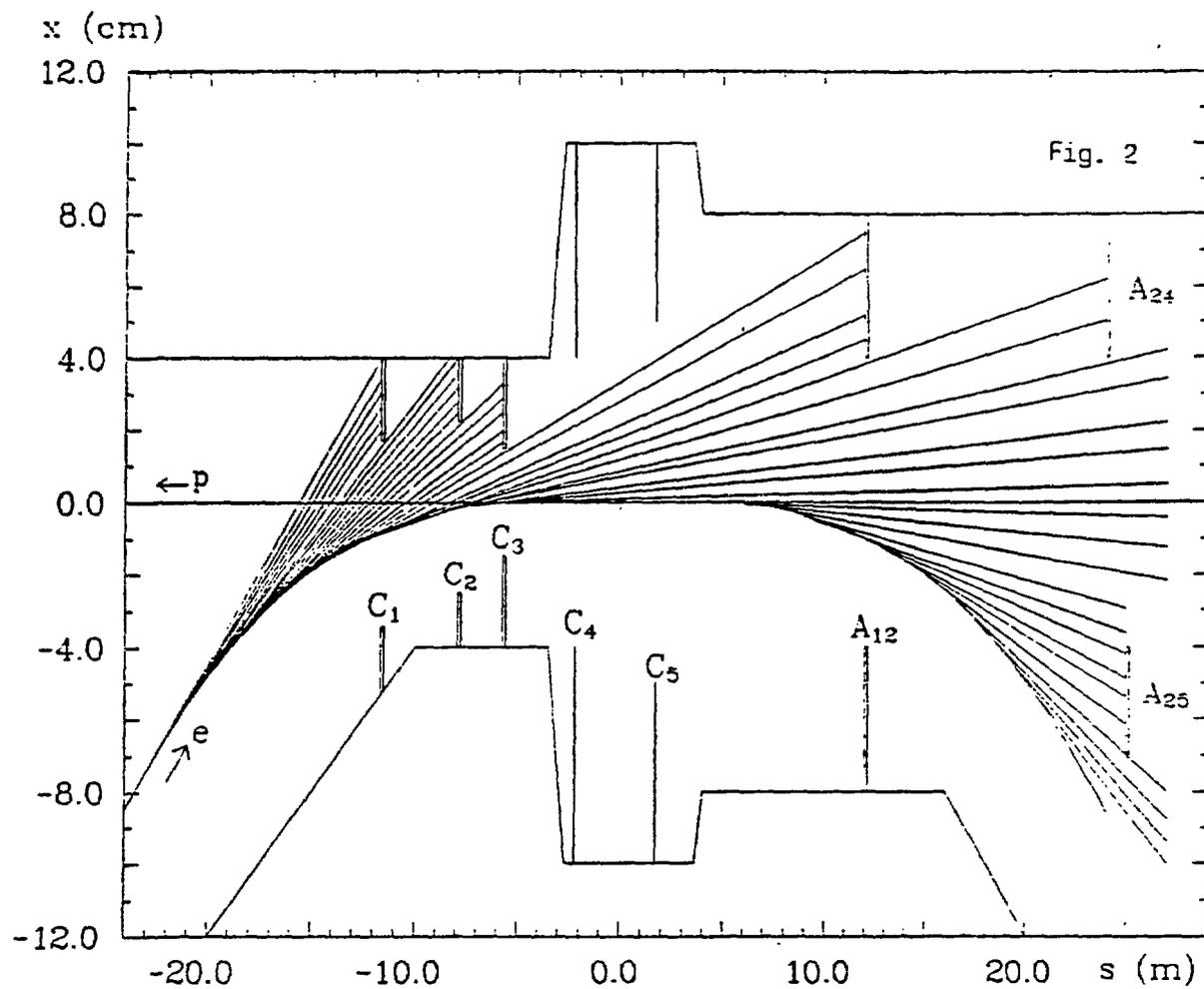


Figure 2.26: Trajectoire des photons du rayonnement synchrotron — Masques anti-rayonnement placés avant le point d'interaction

Le tableau 2.2 donne les fréquences de production des principaux phénomènes physiques intéressants, la comparaison avec les fréquences attendues de bruit de fond donne l'échelle des problèmes posés à HERA: le phénomène physique le plus courant présentant un intérêt (photoproduction) atteint une fréquence de  $10^3$  Hz, alors que l'on attend une fréquence de bruit ("p-gaz" et halo faisceau) de l'ordre de  $10^4$ - $10^5$  Hz, la situation étant encore plus critique à l'avant du détecteur... Ceci est une contrainte très sévère pour le système d'acquisition et de déclenchement, dont la description est l'objet du chapitre suivant.

## 2.4.2 La suppression du bruit de fond

Nous donnons ici un bref aperçu des informations accessibles rapidement par le système déclenchement câblé pour éliminer le bruit de fond. Les niveaux suivants du déclenchement tirent parti d'informations analogues, mais plus complexes.

Chaque sous-détecteur produit une information simplifiée à l'intention des deux premiers niveaux du déclenchement:

- Calorimètre (froid + chauds): énergie hadronique et électromagnétique suivant une segmentation spatiale grossière ( $\approx 500$  segments, appelés "supertours"), différentes sommes globales d'énergie (énergie à l'avant du calorimètre, dans la partie centrale, énergie transverse manquante, etc...). Le chapitre suivant donne des précisions supplémentaires.
- Chambres à fils (avant + centrales): "Big Rays" (corrélation avec les segments du calorimètre), histogramme "Z-vertex" donnant la position estimée du point d'interaction (nombre d'intersections, suivant z, des lignes passant par les paires de points d'impacts dans les chambres avec l'axe du faisceau, un pic signale un vertex), multiplicités. L'histogramme "Z-vertex" permet d'écarter efficacement les événements issus de protons perdus par le faisceau en amont du point d'interaction et les événements "Proton-gaz".
- Chambres à dérive: la meilleure segmentation angulaire de ce type de chambre (par rapport aux MWPC) permet d'avoir une information précise en  $P_{\perp}$  et sur la position  $r\phi$  du point d'interaction, améliorant encore le rejet des événements créés par les protons hors faisceau et les collisions proton-gaz, surtout à basse multiplicité, où l'information des chambres à fils n'est pas utilisable.
- Détecteur de muons: les traces de muons peuvent être corrélées avec l'information venant du calorimètre.

Processus	Coupure	Fréquence (Hz)	Fréquence par croisement ep
NC	$Q^2 \geq 3^2$	3	$3 \times 10^{-7}$
	$Q^2 \geq 5000^2$	$10^{-4}$	$10^{-11}$
CC	$Q^2 \text{ All}$	$3 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-10}$
	$Q^2 \geq 5000^2$	$5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-11}$
Photo-production	All	$10^3$	$10^{-4}$
	Visible	$10^2$	$10^{-5}$
	$\Theta_{jet} \geq 5.7^\circ, E_{jet} \geq 10$	1	$10^{-7}$
$ep \rightarrow ep + e + e^-$	$W_{e^+e^-} \geq 1$		
	$\Theta(e^+, e^-) \geq 2.6^\circ$	0.14	$1.4 \times 10^{-8}$
	$\Theta(e^+, e^-) \geq 30^\circ$	$8.0 \times 10^{-3}$	$8.0 \times 10^{-10}$
$ep \rightarrow ep + \gamma$	$8^\circ \leq \Theta(e, \gamma) \leq 172^\circ$	$4.3 \times 10^{-3}$	$4.3 \times 10^{-10}$
$ep \rightarrow ep + \rho$	$5^\circ \leq \Theta(\pi^+, \pi^-) \leq 175^\circ$	56	$5.6 \times 10^{-6}$
$\rho \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$30^\circ \leq \Theta(\pi^+, \pi^-) \leq 150^\circ$	16	$1.6 \times 10^{-6}$
$ep \rightarrow ep + \rho$	$5^\circ \leq \Theta(e^+, e^-) \leq 175^\circ$	$2.6 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-10}$
$\rho \rightarrow e^+ e^-$	$30^\circ \leq \Theta(e^+, e^-) \leq 150^\circ$	$0.73 \cdot 10^{-3}$	$0.73 \cdot 10^{-10}$
$ep \rightarrow ep + J/\psi$	$5^\circ \leq \Theta(e^+, e^-) \leq 175^\circ$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-9}$
$J/\psi \rightarrow e^+ e^-$	$30^\circ \leq \Theta(e^+, e^-) \leq 150^\circ$	$0.3 \times 10^{-2}$	$0.3 \cdot 10^{-9}$
$ep \rightarrow ep + c\bar{c}$	$45^\circ \leq \Theta_{jet} \leq 135^\circ$	$2 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-9}$
$c \rightarrow jet$	$p_-(jet) \geq 4$		
$\bar{c} \rightarrow jet$			

Tableau 2.2: Fréquences de production pour les principaux phénomènes physiques à HERA

- Scintillateurs arrières: mesures de temps de vol, coïncidence avec l'information spatiale du calorimètre chaud arrière. Ils devraient fournir une bonne réjection pour le bruit de fond "Protons-hors faisceau".

Le déclenchement est basé essentiellement sur l'énergie déposée dans le calorimètre; il peut fonctionner suivant deux modes principaux: le mode "autonome" pour lequel il impose des seuils élevés sur l'énergie reçue dans le calorimètre en faisant peu appel aux informations des autres sous-détecteurs, et le mode "standard" pour lequel les seuils en énergie sont abaissés (ce qui est important pour certains types de physique), l'information des autres sous-détecteurs devenant cruciale pour éliminer le bruit de fond physique, mais aussi pour éviter de sommer trop de bruit électronique dans les signaux du calorimètre (grâce à la correspondance entre les supertours du calorimètre et les "Big Rays" des chambres à fils).

Avec des coupures simples (grâce à la logique câblée) sur les différentes quantités évoquées plus haut, les simulations montrent que l'on peut arriver à réduire le bruit ("p-gaz") dans le détecteur à 200 Hz avec des seuils élevés sur l'énergie détectée par le calorimètre, et environ 300 Hz avec des seuils bas, combinés avec l'information des sous-détecteurs, tout cela en gardant une efficacité raisonnable vis à vis de la physique. C'est encourageant, mais, comme on l'a vu, ces études demandent à être raffinées, notamment en ce qui concerne les autres sources de bruit de fond et les niveaux supérieurs du déclenchement.

# Chapitre 3

## L'acquisition du calorimètre

### 3.1 Schéma général de l'acquisition

Avant de passer en revue la structure et les composants du système de lecture du calorimètre froid, nous allons tout d'abord faire ressortir les différentes contraintes qui ont pesé sur celui-ci et ont guidé sa conception.

#### 3.1.1 Les contraintes sur le système d'acquisition

##### Les contraintes liées à la machine et à la physique

La machine HERA est le premier collisionneur électron-proton de grande envergure, cette originalité pose des problèmes sévères aux expériences qui veulent en tirer parti, et aux systèmes d'acquisition associés.

Dans ce domaine, les contraintes majeures sont:

- La grande fréquence d'intersection des paquets de protons et d'électrons: une rencontre toutes les 96 nanosecondes. C'est certainement là le point qui conditionne une bonne partie du schéma du système de déclenchement (et l'acquisition en général): comment être capable de répondre correctement à des signaux complexes si rapprochés dans le temps, comment atteindre la résolution temporelle imposée par HERA ?  
Les schémas classiques de systèmes de lecture et de déclenchement pour les expériences sur collisionneur doivent être reconsidérés sous ce nouveau

jour: au LEP les faisceaux d'électrons et de positrons se croisent toutes les 22 microsecondes, seulement.

Ce point prend une importance particulière quand on sait que, pour des raisons physiques, le déclenchement calorimètre est considéré comme le signal prépondérant pour la mise en route de l'électronique d'acquisition de H1.

- Le bruit de fond dans le détecteur est important:  $10^4$  Hz, environ (revoir la section 2.4). Surtout comparé à la physique, qui ne produit que quelques événements par seconde au maximum. La sélection au niveau du déclenchement doit donc atteindre des taux de réjection de l'ordre de  $10^4$ , et cela dans un temps limité.
- La forte probabilité d'empilement d'événements physiques et d'événements de bruit dans le calorimètre. En effet, le temps de réponse du calorimètre, au niveau d'un canal physique, est relié directement au phénomène de dérive des charges produites par le passage des particules. Typiquement, le temps de transit des électrons d'ionisation dans l'interstice d'argon liquide est de quelques centaines de nanosecondes; cependant le signal, après mise en forme, est beaucoup plus long: il a alors une durée de 10 microsecondes environ. Ceci, corrélé avec la grande fréquence de croisement eP, montre bien la difficulté de la lecture du détecteur H1: pendant le temps de latence d'un canal touché, les faisceaux se croisent une centaine de fois...

Il est donc possible que pendant ces 10 microsecondes, le calorimètre reçoive plusieurs événements. La difficulté est alors d'associer les divers canaux touchés à un événement donné, pour éviter d'attribuer l'énergie déposée par l'un de ces événements à un autre et fausser la physique. Ceci suppose que l'on sait déterminer avec précision, pour chaque événement, quel est le croisement ep qui en est à l'origine, ce qui n'est pas trivial.

Cependant, la section efficace d'interaction ep est suffisamment faible pour que les ennuis ne viennent pas de la superposition d'événements *physiques* (on a vu que le processus physique dominant, la photoproduction, donnait de l'ordre de 100 événements par seconde visibles par le détecteur). C'est plutôt le bruit de fond important qui complique sérieusement le problème. Avec une fréquence d'occurrence supérieure aux événements physiques, et une topologie souvent similaire, les événements parasites rendent notable la possibilité d'empilement dans le détecteur, de plus ils peuvent altérer l'identification du croisement ep dont proviennent les événements corrects, jusqu'à rendre celle-ci impossible.

La superposition spatiale (c'est à dire le dépôt d'énergie provenant de deux événements "simultanés" dans la même région du détecteur) est peu vraisemblable, étant donné la morphologie typique des événements à HERA (fort dépôt d'énergie dans des régions localisées du calorimètre.)

et la bonne granularité du détecteur. Des simulations ont montré que la probabilité d'un tel phénomène n'excédait pas  $10^{-5}$ , sauf dans la partie avant, plus exposée à l'empilement. La superposition temporelle (arrivée de deux événements ou plus pendant le temps de latence du calorimètre, dans des zones différentes du détecteur) est de loin la plus critique; sa probabilité est de  $10^{-1}$  (elle est donnée approximativement par le produit du temps de réponse,  $10 \mu\text{s}$ , par la fréquence du bruit,  $10^4 \text{ Hz}$ , qui est dominante), c'est elle qui doit être éliminée.

- L'un des objectifs fondamentaux de H1: atteindre une précision de 1% sur la calibration absolue en énergie (c'est le minimum nécessaire pour mesurer avec une précision suffisante les fonctions de structure). Ceci soulève des difficultés, au niveau de l'électronique de calibration, mais surtout au niveau de la stabilité du signal dans les cellules du calorimètre, sur laquelle influe un paramètre important: le taux d'impuretés présentes dans l'argon liquide. Nous reviendrons en détail sur ce point plus loin.

### Les contraintes liées au détecteur

De la conception générale du détecteur et des mécanismes physiques qui interviennent dans la mesure découlent plusieurs contraintes:

- La dynamique des signaux du calorimètre conditionne l'électronique de lecture. Des études montrent que, suivant les régions du détecteur lues, l'électronique doit supporter une dynamique de 12 ou 14 bits. Ces chiffres sont calculés en comparant le bruit électronique (relié à la capacité) attendu dans les divers modules du calorimètre, au signal maximum envisageable (limite cinématique) dans cette partie du détecteur, ce maximum dépendant de la position du module dans l'assemblage final.
- La quantité de canaux à lire est importante: 59000 canaux pour le calorimètre froid, plus les canaux des calorimètres chauds avant et arrière, et certains canaux du détecteur de fin de gerbe (environ 7000). En tout donc, 66000 canaux doivent être lus par la chaîne d'acquisition, et cela à une fréquence estimée à 100 Hertz après les rejets des trois premiers filtres du déclenchement (voir plus bas). Une tel flux d'information impose une réduction systématique du volume des données constituant un événement. Ceci est rendu possible par la physionomie des événements produits par HERA: un grand nombre de canaux ne sont pas touchés lors d'un événement typique. Le système doit, en plus, être capable de lire et de transmettre à l'acquisition centrale les données provenant de l'électronique de déclenchement.

La figure 3.1 indique la taille d'événements DIS (courant neutre) pour  $Q^2 \geq 10 \text{ GeV}^2$  et  $Q^2 \geq 1000 \text{ GeV}^2$  -une région cinématique à bonne statistique- sans considération du bruit de fond physique et électronique:

dans les deux cas le nombre de canaux touchés par les particules de l'événement n'excède pas 1 % du nombre total. Cette situation ne devrait pas changer énormément avec des événements de bruit, étant donné la similitude de topologie avec les événements physiques (surtout pour le bruit "dangereux" qui par définition est difficile à séparer de la physique). On peut donc dire que le nombre de canaux réellement lus après suppression de zéro dépend surtout du seuil imposé pour rejeter le bruit blanc (par exemple, avec une coupure à  $2\sigma$ , 2.5% des canaux sont lus).

Cette figure montre également la position des coupures typiques que l'on devra réaliser sur l'énergie déposée dans les cellules individuelles du calorimètre pour éliminer le bruit électronique: une coupure entre 10 MeV par cellule et 100 MeV (suivant les régions du détecteur) correspond grossièrement à deux fois l'énergie de bruit blanc.

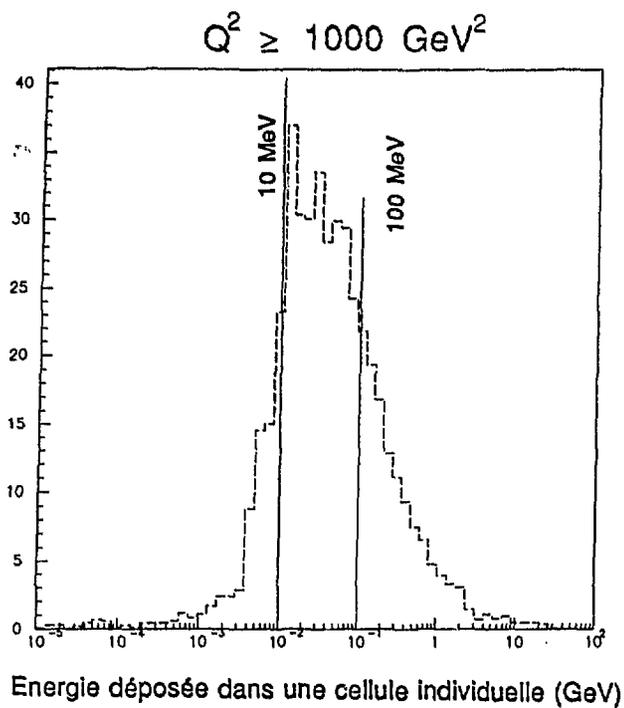
- La taille, la complexité du calorimètre, ainsi que le nombre important de personnes et de laboratoires impliqués dans sa construction et sa mise au point rendent nécessaire une certaine modularité: le calorimètre doit être vu, à travers le système d'acquisition et de déclenchement comme un ensemble de modules indépendants, pouvant être utilisés simultanément par des équipes différentes (pour les tests, par exemple) sans que cela crée de conflit.

Le système doit aussi avoir la possibilité de fonctionner indépendamment de l'acquisition centrale, il faut donc prévoir un mode autonome, contrôlé à partir d'un ordinateur propre au calorimètre.

### Les contraintes liées à la technique

Une autre série de contraintes incontournables provient évidemment des limitations inhérentes à la technique actuelle, ou en tout cas à celle qui est employée pour H1.

- Le temps mort de lecture maximum, pour chacun des sous détecteurs, a été fixé par la collaboration à 800 microsecondes. Ce chiffre constitue un compromis raisonnable entre les contraintes de temps imposées par la technique au système d'acquisition de chaque détecteur et la quantité de données à lire.
- Ce chiffre de 800 microsecondes, corrélé avec le taux de temps mort maximal de 10 % souhaité pour l'acquisition d'un sous-détecteur, donne une idée du taux maximal de lecture d'événements avant traitement par l'acquisition centrale:  $10\% / 800 \mu s$ , soit 100 Hz environ. Ceci implique un dispositif de déclenchement *temps réel* efficace, ayant un facteur de réjection de l'ordre de 100.



$10 \text{ GeV}^2$	262
$1000 \text{ GeV}^2$	449

Nombre total de  
cellules touchées

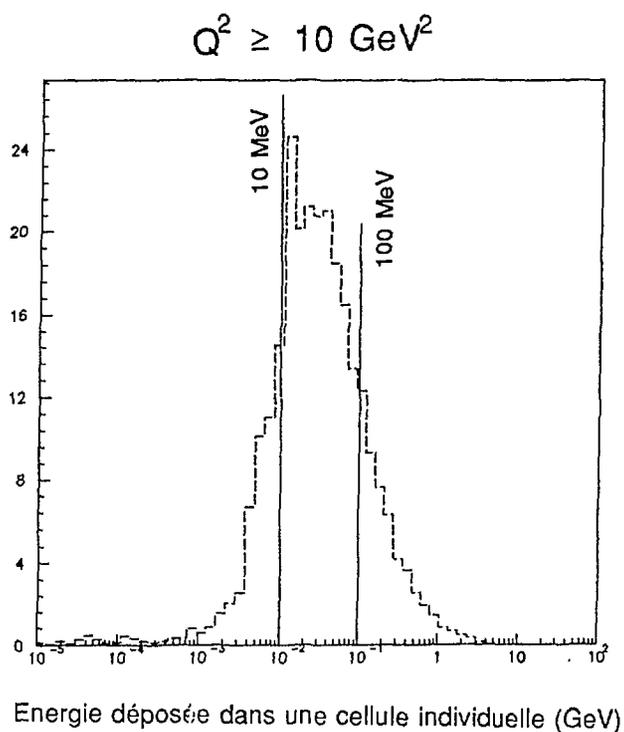


Figure 3.1: Nombre de canaux touchés typique pour des événements DIS ( $Q^2 \geq 10 \text{ GeV}^2$  et  $Q^2 \geq 1000 \text{ GeV}^2$ ) et effet des coupures en énergie reçue par une cellule

- Le taux de stockage final des événements sur bande (par l'acquisition centrale) est limité à 5 Hertz environ. En effet, la vitesse de transmission maximum des données à l'ordinateur central (IBM 3090) chargé de l'enregistrement est de l'ordre de 0.5 Moctets/s; d'autre part, la taille typique d'un événement complet, constitué par les données issues de tous les sous détecteurs, est estimée à 100 Koctets, d'où ce chiffre. Ceci signifie que le filtre final (ferme de processeurs) doit atteindre un taux de réjection proche de 20, la fréquence de production d'événements par l'électronique précédent ce niveau final étant estimée à 100 Hertz, comme on l'a vu.
- L'intégration à l'acquisition centrale de H1 impose des standards communs: bus VME, choix de l'interconnection entre les différents châssis, choix du type des lignes de communication rapide avec le système de déclenchement central, etc...

### 3.1.2 Le système résultant de ces contraintes

Voyons immédiatement les solutions apportées aux problèmes précédents. La figure 3.2 donne un schéma simplifié de la structure du système.

L'électronique est séparée en trois parties: la chaîne de lecture des cellules individuelles du calorimètre (données "calorimétrie"), une chaîne de lecture spéciale consacrée à l'acquisition de données concernant le déclenchement (données "déclenchement"), et la chaîne de déclenchement proprement dite, qui lance les opérations et décide de la validité des événements survenant au niveau du calorimètre.

Cette séparation en trois branches est prévue pour permettre un travail en parallèle. Dans cette optique, les trois parties sont conçues de manière à pouvoir communiquer entre elles. Elles sont capables de mener à bien, de manière autonome, des opérations complexes sur les informations à traiter; ceci implique une certaine "intelligence", d'où la présence répétée de microprocesseurs rapides 32 bits (AMD 29000 et Motorola DSP 56000) aux différents niveaux de la chaîne. Le DSP, utilisé principalement pour la lecture des données, est adapté à cette fonction: entrées sorties sophistiquées (2 interfaces séries, 1 interface parallèle, 24 ports d'entrées-sorties 1 bit), 3 bus d'adresses et 4 bus de données, boucles câblées. Le DSP, avec ses 10 Mips (temps de cycle 100 ns, peut être 70 ns pour la deuxième version) et les caractéristiques précédentes est un processeur optimisé pour le traitement rapide de l'information (d'où son nom: Digital Signal Processor).

Le 29000 est un processeur moins spécialisé, il est basé sur une architecture RISC pipe-linée qui lui confère une puissance moyenne de 17 Mips (temps de cycle 33 ns) avec accès rapide à de nombreux registres internes. Les processeurs

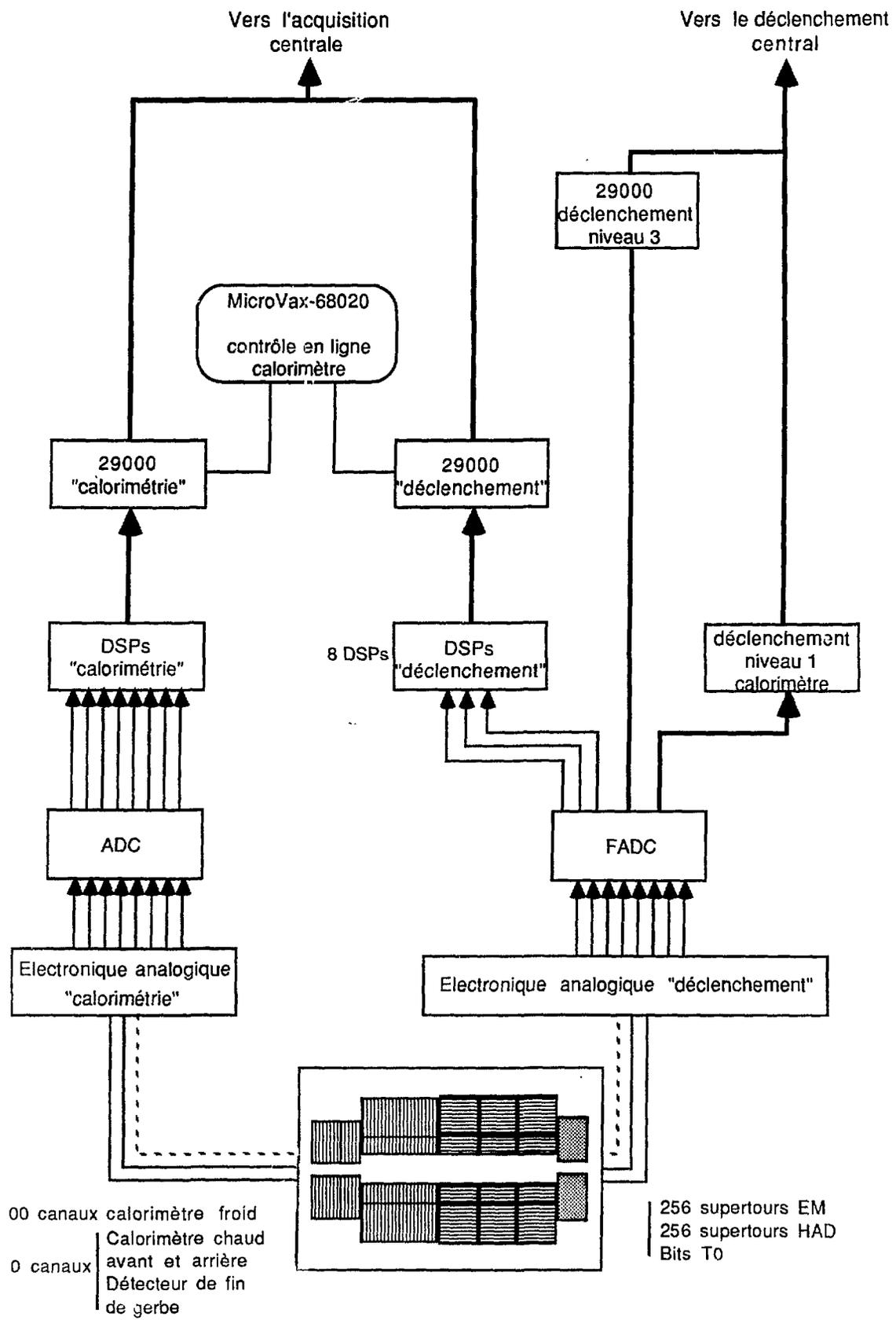


Fig 3.2: Schéma de l'acquisition du calorimètre de H1

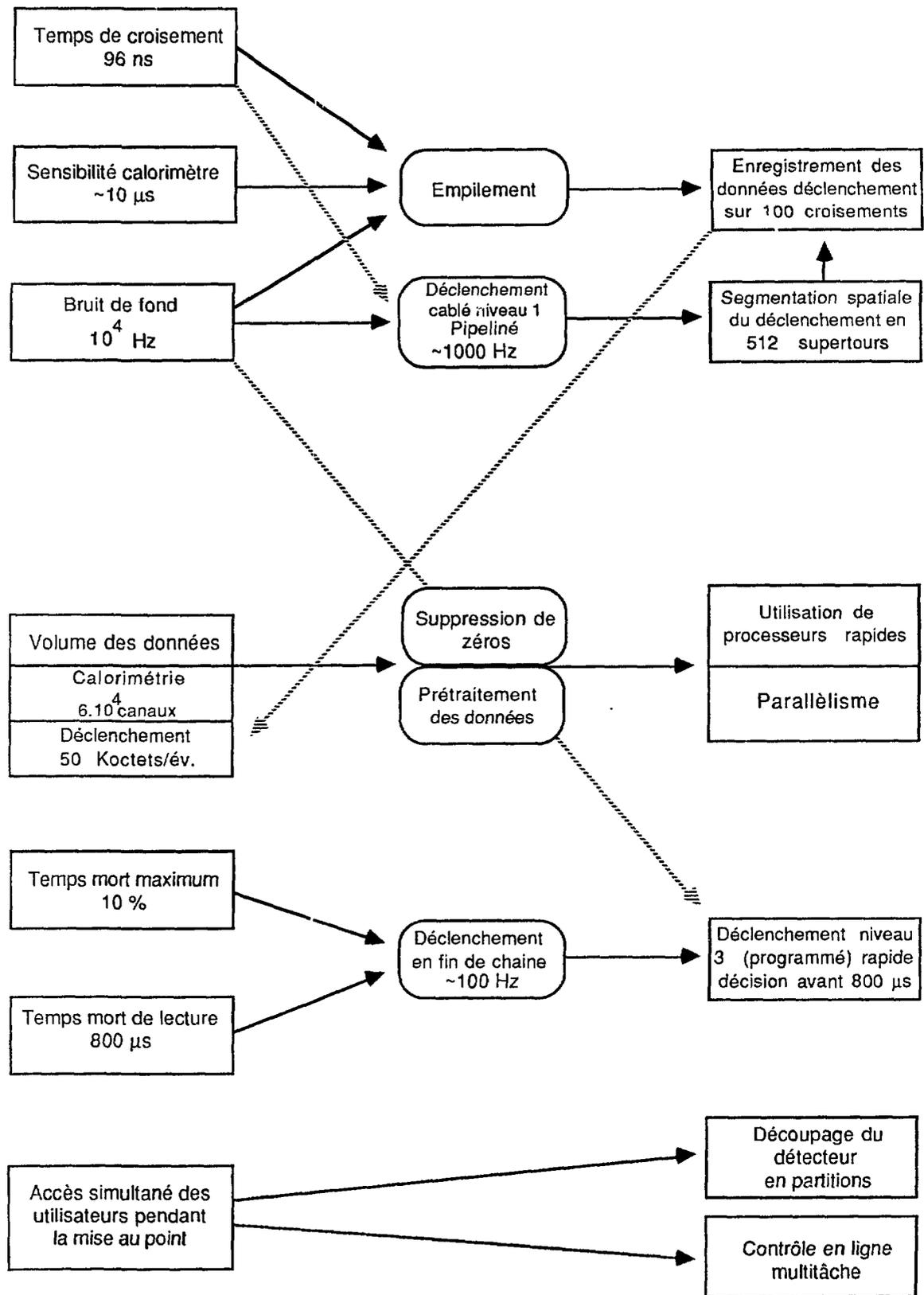


Figure 3.3: La prise en compte des contraintes sur l'acquisition du calorimètre

29000 de la chaîne calorimètre supportent un système d'exploitation temps réel multitâche simple et rapide (VRTX, temps de changement de contexte: 1 microseconde).

En mode normal, l'ensemble complet est en liaison avec l'acquisition centrale; il peut également être totalement commandé (que ce soit au niveau de la branche de lecture ou de la branche de déclenchement) par un système basé sur un ordinateur MicroVax et un microprocesseur Motorola 68020, indépendamment de l'acquisition centrale. Ces deux éléments sont également chargés du contrôle de la bonne marche de l'ensemble de la chaîne pendant la prise de données; pour cette raison, ils recevront toute une variété d'informations, comprenant les événements complets (en parallèle avec l'acquisition centrale, mais en nombre plus restreint), des histogrammes produits par les processeurs 29000, les valeurs des paramètres vitaux du système, les messages du contrôle central et des autres détecteurs, etc...

Voyons comment ce système répond aux contraintes principales (voir la figure 3.3):

#### Temps de croisement $t_p$ de 96 ns

- Pour atteindre la vitesse de traitement nécessaire à la prise en compte de tous les croisements  $t_p$ , le déclenchement de premier niveau du calorimètre est pipe-liné, l'exécution de chaque étage du pipe-line durant au plus 96 ns (il y a 19 étages).
- Le déclenchement de premier niveau calorimètre réduit le volume de l'information qu'il reçoit avant de décider de la validité d'un événement. En effet, il ne tient pas compte des parties du calorimètre non touchées lors du croisement  $t_p$  courant. Si l'on veut se passer de signaux de déclenchements extérieurs, ceci suppose une résolution temporelle inférieure à 96 ns pour l'électronique de déclenchement calorimètre (si l'on n'atteignait pas cette résolution, les chambres, qui ont des signaux larges de quelques dizaines de nanosecondes, pourraient fournir un signal de remplacement).

#### Empilement dans le calorimètre

- La branche de lecture "déclenchement" acquiert des données spéciales, en vue de la détection de l'empilement. Celles-ci sont constituées par l'enregistrement du signal calorimètre (avec une faible granularité), pendant une centaine de croisements  $t_p$  ( $\approx 10 \mu s$ ) autour de l'événement traité.

- L'analyse de l'évolution du signal pendant cette période permet aux processeurs rapides de mettre en évidence l'empilement, en ligne. Ce traitement est partagé entre les DSPs et le processeur 29000 de la chaîne de lecture "déclenchement".

#### Temps mort maximum de lecture de 800 microsecondes et volume des données

- On a fait appel au parallélisme pour respecter cette limite de temps mort maximum. En effet, les tâches de lecture sont partagées (pour les deux chaînes) entre plusieurs DSPs, chacun d'eux ne lisant (en parallèle) qu'une partie des canaux du calorimètre.
- La charge du système après acquisition d'un événement (temps de transfert et de traitement) est limitée par la suppression de "zéros" effectuée par les DSPs lors de la lecture, ce filtrage réduisant le volume des données (facteur de l'ordre de 50).

#### Fréquence de production d'événements maximale de 100 Hz

- Il y a 3 niveaux de déclenchement qui interviennent sur les opérations de l'électronique et des processeurs du calorimètre. Ces 3 niveaux agissent en temps réel (les événements acceptés par un niveau sont traités au fur et à mesure de leur arrivée aléatoire par le niveau suivant).
- Le niveau 2 du déclenchement calorimètre et le niveau 3 général reçoivent des informations en provenance de l'ensemble du détecteur H1; ils ont donc une vision "globale" des choses qui améliore l'efficacité de sélection.
- Le niveau 3 du déclenchement général est programmé, et il utilise un processeur rapide, ce qui apporte plus de souplesse au déclenchement. Il est capable de venir à bout de calculs sophistiqués dans le temps limité qui lui est imparti, ceci doit donner lieu à un taux de réjection important pour ce niveau.

#### Autonomie du calorimètre et facilités d'utilisation lors de la mise au point

- Le déclenchement calorimètre peut fonctionner sans faire appel à d'autres sous-détecteurs ou au système central. Tous les signaux de déclenchement et de synchronisation peuvent être gérés de manière autonome.
- Le calorimètre et son système d'acquisition sont découpés en "partitions" indépendantes en lecture et en déclenchement. Le système de test et de contrôle en ligne, basé sur l'ensemble 68020-MicroVax, est multiutilisateurs (et multitâche). Ceci permet, à qui le désire, d'étudier le comportement de plusieurs partitions du calorimètre simultanément.

### 3.1.3 L'intégration à l'acquisition centrale

Nous décrivons ici comment l'électronique calorimètre s'intègre au système de déclenchement et d'acquisition central de H1.

La structure du système central est divisée en une branche lecture et une branche déclenchement (voir figure 3.4):

- La partie déclenchement générale comporte quatre niveaux de décision qui tirent parti des signaux et informations du système de déclenchement de chaque sous-détecteur (voir figure 3.5).

Les trois premiers niveaux de déclenchement travaillent en temps réel (pas d'accumulation dans une mémoire tampon), le quatrième travaille sans contrainte de synchronisation avec les bas niveaux de la chaîne.

Les niveaux 1 et 2 utilisent uniquement une logique câblée rapide (formant essentiellement des "ET" et "OU" des signaux correspondants venant des détecteurs). Le niveau 3, comme souligné plus haut, est basé sur le traitement de données plus complexes par un processeur rapide AMD 29000. Le niveau 4 est le dernier filtre, réalisant des calculs encore plus sophistiqués que le niveau 3 sur les événements complets. Il est basé sur un réseau parallèle de processeurs 68020, qui peut traiter plusieurs événements simultanément.

Le calorimètre envoie des signaux de déclenchement (niveau 1) au système central, qui rassemble des informations analogues venant de tous les sous-détecteurs. Cette information est condensée puis elle est rediffusée aux sous-détecteurs, pour une éventuelle utilisation locale lors du niveau de déclenchement suivant; évidemment, le système central en tient compte lui-même pour sa décision concernant le déclenchement de niveau 1, qui a lieu 2.2 microsecondes après l'arrivée de l'événement. Quand la décision centrale est prise, elle est rapidement répercutée vers chacun des sous-détecteurs.

Ceux-ci, et en particulier le calorimètre, envoient ensuite des signaux reflétant une décision de niveau 2 locale, à partir de laquelle le système central peut établir le rejet ou la validation de l'événement à ce niveau (la décision globale est connue 10 microsecondes après la détection de l'événement). Le signal positif de niveau 2 est vu par les sous-détecteurs comme le signal de démarrage de lecture pour l'électronique qui leur est associée, ils ont alors 800 microsecondes pour compléter cette tâche.

Des données plus complexes (8 bits ou plus) sont envoyées par le calorimètre et les principaux sous-détecteurs au système gérant les décisions de niveau 3, ce dernier a également accès aux informations de niveau 1 et 2, pour tout le détecteur.

Le signal du système central indiquant une décision de rejet à ce niveau peut intervenir pour interrompre les opérations de lecture dans les sous-

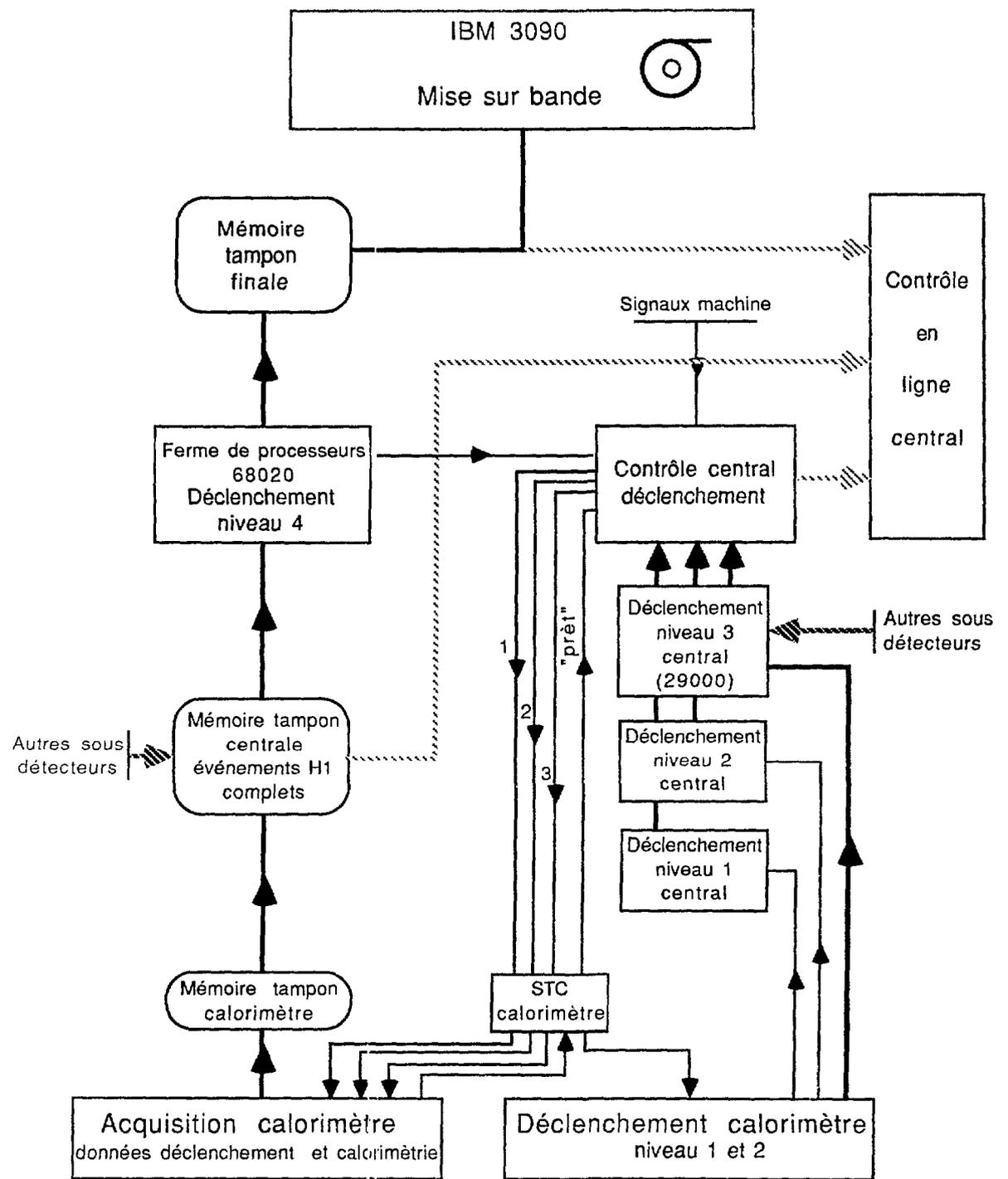


Figure 3.4: Schéma de l'acquisition générale de H1-Signaux échangés avec le calorimètre

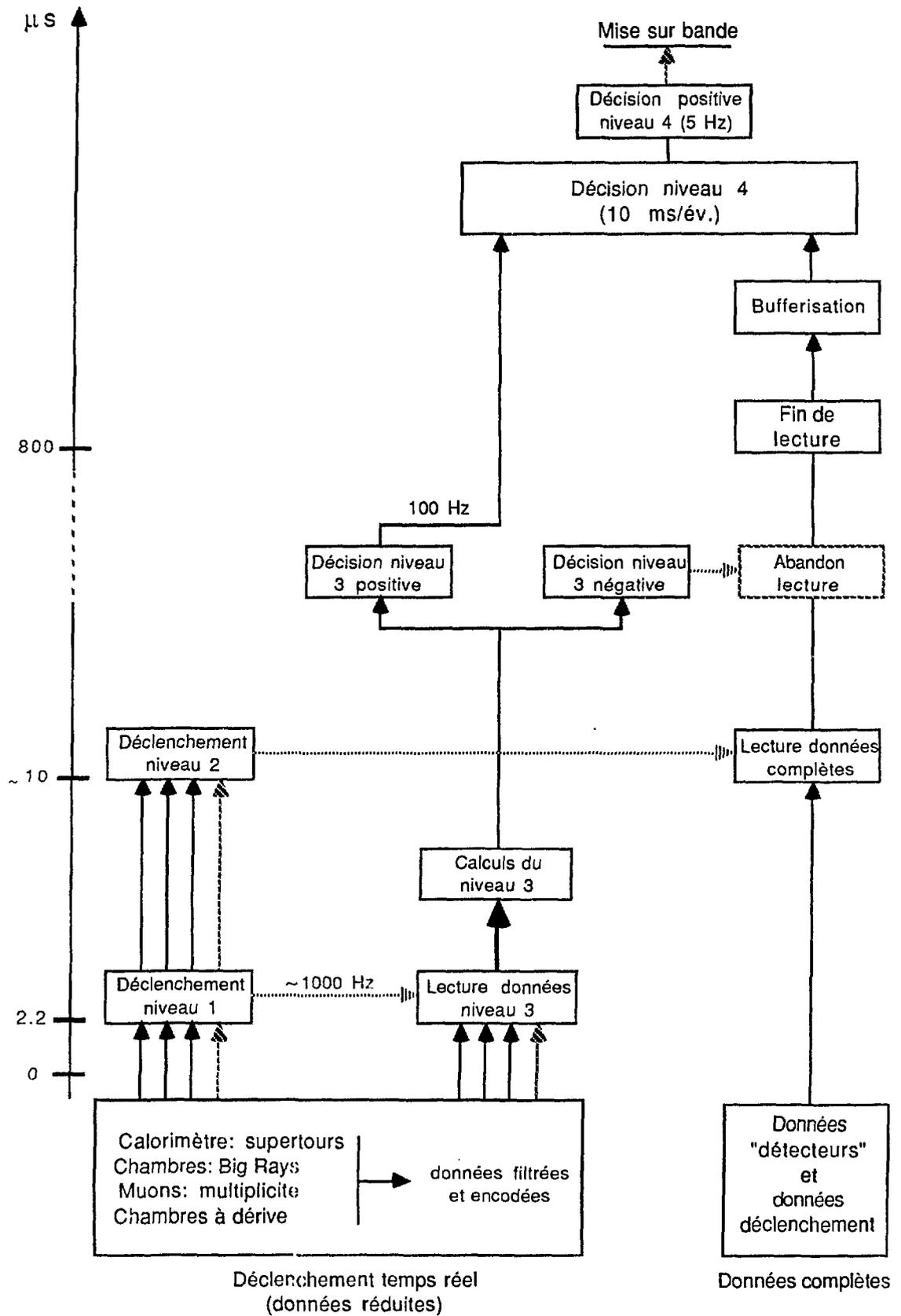


Figure 3.5. Schéma temporel du déclenchement H1

détecteurs avant la fin normale de celles-ci, ce qui permet un gain de temps mort. Si la décision du processeur, positive ou négative, n'arrive pas trop tard (c'est à dire avant la limite de  $800 \mu s$ ) elle est transmise au contrôle déclenchement central, qui entérine ou non cette décision et transmet le résultat final aux sous-détecteurs. D'autres informations (statistiques) sont envoyées sous forme d'histogrammes au système central, pour utilisation ultérieure par la ferme de processeurs, ou hors ligne.

La nature des calculs faits par le niveau 3 n'est pas encore bien déterminée, mais pour arriver à la décision, on pense mettre en rapport les données déclenchements venant du calorimètre (énergie et direction), des chambres à fils (segmentation calquée sur celle du calorimètre, information de direction plus précise), du détecteur de muons (multiplicité) et des histogrammes venant des chambres à dérive. Si les opérations du niveau 3 se terminent suffisamment tôt avant l'écoulement des  $800 \mu s$  fatidiques, et si les calculs sont assez sophistiqués pour qu'un nombre important de déclenchements de niveau 2 soient rejetés, le gain de temps mort peut être appréciable et donc le taux de déclenchements acceptable par le système au niveau 2 plus élevé que prévu. On pense laisser environ  $100 \mu s$  de temps de calcul au processeur 29000 du niveau 3 pour mener à bien sa tâche.

- La partie lecture récupère les données formatées fournies par les divers sous-systèmes, compose les événements complets, et les stocke dans une mémoire tampon VME.

Là, les données peuvent être lues par VME, d'une part par le contrôle en ligne central (probablement basé sur un ou plusieurs ordinateurs Macintosh II), et d'autre part par le réseau de processeurs (type 68020) constituant le filtre final précédant l'enregistrement, celui ci dispose d'environ  $10 ms$  par événement pour agir (fréquence d'acquisition de  $100 Hz$ , à ce niveau). Les événements ayant traversé ce dernier filtre avec succès sont de nouveau rangés dans une mémoire accessible par VME, que les différentes tâches du contrôle en ligne peuvent venir lire à tout moment. Les données sont ensuite transmises à l'IBM 3090 de DESY pour la mise sur bande.

La communication avec chaque sous-détecteur est standardisée. Pour le calorimètre, les informations échangées sont de plusieurs types:

- Des lignes rapides (paires différentielles) sont utilisées pour les signaux simples (1 ou 2 bits) servant à converser avec le système central (synchronisation machine, information déclenchement niveau 1, 2, et 3, état global du système, etc...). Tous ces signaux sont transmis à travers une

unité standard H1, associée à chaque détecteur, appelée "STC" (pour "Subsystem Trigger Controller"). Celle-ci est également capable de simuler les divers signaux envoyés par le système central, sous contrôle de l'électronique du détecteur affilié, ce qui permet de faire fonctionner le sous-système détecteur en mode autonome, en l'absence de contrôle central.

- Les données déclenchement pour le niveau 3 sont envoyées par bus rapide (Quick Bus) jusqu'au processeur 29000 dédié.
- Les données événements et déclenchement destinées à être enregistrées sont transmises par l'intermédiaire d'une mémoire tampon accessible depuis l'acquisition centrale par bus optique.

Dans les deux sections suivantes nous allons décrire plus en détail les deux branches du système d'acquisition du calorimètre, toujours en mettant l'accent sur les contraintes qui gouvernent sa structure.

## 3.2 La chaîne de déclenchement du calorimètre

### 3.2.1 L'électronique et les signaux du déclenchement de niveau 1

Le plus gros problème posé au système de déclenchement est, comme on l'a vu plus haut, l'échelle de temps donnée par le collisionneur (96 ns), corrélée à la taille du détecteur et l'importance du bruit de fond concurrent de la physique (au moins 10 à 100 fois plus que les événements physiques les plus courants, revoir à ce sujet la section 2.4).

Le premier niveau du déclenchement calorimètre doit être capable de fournir des éléments de décision au déclenchement central entre chaque croisement de faisceau, pour avoir la meilleure résolution temporelle. La fréquence de sélection d'événements à ce niveau (pour le calorimètre) ne doit pas excéder quelques centaines de Hertz (voir plus haut).

Ceci ne peut être réalisé qu'en diminuant le flux d'information issu du calorimètre, ce qui revient à restreindre la résolution spatiale du déclenchement (comparée à celle du détecteur lui-même). Pour cette raison, le système de déclenchement voit le calorimètre découpé en segment radiaux (appelés "tours de déclenchement", dont l'axe est grossièrement dirigé vers le point d'interaction. Plusieurs tours (1 ou 4, suivant la région du détecteur) forment une "supertour"; ces deux découpages sont représentés sur la figure 3.6. Il y a quelques centaines de tours, formant en tout 256 supertours.

D'autre part, nous l'avons vu, pour atteindre la vitesse de traitement nécessaire le niveau 1 est pipe-liné. Ce pipe-line est constitué de 19 étages, chacun ayant bien sûr un temps d'exécution inférieur à 96 ns.

Examinons chronologiquement ce qui se passe quand un événement dépose de l'énergie dans le calorimètre. On suppose que cet événement a lieu lors du croisement de faisceau numéro "0", pour donner une origine des temps.

La figure 3.7 illustre le déroulement des opérations:

Le signal analogique issu de chacune des tours est traité par un module de mise en forme bipolaire rapide (voir figure 3.8), à la sortie duquel une carte spéciale vérifie que l'amplitude du signal dépasse un certain seuil (élimination du bruit) et détecte le passage par zéro (la constante de temps de la mise en forme est telle qu'il a lieu entre le huitième et le neuvième croisement de faisceau).

Le passage par zéro, mis en coïncidence avec un signal d'horloge machine (retardé), indique si la tour a été touchée au cours du croisement de faisceau "0". Ceci est le moyen utilisé pour associer l'énergie déposée dans chaque tour au

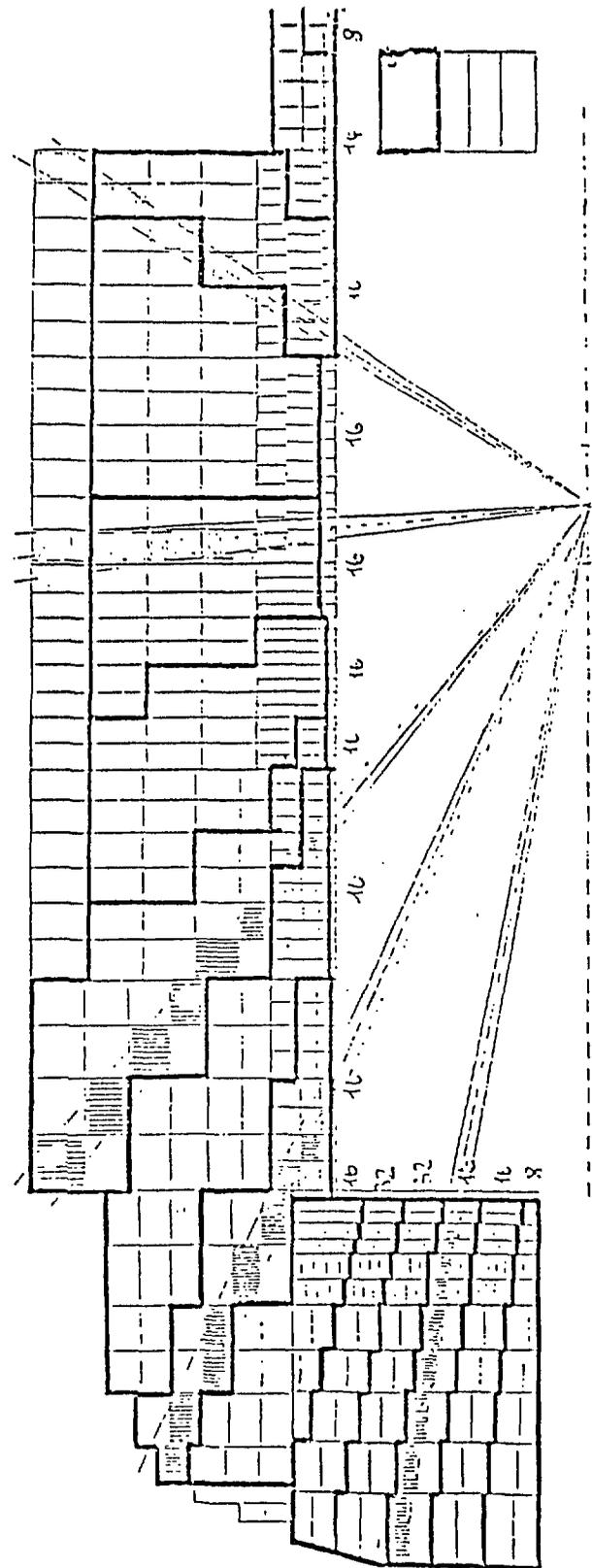


Figure 3.6: Segmentation du calorimètre: les "tours" et "supertours" du système de déclenchement

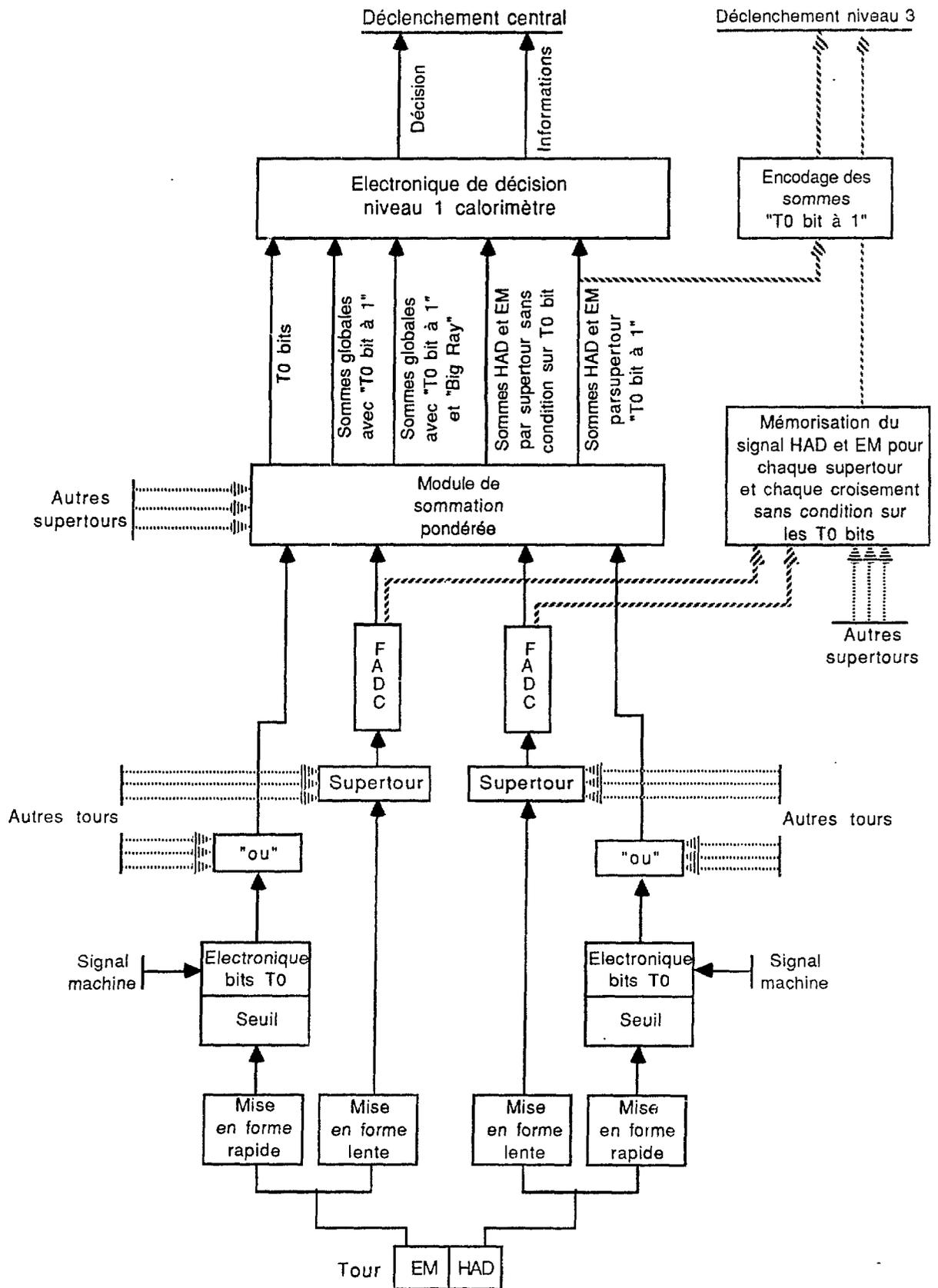


Figure 3.7: Schéma du déclenchement niveau 1 du calorimètre

croisement ep dont elle provient; les tests réalisés au CERN en 88 (voir chapitre 4) sur des parties du calorimètre (avec particules réelles) ont montré que cette méthode permettait de déterminer le moment du croisement avec une incertitude inférieure à  $\pm 10$  ns.

Donc, chaque tour fournit, toutes les 96 ns, une information sur un bit: "touchée ou non au cours du croisement ep courant", nous appellerons ce type d'information " $t_0$  bits". C'est ce signal de base qui conditionne les opérations du reste de la chaîne. Quand aucune tour n'est considérée touchée pour le croisement ep courant, le déclenchement de niveau 1 reste inactif. Pour l'instant, nous nous plaçons d'emblée dans le cas où un événement a eu lieu au croisement "0".

Dans ce cas, l'échantillonneur-bloqueur de l'amplificateur associé à chacune des tours entre en action au croisement ep "+9". Il échantillonne le signal brut des tours qui a été traité par le deuxième module de mise en forme, possédant une plus grande constante de temps que celui qui a servi à la détermination des bits  $t_0$ , et qui génère un signal dont le maximum a lieu au croisement "+9".

Les signaux analogiques amplifiés issus de l'ensemble des tours sont alors sommés par supertours, en distinguant le signal provenant des régions du calorimètre électromagnétiques et hadroniques. Deux types de sommes sont faites: l'une prend en compte uniquement les tours avec  $t_0$  bit à 1 (condition limitant l'influence du bruit), l'autre ne fait pas cette distinction et tient compte de toutes les tours.

Ces deux types de signaux sont ensuite digitisés très rapidement par une série de FADCs 8 bits, les résultats étant rangés dans une mémoire pour utilisation ultérieure.

Ceci permet de former les quantités suivantes (sur 8 bits seulement):

- 256 signaux représentant l'énergie totale dans chaque supertour (avec  $t_0$  bit à 1, électromagnétique + hadronique) reçue lors du croisement "0".
- 256 signaux représentant l'énergie totale dans chaque supertour, mais sans condition sur les bits  $t_0$ .
- 256 signaux donnant l'énergie dans les supertours électromagnétiques ( $t_0$  bit à 1).
- 256 signaux donnant l'énergie dans les supertours hadroniques ( $t_0$  bit à 1).
- Diverses sommes pondérées " $t_0$  bit à 1", réalisées en utilisant des tables rangées en mémoire: énergie transverse totale du calorimètre ( $E_T$ ), énergie manquante totale ( $E_T^m$ ), énergie dans la partie avant du calorimètre ( $E_F$ ), énergie dans la partie centrale ( $E_C$ ).

- Les mêmes sommes pondérées, avec en plus une condition de validation de chaque supertour par la présence de traces dans le segment correspondant des chambres centrales ("Big Ray", voir chapitre 1). La direction des particules détectées par les chambres peut ainsi facilement être comparée au dépôt d'énergie dans la supertour correspondante.

L'ensemble de ces signaux, ainsi que les bits  $t_0$ , sont envoyés à l'électronique du déclenchement de premier niveau proprement dite.

Les données FADC sans condition sur les bits  $t_0$  sont stockées systématiquement en mémoire à chaque croisement  $ep$  (sauf pendant le temps mort de la chaîne, où l'électronique correspondante est inactive), dans une pile qui a une profondeur de 220 croisements, et dont le volume n'est pas négligeable:  $2 \times 256 \times 220 \approx 100$  Koctets (avec, cependant, de nombreux "zéros"). Ainsi, on peut savoir dans quel état se trouvaient les supertours du calorimètre avant et après l'arrivée de chaque événement (figure 3.8); l'utilisation principale de cette information est la détection de l'empilement, sur laquelle nous allons revenir dans la section suivante.

Le déclenchement de niveau 1 peut analyser de diverses manières les signaux qu'il reçoit:

- Il impose des seuils aux quantités globales citées plus haut. Typiquement, on demande:  $E_F > 50$  GeV ou  $E_C > 10$  GeV, avec  $E_T > 10$  GeV ou  $E_T^m > 6$  GeV.
- Il détecte les électrons isolés. Plusieurs méthodes pour mener à bien cette tâche sont étudiées; on peut, par exemple, chercher toutes les supertours électromagnétiques ayant reçu un fort dépôt d'énergie (seuil à déterminer) et derrière lesquelles la supertour hadronique correspondante et ses voisines immédiates ne donnent qu'un signal limité. Après une première sélection de ce type, on peut mettre un seuil sur l'énergie des "électrons" ainsi détectés, sur leur nombre, etc...
- On envisage d'autres types de sélections topologiques, comme la détection de jets. Ce point est plus délicat, il est encore mal étudié.

Les opérations précédentes de l'électronique se terminent systématiquement au croisement  $ep$  "+19", car le système en question forme un pipe-line long de  $19 \times 96$  ns (soit  $1.8 \mu s$ , environ), ce qui permet de prendre en compte chacun des croisements  $eP$ .

Ce pipe-line est connecté directement à l'électronique du déclenchement central. En effet, les quelques bits formant le résultat des séquences du pipe-line sont envoyés au déclenchement central de niveau 1; là, les informations du calorimètre sont mises en rapport avec celles venant des autres détecteurs.

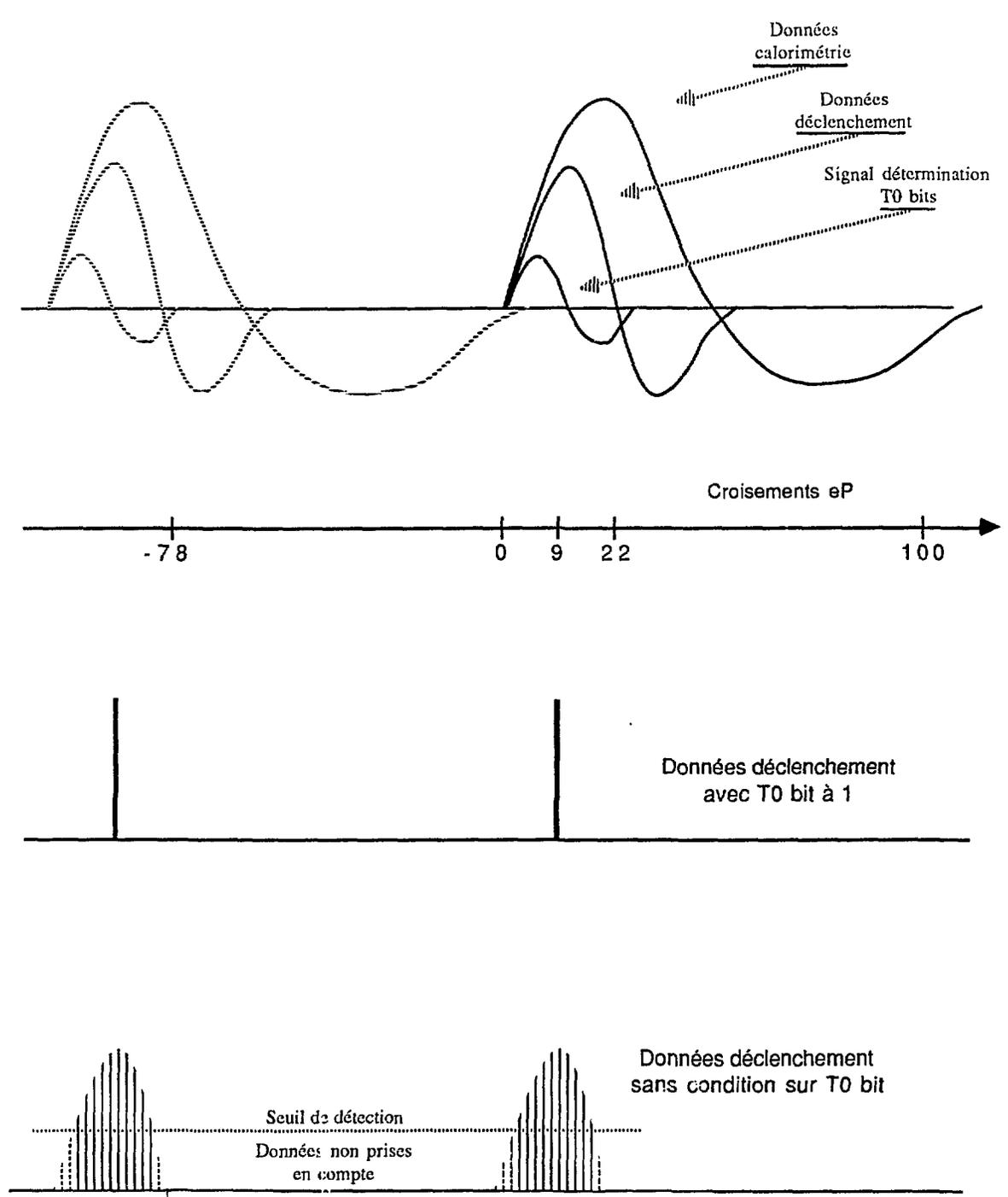


Figure 3.8: Signaux analogiques du calorimètre

La décision du niveau 1 général (qui est également effectuée par une électronique pipe-linée) est prise au temps fixe de  $2.2 \mu\text{s}$  après le croisement "0" (exactement au croisement ep "+22").

La figure 3.9 donne de manière visuelle le déroulement dans le temps des opérations du déclenchement.

La décision positive au niveau 1 central bloque le pipe-line de l'électronique niveau 1 calorimètre et lance le transfert par Quick bus des données FADC "avec  $t_0$  bit à 1" (issues du croisement ep courant) au processeur 29000 du niveau 3 général.

### 3.2.2 Le déclenchement de niveau 2

A l'heure qu'il est le schéma de niveau 2 pour le calorimètre n'est pas encore fixé, le seul élément déterminé est le moment où la décision de niveau 2 générale aura lieu: probablement une dizaine de microsecondes après la décision positive de niveau 1. Le niveau 2, pour le calorimètre, sera certainement basé sur une logique cablée, le taux de déclenchements attendus à ce niveau est de l'ordre de 100 Hz.

La décision de niveau 2 peut être positive ou négative:

- Si elle est négative, la chaîne du calorimètre est remise en état d'accepter de nouveaux événements: les calculs du déclenchement de troisième niveau sont interrompus, le pipe-line du déclenchement de premier niveau est relancé.
- Si elle est positive, la lecture et le traitement des données "déclenchement" par les DSPs commence.

### 3.2.3 Le déclenchement de niveau 3

Les données "avec bits  $t_0$ " représentent une partie limitée des  $2 \times 256$  octets (énergie EM et HAD) contenant cette information, grâce à la suppression de "zéros" cablée liée à la condition sur les bits  $t_0$ . Si l'on considère la topologie des événements à HERA, la simulation laisse présager un facteur de suppression de l'ordre de 10 ou plus pour les événements physiques et du même ordre pour les événements de bruit (voir figure 3.10).

Le contenu des FADCs est transféré sur 16 bits, en même temps qu'une information supplémentaire au sujet des bits  $t_0$  de la supertour concernée.

Le "Quick bus" met en relation directe chaque élément de la mémoire des FADCs avec un emplacement d'une carte mémoire reliée au bus interne du 29000, la transmission se faisant en parallèle sur huit lignes afin d'accélérer le processus. Le temps nécessaire pour transférer un mot de 16 bits est de l'ordre de 150 ns; on compte donc que les données FADC, en tenant compte du temps de codage de l'information sur 16 bits, seront accessibles au 29000

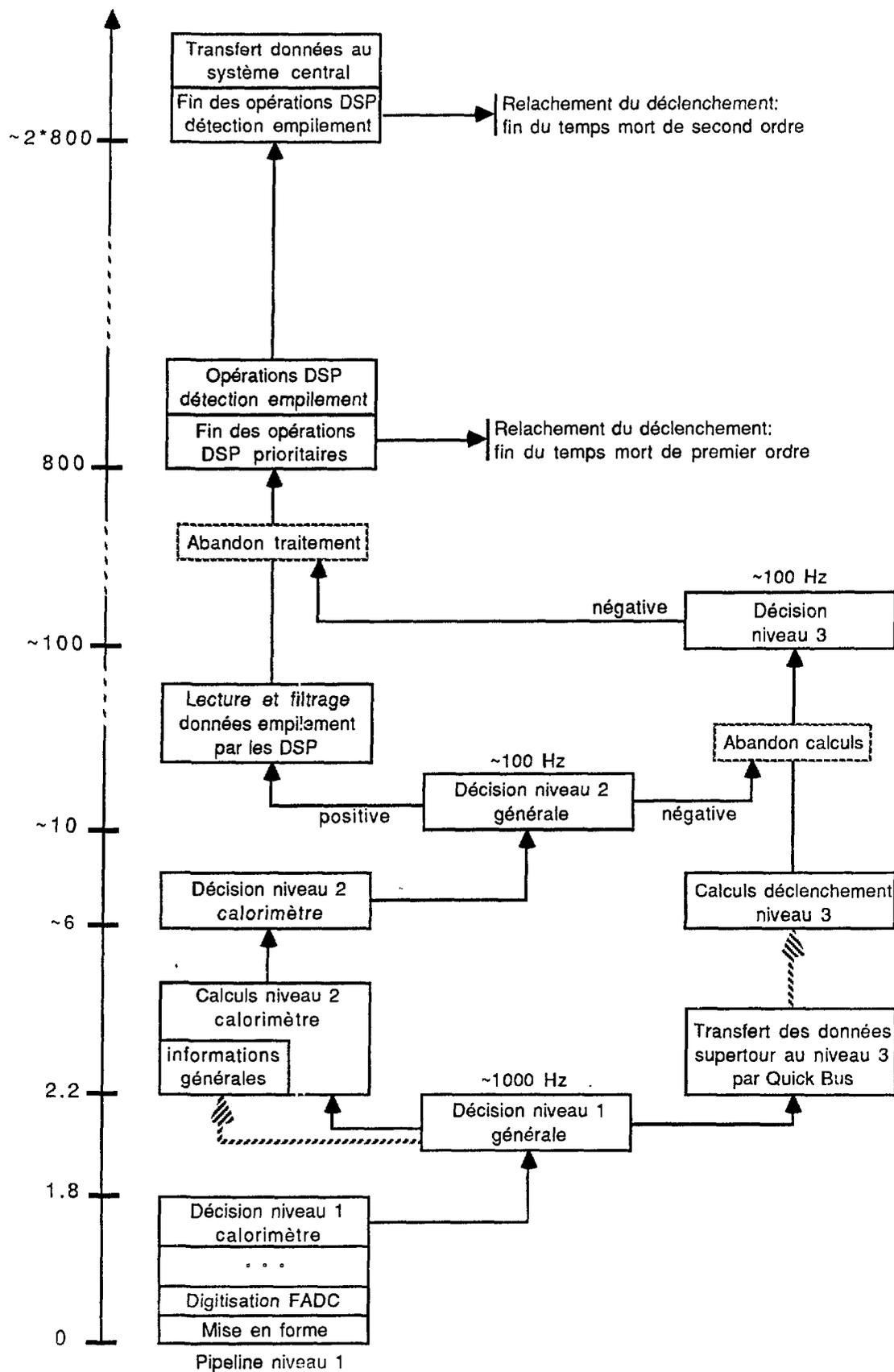


Figure 3.9: Schéma chronologique du déclenchement calorimètre

quelques microsecondes seulement ( $\approx 4 \mu\text{s}$ ) après un déclenchement niveau 1. Le séquençage de l'opération est réalisé par une carte spécialisée. Dès l'arrivée des données, les calculs du niveau 3 peuvent commencer.

Entre la validation de l'événement par le niveau 2 et la fin des 800 microsecondes demandées par les opérations DSP, le déclenchement de niveau 3 peut terminer ses calculs et refuser l'événement. Dans ces conditions, comme pour le rejet au niveau 2, la chaîne est réinitialisée et le déclenchement niveau 1 est rendu à nouveau actif.

### 3.2.4 Les données "déclenchement" et la détection de l'empilement

Après la décision positive de niveau 2, les 8 DSPs commencent à lire les données FADC (digitisées sans conditions sur les bits  $t_0$ ) pour les 100 croisements  $ep$  encadrant le temps d'arrivée de l'événement.

Ces données comportent la valeur d'un FADC (8 bits) suivi du numéro de croisement  $ep$  d'origine (8 bits), le temps de transfert mémoires FADC  $\rightarrow$  DSP est de l'ordre de 150 ns par mot. Les valeurs FADC sont sommées 2 par 2 sur un seul mot de 16 bits grâce à une électronique spéciale, ce qui permet un lissage câblé de la réponse temporelle et divise par 2 le flot de données que doit traiter le DSP. La boucle "critique" de suppression comporte 3 instructions DSP, pour un temps d'exécution de 300 ns (par mot de 16 bits), on voit l'adéquation entre ce temps et la longueur du cycle de transfert FADC  $\rightarrow$  DSP. Les données filtrées sont ensuite formatées, puis rangées dans la mémoire des DSPs.

Le temps pris par ces opérations est proche des 800 microsecondes autorisées, et en tout cas inférieur. Quand tout est terminé, les DSP envoient au système de déclenchement central un signal indiquant qu'ils sont prêts à traiter un nouvel événement.

Une fois ces tâches prioritaires effectuées, les DSPs peuvent utiliser l'information FADC qu'ils ont gardée en mémoire pour une détection *en ligne* de l'empilement. On réalise celle-ci en analysant l'évolution du signal dans chaque supertour au cours des 100 croisements  $ep$  enregistrés; ce chiffre est imposé par la lenteur de la décroissance des signaux calorimètre après mise en forme par l'électronique de la chaîne de lecture (décrite plus bas). En pratique, on étudie les 78 croisements précédant l'événement et les 22 suivants (le croisement "+22" est le dernier avant le gel de l'électronique). A partir de la variation de la forme du signal, les DSPs estiment pour chaque événement, dans chaque supertour, le rapport de l'énergie provenant de l'événement lui-même à l'énergie des événements (physiques ou non) qui se sont produits dans l'intervalle "-78" à "+22" croisements  $ep$  autour de l'événement étudié.

Les données filtrées et formatées, ainsi que les résultats de ces calculs, sont envoyés vers le processeur 29000 de la branche déclenchement calorimètre (par VME). Le 29000, après avoir effectué une analyse et une synthèse globale de l'information, produit une "carte" de l'empilement dans le calorimètre. Celle-ci est envoyée avec les données déclenchement à l'acquisition centrale; c'est le niveau 4 du déclenchement qui utilisera cette carte pour décider finalement du rejet ou de la validation de l'événement. Les données "déclenchement" des événements validés sont enregistrées sur bande, avec les données complètes.

Le temps de calcul DSP employé aux opérations concernant l'empilement est en dehors des 800 microsecondes permises, mais la chaîne étant libérée dès la fin des opérations de lecture des données FADC, elle peut recommencer à acquérir des événements; ces calculs n'occasionnent donc que du temps mort de second ordre, c'est à dire un temps mort qui n'entre en compte que si un nouvel événement se présente avant leur complétion.

### 3.2.5 Alternatives possibles

Un point criticable (et critiqué) du système est le fait que les données déclenchement "sans condition sur les bits  $t_0$ " ne sont pas utilisées directement dans la sélection des événements, ce sont les données " $t_0$  bit à 1" qui jouent ce rôle.

Ceci est problématique, parce que la condition en question introduit indirectement un seuil en énergie relativement élevé sur la physique. Pour comprendre cela, il faut examiner le mécanisme utilisé pour détecter le passage par zéro du signal: les signaux bruts des tours du calorimètre, après leur modification par la mise en forme rapide, sont comparés analogiquement à un seuil haut et un seuil bas (qui encadrent la valeur zéro); le passage successif par ces deux seuils indique le passage par zéro. Avant d'être ainsi traité, le signal est comparé à un autre seuil (appelons le  $S_{min}$ ), pour éliminer les tours qui ont un signal faible et le bruit: ceci est nécessaire pour éviter une pente trop plate au passage par zéro, qui causerait une perte de résolution temporelle.

Le problème est créé par le seuil haut et le seuil bas du module de détection de zéro: les fluctuations de bruit imposent une coupure du signal à  $2\sigma$  (en valeur absolue),  $1\sigma$  correspondant à 200 Mev environ. Ceci, corrélé avec la nécessité de garder une résolution supérieure à 96 ns, donne une valeur du seuil  $S_{min}$  équivalente à 5 GeV par tour, très supérieure au bruit blanc attendu de 200 Mev.

Pour certains types de physique ( $B\bar{B}$ , par exemple), cette valeur est trop restrictive.

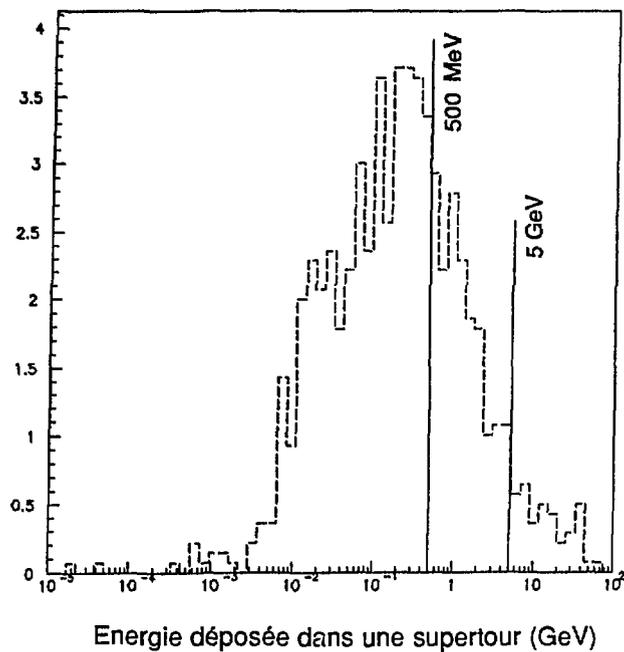
Pour abaisser le seuil en énergie il a été proposé de modifier le système de la

manière suivante: l'information "bits  $t_0$ ", qui est indispensable pour déterminer le croisement  $e p$  pendant lequel l'événement a eu lieu, est acquise de la même manière qu'auparavant, cependant la source des déclenchements de niveau 1 est maintenant l'ensemble des signaux "sans condition sur les bits  $t_0$ " filtrés par un seuil plus bas que  $S_{min}$  (on peut se placer typiquement à  $2\sigma$  du bruit blanc, soit 500 MeV environ). Ce seuil devrait être adaptable facilement aux conditions de physique et de bruit exigées par le mode d'utilisation du détecteur, c'est l'avantage indéniable de ce système sur le précédent. En contrepartie, la résolution temporelle que l'on peut atteindre grâce à ce type de données est moins bonne qu'avec la première solution (on devra peut être alors faire appel à des signaux de déclenchement extérieurs au calorimètre, pour le premier niveau). Cette modification, si elle est réalisée, entraînera des changements mineurs dans les niveaux plus élevés du système, ceux-ci sont en train d'être examinés.

La figure 3.10 montre la différence flagrante de l'effet d'une coupure (à 5 GeV et à 500 MeV) sur l'énergie déposée dans les *supertours*, pour quelques événements DIS (courant neutre) simulés à deux cinématiques différentes typiques ( $Q^2 \geq 10 \text{ GeV}^2$ , et  $Q^2 \geq 1000 \text{ GeV}^2$ ), le bruit de fond physique et électronique n'étant pas histogrammé.

Le problème évoqué plus haut se manifeste clairement: la suppression est très importante pour la coupure à 5 GeV dans le cas "bas  $Q^2$ ", le déclenchement n'a pas lieu (aucune *supertour* au dessus de la coupure), alors que 9 *supertours* sont touchées avec la coupure à 500 MeV.

$Q^2 \geq 1000 \text{ GeV}^2$

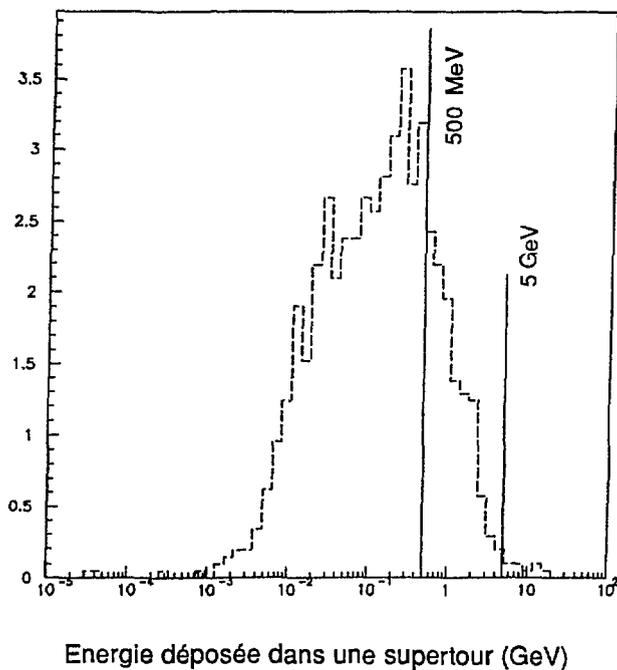


Coupure

	5 GeV	500 MeV
$10 \text{ GeV}^2$	0	9
$1000 \text{ GeV}^2$	4	18

Supertours au dessus de la coupure

$Q^2 \geq 10 \text{ GeV}^2$



$10 \text{ GeV}^2$	52
$1000 \text{ GeV}^2$	63

Nombre total de supertour touchées

Figure 3.10: Coupures à 5 GeV et à 500 MeV sur l'énergie déposée dans les supertours

### 3.3 La chaîne de lecture du calorimètre

Nous décrivons maintenant la structure de la branche de lecture des données "calorimétrie".

#### 3.3.1 L'électronique analogique

Les signaux du calorimètre, avant d'être digitisés, sont mis en forme et amplifiés par la partie analogique de la chaîne. Nous allons donner une description rapide de celle-ci, représentée sur la figure 3.11.

Les plans de lecture du calorimètre sont considérés comme des capacités reliées aux préamplificateurs de charge, les signaux créés par les particules, larges de quelques microsecondes, sont transformés par les modules de mise en forme; en sortie les signaux sont bipolaires et larges d'environ  $10 \mu s$ . Le point maximum du signal bipolaire est atteint  $2.6 \mu s$  après le début de sa montée; c'est à ce moment qu'il est échantillonné et bloqué par le niveau suivant de la chaîne (premier échantillonneur-bloqueur), un peu après réception par l'électronique analogique du signal positif de déclenchement niveau 1 (qui a lieu au croisement ep "+22", voir section précédente).

Les préamplis, les modules de mise en forme, l'échantillonneur-bloqueur sont rassemblés par 16 sur une même carte, qui peut donc traiter simultanément 16 canaux du calorimètre; cette carte comporte également une unité qui permet de multiplexer ces canaux sur un câble unique. Il y a plusieurs types de préamplis utilisés suivant les différentes parties du calorimètre.

Du point de vue mécanique, ces cartes sont regroupées par séries de 8 dans des "boîtes analogiques"; l'énergie thermique dégagée étant appréciable, cette électronique doit être refroidie par un système assez compliqué, qui fait intervenir un flux d'air et d'eau turbulents, plus efficace qu'un simple refroidissement liquide.

Après un nouveau multiplexage par 8, les signaux arrivent au niveau de l'amplificateur final, placé sur la carte "translateur". Ces cartes ont deux amplificateurs qui travaillent en parallèle, ce qui donne le choix entre deux gains possibles: 1 ou 4.

La nécessité d'avoir deux gains différents vient du fait qu'un seul type d'ADC 12 bits est utilisé, alors que la dynamique des signaux varie suivant les régions du calorimètre: les zones susceptibles de recevoir de grandes quantités d'énergie ont une dynamique de 14 bits, alors que les régions moins affectées ont une dynamique de 12 bits seulement.

Il y a 44600 canaux "physiques" dans le calorimètre (chacun correspondant à

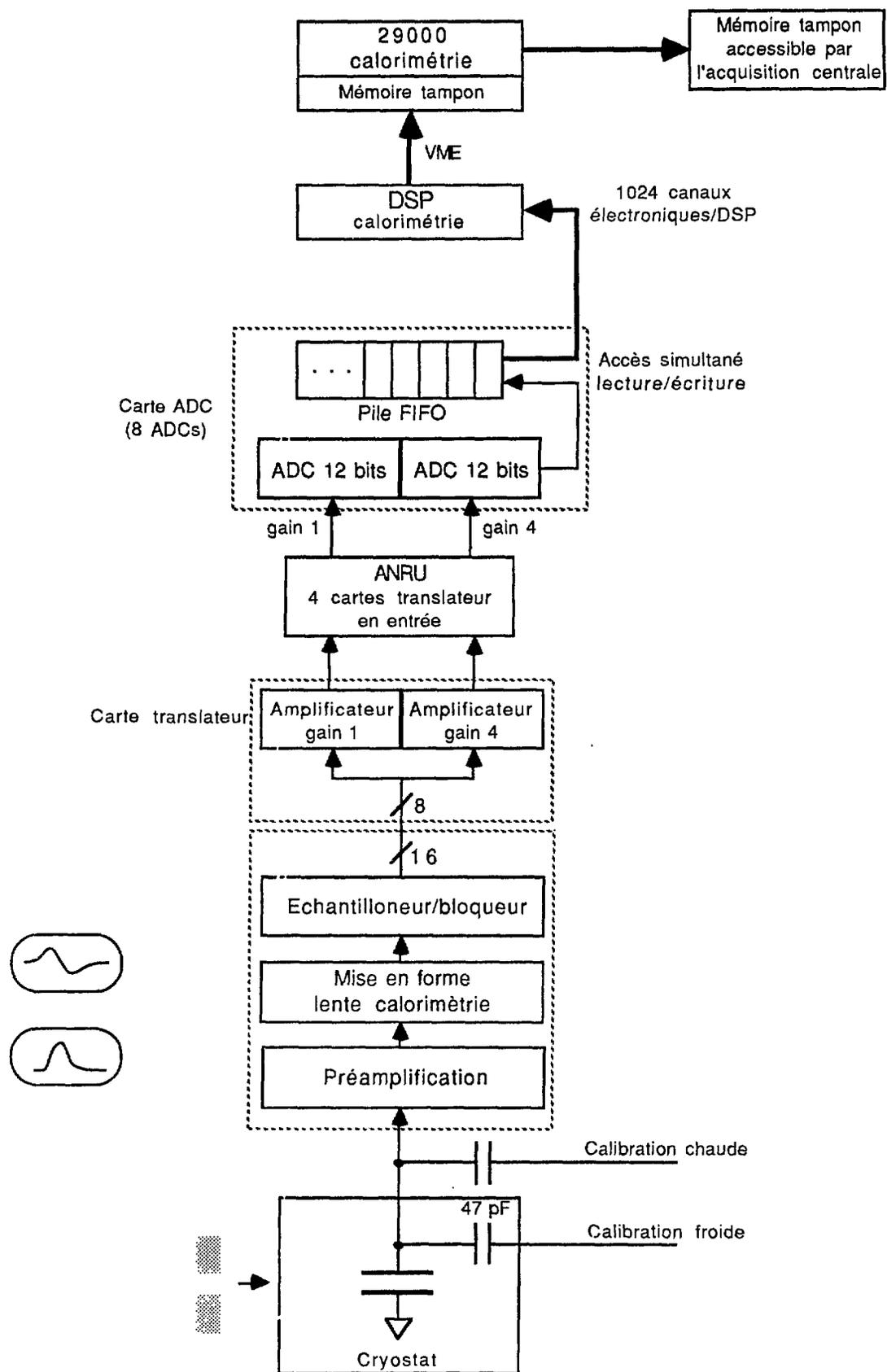


Figure 3.11: Schéma de la chaîne de lecture des données calorimétrie

une cellule du détecteur), dans la pratique 14500 environ ont des gains doubles, pour cette raison ils forment 29000 canaux "électroniques" à digitiser et à lire. Le calorimètre comporte donc en tout 59000 canaux électroniques (ainsi que les 7000 canaux supplémentaires venant des calorimètres chauds avant et arrière, et du détecteur de fin de gerbe).

L'information issue de quatre cartes translateur est regroupée au niveau de l'unité ANRU, chaque carte ANRU reçoit ainsi 1024 canaux électroniques, les sorties à l'avant de la carte sont séparées en  $2 \times 256$  canaux à gain 1 et  $2 \times 256$  canaux à gain 4.

### 3.3.2 L'électronique de lecture

Après l'étape analogique, les signaux sont transmis à l'électronique digitale (voir figure 3.11).

Grâce au module ANRU, on peut connecter indifféremment les canaux à gain 1 ou à gain 4 sur la carte ADC, l'étape suivante de la chaîne. Chaque carte ADC (résolution de 12 bits) peut convertir 1024 canaux électroniques, dans un cycle de conversion long de  $7 \mu s$  par canal. La carte comportant en fait 8 ADCs qui travaillent en parallèle, le temps global de traitement à ce niveau est proche des  $800 \mu s$  permises; le résultat de la digitisation est écrit dans une pile FIFO, qui est accessible *simultanément* en lecture par les DSPs.

Chaque DSP lit 1 carte ADC, soit 1024 canaux électroniques, il y a 72 DSPs dans cette chaîne, le minimum pour respecter la limite de  $800 \mu s$  pour la lecture complète du calorimètre.

Le séquençement des opérations de cette électronique est réalisé en plusieurs phases, indépendamment des DSPs, grâce à une carte spéciale associée à chaque carte ADC:

- La carte donne l'ordre de blocage à l'échantillonneur-bloqueur de la carte ADC qu'elle contrôle.
- Ensuite, la carte de séquençement envoie le signal de début de conversion à la carte ADC. A la réception de ce signal "début de conversion", la carte ADC convertit les signaux et fait passer rapidement le résultat dans la pile FIFO, qui a une profondeur de 1024 mots de 12 bits.
- En même temps, la carte de séquençement envoie des signaux d'horloge à un module séquenceur qui contrôle les échantillonneur-bloqueurs de la chaîne analogique (situés dans la carte préamplification et mise en forme, le module ANRU) et les différents niveaux de multiplexage.

Cette séquence d'opérations se répète 128 fois pour le traitement des 1024 canaux arrivant à la carte ADC (8 ADCs par carte).

Les DSPs peuvent aller lire la pile FIFO des cartes ADC (même si elle est accédée au même moment en écriture), ceci explique que, dans ce schéma, chaque DSP dispose de la totalité des 800  $\mu$ s permises) pour mener à bien les opérations de lecture et de traitement des données.

Le début des opérations de digitisation a lieu à la réception du signal positif de déclenchement de niveau 2 par les DSPs (soit 10  $\mu$ s environ après le croisement ep "0"). L'exécution des calculs DSP peut être interrompue et abandonnée sur réception du signal négatif de niveau 3, ce qui donne lieu à un gain de temps mort (voir plus haut le cas analogue de la lecture des données "déclenchement").

### 3.3.3 Le rôle des DSPs

Comme dans le cas des DSPs de la chaîne des données "déclenchement", ici, en plus de la lecture des données dans les cartes ADC, les DSP doivent effectuer une série d'opérations de traitement sur ces données:

- Filtrage par seuil, pour réduire le flux de données. Le facteur de compression (estimé par Monte-Carlo) pour des événements physiques typiques est de l'ordre de 50, pour une coupure à 2 sigmas du bruit (chaque canal a un seuil individuel). Ceci ramène la taille d'un événement "calorimètre" à quelques Koctets seulement.
- Soustraction des piédestaux (déterminés par la calibration et stockés dans la mémoire des DSPs pour chaque canal).
- Corrections de gain (signal $\leftrightarrow$ charge), celui-ci dépendant de la réponse de l'électronique, du facteur d'amplification choisi pour chaque canal et des particularités géométriques des régions du détecteur (il n'est pas certain pour l'instant que cette dernière correction soit réalisée par les DSPs: elle sera peut-être réalisée au niveau du 29000). Ces opérations utilisent une table de facteurs de corrections fournie par la calibration et rangée dans la mémoire des DSPs.

Ce traitement, plus la lecture des FIFOs, demande aux DSPs plus de 800 microsecondes pour être effectué (le temps nécessaire est pour l'instant estimé grossièrement à  $2 \times 800 \mu$ s).

Une des techniques envisagées pour limiter les conséquences de ce problème consiste à séparer la phase de lecture et de réduction de volume des données (qui prend à elle seule 800  $\mu$ s environ) et la phase de correction. Chaque DSP va donc agir de la manière suivante:

- Les premières 800  $\mu$ s sont consacrées à la lecture de la FIFO, en même temps les données sont supprimées de zéro et stockées en mémoire DSP. A la fin de cette séquence, chaque DSP envoie au contrôle H1 central un signal ("prêt") indiquant que la partie de la chaîne de lecture à laquelle il est attaché est prête pour l'acquisition d'un autre événement (en effet, la FIFO des cartes ADC est maintenant vide). Ceci conduit au temps mort de premier ordre de 800  $\mu$ s environ, dans les limites autorisées, donc.
- La phase de traitement commence immédiatement après la précédente. Elle donne lieu à un temps mort de second ordre proche de 800  $\mu$ s, qui n'intervient que rarement étant donné la fréquence de déclenchement temps réel (niveau 3) de 100 Hz (ce qui laisse un temps très large de quelques millisecondes en moyenne pour terminer les corrections).

Chaque DSP, une fois qu'il a traité les données, les transfère par bus VME dans une mémoire accessible par le 29000 de la chaîne (appelée ici mémoire "DSP-29000"), le temps de transfert par mot de 16 bits est de l'ordre de 350 ns.

### 3.3.4 Le rôle du 29000

Le processeur 29000 ne fait rien avant d'avoir reçu de la part du contrôle central un signal lui indiquant que tous les DSPs ont terminé leur boucle critique de lecture (c'est le "ET" des signaux "prêt" de chaque DSP). Ce signal ne signifie pas qu'il peut commencer la lecture des données situées dans la mémoire "DSP-29000", puisque celles-ci ne sont envoyées par chaque DSP qu'à la fin du traitement *complet* des données. Il y a donc un niveau supplémentaire de synchronisation entre les quelques 72 DSPs et le 29000: chaque DSP fournit au 29000 un drapeau indiquant la complétion ou non de ses opérations (y compris le transfert vers la mémoire "DSP-29000"), le 29000 scrute successivement et répétitivement ces drapeaux; dès qu'il rencontre un drapeau correspondant à un DSP qui a fini, il peut aller lire les données correspondantes dans la mémoire "DSP-29000".

Quand le 29000 a à disposition toutes les données de l'événement, il construit celui-ci (suivant un format déterminé) et le transfère dans la mémoire tampon accessible par l'acquisition centrale.

Le processeur 29000 est chargé également de produire des histogrammes pour le contrôle en ligne calorimètre. Donc, après les opérations prioritaires, il se lance dans des calculs de mise à jour d'histogrammes; un point important est que ces histogrammes prennent en compte *tous* les événements acceptés par le

niveau 3 du déclenchement. Le 29000 envoie ensuite par VME les divers histogrammes produits dans une mémoire tampon accessible par le processeur 68020 du contrôle calorimètre (voir section 3.4).

Il est possible qu'avant d'envoyer l'événement à l'acquisition centrale, le 29000 soit chargé d'effectuer des calculs (statistiques ou autres) sur les données. Le résultat de ces opérations serait intégré à l'événement, le filtre de niveau 4 pouvant alors utiliser cette information directement, pour alléger sa charge de calcul (de manière analogue à la carte de l'empilement produite par le 29000 de la chaîne données déclenchement).

Un schéma chronologique des opérations de la chaîne est représenté à la figure 3.12

### 3.3.5 Le système de calibration

Nous avons fait allusion dans les sections précédentes au système de calibration de la chaîne, nous le décrivons ici.

Le but du système est d'intercaler tous les canaux physiques entre eux, en simulant le mieux possible l'effet des particules réelles dans la chaîne d'acquisition du calorimètre. Bien sûr, la calibration absolue est fournie par la mesure du signal réel des particules dans le détecteur (tests en faisceau au CERN, voir chapitre 4).

Pour réaliser la calibration relative, le principe choisi est l'injection de charge dans la chaîne électronique, aux deux points qui sont indiqués sur la figure 3.11. Le premier point d'arrivée des impulsions de calibration est situé au niveau des circuits qui rassemblent les câbles provenant des plaques de lecture (calibration "froide"). A cet endroit, dans l'argon liquide, une capacité de 47 pF (petite par rapport à la capacité typique d'un canal), est placée en parallèle avec la capacité formée par une série de canaux du détecteur, les impulsions délivrées à ce niveau ont des effets très similaires aux charges créées par une particule. Le seul problème est la difficulté d'accès aux composants du système qui sont dans le cryostat.

Le deuxième point d'injection pallie à cette difficulté, car il est à l'extérieur du cryostat (d'où le nom de calibration "chaude"). Le signal arrive cette fois au niveau de l'entrée des préamplificateurs, toujours à travers une capacité de 47 pF, donc assez loin de la source du signal réel.

A la sortie du module de mise en forme, le signal de calibration froide est légèrement différent de son homologue "chaud": il est retardé par rapport à lui et est d'une amplitude plus grande (à cause de la plus forte dépendance du signal "chaud" vis à vis de la capacité du détecteur). Ces dissemblances sont

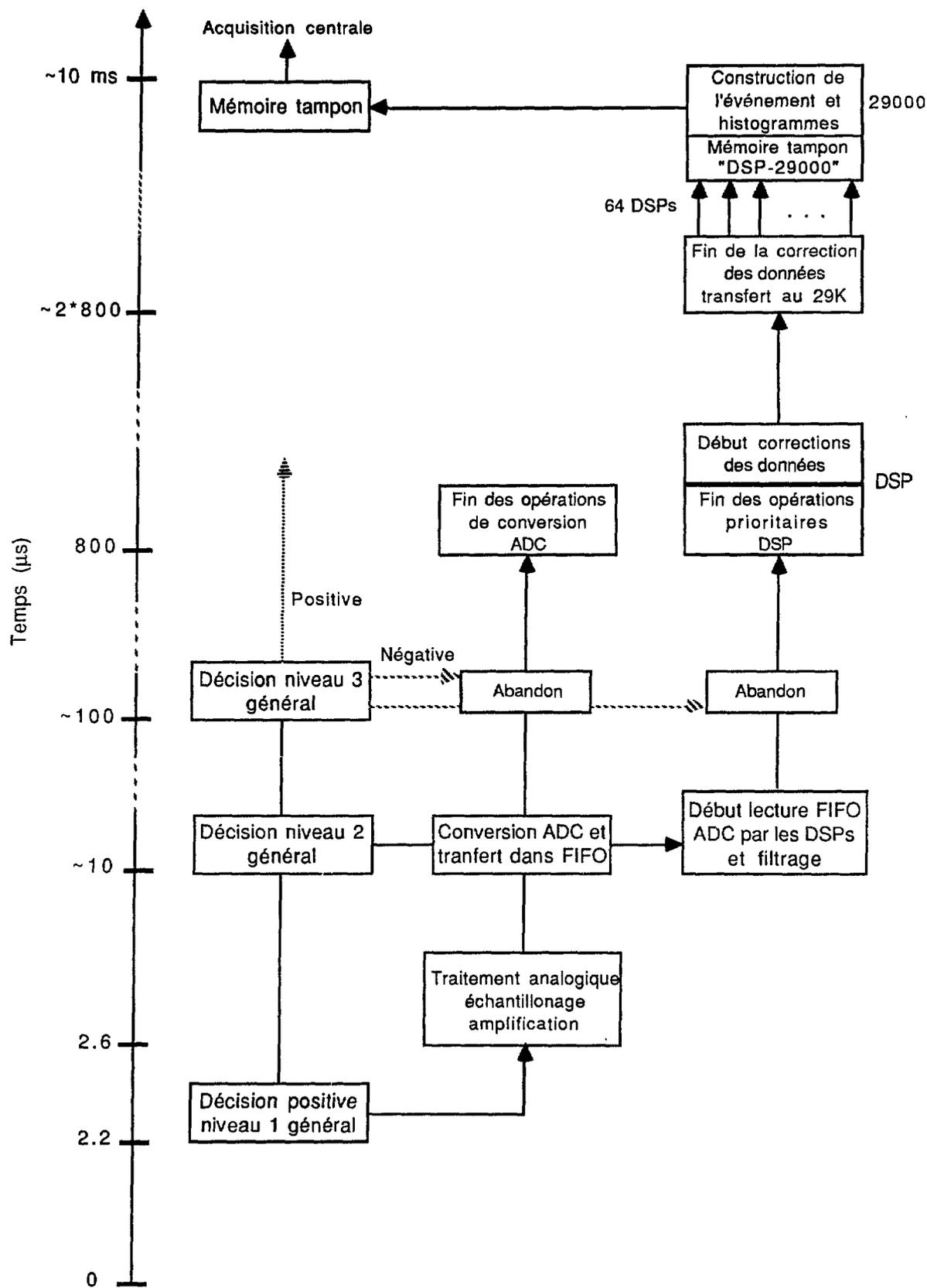


Figure 3.12: Schéma chronologique de la chaîne de lecture des données calorimétrique

comprises, elles sont peu marquées: la différence en amplitude entre "chaud" et "froid" ne dépasse pas 5 pour cent pour un canal d'une capacité (maximale) de 10 nF, il est donc possible *a priori* de retrouver le signal de calibration froide à partir du signal "chaud". Quoiqu'il en soit, la calibration froide reste la seule qui donne la certitude, à n'importe quel moment, de simuler correctement les signaux réels, c'est là sa véritable utilité.

Les capacités de 47 pF sont chargées, pour les deux types de calibration, par un générateur digital de tension (16 bits), dont la sortie peut aller de 0 à 5 V. Les cartes générateur sont contrôlées par le microprocesseur 68020 du contrôle en ligne, elles permettent d'injecter la charge dans un sous-groupe donné de canaux, sans agir sur le restant du détecteur. Cette facilité rend possible, en plus de la calibration relative proprement dite, l'étude de la diaphonie au sein des différentes parties du calorimètre et facilite les études d'électronique.

Le 68020 peut également agir sur des paramètres importants de l'électronique, comme le temps que laisse passer le premier échantillonneur-bloqueur (après la montée du signal) avant d'agir, ce qui conditionne la région de la courbe du signal échantillonné.

Au cours d'une calibration standard, les DSPs ont un rôle important de réduction du volume des données (une fois de plus). En effet, le volume d'un événement calibration complet (comprenant tous les canaux du calorimètre) représente 120 Koctets environ et ici, il n'est pas question de supprimer les "zéros". S'il fallait transférer les événements un par un vers les mémoires tampons, comme dans le cas d'une acquisition normale, le processus de calibration demanderait un temps très long pour atteindre une statistique raisonnable.

Pour remédier à ce problème, les DSPs acquièrent un lot d'événements (100 typiquement), mais, au lieu de transférer l'information globale, ils stockent en mémoire les sommes des valeurs et des carrés des valeurs de chaque canal pour le lot d'événement entier. Ceci permet de déterminer, pour chacun des lots acquis, les deux quantités essentielles pour la calibration: les moyennes et les sigmas pour chaque canal. Le volume de cette information est réduit: typiquement 120 Koctets (indépendamment du nombre d'événements d'un lot), ceci permet d'avoir rapidement une bonne statistique pour la calibration.

## 3.4 Le contrôle en ligne de l'acquisition calorimètre

### 3.4.1 Structure du système

Afin de pouvoir fonctionner indépendamment du système central et pour faciliter sa mise au point, le calorimètre comporte son propre contrôle en ligne, dont les principaux rôles sont les suivants:

- Il doit pouvoir faire fonctionner en mode autonome l'acquisition et le déclenchement calorimètre, pour effectuer des tests ou des calibrations.
- En mode de fonctionnement normal du détecteur au sein de H1, il doit avoir accès à une fraction des événements déclarés corrects au niveau du calorimètre (au niveau 3 du déclenchement, donc). Ceci dans le but de contrôler le bon fonctionnement de l'électronique et du détecteur. Il doit recevoir également les histogrammes produits par les processeurs 29000 des deux chaînes de lecture.
- Il sert de base de référence pour tous les paramètres nécessaires au fonctionnement du système: constantes de calibration, de géométrie, tables de correspondance entre les canaux "physiques" et électroniques. Il permet de consulter facilement ces tables.
- Il charge dans les processeurs 29000 et DSP les programmes qu'ils doivent exécuter et les tables nécessaires. Il permet de travailler à la modification et au développement de ces programmes pendant la mise au point et sert de "base de programmes" pendant le fonctionnement normal.
- Il doit pouvoir échanger des messages d'état avec l'acquisition centrale, les autres sous-détecteurs et les diverses unités de surveillance de l'état du calorimètre.
- Il doit pouvoir être interrogé à distance, à travers des réseaux internationaux.
- Il doit fournir une interface *multiutilisateur* sophistiquée pour toutes ces tâches.

Le système choisi pour remplir ces fonctions comporte les éléments suivants (figure 3.13):

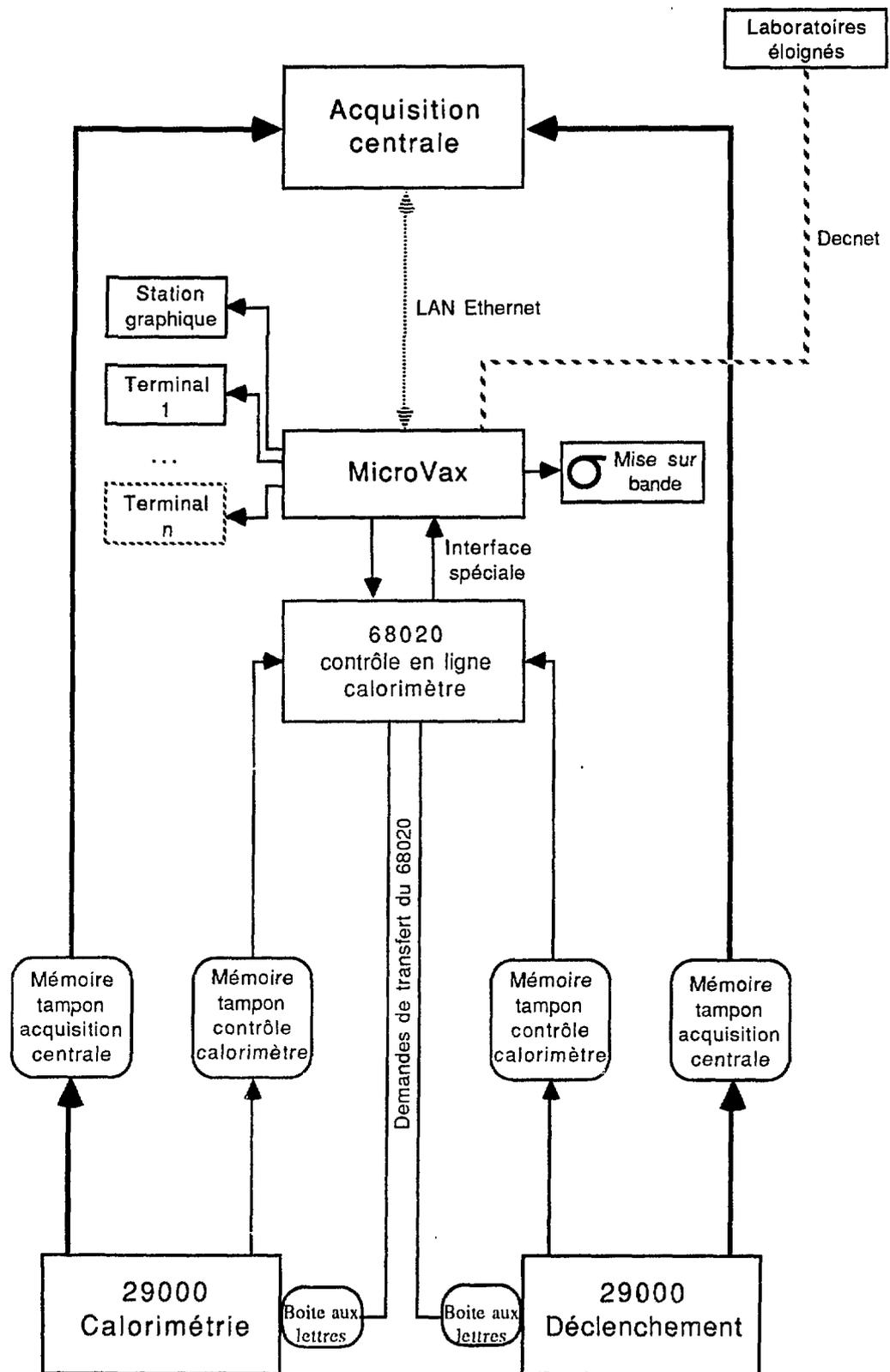


Figure 3.13: Système de contrôle en ligne - Liaison avec les différentes parties du système

- Un microprocesseur 68020 (muni d'un disque dur) interfacé avec le système d'acquisition à travers un bus VME. Ce 68020 est capable de lire par VME une mémoire tampon à laquelle les processeurs 29000 des chaînes données "calorimétrie" et données "déclenchement" peuvent accéder en écriture. Le système OS-9 implanté sur ce 68020 permet de traiter en mode multitâche les requêtes des utilisateurs.
- Un ordinateur MicroVax utilisant le système VMS, relié aux périphériques nécessaires: disques durs, lecteurs de bandes magnétiques, station graphique haute résolution, terminaux utilisateurs, etc...  
Celui-ci communique avec les autres unités de H1 (sous-détecteurs, acquisition centrale) par réseau local Ethernet.  
Par l'intermédiaire d'Ethernet il est connecté au réseau général Decnet, et peut entrer en contact avec les machines de laboratoires distants, ou être interrogé par celles-ci.

Le MicroVax et le 68020 sont reliés par une interface rapide spéciale. Les rôles respectifs de chacun de ces éléments sont décrits dans les deux sections suivantes.

### 3.4.2 Le processeur 68020

Le 68020 peut fonctionner suivant plusieurs modes:

- Le mode "test", pendant lequel le 68020 doit assurer le contrôle complet des chaînes de lecture du calorimètre et du déclenchement. Dans ce cas, les utilisateurs demandent au système d'acquérir un nombre donné d'événements qui sont soit histogrammés par les processeurs 29000, les histogrammes étant ensuite envoyés au système 68020—OS-9, soit transmis directement à ce système, qui joue alors le rôle de l'acquisition centrale.
- Le mode "calibration", également indépendant de l'acquisition centrale. Au cours de ce mode, le 68020 doit contrôler la chaîne complète du calorimètre et les générateurs de la calibration. Les événements sont traités directement dans les DSPs et seuls les moyennes et les sigmas sont transmis au 68020 (voir section 3.3.5).
- Le mode normal, au cours duquel le calorimètre fonctionne comme sous-système de l'acquisition centrale. Dans ce cas, seule une faible partie des événements (déclarés valides par le niveau 3) peut être envoyée dans la mémoire tampon du 68020, le flux de données étant alors trop important ( $\approx 2$  Mbaud, à ce niveau) pour que le 68020 ait le temps de prendre en compte tous les événements, il se contente donc "d'espionner" la prise de données.

Dans chacun des modes de fonctionnement possibles, le 68020 est chargé de lire les informations que lui envoient les processeurs 29000 dans la mémoire tampon (histogrammes et événements de niveau 3). Le 68020 communique ses requêtes aux 29000 par boîte au lettre spéciale.

Après réception des données, il effectue la remise à jour d'une base d'histogrammes permanente, en réalisant lui-même des calculs d'histogrammation sur les événements reçus et en stockant simplement les histogrammes fournis par les 29000. Il faut souligner une différence importante entre ces histogrammes et ceux qui sont produits par les 29000: ils ne tirent leur information que d'un *sous-ensemble* des événements acceptés au niveau 3, tandis que les histogrammes 29000 prennent en compte *tous* les événements de niveau 3, cette différence peut être cruciale dans certaines circonstances.

Le 68020 se charge également de réceptionner les messages venant des 29000 (et, à travers ceux-ci, des DSPs), en particulier les messages d'erreurs. Les événements complets sont transmis au MicroVax par l'interface spéciale, et peuvent éventuellement être écrits sur bande.

Dans le système OS-9, les requêtes des utilisateurs correspondent à des processus qui agissent essentiellement sur la base d'histogrammes (visualisation, construction d'un histogramme particulier) ou en étudiant au cas par cas un nombre limité d'événements. Les opérateurs interagissent avec le 68020 à travers une interface multiutilisateurs qui gère plusieurs terminaux (chacun permettant la visualisation d'histogrammes), le système répond ainsi à la contrainte d'accès simultané au détecteur: pour un test, chaque utilisateur peut requérir l'acquisition d'un nombre donné d'événements, en agissant comme il l'entend sur la partition du détecteur qu'il a choisi d'étudier (par exemple en envoyant des impulsions de calibration dans celle-ci, voir ci-après).

Les opérations de calibration doivent être réalisées périodiquement entre les prises de données normales: dans ce cas, le programme de calibration est implanté sur le 68020. Il supervise la synchronisation des impulsions issues des générateurs de la calibration (voir section 3.3.5) avec le déclenchement de la chaîne électronique, récupère les données et les histogrammes de calibration dans la mémoire tampon, et permet à l'utilisateur de prendre connaissance de ces informations à travers un système de menus. Les données "calibration" complètes sont envoyées au MicroVax pour être mises sur bande, pour la remise à jour des tables de calibration stockées sur disque, et pour subir une analyse approfondies.

Plus généralement, quand le système calorimètre fonctionne en mod autonome, le 68020 est capable de provoquer, par l'entremise des autres processeurs, des déclenchements artificiels et de faire fonctionner la chaîne sans qu'il y ait

d'événements physiques.

### 3.4.3 le MicroVax

Le MicroVax a plusieurs fonctionnalités:

- Les tables de constantes, et plus généralement les caractéristiques de *chaque* canal du calorimètre (piédestal, gain, câblage, géométrie, etc...) qui représentent une masse de données importantes (66000 canaux  $\times$  une vingtaine de constantes, au moins) sont maintenues sur disque dur grâce à une base de données relationnelle (ORACLE) qui permet un accès intelligent et rapide à tous ces paramètres.
- A l'initialisation de l'ensemble calorimètre, il envoie au 68020 les programmes et les tables de constantes (calibration et autres) à charger dans les autres processeurs de la chaîne. C'est lui qui maintient ces programmes sur disque dur.
- Grâce à la station graphique qui lui est attachée, il permet la visualisation en perspective et en couleur d'événements individuels dans le calorimètre. Une telle possibilité peut être utile, par exemple, pour repérer rapidement les canaux défectueux ou bruyants du calorimètre et leur position, pour vérifier la cohérence des tables de correspondance avec la réalité, pour voir si la calibration fonctionne correctement, etc...
- Le MicroVax peut échanger de courts messages avec les autres sous-détecteurs et l'acquisition centrale (état du système, requêtes diverses...) par réseau Ethernet. De la même manière il contrôle et prend connaissance des paramètres du système qui évoluent lentement (cryogénie, argon, hautes tensions... voir à de sujet la section suivante).
- Il gère une seconde base d'histogrammes, construite grâce aux événements que lui envoie le processeur 68020. Elle est remise à jour périodiquement par un processus consacré à cette tâche.
- Il peut être contrôlé à partir de laboratoires éloignés (Decnet): demandes d'informations sur l'état du système, consultation de la base de données et de la base d'histogrammes, modifications de programmes, etc...

## 3.5 Les paramètres variant lentement

Le bon fonctionnement du calorimètre dépend de certains paramètres tels que: pression et température dans diverses régions du cryostat, niveau d'argon liquide, valeurs des hautes tensions, taux d'impuretés dans l'argon liquide, etc...

Ces quantités varient lentement, mais il faut surveiller et enregistrer constamment leur évolution, nous allons voir rapidement comment ceci est réalisé dans deux cas précis: le contrôle des hautes tensions et le contrôle de la pureté de l'argon.

### 3.5.1 Les hautes tensions du calorimètre

Il y a 1504 lignes de haute tension alimentant les plaques du calorimètre (celle-ci variant de 1500 à 3000 Volts suivant les régions du détecteur). Le contrôle de ces lignes implique:

- La vérification du fait que la tension est bien dans un certain intervalle autour de sa valeur nominale.
- L'envoi de messages d'alarme au contrôle calorimètre et au contrôle central en cas d'anomalie.
- La possibilité de neutraliser rapidement l'alimentation d'une ligne s'il semble y avoir un problème grave.
- Des possibilités de tests de montée en tension automatiques.

Pour remplir ces points, un processeur 68020-OS-9 spécifique est utilisé. Il contrôle, à travers un bus VME, un ensemble de modules spéciaux qui peuvent réaliser les opérations de base: mesure de la tension sur une ligne, montée ou descente en tension progressive jusqu'à la valeur choisie, neutralisation d'une ligne. Chacun de ces modules peut prendre en charge 40 canaux haute tension. Grâce à eux, le 68020 lit les tensions périodiquement sur toutes les lignes et les enregistre sur disque pour utilisation ultérieure.

Le processeur 68020 est connecté au réseau local Ethernet et peut communiquer ainsi avec le MicroVax calorimètre. C'est par cette voie qu'il envoie des informations et des messages d'alarme au programme de surveillance général, qui, en retour, décide des mesures à prendre pour le système calorimètre et répercute les informations au contrôle central H1.

L'utilisateur, pendant les périodes de mise au point peut contrôler les hautes tensions à partir d'une console connectée directement au 68020.

### 3.5.2 Le contrôle de la pureté de l'argon

Le lecteur se reportera à la section 4.4.3 pour une discussion du principe physique de la mesure de pureté, de sa précision, et du système de mesure lui-même.

Le système final de contrôle a une structure proche de celui qui a été mis à l'épreuve au CERN pendant l'été 88, il utilise un ensemble de cellules de mesure analogues à celles du test 88. Ces dernières sont lues successivement par un IBM-PC, qui peut faire varier par programme la haute tension dans les cellules. Les données recueillies sont enregistrées sur le disque dur de l'IBM et envoyées par Ethernet au MicroVax calorimètre où elles peuvent être analysées. Si une dérive brutale du signal des cellules est détectée, l'alarme est donnée. Des études sont menées actuellement pour mettre au point une cellule de mesure fonctionnant par impulsion rapide de rayons ultraviolets (ionisants) dans l'argon; en 1990, elle pourra faire partie du système de contrôle.

# Chapitre 4

## La réalisation du système d'acquisition

### 4.1 Introduction

Pour parvenir à faire fonctionner le système d'acquisition final, tel qu'il a été exposé au chapitre précédent, il faut procéder par étapes successives. En l'occurrence, nous avons pu profiter des essais en faisceau, au SPS du CERN, pour construire des configurations d'acquisition (électronique et programme de contrôle en ligne) se rapprochant de plus en plus de la version définitive. Ces essais se répartissent sur plusieurs années (Figure 4.1):

- Eté 1986 et 1987: utilisation d'un système IBM PC-CAB et PDP (500 canaux à lire), calibration sous contrôle du CAB, électronique éloignée de sa version finale (objectif prioritaire: étude et mise au point des cellules du calorimètre).
- Eté 1988: essai de la configuration CAB + MicroVax (programme multitâche, lecture de 3000 canaux), calibration contrôlée par un microprocesseur 68020 annexe, premiers essais d'éléments de l'électronique finale.
- Eté et automne 1989: même configuration qu'en 1988 pour le contrôle en ligne, poursuite des études d'électronique.

Il y aura également fin 1989 un essai, à DESY, mettant en jeu une roue entière du calorimètre, avec les premières tentatives d'intégration au système d'acquisition central de l'expérience.

Le but poursuivi au cours de ces tests est, on le voit, l'étude des performances des différents éléments mis en jeu, que ce soient les parties constituant le calorimètre, ou la chaîne de lecture avec son programme de contrôle, le tout dans des conditions relativement proches de ce qu'elles seront à HERA, en 1990.

Pour ma part, j'ai participé au test CERN 1987 (en observateur) mais surtout, de manière beaucoup plus active, au test CERN 1988 pour lequel j'ai conçu une grande partie du programme d'acquisition et de contrôle. J'en parle maintenant de manière plus précise.

## 4.2 Présentation du test CERN 88 et de ses objectifs

Les essais ont eu lieu durant l'été 1988 dans le hall nord du CERN-Prévessin. Pendant les quelques périodes de faisceau qui nous ont été attribuées à cette époque, nous avons soumis certains des éléments du calorimètre (comportant chacun une partie hadronique et une partie électromagnétique) à l'action des particules de haute énergie du SPS. Pour réaliser cela, nous avons successivement plongé ces modules dans l'argon liquide pendant le temps nécessaire au test, l'argon étant contenu dans un cryostat mobile, de manière à rendre possible l'exposition de régions différentes de chaque module, et cela sous plusieurs angles.

Nous avons également utilisé notre temps de faisceau pour mettre à l'épreuve d'autres parties de l'ensemble calorimétrique de H1: un module du calorimètre chaud arrière et un élément du détecteur de fin de gerbe, ce dernier parfois en conjugaison avec les modules du calorimètre froid, dans le but de reproduire leur position relative dans l'expérience finale.

La lecture du signal des charges laissées dans l'argon par le passage des particules a entraîné la construction d'un système de détection complet, avec des chambres à fils pour déterminer la position du faisceau, divers plans de scintillateurs utilisés comme collimateurs, des compteurs à effet Cerenkov, etc... Tout cela était lu et déclenché par une chaîne électronique rapide dont plusieurs composants étaient là en vue de leur mise au point. L'ensemble était supervisé et séquencé par un microprocesseur CAB, connecté à un ordinateur MicroVax II, à qui il renvoyait les données acquises pour la mise sur bande et le contrôle en ligne.

1987	PDP 11	IBM PC	CAB	ADC Lecroy	ADC Saclay	
CERN 1988	MicroVax	CAB	68020 Calibration	ADC Saclay 3000 canaux		
CERN 1989	MicroVax	CAB	68020 Calibration	ADC Saclay 3000 canaux		
			CAMAC	VME		
DESY 1989	MicroVax		68020 OS-9	ADC Saclay DSP	DSP T0	
			VME	acquisition	déclenchement	
DESY 1990	MicroVax		68020 OS-9	29000 VRTX	ADC Saclay DSP	DSP T0

Figure 4.1: Evolution du matériel utilisé pour les tests

Ces essais ont mis en jeu la plupart des laboratoires de la collaboration H1, mais les personnes qui étaient directement concernées par la chaîne de lecture et de contrôle, avec celles impliquées dans la construction des modules, en tant qu'experts en leur domaine, se devaient d'assurer une présence constante lors des périodes de test.

Ainsi, l'on peut citer:

- Le LAL d'Orsay (calibration et chaîne analogique, construction)
- Le MPI de Munich (chaîne analogique, système de déclenchement et programme de contrôle, construction)
- Le LPNHE de Paris (électronique, programme d'acquisition et programme de contrôle en ligne, hautes tensions, mesure de la pureté de l'argon)
- le DPhPE de Saclay (chaîne digitale, cryogénie et construction)

Les membres impliqués dans H1 issus de ces laboratoires représentaient l'équipe minimum nécessaire au bon fonctionnement du système de test.

#### 4.2.1 Les objectifs liés à la physique

Un des buts majeurs de ces tests a été l'étude de la réponse des modules du calorimètre (éventuellement complétés par le détecteur de fin de gerbe) aux particules isolées de divers types (électrons et positrons, pions, protons, kaons...) et cela à différentes énergies. Ceci incluait la mesure des paramètres de calibration, tels que (au premier ordre) le rapport entre l'énergie réelle reçue par le calorimètre et le signal détecté, la mesure de la résolution en énergie obtenue avec nos modules, l'estimation du rapport  $e/\pi$ ; précisons que toutes ces quantités pouvaient être facilement évaluées en ligne lors de la prise de données, avant d'être calculées ultérieurement par des moyens plus sophistiqués.

Un autre point essentiel était la mesure de la sensibilité de quelques unes de ces quantités à la variation de paramètres simples comme l'angle d'attaque du faisceau sur les modules, la zone traversée par la gerbe dans ceux-ci (qui présentent des inhomogénéités et des dissymétries parfois marquées), chose qu'il n'avait pas été possible de réaliser les années précédentes, car les modules calorimétriques n'avaient à l'époque pas grand chose à voir avec les versions finales (du point de vue de leur forme générale), de plus le cryostat était fixe.

Ces essais comportaient également des objectifs moins directement liés à la physique ou, en tout cas, aux performances du calorimètre. Le fait de soumettre les modules du calorimètre froid aux variations de température intenses provoquées par son passage dans l'argon liquide, puis son réchauffement ultérieur, a permis de voir comment résistaient à ce traitement les parties vitales du détecteur, inaccessibles après la fermeture du cryostat. Ainsi, l'on a pu tester le

comportement au froid des cables de signal, des matériaux dont sont constitués les plans du module, des composants électroniques plongés dans l'argon. Nos collaborateurs ont aussi porté leur attention sur la manière dont se déforment les parties métalliques du module après leur séjour dans l'argon, un problème mal connu jusqu'à présent.

D'autre part, il y a eu au cours de ces tests des études systématiques (au début de chaque période de faisceau): pour chaque module utilisé nous avons effectué une mesure du signal reçu pour différentes valeurs de la haute tension appliquée aux panneaux du calorimètre, de manière à vérifier si la zone de tension optimale correspondait bien à celle qui était prévue. Enfin, grâce à deux sondes placées à l'intérieur du cryostat, nous avons suivi l'évolution du taux d'impuretés de l'argon liquide tout au long de l'été, un paramètre d'importance majeure pour la calibration du calorimètre.

Les données physiques prises durant cet été avaient un intérêt particulier, puisqu'il s'agissait des premières mesures réalisées avec les modules définitifs du calorimètre. Elles ont donc permis d'avoir une idée raisonnable des performances que l'on peut attendre de ce détecteur, et spécialement de l'efficacité de la méthode de pondération en ce qui concerne l'amélioration de la résolution sur la mesure de l'énergie, un point réellement fondamental pour H1.

#### 4.2.2 Les objectifs liés à l'électronique

En 1988, la chaîne de lecture des modules du calorimètre a été conçue avec une structure et des éléments proches de ce qui est prévu pour l'expérience finale, ceci en vue de tester différentes caractéristiques importantes de cette électronique, en plus de sa fiabilité.

Première étape, préliminaire à la prise de données: mesurer et réduire le bruit à tous les niveaux de la chaîne d'acquisition, en identifiant ses sources éventuelles, de façon à atteindre un rapport signal sur bruit acceptable. Autre étape qui a marqué les tests: l'estimation des performances de l'ensemble de la chaîne électronique; grâce à la calibration, nous avons pu mesurer en ligne la non-linéarité de l'électronique et avoir des indications sur la diaphonie du système de détection, tout en déterminant les parties de la chaîne à l'origine de ces phénomènes. De plus, l'enregistrement des piédestaux en cours de prise de données nous permet maintenant d'étudier la dérive de ceux-ci au cours du temps.

Autre résultat de l'évolution de l'électronique de test vers l'électronique finale, l'été 88 a vu apparaître la première ébauche du futur système de déclenchement de premier niveau. Celui-ci a fonctionné lors des essais en parallèle avec le véritable système de déclenchement du détecteur de test, mais sans agir sur la sélection des événements.

Pour réaliser tout cela, une contrainte supplémentaire est venue du fait que la conception et la fabrication du système était partagée entre plusieurs labora-

toires, il n'était pas évident a priori que la réunion des parties dévolues à chaque équipe forme un tout cohérent et en état de marche... Nous avons donc là un moyen de connaître notre capacité à travailler en bonne intelligence, peu de temps avant l'échéance finale.

### 4.2.3 Les objectifs liés au contrôle en ligne

Le sous-ensemble du système dans lequel je suis le plus impliqué, le contrôle en ligne, s'est également rapproché considérablement du système final: emploi d'un ordinateur MicroVax comme support principal du programme de contrôle, utilisation des possibilités de fonctionnement en mode multitâche du système VMS implanté sur cette machine, inclusion de ressources extérieures au sein du système (implémentation et consultation de la base de données ORACLE), enfin adaptation au goût du jour du programme qui avait été développé en assembleur pour le CAB, le microprocesseur rapide de l'acquisition, lors des essais de l'année précédente. Je ne m'étendrai pas plus sur ces points ici, une section particulière leur étant consacrée dans la suite du chapitre. Le tableau 4.1 résume les différents tests qui ont été effectués au cours de l'été 1988.

Période	Objet des essais	Electronique calorimètre
Mai	Installation + FB2	600 canaux
Juin	CB3 + fin de gerbe	1000 canaux
Juillet	IF	3000 canaux
Août	FB2 + FB2	2000 canaux
Septembre	Test pureté de l'argon	/

Tableau 4.1: Eléments testés en 1988

## 4.3 La réalisation pratique du test

### 4.3.1 Le détecteur de test

Pour réaliser nos essais nous avons pu bénéficier à plusieurs reprises de la ligne de faisceau H6 du SPS, qui se termine dans le hall Nord du CERN. La ligne H6 permet d'avoir à disposition, grâce à différentes cibles secondaires, plusieurs types de particules: électrons, pions, muons, et aussi, dans une moindre mesure, protons et kaons, cela à des énergies pouvant varier entre 5 GeV et 250 GeV environ. Le fait que l'on se trouve dans le faisceau principal du SPS, s'il autorise une intensité raisonnable dans la gamme des grandes énergies, ne simplifie pas la tâche quand on désire s'intéresser à des particules d'énergie plus basse (autour de 10 GeV), car l'intensité s'effondre brutalement dans cette zone. Or, si les particules de grande impulsion mettent correctement à l'épreuve l'herméticité du calorimètre et ses performances vis à vis des particules produites à l'avant dans les collisions à IHERA, il n'en reste pas moins que dans les jets attendus lors de l'expérience finale, l'énergie moyenne des particules sera de l'ordre de la dizaine de GeV. D'où l'idée émise par certains membres de l'équipe que nous serions peut être plus à notre place dans le faisceau du PS... Quoiqu'il en soit, la ligne H6 a été jugée comme un compromis acceptable.

Les composantes de l'appareillage de détection sont regroupées principalement autour du cryostat (Figure 4.2), mis à part la chambre à fils (MWPC1) située à la sortie du tube à vide, les deux détecteurs à effet Cerenkov (CEDAR1 et CEDAR2), quelques éléments de plastique scintillateur associés, les collimateurs et aimants du faisceau et certains appareils qui n'ont été utilisés qu'épisodiquement, comme la chambre à fils à retard (DWC), ou le détecteur Cerenkov basse énergie (XCET). Détaillons maintenant plus précisément ces éléments:

- Avant la fin du tube à vide, l'on trouve les deux détecteurs CEDAR1 et CEDAR2. Ils permettent de discriminer les particules suivant leur vitesse, cela pour des impulsions allant de 5 à 80 GeV/c.

A plus haute énergie, les CEDARs deviennent inopérants, et l'on a recourt à un collimateur, placé loin en amont du faisceau, pour choisir le type des particules. En effet, les électrons peuvent alors être distingués des pions grâce à leur différence de perte d'énergie par effet synchrotron; les deux faisceaux sont séparés spatialement et l'on peut, lors de la mise au point du faisceau, agir sur C5 pour éliminer l'une ou l'autre des particules. L'interaction du faisceau choisi avec le calorimètre donne, lors du réglage, un moyen rapide de ne pas confondre sa composante pion avec sa composante électron.

Le détecteur Cerenkov à seuil (XCET) a été utilisé pour identifier les protons de basse énergie (entre 5 et 20 GeV).

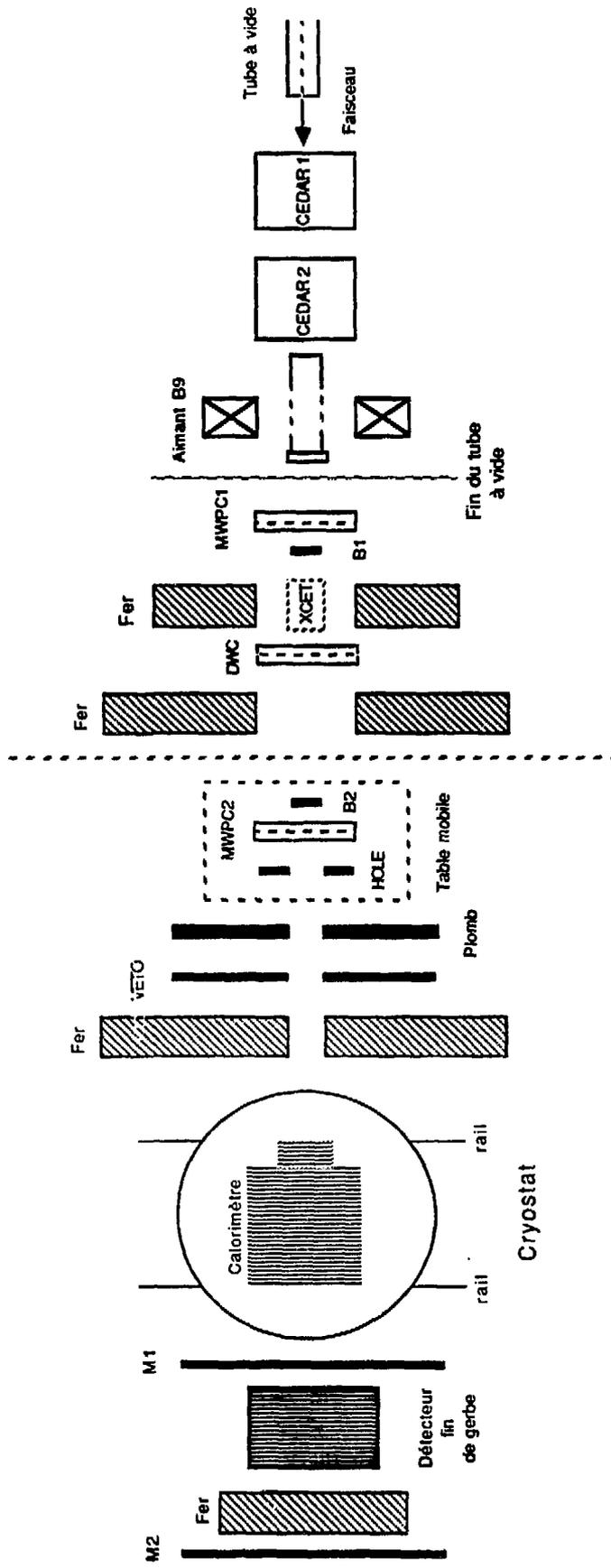


Figure 4.2: La ligne de faisceau

- Après les CEDARs, le champ magnétique de l'aimant B9 permet de dévier verticalement le faisceau, cela donne la possibilité de faire varier le point d'arrivée des particules sur le calorimètre de  $\pm 30$  cm autour de la position à champ nul.
- Immédiatement après leur sortie du tube à vide, et donc après B9, les particules traversent une première chambre à fils (MWPC1) qui permet de déterminer le profil et la position du faisceau, grâce à deux plans de 128 fils dans chacune des deux dimensions, cela avec une résolution spatiale de 2 mm. Une deuxième chambre proportionnelle (MWPC2), du même type, a été placée près du cryostat sur une table mobile (voir figure), de manière à pouvoir accompagner le faisceau dans son déplacement vertical, celle-ci donne des informations sur le faisceau juste avant que les particules n'interagissent avec le calorimètre. La chambre à fil à retard (DWC) est là uniquement pour remplacer MWPC1 en cas de panne.  
Ces différentes chambres sont utilisées également pour détecter les particules ayant déjà interagi avec le matériel de la ligne de faisceau (avant d'arriver au cryostat, celles-ci ont à traverser divers matériaux: air, CEDARs, scintillateurs et chambres à fils, formant en tout 0.29 longueurs de radiation). Dans ce cas, les gerbes produites par ces particules donnent plusieurs coups dans chacun des plans de MWPC1 et MWPC2, alors qu'un événement correct donne un seul coup par plan.
- Avant d'atteindre le module du calorimètre, les particules sont collimatées grossièrement par une série d'écrans métalliques. Le jeu de scintillateurs B1, B2 et HOLE, en corrélation avec les chambres, servent à définir le profil du faisceau de manière plus fine. B1 et B2 sont deux scintillateurs de forme carrée, alors que l'élément HOLE est un rectangle allongé de plastique scintillant comportant un trou de 3 cm de diamètre en son centre, c'est un peu le "complémentaire" de B2. A noter que ces deux détecteurs sont montés sur la table mobile.
- Pour détecter les muons et éliminer les particules hors faisceau, trois plans de scintillateurs supplémentaires ont été utilisés: M1 placé juste après le cryostat, M2 après le bloc de béton et de fer destiné à arrêter les particules et enfin le mur VM situé immédiatement avant le calorimètre. Le mur métallique situé entre ce dernier et le cryostat est là pour empêcher les particules rétrodiffusées d'interagir avec VM; ces trois plans de scintillateurs sont divisés en sections verticales. Les muons se signalent par l'activation des sections de M1 et M2, étant donné leur pouvoir de pénétration.

On pourra trouver un résumé de tout cela, avec des précisions concernant la taille des différents éléments dans le tableau 4.2.

L'appareillage est conçu de manière à pouvoir faire varier aisément le point

d'impact des particules sur le calorimètre, ceci dans les deux dimensions du plan orthogonal au faisceau du SPS.

MWPC 1 et 2	B1, B2	M1, M2, VM	HOLE
dimension 25x25 cm <sup>2</sup>	3 x 3 cm <sup>2</sup>	120 x 20 cm <sup>2</sup> (x 10)	20 x 100 cm <sup>2</sup>
résolution 2 mm	distance B1,B2 2220 cm	distance M1,M2 458 cm	diamètre trou 3 cm
distance entre 1 et 2 2280 cm		distance M1,VM 381 cm	

Tableau 4.2: caractéristiques des éléments du détecteur

Réaliser cette facilité supplémentaire a demandé quelques modifications importantes par rapport aux années précédentes: le cryostat a été monté sur rails, ce qui permet un déplacement horizontal perpendiculaire à l'axe du faisceau; le fait que le cryostat ne soit pas fixe a donné lieu à des contraintes sur les différents tuyaux et cables qui y sont reliés (cables de signaux, alimentation en azote et en argon, hautes tensions, etc...). Comme on l'a vu, le faisceau lui même peut être dévié verticalement grâce à l'aimant B9. Tout cela donne la possibilité de choisir la zone d'arrivée des particules sur le module testé dans un carré d'environ 60 × 60 centimètres carrés autour du point d'impact normal.

Le cryostat lui même est une enceinte isotherme en acier et mousse isolante. Il peut s'ouvrir par le haut pour introduire les divers modules du calorimètre étudiés. Pour l'été 88, ceux-ci étaient au nombre de quatre: deux modules FB2 (construits par Munich et Dortmund), CB3 (construit par Saclay et Orsay), IF (construit par DESY), les configurations étudiées sont représentés sur la figure 4.3. Les modules CB et FB sont des octants du calorimètre entier, alors que l'élément IF testé forme un quart de la partie avant interne. La figure 4.4 permet de voir la situation de ces divers modules lorsqu'ils seront montés dans le calorimètre complet, le tableau 4.3 présente quelques unes de leur caractéristiques.

En plus des configurations présentées plus haut, nous avons mis à l'épreuve d'autres parties à vocation calorimétrique du détecteur H1: un élément du calorimètre (chaud) arrière et un prototype du détecteur de fin de gerbe, qui sert aussi de détecteur de muons. Ce dernier module, essentiellement constitué de plaques de fer entre lesquelles sont intercalés des tubes à dérive de plusieurs

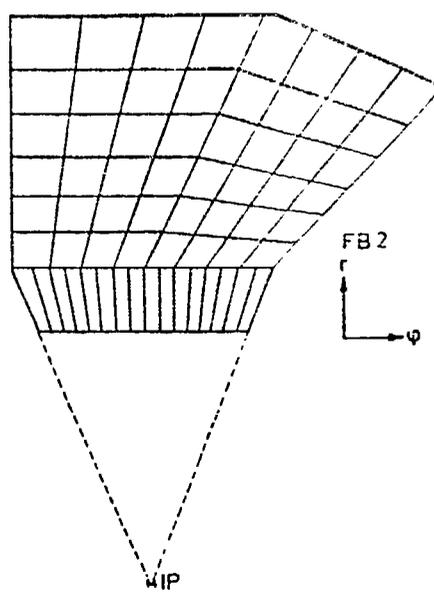
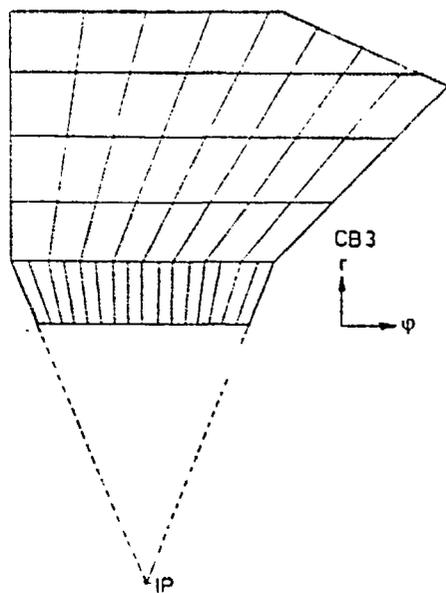
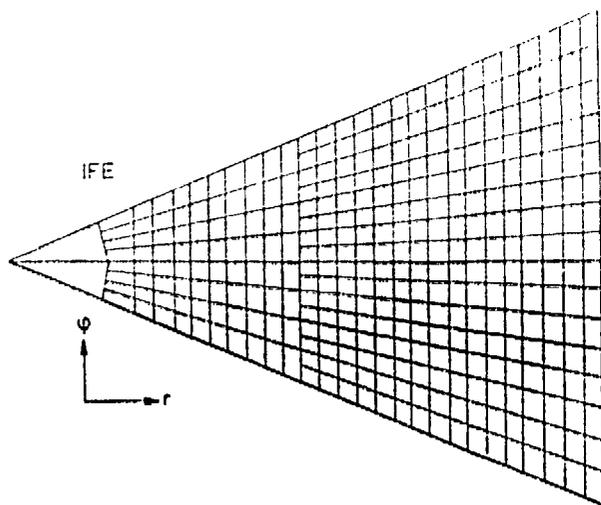


Figure 4.3: les différents modules testés

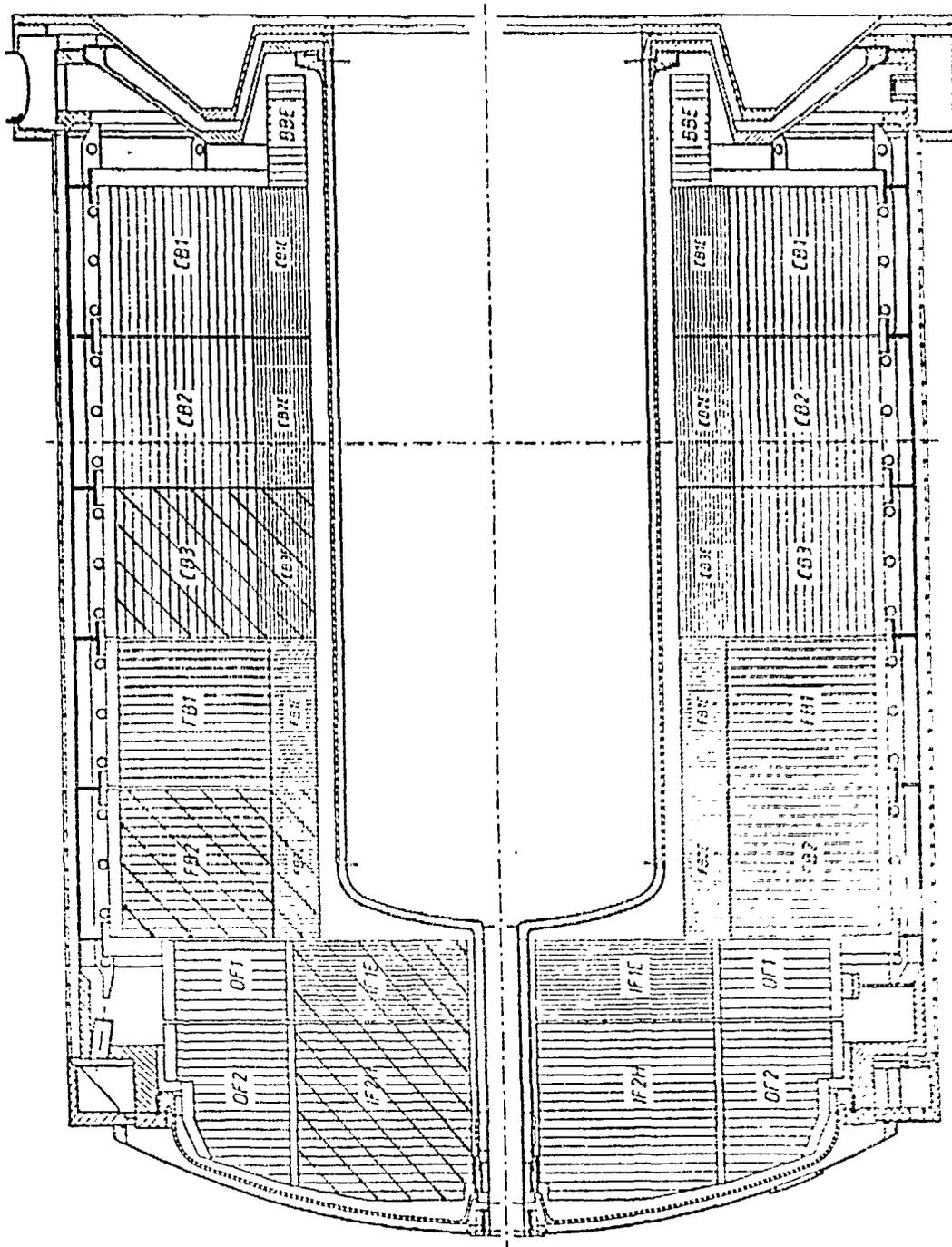


Figure 4.4: situation des modules dans le calorimètre à argon liquide

types, a été testé en deux phases: il a d'abord été calibré en étant exposé directement au faisceau du SPS (il a alors été placé à l'avant du cryostat), puis il a joué le rôle qu'il aura réellement dans l'expérience finale en détectant les particules après leur passage dans le calorimètre froid (il était dans ce cas placé à l'arrière du cryostat).

Module étudié	$\tilde{\chi}_0$	$\tilde{\lambda}$ (EM+HAD)	Canaux physiques (EM + HAD)	Sections HAD	Sections EM
FB2	30	7.2	512 + 192	4	6
CB3	21	5	768 + 256	3	4
IF (quart de roue)	30	6.3	2720 + 405 (?)	4	5

Tableau 4.3: caractéristiques des modules étudiés

Avec le calorimètre et ses attributs, l'intérieur du cryostat accueillait en 88, pour la première fois, une sonde destinée à jauger la pureté de l'argon liquide avec une bonne précision. La mesure est basée sur le phénomène de capture des électrons d'ionisation par les impuretés présentes dans l'argon; la sonde était en fait double, tirant parti d'une source radioactive alpha et d'une source d'électrons de conversion. Ces deux cellules étaient lues par une électronique contrôlée par un ordinateur IBM-PC, indépendamment de l'acquisition générale du test. Nous consacrons plus bas une section du chapitre à ce système de mesure et à son principe.

### 4.3.2 Le système de déclenchement

Le système de déclenchement, en plus des sélections possibles sur le type des particules grâce à CEDAR1 et CEDAR2, à l'optique du faisceau ou aux scintillateurs, doit reconnaître et écarter les mauvais événements. Les principales qualités demandées à un événement correct sont les suivantes:

- Coïncidence entre les scintillateurs B1, B2 et les détecteurs Cerenkov CEDAR1 et CEDAR2.
- Pas de signal sur le mur scintillant VM (particules hors faisceau).
- Pas d'autre événement signalé un certain temps ni avant (10 microsecondes), ni après (3 microsecondes) l'événement qui a déclenché le système (à cause du temps de réponse de l'ensemble).
- Un seul coup dans chacun des plans des chambres MWPC1 et MWPC2.

Le système de déclenchement opère la sélection en deux temps: d'abord au niveau de l'électronique (système câblé), ensuite au niveau du CAB (système programmé). Ceci ressemble de près à la structure du système de déclenchement de l'expérience finale: il comporte lui aussi un premier étage rapide purement électronique et des étages successifs faisant intervenir un traitement par microprocesseur, parfois en parallèle; bien sûr, dans le cas des tests, les contraintes de temps sont moins fortes que pour H1 même.

En 88, la seule coupure faite en temps réel par le programme du CAB concerne le nombre de coups dans les chambres; précisons que le CAB peut réaliser bien d'autres types de sélections par programme, éventuellement plus sophistiquées, ce qui réduit le temps mort produit par le traitement d'événements non valables, et évite l'enregistrement de ces données sans intérêt, de manière analogue au déclenchement de niveau 3 (L3) dans H1: nous y reviendrons dans une prochaine section.

Le reste des coupures est réalisé par l'électronique (l'équivalent du système de niveau L1 de H1), on peut en voir un schéma simplifié sur la figure 4.5. Les informations issues de chaque partie élémentaire du détecteur (M1, M2, CEDARs, etc...) sont combinées et mises en temps par la logique câblée, de manière à former des signaux ayant une signification particulière, reflétant par exemple la nature de la particule détectée (PI, E, MU...voir tableau 4.4). Le système peut fabriquer des signaux de déclenchement "aléatoires", utilisés pour prendre des données *entre* l'occurrence de deux événements physiques (dans le but d'étudier les piédestaux pendant la période d'arrivée des particules); ceux-ci sont produits 10 ms après la détection d'une particule par B1 et B2, si le mur VM n'est pas touché (signal PI/E/MU).

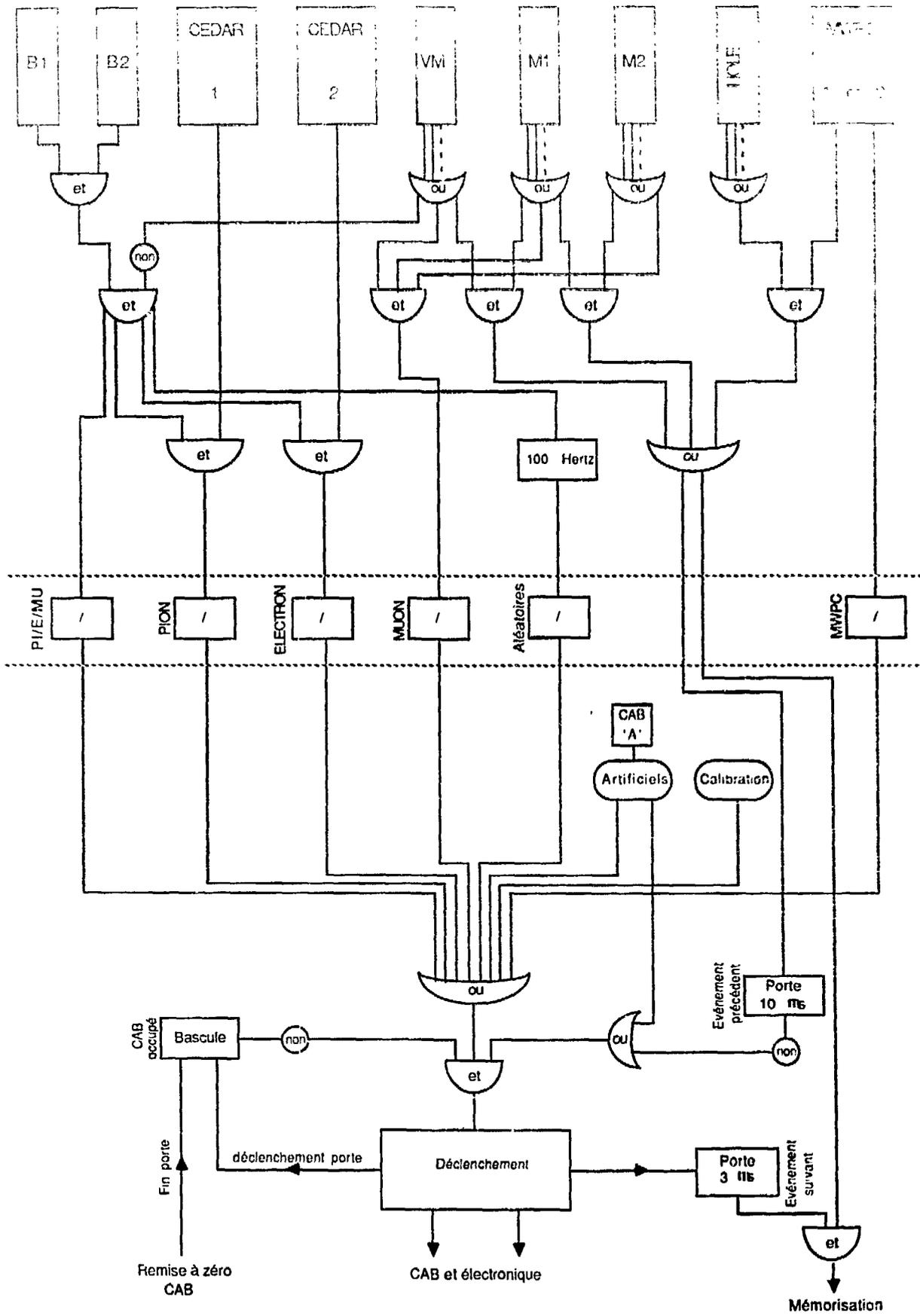


Figure 4.5: Système de déclenchement du test

Tout signal de déclenchement est mis en coïncidence avec la porte "événement suivant" (largeur  $3\mu s$ ), le résultat (positif ou négatif) est stocké dans une mémoire qui sera lue un peu plus tard par le CAB, puis enregistrée pour l'analyse hors ligne. Ce cas de figure intervient lorsqu'une particule déclenche le système avant que l'électronique d'acquisition n'ait fini de lire l'événement précédent dans le calorimètre; en effet, le maximum des signaux produits par le calorimètre après leur mise en forme est atteint  $2\mu s$  environ après l'arrivée de la particule qui en est à l'origine, un nouvel événement arrivant trop rapidement biaise le premier.

Avant d'arriver à l'étape finale, les signaux passent d'abord par des modules électroniques diviseurs de fréquence. Ceux-ci offrent à l'utilisateur la possibilité de réduire le taux d'occurrence de chaque signal par un facteur  $2^n$  ( $n$  allant de 0 à 8); cela dans le but d'avoir un système souple, permettant le choix du taux relatif de chaque type de déclenchement, suivant le mode de prise de données et la qualité du faisceau.

Signal	Valeur	Fonction
PI/E/MU	$B1 \wedge B2 \wedge \bar{V}M$	Particule bien collimatée
PION	$C1 \wedge (PI/E/MU)$	Particule identifiée par CEDAR 1
ELECTRON	$C2 \wedge (PI/E/MU)$	Particule identifiée par CEDAR 2
MUON	$V M \wedge M1 \wedge M2$	Identification muons
MWPC	$MWPC1 \wedge MWPC2$	Particules traversant les deux chambres
'événement suivant'	Porte $3\mu s$	événements trop proches dans le temps
'événement précédent'	Porte $10\mu s$	événements trop proches dans le temps
'CAB occupé'	Bascule	CAB en train de traiter un événement

Tableau 4.4: Les signaux de l'électronique de déclenchement

Tous ces signaux passent ensuite dans un dernier module "C"; le résultat de l'opération est alors mis en anticoïncidence avec le signal "CAB occupé", ce qui inhibe les déclenchements électroniques arrivés pendant que le microproces-

seur traite encore le dernier événement accepté (temps mort de traitement du CAB: 2 ms, environ, pour 1000 canaux); de plus, le signal de sortie du "OU" général est mis en anticoincidence avec la porte "événement précédent" (10  $\mu$ s) pour éviter l'acquisition d'un empilement de particules dans le calorimètre (cette porte est ouverte essentiellement lors du passage d'une particule quelconque dans les chambres et les scintillateurs, voir figure 4.5); les 10  $\mu$ s sont le temps nécessaire pour que le calorimètre et l'électronique de bas niveau oublient cet événement. Quand le signal arrive dans le module final, il est transmis au CAB et simultanément déclenche une série de signaux, tels que l'ordre de lecture pour l'électronique du calorimètre et des chambres, la génération de la porte "événement suivant" pendant 3  $\mu$ s, etc... Lorsqu'il a terminé ses opérations le CAB envoie un signal "remise à zéro" qui réinitialise toute la chaîne et autorise la prise en compte d'un nouvel événement.

Le déroulement dans le temps de ces différents processus est indiqué sur la figure 4.6.

En plus des signaux produits par les événements physiques et des signaux "aléatoires", purement électroniques, Le CAB peut gérer d'autres types de signaux de déclenchement:

- A des fins de mise au point, par exemple, le CAB peut produire lui-même le signal qui active le système, c'est ce que nous appelons le déclenchement "artificiel".
- Le CAB peut également générer des signaux de déclenchement "artificiel" intercalés dans le temps entre les signaux physiques (lors de l'acquisition de données, pour étudier les piédestaux entre l'arrivée de deux particules), ce type de signal a un peu le même statut que le déclenchement "aléatoire" électronique (voir figure 4.5), mais il est plus souple, car il permet le choix par programme du nombre de ces déclenchements.
- Le CAB peut déclencher le système pour la calibration. Il est alors synchronisé avec l'électronique correspondante: c'est le déclenchement "calibration". Ces signaux peuvent être utilisés en période de test, mais aussi en acquisition, ce qui permet de suivre l'évolution de l'électronique durant la prise de données même.

La manière dont ces trois types de signaux s'insèrent dans l'électronique de déclenchement est indiquée sur la figure 4.5.

Il faut noter que, pour chaque événement déclaré correct par le déclenchement électronique, des mémoires incluses dans la chaîne stockent la valeur de l'ensemble des signaux intervenant dans la logique de déclenchement. Le CAB a accès à cette information et l'enregistre systématiquement, pour son utilisation par l'analyse hors ligne.

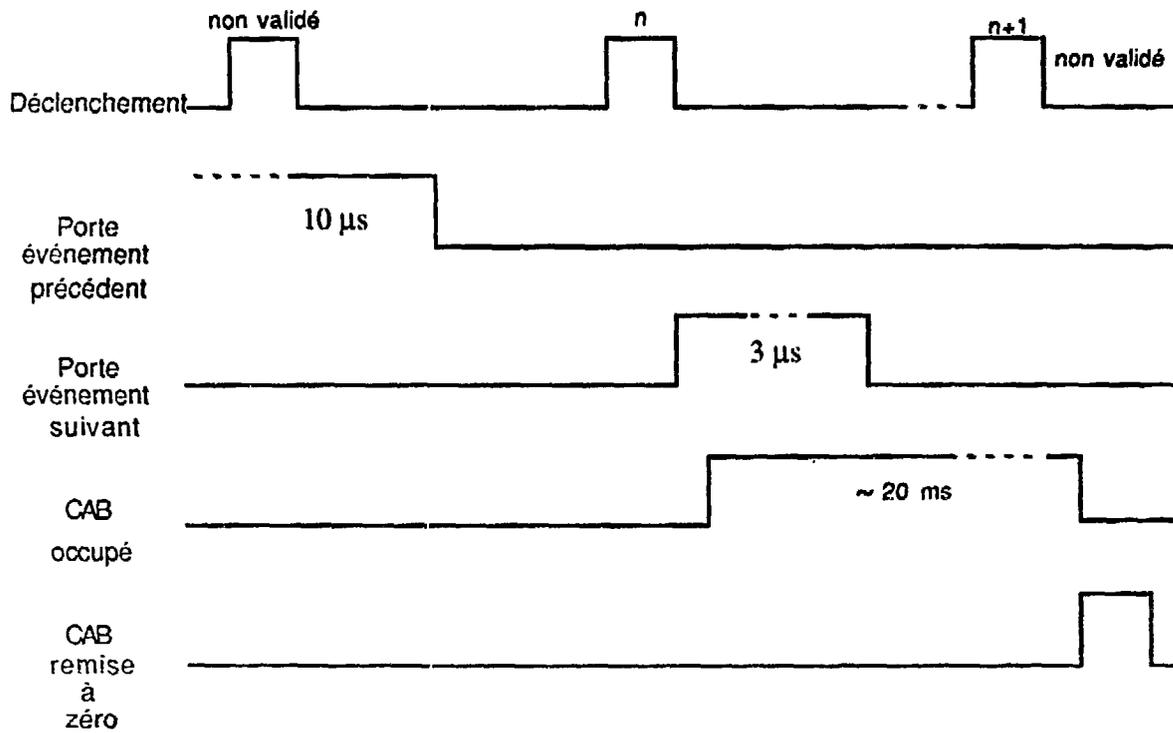


Figure 4.6: Schéma temporel du système de déclenchement

### 4.3.3 Le système d'acquisition du test

En 88, le système d'acquisition est constitué (voir le schéma figure 4.7) de trois parties distinctes:

- La chaîne électronique, comprenant elle-même une partie digitale et une partie analogique, réalisée en CAMAC pour la plus grande partie. Cette électronique est lue par le microprocesseur CAB.
- Le système de calibration, complètement modifié par rapport aux années précédentes, il est basé sur un générateur digital contrôlé par un microprocesseur 68020. Cette partie a été prise en charge par Orsay.
- Le système de contrôle et de stockage, composé d'un ordinateur Micro-Vax (connecté au CAB), d'un IBM-PC, de divers terminaux et d'unités d'enregistrement sur bandes magnétiques.

Nous allons passer en revue chacun de ces trois points.

#### La chaîne électronique d'acquisition

On peut voir sur la figure 4.8 un schéma représentant l'électronique d'acquisition du test. Les différentes parties de l'électronique à lire sont les suivantes:

- 4 modules de mémoire (à 1 bit) rassemblant l'information fournie par les détecteurs à scintillateurs et les signaux de déclenchement (CEDARs, PI, E, etc...).
- Le module PCOS (Lecroy) responsable du codage des données issues des chambres à fils, qui fournit les numéros des fils touchés dans chaque plan de MWPC1 et MWPC2.
- Les ADCs 10 bits qui traitent les informations venant du prototype de l'électronique finale de déclenchement L1, testée pour la première fois. Les données fournies sont du même type que celles qui seront lues dans H1: énergie totale reçue par le calorimètre, énergie dans certaines tours du module, etc... (voir chapitre 3). Ces ADCs sont également utilisés pour digitiser les signaux des détecteurs qui ne sont là qu'occasionnellement, comme le XCET, ou la chambre DWC.
- Les ADCs digitisant les données du module calorimètre, montés dans un châssis VME. En 88, nous avons utilisé les premiers exemplaires de cartes ADCs 12 bits identiques à celles de l'expérience finale. Leur nombre a varié suivant la période du test et le type de calorimètre étudié, allant de une à trois cartes.

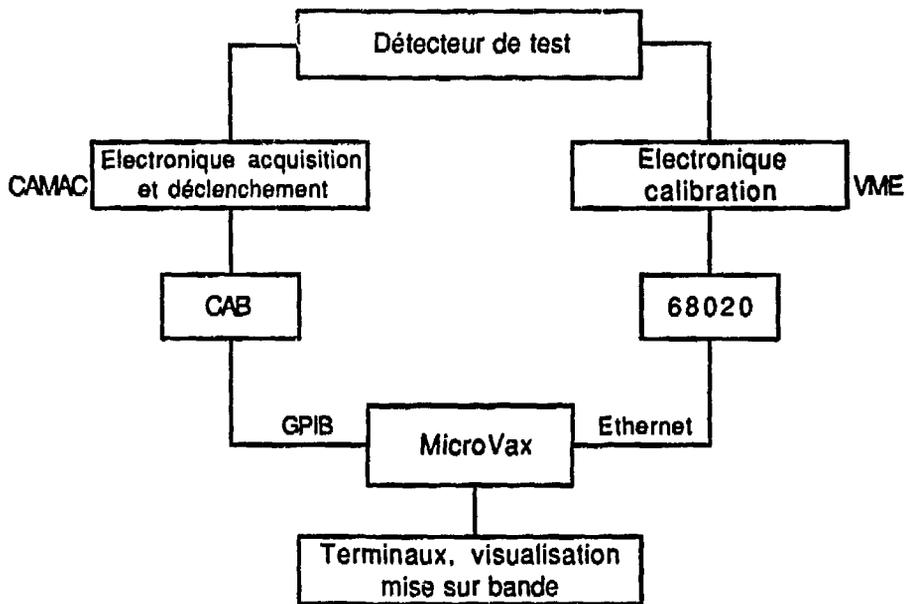


Figure 4.7: La chaîne d'acquisition: schéma général

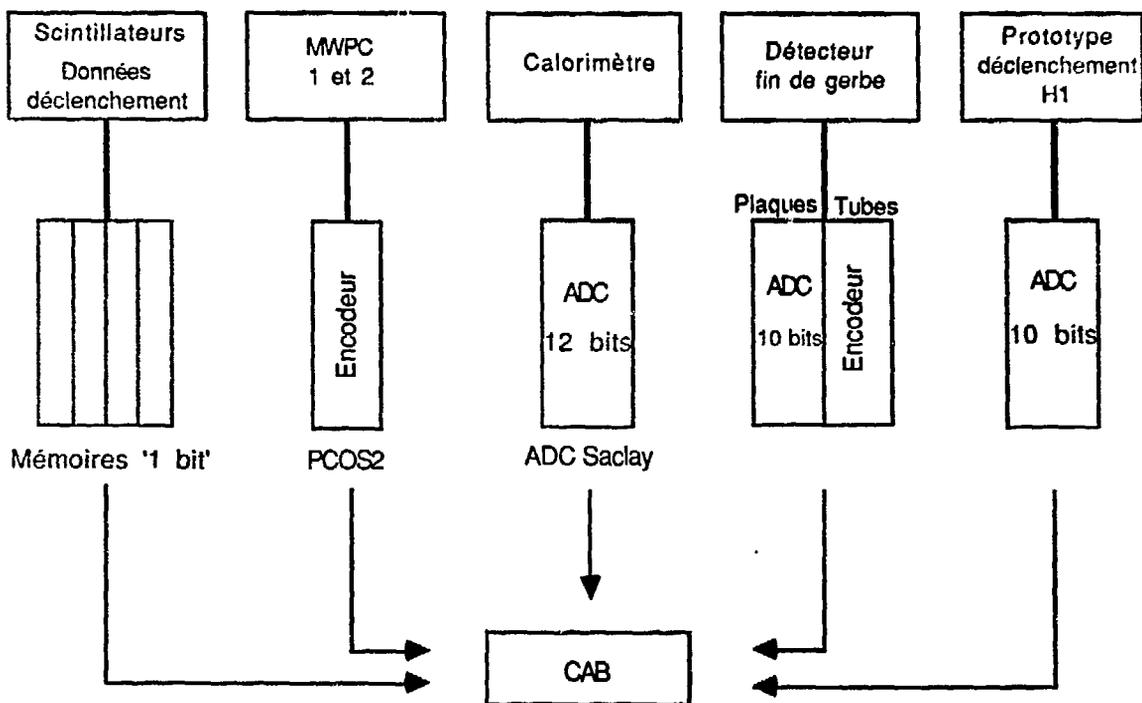


Figure 4.8: La chaîne électronique d'acquisition

- Les modules du détecteur de fin de gerbe, comprenant une série d'ADCs 10 bits (pour les données des plaques de lecture) et un encodeur pour les données du type "tout ou rien" qui viennent des tubes à dérive (proche de son équivalent final). En 88, certains canaux du détecteur de fin de gerbe ont été lus par l'électronique du calorimètre froid, comme ce sera le cas dans l'expérience finale.

Le tableau 4.5 résume plus précisément les caractéristiques des informations issues des différentes parties du système.

Nous ne parlerons ici en détail que de la chaîne de lecture du calorimètre, dans la mesure où c'est la seule partie (avec l'électronique du détecteur de fin de gerbe) qui a quelque chose à voir avec son équivalent dans l'expérience finale. Du reste, les autres systèmes de lecture n'offrent en eux-même que peu d'intérêt, puisqu'ils représentent le lot commun de toute expérience ou test d'une taille équivalente à la nôtre au CERN.

Détecteur		Format des données
Mémoires '1 bit' (M1,M2,HOLE,etc...)		4 x 16 bits
MWPC (1+2)		4 x 128 bits (encodés: taille variable)
Prototype déclenchement H1		24 bits
Détecteur fin de gerbe	Tubes	2096 bits (encodés: taille variable)
	Plaques	144 x 16 bits (ADCs 10 bits transposés sur 16 bits)
Calorimètre froid	CB3	1032 x 16 bits
	FB2+FB2	2064 x 16 bits
	IF	3096 x 16 bits

Tableau 4.5: caractéristiques des données fournies par les divers détecteurs et l'électronique

La chaîne de lecture du calorimètre de test est très proche, dans ses éléments principaux et dans sa structure, du système (décrit au chapitre précédent) qui

jouera ce rôle dans H1. L'électronique constituant cette chaîne est schématisée sur la figure 4.9.

Les différences principales par rapport à la chaîne finale sont les suivantes:

- Les amplificateurs de la carte "translateur" ont deux gains: gain 1 et gain 8, et non pas 1 et 4 comme pour H1 (entre le début et la fin des tests, la décision a été prise, au niveau de la collaboration, de changer les gains 8 en gain 4, la dynamique atteinte étant finalement de 14 bits).
- Le rôle du séquenceur des cartes DSP dans l'expérience finale est tenu par le CAB, car c'est lui qui contrôle le séquençage des opérations des cartes ADC: échantillonnage du signal, conversion, écriture dans la FIFO. Les ADCs reçoivent du CAB un signal spécial "conversion" qui lance cette suite d'opérations, le CAB attend ensuite dans une boucle (7.2  $\mu$ s) la fin de la conversion des ADCs, après quoi il passe à la conversion suivante. Il faut noter que la vitesse du CAB lui permet de réaliser ce séquençage à la même fréquence que le futur séquenceur de la carte DSP. Le reste du séquençage de la chaîne (partie analogique, ANRU, multiplexage) est réalisé par un module séquenceur séparé, recevant lui aussi le signal "conversion" du CAB, ce qui lui permet de se synchroniser avec les cartes ADC. Après avoir répété 129 fois cette séquence, le CAB, jouant le rôle du DSP, peut lire les données empilées dans la FIFO.
- Il peut y avoir en fin de chaîne 1 à 3 cartes ADC (1024, 2048 ou 3072 canaux). Chacune de ces cartes comporte une mémoire FIFO, mais contrairement à la situation de l'expérience finale (où chaque carte ADC est prise en charge indépendamment par le DSP associé), il n'y a ici qu'un seul microprocesseur CAB pour lire ces 3 FIFOs. Cette contrainte impose le chaînage des 3 mémoires, qui sont alors vues par le CAB comme une seule pile FIFO de plus grande taille, interfacée avec le CAMAC (le CAB est dans un châssis CAMAC); le temps de lecture, évidemment, est accru.

Au point de vue des conditions de bruit, malgré quelques difficultés au début des essais, la chaîne a rapidement fait montre de caractéristiques acceptables pour la prise de données. Les piédestaux moyens (pour chaque canal) ont atteint des valeurs de l'ordre de 200 unités ADC et les sigmas calculés pour ces piédestaux des valeurs proches de 2 unités ADC (pour les canaux de gain 1).

En fait, les cartes ADC n'ont jamais réellement bien fonctionné au cours de l'été: d'une part parce que les performances atteintes, bien que suffisantes pour

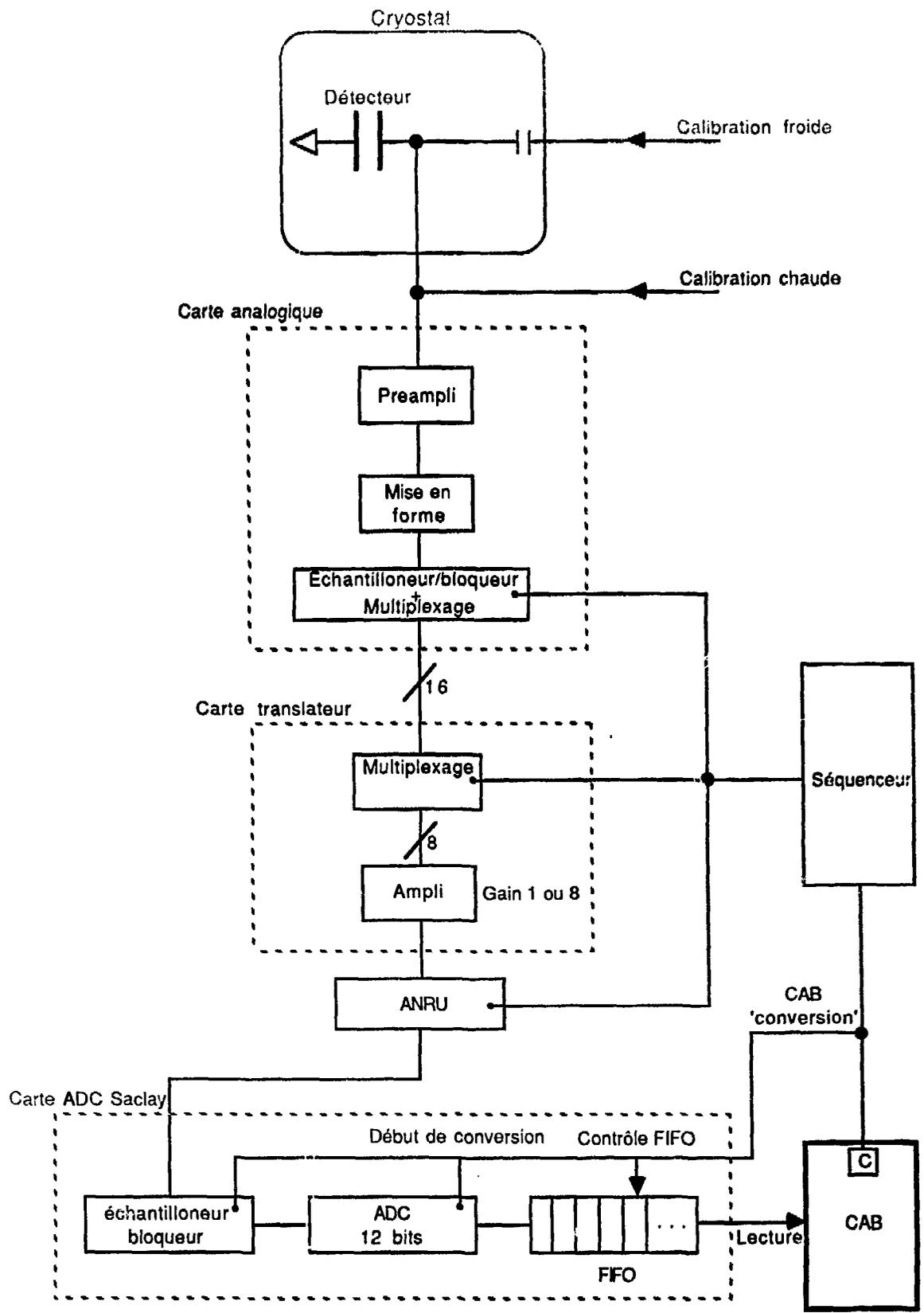


Figure 4.9: La chaîne électronique de lecture du calorimètre

la prise des données de test, ne sont pas celles qui étaient prévues (les sigmas des piédestaux auraient du être inférieurs à *une* unité ADC, pour le gain 1); d'autre part, parce que la synchronisation entre les cartes ADC et la pile FIFO, n'était pas parfaite, difficulté qui n'a pu être éliminée pendant les essais (précisons que ce problème n'affecte la qualité des données qu'épisodiquement, de plus les événements altérés peuvent être reconnus et rejetés par le CAB). Depuis, les choses se sont améliorées.

### **Le système de calibration**

Le système de test est une préfiguration de l'électronique finale de calibration, avec ses capacités, et ses générateurs reliés au DAC, lui-même contrôlé par microprocesseur (voir chapitre 3).

Il y a tout de même des différences entre les deux systèmes:

- Le microprocesseur qui gère le DAC (Motorola 68020, sous système OS-9) est entièrement dédié à cette fonction, contrairement à l'expérience finale, où le 68020 est utilisé également pour le contrôle en ligne et l'interface utilisateur.
- Les déclenchements "calibration" sont envoyés, pour des raisons de simplicité, par le CAB, et non pas par le 68020, bien qu'il en ait la possibilité.
- En mode normal de calibration, le 68020 fonctionne suivant les instructions du MicroVax ne faisant que répercuter les ordres aux générateurs. Ce n'est pas le cas à H1, où le programme de calibration est implanté dans le 68020-OS-9 même.
- La connection entre le MicroVax et le 68020 est effectuée par réseau DEC-NET (et pas par une interface spéciale MicroVax-68020, comme dans H1).

Le 68020 du test est accessible directement par une console qui lui est propre, ce qui lui donne une certaine indépendance vis à vis du MicroVax et permet à l'utilisateur de réaliser des manipulations simples de l'électronique sans faire appel à ce dernier. En effet, en plus du programme assurant la communication avec le MicroVax et le contrôle des générateurs, le 68020 comporte plusieurs petits programmes qui offrent à l'opérateur l'opportunité de changer les paramètres de l'électronique (délais d'échantillonnage) et du DAC, de faire des rampes de calibration, d'imposer certains niveaux aux générateurs, ce qui est très utile pour la mise au point. Le programme de calibration du MicroVax est décrit plus en détail dans la suite du chapitre.

Pour 88, l'électronique de calibration comporte 3 cartes générateurs identiques à celles qui seront utilisées en 1990. Parmi ces cartes, deux sont utilisées pour la calibration "froide" et une pour la calibration "chaude", les charges sont injectées aux mêmes points que dans l'expérience finale (voir figure 4.9).

### **Le système de contrôle et de stockage**

Ce système est scindé en deux éléments: le microprocesseur CAB, qui est intégré dans la chaîne CAMAC, et le MicroVax, avec ses divers périphériques (unité de bandes magnétiques, visualisation graphique, etc...).

Le rôle du CAB est double:

- Le rôle "acquisition": lire les données brutes fournies par les différents détecteurs à travers l'électronique, décider si l'événement dont elles proviennent est correct et, le cas échéant, les ranger dans sa propre mémoire, après un éventuel traitement ou codage.

Le CAB transmet ensuite les événements au MicroVax.

- Le rôle "contrôle et test": le CAB peut acquérir un événement entier (prise de données standard), mais il peut aussi se contenter de lire un sous-ensemble de la totalité des détecteurs (à des fins de test, par exemple); dans les deux cas, il tire parti des données recueillies pour calculer lui-même un certain nombre d'histogrammes, qu'il envoie ensuite au MicroVax où ils serviront pour le contrôle en ligne.

Le MicroVax gère plusieurs tâches: il assure l'interface avec l'utilisateur, écrit les événements sur bande, produit et visualise sur les terminaux graphiques les histogrammes du contrôle en ligne (construits par lui ou par le CAB), lance les programmes du CAB, contrôle la calibration, etc...

Globalement, on peut faire un parallèle entre le système CAB-MicroVax du test et le système DSP-29000-68020-MicroVax de H1, le CAB assurant, grosso modo, les fonctions du DSP et des processeurs 29000 de l'acquisition et du déclenchement, alors que le MicroVax réalise le reste des fonctionnalités du système.

Ce point sera développé dans la section suivante, où nous allons parler plus en détail des différentes fonctions de l'ensemble CAB-MicroVax, c'est la partie qui concerne plus spécialement, on l'a vu, l'auteur de cette thèse.

## 4.4 L'ensemble CAB-MicroVax

La configuration générale CAB-MicroVax, avec les différents périphériques associés, est représentée sur la figure 4.10.

Nous allons voir comment chacune des deux machines s'intègre au reste du système, décrire les programmes qui y sont implantés et leurs fonctions, comparer leurs possibilités aux composants équivalents de l'expérience finale.

### 4.4.1 Le CAB

#### Caractéristiques du CAB

Le CAB est un microprocesseur 16 bits qui est apparu en 1979 [18]. Basé sur une architecture originale, ses instructions ne demandent qu'un cycle machine pour s'exécuter, avec un temps de cycle de l'ordre de 200 ns; comparé aux microprocesseurs existant sur le marché à ce moment là, il est très performant (ceux-ci ont des temps d'horloge 5 à 10 fois plus grands, plusieurs cycles par instruction assembleur), et il reste supérieur sur de nombreux points à certains processeurs récents, tel le bien connu Motorola 68020.

Le CAB comporte plusieurs caractéristiques intéressantes:

- Le CAB est interfacé directement avec le bus CAMAC, et l'ensemble de ses instructions assembleur comprend une partie spécialisée qui permet de contrôler facilement le bus et d'adresser ainsi les divers modules CAMAC concernés.
- Le CAB est muni d'une interface GPIB (connection en face avant), il peut ainsi échanger des informations ou contrôler à grande vitesse tout appareil capable de recevoir les signaux du protocole GPIB. Cette interface sert en général à le relier à un processeur hôte, dans notre cas le MicroVax.
- Le CAB possède en face avant une série de trois sorties (nommées A, B, C) et trois entrées (D, E, F) qui peuvent respectivement émettre ou recevoir des signaux de norme NIM; elles sont toutes contrôlées directement à partir de l'assembleur du CAB; ce genre de connection lui permet d'interagir très vite avec une chaîne d'électronique rapide.
- Le CAB, en plus de sa mémoire interne, peut avoir accès par un bus rapide spécial ou par CAMAC à des unités de mémoire vive supplémentaire. Celles-ci sont placées dans le châssis CAMAC du CAB sous forme de boîtiers pouvant contenir jusqu'à 64 kilooctets.

Le CAB est donc un microprocesseur qui est conçu pour s'intégrer, le plus facilement possible, à un ensemble CAMAC-NIM, et qui, grâce à sa vitesse et sa

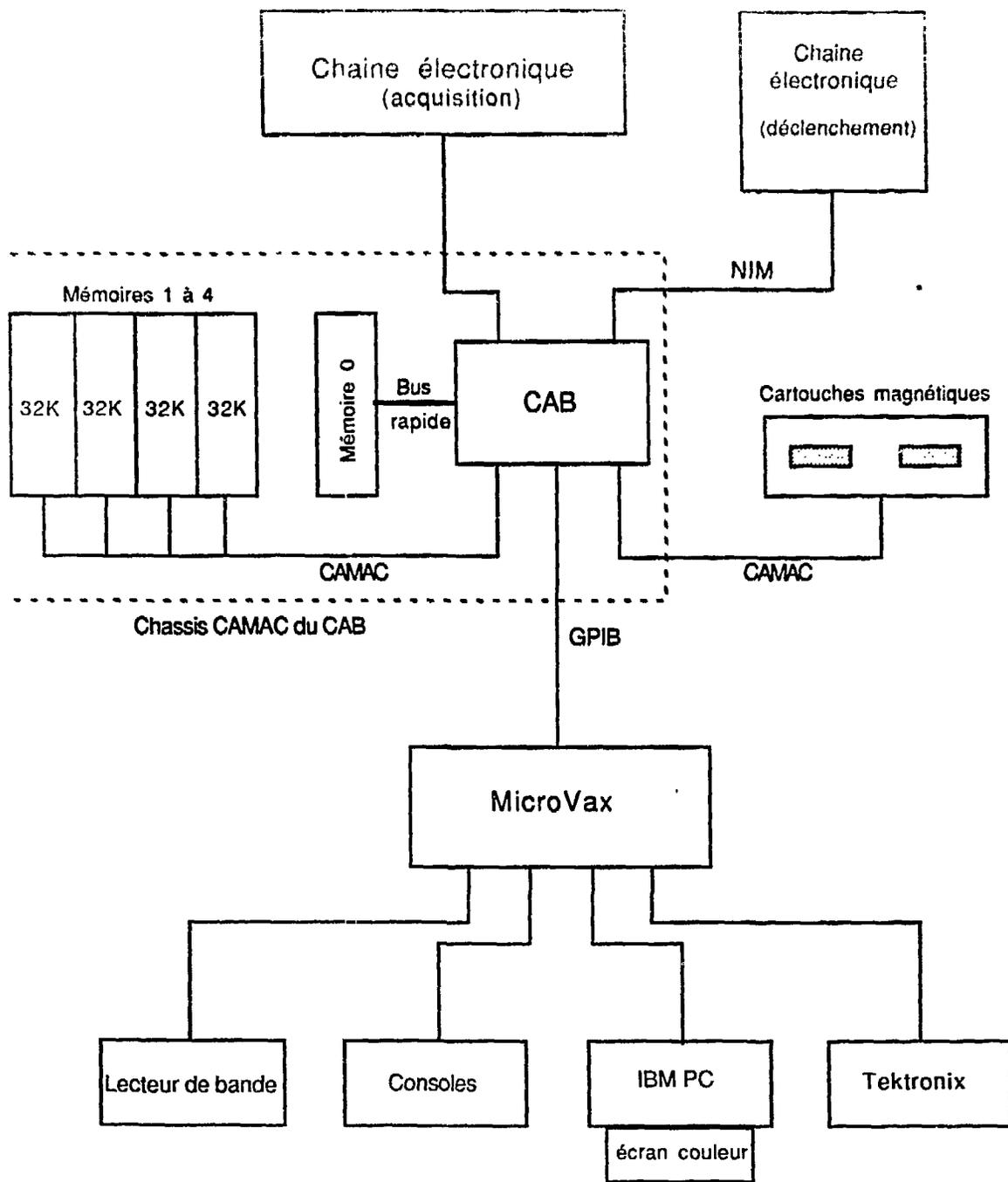


Figure 4.10 L'ensemble CAB-MicroVax et ses périphériques

souplesse, donne au système dont il fait partie des performances très respectables (d'où son nom: CAB ↔ CAmac Booster); ceci explique le fait qu'il soit encore régulièrement utilisé aujourd'hui dans un certain nombre d'expériences de physique (et autres).

### **Le CAB comparé à son équivalent dans l'acquisition H1**

Au sein du système de test 88, le CAB joue un rôle prépondérant qui est proche, toutes proportions gardées, de celui que joueront en 90, les microprocesseurs AMD 29000 et DSP dans la chaîne d'acquisition de H1.

Le CAB peut en effet:

- Produire lui-même certains types de déclenchements spéciaux, grâce aux signaux NIM de sa face avant (calibration, par exemple: voir la dernière section).
- Contrôler directement certaines phases des opérations de l'électronique, comme les conversions ADC (voir la section précédente). Ceci est réalisé à H1 par la carte séquenceur associée aux DSP.
- Jouer le rôle d'un système de déclenchement de niveau supérieur pour la chaîne électronique, pouvant faire des coupures plus sophistiquées que celles de l'électronique pure (équivalent approximatif du niveau L3 pour le déclenchement de H1).
- Filtrer éventuellement les données au moment de la lecture d'un "bon" événement, puis effectuer la soustraction des piédestaux et les corrections de gain pour les informations venant des différents ADCs (comme le font les DSP pour les données ADC du calorimètre complet).
- Lire l'ensemble des informations fournies par les détecteurs, les mettre en forme, puis les transmettre rapidement à l'échelon supérieur (en l'occurrence le MicroVax), rôle analogue à celui des 29000 de l'expérience finale.
- Calculer et stocker, à partir de l'ensemble des informations recueillies pour une suite d'événements, filtrés ou non, différents histogrammes qui sont utilisés ensuite pour le contrôle en ligne (c'est une partie des fonctions du 68020-OS9 et/ou du 29000 de l'acquisition H1).

Evidemment, il y a des différences qui faussent la comparaison entre le système basé sur le CAB et le système final.

D'abord, les contraintes dues au flux de données (60000 canaux, croisement des faisceaux toutes les 96 ns) sont différentes à HERA et au SPS: une des

conséquences pour H1, nous l'avons vu, sont les 800  $\mu$ s de temps mort accordées aux divers processeurs pour la lecture de l'électronique. Le CAB, lui, a seulement de l'ordre de 3000 canaux à lire, et bien que la fréquence des déclenchements électroniques (pendant le passage des particules) soit du même ordre qu'à H1 (quelques centaines de hertz, au niveau L2), il dispose de beaucoup plus de temps que le système final pour stocker les événements; en effet, les paquets de particules du SPS n'arrivent dans la zone de test qu'une fois toutes les 12 s, environ, ce qui permet au CAB de transférer les données vers le MicroVax en toute tranquillité.

De plus, dans H1 les différentes tâches décrites plus haut sont distribuées à plusieurs processeurs qui peuvent éventuellement travailler en parallèle et en multitâche, être interrompus, etc... Le déroulement des opérations est donc loin d'être linéaire, comme il l'est avec le CAB, qui ne peut fonctionner qu'en mode séquentiel simple.

Pour ces deux raisons, la situation est donc assez différente; il n'empêche que, malgré ces dissemblances, le CAB fait fonctionner l'électronique selon la séquence (et à la vitesse) qu'elle connaîtra en 1990, et il fait parvenir au MicroVax des blocs de données filtrées et des histogrammes du même type que ceux qu'il recevra à cette époque. Cela permet de mettre à jour les problèmes posés par les choix faits pour l'acquisition de H1 —problèmes qui n'auraient pu apparaître que bien plus tard— et, à partir de là, de développer de nouvelles idées, applicables au système final.

### **Le séquençement du CAB et les signaux de synchronisation**

La figure 4.11 donne le développement temporel des relations du CAB avec le reste du système, ce qui suit donne une description plus précise des informations échangées.

Le CAB reçoit des ordres et des données de la part du MicroVax: tout d'abord un premier fichier, transmis lors des phases d'initialisations, qui lui indique les principaux éléments de description des détecteurs et de l'électronique qu'il doit contrôler: le nombre de canaux pour chacun d'entre eux, par exemple. Après cela, le MicroVax envoie au CAB les tables de piédestaux, de correction de gain et les seuils pour le traitement des données. C'est un schéma analogue qui est utilisé à H1, où le même type de fonctions est rempli par le MicroVax vis à vis du 68020, et indirectement (à travers le 68020) vis à vis des microprocesseurs 29000 et DSP.

C'est le MicroVax qui donne au CAB l'ordre de lancer l'exécution globale de son programme et qui lui envoie, pour chaque tâche, les informations nécessaires car c'est lui qui assure l'interface avec l'utilisateur; on peut dire que le CAB est

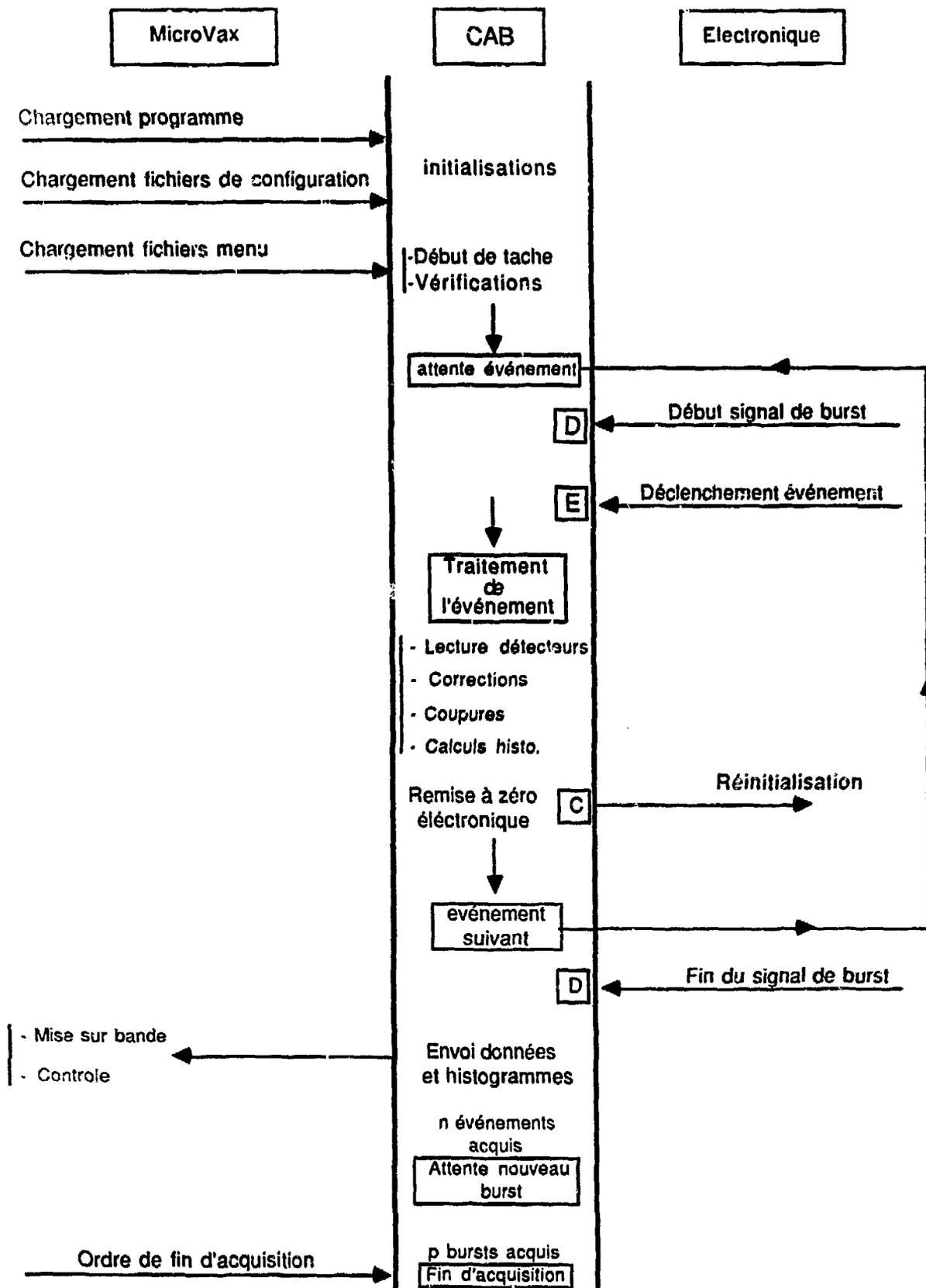


Figure 4.11: Le séquençement du CAB au sein de l'ensemble MicroVax-CAB

contrôlé en mode "esclave" par le MicroVax. Ainsi, une fois que l'utilisateur a fait son choix grâce au menu du MicroVax, celui-ci transmet par GPIB au CAB un petit fichier de configuration qui lui indique ce qu'il doit faire et contient les paramètres utiles pour cette opération; ce fichier est structuré de la manière suivante:

- Pour chaque détecteur, il comprend un bloc contenant tous les paramètres nécessaires à la lecture de l'électronique associée: type de traitement des données lues (avec ou sans corrections, ou coupures), type d'événements demandés (artificiels, réels, calibration), etc... La première variable du bloc indique si le détecteur correspondant doit être lu ou ignoré pour le menu dont il est question. Ce fichier comporte un "en-tête" qui indique le nombre d'événements à prendre en compte.
- Pour chaque histogramme imposé par le choix du menu, le fichier contient les informations suivantes: numéro identifiant l'histogramme pour le programme CAB, bornes supérieures et inférieures, nombres de points sur les axes.

Le MicroVax peut envoyer au CAB des ordres d'interruption qui arrêtent l'exécution de la tâche en cours, ou qui forcent le transfert des données recueillies avant l'acquisition du nombre d'événements primitivement requis.

Pendant l'exécution de sa tâche, le CAB échange de l'information avec l'extérieur également par l'intermédiaire des connections NIM qu'il possède en face avant. Ainsi:

- Il reçoit le signal de synchronisation avec le cycle machine du SPS, qui lui indique le moment pendant lequel le paquet de particules est présent dans la zone de détection (le "burst", long de 2 s et se répétant toutes les 14 s). Cette porte NIM arrive sur l'entrée D du CAB. Le déclenchement électronique parvient au CAB par l'entrée E. Il n'y a pas d'autre signal utile à la synchronisation avec l'appareillage, la dernière entrée (F) n'a donc pas été utilisée en 88, par contre elle le sera en 89, suite à des modifications de l'électronique.
- Il émet, grâce aux sorties A et B, les signaux de déclenchement artificiel (A) et de déclenchement calibration (B), on peut revoir à ce sujet la section 4.3.2.
- La sortie C est utilisée pour le signal de remise à zéro de l'ensemble de la chaîne électronique, qui intervient après chaque événement lu par le CAB, avant l'attente d'un nouveau déclenchement.

En contrepartie, le CAB crée lors des opérations qu'il effectue les objets suivants:

- Les données, lues par CAMAC, provenant des détecteurs et du système de sélection des événements (données "déclenchement"), soit environ 3500 mots de 16 bits au maximum (quand il y a 3 cartes ADC pour le calorimètre, et sans filtrage), revoir le tableau 4.5 pour plus de précisions. Ces données, pour chaque événement, sont transcrites suivant une structure hiérarchique particulière pour l'écriture dans la mémoire CAB puis le stockage sur bande. L'unité élémentaire de ce format est le "burst", qui contient toute l'information des événements acquis pendant l'arrivée d'un paquet de particules; dans ce schéma, un événement est constitué de blocs successifs (correspondant aux divers détecteurs), qui comprennent les informations lues par le CAB. C'est la suite de ces blocs qui forme, à proprement parler, la structure des données à la relecture des bandes.
- Les histogrammes calculés à partir des données accumulées pendant une acquisition, ou une période de l'acquisition.

On voit que les échanges d'information entre le CAB et le MicroVax sont relativement rares: le MicroVax se contente d'indiquer au CAB (pendant la période d'initialisation) quel type de prise de données il doit effectuer, avec les informations nécessaires, celui-ci se lance ensuite dans une longue boucle qui l'amène à acquérir le nombre d'événements demandés, après quoi il renvoie au MicroVax les histogrammes qu'il a calculés et/ou (suivant le mode de fonctionnement: voir plus bas) les données détecteurs formatées. Dans ce schéma, le CAB n'interagit avec le MicroVax qu'au début de chaque prise de données, et, au cours de celle-ci, seulement pendant les 12 secondes séparant deux paquets de particules (pour envoyer les données formatées, les histogrammes, etc...).

Donc, le programme est conçu de telle façon que la fréquence des transferts d'informations sur le bus GPIB n'est absolument pas critique, et ne pose aucune contrainte sur l'acquisition des données; de plus, les échanges se font toujours en mode "bloc", très rapide, et ne ponctionnent pas trop de temps d'opération sur le MicroVax.

### **Le programme CAB et sa structure**

Nous décrivons ici plus précisément les différentes parties du programme CAB. La figure 4.12 résume la structure de la mémoire dont il dispose.

La mémoire interne du CAB est séparée en mémoire "données" et mémoire "instructions" (16 Koctets, en tout). Dans notre cas, le CAB a en outre à sa disposition des modules de mémoire supplémentaire: un module (numéro 0),

MicroExec		HERA
G P I B	Routines d'intérêt	Acquisition
		Calcul des histogrammes
		Formattage des données
	général	.
	...	.
		.

Constantes de configuration de la chaine électronique (adresses CAMAC, etc...)
Paramètres pour la prise de données (détecteurs à lire, histogrammes...)
Buffers temporaires du CAB
...

Mémoire instructions  
du CAB  
(8 Koctets)

Mémoire données  
du CAB  
(8 Koctets)

Piédestaux
Gains
Seuils
Histogrammes

Mémoire '0'  
(64 Koctets)

év. k			
év. k+1			
...			

tampon circulaire

Mémoires 1 à 4  
(4 x 64 Koctets)

Figure 4.12: La structure de la mémoire du CAB

accessible rapidement grâce au bus spécial (en deux instructions CAB, typiquement), et quatre modules du même type (numérotés de 1 à 4) connectés au CAB par le bus CAMAC, d'accès plus long (1 cycle CAMAC, soit une microseconde); chacune de ces unités a une capacité de 64 Koctets.

La mémoire interne "instructions" contient les routines d'intérêt général et le programme d'acquisition. Dans la mémoire interne "données", le CAB stocke les informations auxquelles il doit pouvoir accéder le plus rapidement: constantes de configuration, buffers de stockage temporaire pour ses calculs, variables lui indiquant les actions à effectuer, adresses des histogrammes, etc... Mais cette zone de mémoire ne s'étend que sur 8 Koctets, ce qui rend obligatoire l'utilisation de la mémoire supplémentaire "0" pour le stockage de tableaux de constantes de plus grande taille: corrections de gain pour le calorimètre (16 bits par canal), piédestaux, seuils pour le filtrage des zéros.

Ce module "mémoire 0" contient également la zone de mémoire réservée pour les histogrammes calculés par le CAB. Les quatre autres modules (256 Koctets, en tout), d'accès plus lent, sont utilisés par le programme pour stocker les données des événements acquis à chaque arrivée du paquet de particules dans le détecteur, avant qu'elles ne soient envoyées au MicroVax (cette zone de mémoire est gérée comme un buffer circulaire).

Les routines implantées dans le CAB peuvent être classées en deux catégories:

- Les routines d'intérêt général, qui permettent de gérer les transactions GPIB et les accès à la mémoire supplémentaire par le bus CAMAC, de réaliser certains types de calculs, de gérer les histogrammes. Cette catégorie contient également les routines qui assurent le formatage des données par le CAB, c'est le "MicroExec".
- L'ensemble des routines qui forment le programme d'acquisition lui-même: lecture des détecteurs, filtrage des données, histogrammes, etc... Ce programme est appelé "HERA".

Toutes les tables et les programmes sont chargés dans le CAB à partir du MicroVax, par l'intermédiaire de l'interface GPIB.

Examinons maintenant plus précisément la manière dont est construit le programme "HERA".

Le CAB, vu du MicroVax, peut sembler fonctionner suivant plusieurs modes ("test", "acquisition", "calibration", voir section 4.4.2), Cependant, cette distinction s'opère plus au niveau MicroVax qu'au niveau CAB; en effet, ces trois modes font appel dans le CAB à la même série d'instructions, qui intervient à chaque

déclenchement et que nous allons décrire immédiatement.

Le déroulement des opérations du programme est illustré par la figure 4.13, où les temps typiques d'exécution des différentes phases sont en outre indiqués.

Le noyau central du programme CAB réalise séquentiellement les opérations suivantes:

- Initialisation de l'électronique des détecteurs à lire, ceux-ci sont indiqués dans une table de configuration chargée auparavant par le MicroVax.
- Après réception du déclenchement, lancement des conversions dans les ADCs du calorimètre (s'il doit être lu), le programme CAB contrôlant les 129 conversions (cette opération dure 800  $\mu$ s).

- Lecture effective des détecteurs: à chacun d'eux est assignée une routine spécifique du programme qui n'est appelée que si le détecteur correspondant est indiqué dans la table de configuration.

Une fois que les données du détecteur en train d'être traité sont écrites dans la mémoire, le CAB procède au filtrage (pour le calorimètre: suppression de zéros, soustraction de piédestaux, etc...), puis aux coupures éventuelles sur les quantités caractéristiques du détecteur, qui peuvent mener au rejet de l'événement. C'est à ce moment que du temps mort peut être gagné, puisque le traitement de l'événement incorrect est avorté bien avant qu'il soit complet; c'est un mécanisme à rapprocher du futur déclenchement programmé de niveau 3 (L3) de H1.

Si l'événement est éliminé, le CAB revient à la phase d'initialisation de l'électronique et d'attente du déclenchement, sinon il passe au traitement du détecteur suivant, après avoir rempli les histogrammes associés par défaut au détecteur courant. Les ADCs du calorimètre sont lus en derniers; par contre, les détecteurs susceptibles d'entraîner un fort taux de réjection (comme les chambres et les signaux "déclenchement") sont lus au début des opérations, de manière à rejeter le mauvais événement aussi vite que possible.

A noter que cette boucle d'attente et de lecture des données se termine quand le CAB a atteint le nombre requis d'événements ou qu'il est interrompu dans sa tâche par l'utilisateur. Dans les deux cas il transmet les histogrammes au MicroVax.

- Remplissage des histogrammes "utilisateurs", à partir des données issues de l'événement courant, et enfin retour à l'attente d'un nouveau déclenchement.

Le CAB distingue deux types d'histogrammes: ceux qui sont définis une fois pour toutes dans le programme et les histogrammes "à la carte", qui

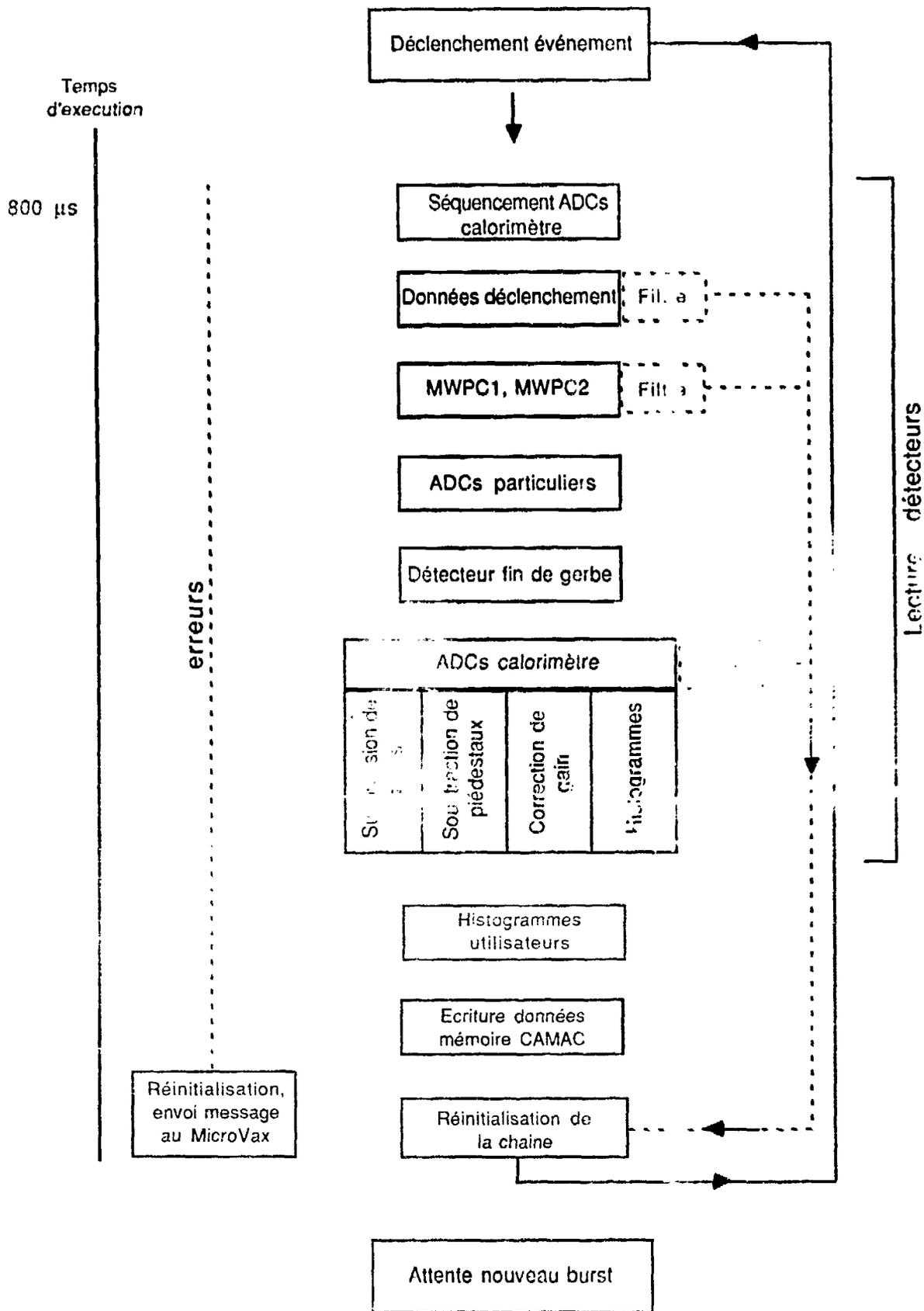


Figure 4.13: La structure du programme CAB

eux sont définis complètement à partir du MicroVax. Les premiers sont figés: l'utilisateur peut choisir parmi eux ceux qui seront effectivement remplis et changer certains paramètres simples (l'échelle, par exemple), mais sans modifier leur nature.

Le deuxième type donne à l'utilisateur la possibilité de construire ses propres histogrammes à partir des données des détecteurs, s'il ne trouve pas ce qu'il cherche dans la première catégorie, ce qui garantit une certaine souplesse.

Quand le MicroVax contrôle le CAB en mode "acquisition" (voir section 4.4.2), ce dernier, en plus des histogrammes qu'il produit, renvoie au MicroVax les données qu'il a lues au niveau de tous les détecteurs. Dans ce mode, les données acquises puis formatées au cours d'un burst sont stockées dans les unités mémoire 1 à 4 puis transmises au MicroVax à la fin du burst, tandis que les histogrammes sont envoyés une fois seulement tous les dix bursts. Ces informations sont enregistrées sur bande pour chaque session de prise de données. Pendant une acquisition de ce type, le CAB, peut prendre en compte les types d'événements suivants:

- Les événements produits par les particules réelles et les événements générés par l'électronique seule ("aléatoires": voir la description du système de déclenchement, plus haut).
- Les événements artificiels produits par le CAB et les événements de calibration produits par l'intermédiaire du 68020 et déclenchés par le CAB. Dans les deux cas, ces déclenchements sont générés pendant l'intervalle de temps séparant deux événements du premier type; l'utilisateur contrôle, lors de l'initialisation des paramètres du "run" la proportion relative d'événements réels, d'événements artificiels et d'événements calibration. Notons qu'il est possible à l'ensemble CAB-68020 d'envoyer plus que de simples événements de calibration isolés; en effet, ce système peut réaliser de véritables "mini-calibrations" (rampes) pendant le temps séparant deux déclenchements réels, mais ceci n'a pas été utilisé en 88.

Ces facilités permettent de savoir, au moment de la relecture et de l'analyse des données enregistrées sur bande, quelle était le profil de l'électronique (piédestaux, réponse du système à la calibration) au moment de l'acquisition, et ce pour chaque burst, donc à un temps très proche de l'arrivée des particules de ce burst.

Pour une configuration calorimètre à 3000 canaux, ce qui implique une taille de l'ordre de 7 Koctets pour un événement (en comptabilisant les données des

autres détecteurs), le nombre maximum d'événements lus par le CAB au cours d'un burst est proche de 35, ceci bien sûr si le faisceau le permet (n'oublions pas que le nombre d'événements corrects tombe à *quelques unités* par burst pour les hadrons de basse énergie. Ce chiffre remonte quand le CAB emploie la suppression de zéros (50 à 60 événements par burst). Pour des événements ayant un volume de données plus petit (pas de lecture du calorimètre, typiquement), le nombre acquis pendant un burst peut devenir considérable: pour les chambres à fils seules, par exemple, le CAB peut lire de l'ordre de 1500 événements par burst, ce qui est très utile pour le réglage rapide du faisceau.

Dans ce domaine, les limitations ont deux causes distinctes: quand le CAB écrit les données formatées dans la mémoire CAMAC (256 Koctets), celle-ci peut être saturée par leur volume, donc le CAB est contraint de stopper la prise de données et d'attendre leur transfert au MicroVax, même si le burst n'est pas fini.

D'autre part, quand le nombre de canaux à lire est plus faible, ou que l'on utilise la suppression de zéros pour le calorimètre, le problème ne vient plus de la taille limitée de la mémoire, mais du temps pris par le CAB pour effectuer les opérations indispensables au traitement de chaque événement; c'est une des raisons pour lesquelles le gain réalisé en mode supprimé de zéros n'est pas si grand: le temps mort, malgré la suppression, reste important.

Il est intéressant de détailler un peu ce mode "suppression de zéros", et d'établir quelques parallèles avec le système d'acquisition final.

En mode non-supprimé, le CAB enregistre *tous* les canaux quelle que soit leur valeur, les données et les histogrammes sont alors construits à partir de cette information complète. Le temps de traitement des 3000 canaux calorimètre d'un événement comprenant ce détecteur est alors de l'ordre de 20 ms; malgré ce temps mort, on l'a vu, la limitation vient dans ce cas plutôt de la taille de la mémoire.

En mode supprimé de zéros, le CAB réalise une coupure sur les canaux du calorimètre quand leur valeur n'est pas éloignée de plus de quelques sigmas d'un seuil calculé à partir des mesures de piédestaux (typiquement, la coupure se fait à 2 sigmas, le niveau de sélection est choisi par l'utilisateur). Cette opération a lieu le plus tôt possible dans le déroulement du programme CAB, pour se débarrasser rapidement du volume de données inutiles à traiter: la suppression prend effet dans une "boucle critique" lors de la lecture même des ADCs du calorimètre. Le facteur de compression de données atteint pour une coupure typique à 2 sigmas est de l'ordre de 50. Le filtrage des "zéros" permet de gagner un temps mort appréciable pour le traitement des 3000 canaux, en particulier au niveau des calculs d'histogrammes, qui n'ont plus que quelques dizaines d'entrées à prendre en compte. A cause de la petite taille des événements, c'est alors le temps d'opération du CAB, et non plus la mémoire accessible, qui détermine le taux d'acquisition du programme.

Ce type d'opération de compression de données est, on l'a vu au cours du chapitre 3, utilisé de manière extensive par les processeurs DSP de l'acquisition finale. La différence essentielle vis à vis du système CAB utilisé en 88 est liée au fait que ce dernier doit assurer lui-même le séquençement des ADCs calorimètre (conversions, FIFO, etc...). Ceci oblige la chaîne électronique à attendre que le CAB ait terminé *toutes* ses opérations avant de pouvoir accepter un nouvel événement, puisque les ADCs ne peuvent digitiser les signaux que sous le contrôle du CAB.

Dans ces conditions, on comprend que tout le traitement des données fait par le CAB occasionne du temps mort de premier ordre (le déclenchement n'est relâché qu'à la fin du traitement, systématiquement).

La situation va changer pour 89, où, au cours des tests au CERN, nous allons utiliser pour la première fois le système de séquençement final des ADCs. Celle-ci libérera le CAB des contraintes liées au contrôle des ADCs; l'électronique n'aura plus à attendre la fin du traitement de l'événement courant pour en acquérir un nouveau, puisque le CAB pourra alors relâcher le système de déclenchement dès la fin de la boucle critique de lecture des données et de suppression de zéros. Pour cette raison, le temps mort venant des divers calculs effectués par le CAB va subir une diminution appréciable, car toutes les opérations effectuées après cette boucle critique (soustractions de piédestaux, corrections de gain, histogrammes...) interviendront uniquement dans le temps mort de second ordre, d'une manière très analogue aux calculs réalisés par les DSPs de l'expérience finale (voir chapitre 3).

Passons maintenant à des exemples d'opérations typiques du CAB. Parmi celles-ci on peut citer:

- La lecture des ADCs de la chaîne du calorimètre sans présence de particules réelles (déclenchement calibration ou artificiel), avec production par le CAB d'histogrammes tels que: les moyennes et les sigmas des valeurs ADC en fonction du numéro de canal (avec ou sans soustraction des piédestaux), les fréquences d'apparition des valeurs de piédestaux (utile pour vérifier si la soustraction est correctement faite), la corrélation entre deux groupes de canaux (histogramme à deux dimensions), etc... Ceci est fait pour tester l'électronique de lecture du calorimètre et pour créer certaines tables nécessaires à l'acquisition, notamment les listes de piédestaux et de seuils.
- La lecture de l'encodeur (PCOS2) pour les deux chambres à fils, qui inclut un test du bon fonctionnement de cet appareil et la création des histogrammes représentant les profils du faisceau dans chacun des quatre plans de fils, avec plusieurs types de coupures standards sur les événements pris en compte.

L'utilisateur a en plus la possibilité de composer soi-même son propre

mode de sélection sur les événements histogrammés: en tirant parti des données "déclenchement" lues par le CAB, le programme (sur choix de l'utilisateur) peut établir des critères plus stricts et plus spécifiques pour la sélection des événements que le système de déclenchement électronique (voir section 4.3.2). Cela peut être utile pour visualiser la position du faisceau formé de particules d'un type donné (notamment: électrons, pions), ou pour retrouver le faisceau une fois qu'il est sorti du champ de détection des scintillateurs qui colliment le faisceau.

Dans ce dernier cas, la procédure la plus simple est d'agir sur les diviseurs de fréquence du déclenchement électronique (voir figure 4.5) pour lui faire accepter un grand nombre de déclenchements MWPC purs, sans condition préalable sur les collimateurs B1, B2, et HOLE (ceux-ci ont une acceptation beaucoup plus faible que les chambres à fils, et la présence de coups dans ces détecteurs fait partie du critère normal de sélection des particules). On peut alors savoir, grâce aux profils des chambres, quelle est la position du faisceau. En imposant, par programme, la condition sur B1, B2 et HOLE aux événements histogrammés et en comparant les nouveaux profils obtenus aux profils "MWPC pur" on voit immédiatement où le faisceau est coupé par les collimateurs ...et l'on peut alors améliorer la situation.

#### 4.4.2 Le MicroVax

Tenant compte du fait que le MicroVax II (ou toute machine apparentée) est un ordinateur très répandu dans le monde de la physique des particules, et qu'il est d'ailleurs souvent utilisé comme élément des systèmes d'acquisition de données, il me paraît inutile de donner ici une description générale de ses caractéristiques et de ses performances. Je me contente donc de donner un aperçu de la configuration spécifique MicroVax utilisée lors des essais.

Du point de vue logiciel, le système VMS 4.5 est implanté, avec toutes les possibilités habituelles (langages, bibliothèques de routines, réseaux, bases de données, etc...). En 1988, du point de vue matériel, le MicroVax de la chaîne d'acquisition comporte:

- Huit mégaoctets de mémoire vive physique.
- Deux unités disques durs, d'une capacité de 140 et 320 Mégaoctets.
- Huit entrées/sorties RS232 pour les terminaux (alphanumériques, graphiques, imprimante) reliés au MicroVax.
- Une carte interface GPIB avec deux ports d'entrée/sortie indépendants, vus comme deux unités logiques différentes par le système VMS.
- Une carte DECNET, reliée à une unité DELNI, pour la connexion aux divers réseaux (ETHERNET y compris).
- Une unité de lecture/écriture de bandes magnétiques (6250 bpi) connectée à l'ordinateur par une interface assurant des transferts à la vitesse de 19200 bauds.
- Une unité de cartouches magnétiques (1600 bpi), de modèle TK50.

La figure 4.14 donne une vue générale de l'utilisation des divers périphériques.

Divers terminaux sont consacrés à la communication avec l'utilisateur. passons les rapidement en revue: en premier lieu, la console maître, d'où l'opérateur peut contrôler l'ensemble du programme d'acquisition dans ses différents modes; elle visualise les menus offerts à l'utilisateur et dialogue avec lui à partir du clavier. C'est elle qui affiche à l'écran les messages d'erreurs et les signaux d'alerte du système. En complément, les utilisateurs ont accès à une console du même type dédiée à la manipulation et à l'affichage des paramètres concernant le lecteur de bande. Cette deuxième console est aussi utilisée pour faire des requêtes au contrôle en ligne "monitoring" (voir la section suivante), permettant la visualisation d'un choix d'histogrammes calculés par le MicroVax (et non par le CAB).

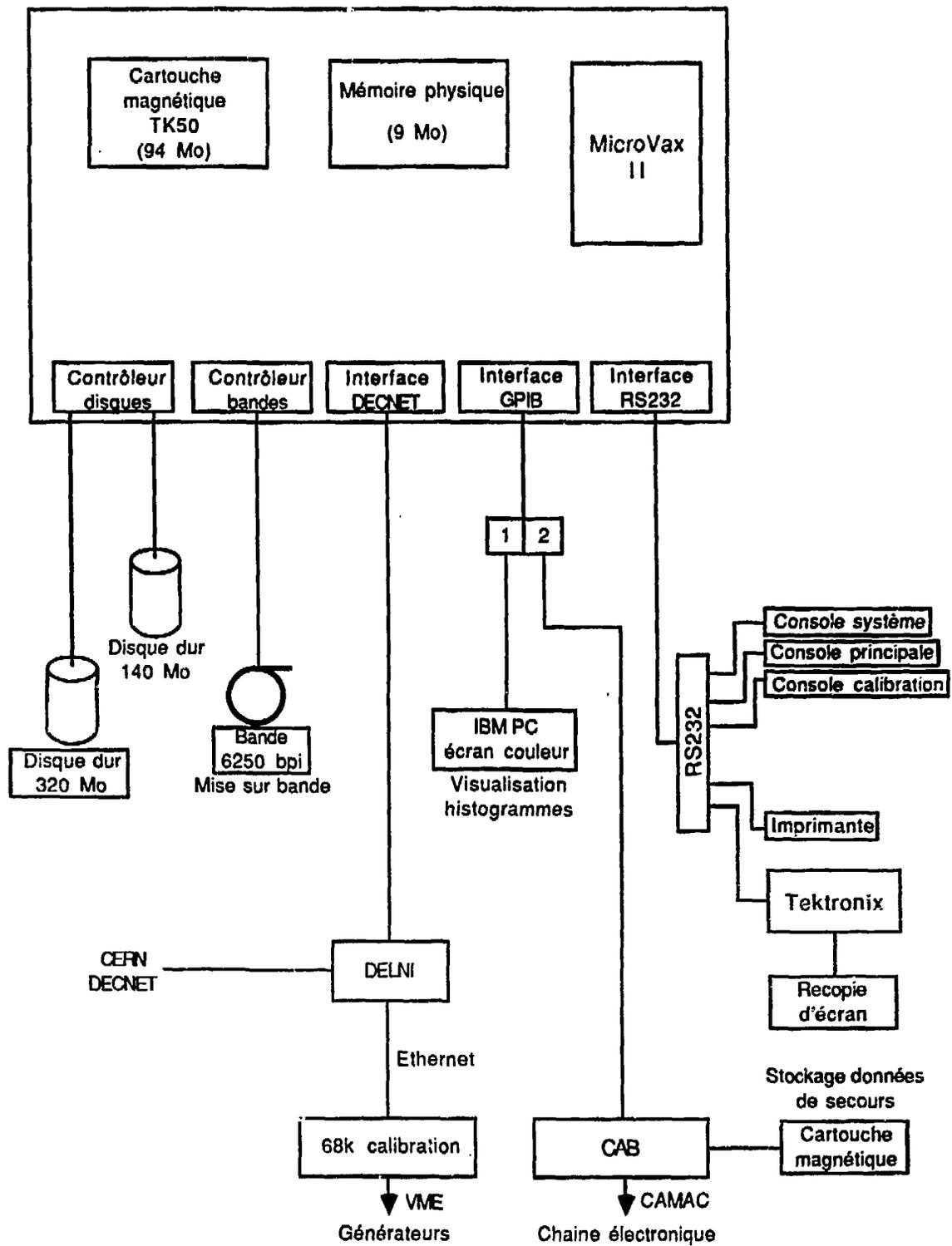


Figure 4.14: Les périphériques du MicroVax et leurs fonctions

Une troisième console, alphanumérique et graphique, est consacrée à la calibration (histogrammes et menus particuliers). Enfin, il y a une dernière console, qui n'intervient pas dans l'acquisition: la console système du MicroVax.

Le PC (avec un écran graphique couleur haute définition) sert à visualiser les histogrammes produits par le CAB ainsi que les gerbes produites dans le module calorimètre; il est connecté au MicroVax par GPIB. Les histogrammes CAB peuvent aussi être dessinés sur la console Tektronix graphique (liaison RS232), ce qui permet leur recopie sur papier; l'imprimante est bien sûr utilisée pour les diverses sorties d'information sur papier (sous forme alphanumérique).

### **Les fonctionnalités du programme MicroVax**

Les rôles du MicroVax au sein de l'acquisition sont multiples. Evidemment, ils reflètent les possibilités du CAB, on peut distinguer:

- Une partie "test" importante: visualisation des histogrammes fournis par le CAB pour les différentes parties de l'ensemble de détection, visualisation individuelle des événements dans le détecteur, surveillance des paramètres vitaux du système.
- Une partie "acquisition" qui fournit l'interface utilisateur pour le contrôle des opérations du CAB, et prend en charge la mise sur bande des données, en reprenant certaines des fonctions du mode "test".
- Une partie détachée du reste du programme de contrôle qui assure la création et la visualisation d'histogrammes plus sophistiqués que ceux du CAB, nous appellerons cet élément du programme "monitoring".
- Une partie "calibration", incluant le contrôle des générateurs par le truchement du microprocesseur 68020, et, bien sûr, le stockage de l'information recueillie.

Le premier mode, "test", est utile pour qui veut étudier l'électronique, mettre au point le système, lire les données de détecteurs particuliers. Ce mode est commandé à partir du MicroVax par un certain nombre de menus consacrés à un détecteur donné. Chacun d'entre eux comporte des sous-menus, offrant à l'utilisateur le choix des différents histogrammes produit par le CAB à partir des informations issues du détecteur concerné.

Le fait que dans les fichiers chaque détecteur soit désigné de manière particulière permet de les lire individuellement, ou, si on le désire, par groupe (en faisant appel au menu adéquat). Ceci est à rapprocher de l'idée du découpage du calorimètre final en "partitions" indépendantes en lecture et en déclenchement, exposée au chapitre précédent. C'est une nécessité si l'on veut s'adapter aux changements de configuration et faciliter la mise au point du système de détection:

il est possible de continuer à utiliser une partie du système de test alors même qu'une autre partie est complètement défectueuse ou manquante, ce qui arrive bien sûr couramment au début des essais (on peut —par exemple— régler le faisceau avec les chambres à fils et les scintillateurs alors que la chaîne électronique du calorimètre n'est pas encore montée).

Le second mode, "acquisition", est utilisé quand l'ensemble du système de test fonctionne correctement et est donc prêt à prendre des données, dans ce cas le menu se limite à l'initialisation d'un certain nombre de paramètres simples concernant la prise et le traitement des données.

Le troisième mode, la calibration du calorimètre, est un peu différent des précédents, nous y reviendrons plus loin. Précisons cependant immédiatement que le système est prévu pour permettre deux types de calibration:

- Le mode de calibration normal, pendant lequel l'ensemble de la chaîne, de l'électronique au MicroVax est consacré uniquement à cette opération.
- Un second mode (mentionné rapidement dans la section précédente concernant le CAB), basé sur les mêmes principes, mais qui intervient durant l'acquisition de données physiques: entre l'arrivée de deux particules, le CAB peut envoyer des déclenchements "calibration" et le 68020 peut afficher des niveaux préconfigurés sur les générateurs. Les données issues de cette calibration sont enregistrées sur bande comme les données physiques.

L'on voit que le système MicroVax du test comporte la plupart des fonctionnalités de l'ensemble 68020-MicroVax de l'expérience finale, avec en plus la partie "acquisition", qui ne dépend pas de ce dernier dans H1 (sauf en mode autonome). A ce titre, le programme de contrôle en ligne et le programme de calibration constituent une bonne préfiguration de leur équivalent dans H1.

Le système 88 reprend également des caractéristiques importantes de l'ensemble final:

- Possibilité de lire des sous-parties du détecteur individuellement (notion de "partition").
- Existence d'une "base d'histogrammes" mise à jour en permanence et accessible simultanément à plusieurs utilisateurs, ici c'est le "monitoring" qui joue ce rôle.
- Visualisation relativement sophistiquée des événements se produisant dans le détecteur.
- Programmation multitâche.

Cependant, dans le cas du test 88, les utilisateurs n'ont pas la possibilité de contrôler "simultanément" des sous parties du détecteur comme c'est le cas dans le système final (lire les chambres à fils d'une part et le calorimètre d'autre part, à partir de deux consoles différentes, par exemple). En effet, essayer de se rapprocher plus de l'expérience finale dans ce domaine nous a semblé un peu inutile, à cause de la faible taille du détecteur de test comparé aux calorimètres finals: la probabilité de prises de données simultanées par plusieurs utilisateurs est faible. D'autre part, donner cette capacité au programme est rendu difficile par le fait que le CAB ne supporte pas d'environnement multitâche, ce qui complique les problèmes posés par la construction d'un système capable de traiter en temps partagé les demandes des utilisateurs (interruptions, changement de contexte, etc...). Ceci est une différence fondamentale vis à vis des options choisies par l'équipe "calorimètre" de H1 (voir chapitre 3), qui préconise, pour 1990, un système prévu à tous les niveaux —programme de contrôle ou acquisition— pour permettre des fonctionnalités multiprocessus, cela pour d'autres raisons que les simples raisons de confort... Mais enfin, pendant l'été 88, nous n'en étions pas là.

Bien sûr, le MicroVax du test garde ses possibilités multi-utilisateurs, tant qu'il n'y a pas d'interférence avec les tâches en rapport direct avec l'acquisition, qui font appel au CAB. Ainsi, plusieurs utilisateurs simultanés peuvent faire des requêtes de calculs d'histogrammes à la tâche de "monitoring" (pas d'accès à la ressource CAB), sans que cela pose de problème. Pour les mêmes raisons, on peut (par exemple) éditer un fichier, le modifier, etc... pendant que le programme prend des données.

Voyons maintenant comment tout ceci est réalisé.

### **Le programme implanté sur le MicroVax**

Pour tirer pleinement parti des possibilités multitâches offertes par le système VMS, le programme est divisé en plusieurs processus qui travaillent en temps partagé, tout en échangeant des informations avec l'extérieur et entre eux, par divers moyens; cela a permis de se familiariser avec la programmation en mode multitâche, qui sera utilisée pour le contrôle de l'expérience finale, pour les raisons évoquées à la fin du chapitre 3.

En premier lieu, nous allons examiner le rôle joué par chacune des tâches du programme.

Les processus créés dans le MicroVax (voir la figure 4.15) sont au nombre de sept, parmi ceux-ci, les plus importants sont "ACQUIS", "MONITOR" et "CALIB"; les quatre restants sont en fait des sous-processus de la tâche principale

d'acquisition, ACQUIS.

Décrivons d'abord ACQUIS et ses processus auxiliaires:

- Le processus ACQUIS est chargé exclusivement des relations avec le CAB. C'est lui qui contrôle la mise en route de toutes les opérations du CAB et qui charge (à partir du disque dur) les fichiers de configuration dans celui-ci, c'est donc lui qui gère le canal de communication GPIB qui aboutit au CAB.  
Cette tâche reçoit toutes les informations qui viennent du CAB (y compris les messages d'erreurs et les histogrammes), et les range dans la mémoire du MicroVax (ou sur les disques durs), pour les mettre à la disposition des autres processus.  
Enfin, ACQUIS se charge de la gestion du système de menus qui permet à l'utilisateur d'agir sur le CAB et modifie les variables utiles selon les choix réalisés.
- Le processus "TAPE" prend en charge la mise sur bande des données formatées transmises par le CAB. Ce processus réalise cette opération de manière optimisée, en particulier grâce au buffer circulaire dans lequel sont stockées les données au sein du MicroVax, ce buffer de grande taille est l'image des mémoires CAMAC (1 à 4) du CAB; c'est TAPE qui assure la gestion de cette partie de la mémoire dans le MicroVax.
- Un processus appelé "TEKDISP" assure la gestion de la console graphique Tektronix. Cette tâche reçoit les requêtes d'affichages d'histogrammes de la part des autres processus, et établit la "file d'attente" pour cette ressource.
- La tâche "PCDISP", du même type que la précédente, réalise la visualisation sur l'IBM PC. Mais, dans son cas, il n'y a pas de conflit d'accès possible, car elle seule a besoin de dialoguer avec le PC pour dessiner les histogrammes du CAB.
- "KEYBMGR" est un processus qui gère les entrées au niveau du clavier de la console utilisateur maître, pendant que la tâche principale d'acquisition (mode test ou mode acquisition) attend les données du CAB.

Voyons maintenant les deux autres processus importants du programme. Le processus de "monitoring", nommé "MONITOR" (conçu par nos collègues du MPI de Munich) produit toute une variété d'histogrammes, souvent plus

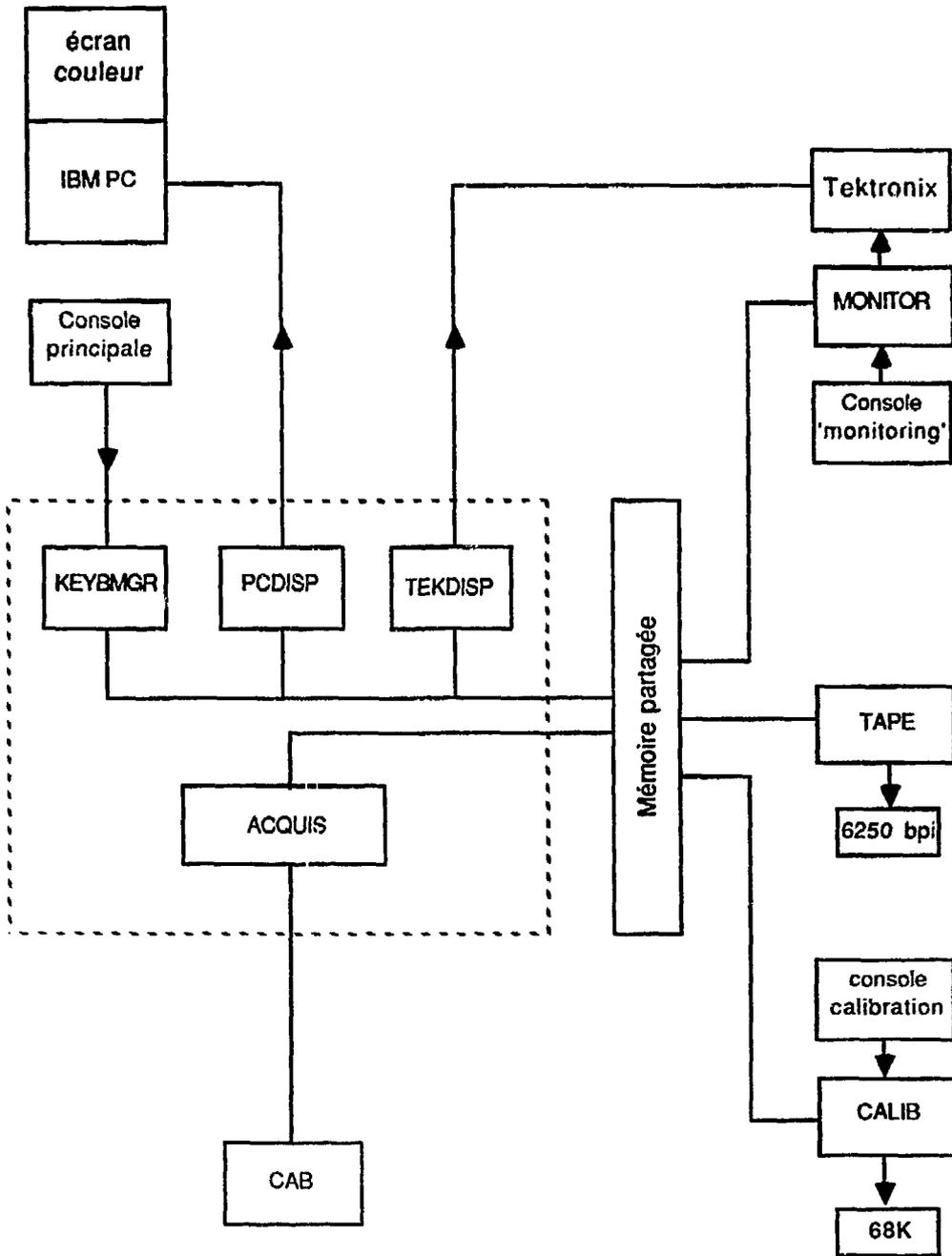


Figure 4.15: Les processus du MicroVax

spécifiques que ceux du CAB, que les utilisateurs peuvent consulter en temps réel. De plus, cette "base d'histogrammes" peut être facilement modifiée ou étendue par l'opérateur sans que cela nécessite des modifications de programme. MONITOR tire parti des données formatées ramenées du CAB par ACQUIS, donc de l'information issue de tous les détecteurs.

Cependant, pour des raisons de temps de calcul et de conflit avec la tâche de mise sur bande, MONITOR ne peut (en général), prendre en compte la totalité des événements acquis au cours d'un burst; il accumule donc l'information dans ses histogrammes sur une partie seulement des données, tandis que le CAB produit des histogrammes à partir de la *totalité* des événements acquis, ce qui peut être parfois une différence importante. En effet, pour détecter des problèmes qui n'interviennent que rarement, il est nécessaire d'histogrammer *tous* les événements. Si l'on se contente des histogrammes de MONITOR (qui prend en compte 10 % des événements environ), de tels phénomènes peuvent rester invisibles, alors qu'ils sont immédiatement mis en évidence par les histogrammes CAB.

Le processus MONITOR est très similaire, dans sa conception, au programme de contrôle en ligne qui existera, en 1990, sur le 68020-OS9 dédié à cette fonction (voir chapitre 3); à cette époque, c'est le microprocesseur 29000 qui produira des histogrammes tenant compte de la totalité des événements, comme le CAB actuellement.

Le processus de calibration "CALIB" (programmé par l'équipe du LAL d'Orsay) est essentiellement chargé des relations avec le 68020 de la branche correspondante de l'électronique. D'autre part, il réalise et visualise sur le terminal dédié à la calibration, certains histogrammes spécifiques. Pour remplir ces fonctions, il est synchronisé avec la tâche ACQUIS, qui lui envoie les données recueillies par le CAB concernant le calorimètre, ainsi que quelques histogrammes simples.

Nous allons maintenant donner un aperçu de la synchronisation des différentes tâches entre elles, tout en donnant une description relativement détaillée du fonctionnement des tâches ACQUIS et CALIB, et de leurs relations avec les autres processus du système.

Nous allons d'abord parler de la tâche ACQUIS, qui est le processus maître du programme. C'est lui qui a la plus forte priorité parmi les diverses tâches décrites plus haut (priorité 9, immédiatement inférieure à celles des processus du système VMS lui même). Ceci est rendu nécessaire par le fait que cette tâche est synchronisée avec le programme CAB pour le transfert des données, activité qui prend le pas sur toute autre au moment où elle intervient (une fois par burst, en pratique). Le schéma 4.16 décrit visuellement le déroulement des

opérations du programme MicroVax, autour de cette tâche principale.

Quand on lance le programme, ACQUIS crée dans le système VMS les autres processus (CALIB, TAPE et MONITOR sont activés uniquement dans des modes spécifiques, voir plus bas). En même temps, il leur assigne un espace de travail et une priorité convenables.

Pendant que ceux-ci commencent à fonctionner en réalisant leurs initialisations respectives (mise en fonction du PC pour PCDISP, du lecteur de bande pour TAPE, par exemple), ACQUIS charge dans le CAB son programme, et des tables de configuration (voir section "CAB"), puis il prend le contrôle de la console maître pour afficher son menu, et attend l'action de l'utilisateur sur le clavier. Quand les autres tâches ont fini leurs opérations de mise en route, elles attendent les signaux de synchronisation de ACQUIS pour continuer d'exécuter leurs instructions et sont donc inactives.

A partir de là, le menu d'ACQUIS donne le choix à l'utilisateur entre les divers modes de fonctionnement correspondant aux fonctionnalités du programme: le mode "test", le mode "acquisition", et le mode "calibration".

Les processus TAPE et MONITOR sont activés uniquement pendant le mode "acquisition", alors que CALIB n'intervient que dans le mode "calibration", ce dernier mode sera détaillé en dernier.

Examinons d'abord la suite des opérations du programme pour les deux premiers modes cités, qui sont proches.

ACQUIS charge dans le CAB, d'après le choix de l'opérateur, un fichier lui donnant les informations suffisantes pour exécuter les opérations demandées par un sous-menu donné, nous en avons parlé dans la section 4.4.1, où la structure des fichiers est décrite.

Une telle utilisation de fichiers MicroVax, facilement chargés dans le CAB, autorise la remise à jour rapide des variables amenées à fluctuer le long des périodes de test (nombre de canaux, bornes des histogrammes, par exemple). Cette solution offre une plus grande souplesse d'emploi que l'intervention directe dans le programme CAB (qui nécessiterait un réassemblage et un nouveau chargement du programme complet dans le CAB...); d'un autre côté, cela impose l'existence d'un fichier pour chaque menu accessible à l'utilisateur, d'où une multiplication importante du nombre de fichiers associés au programme.

Après avoir envoyé le fichier, ACQUIS lance la boucle d'acquisition du programme CAB et attend sans action que le CAB lui fasse parvenir histogrammes et/ou données formatées.

Pendant la période où ACQUIS est inactif (à chaque burst et quand il n'y a pas de transferts de données, essentiellement), les tâches KEYBMGR, TEKDISP, et

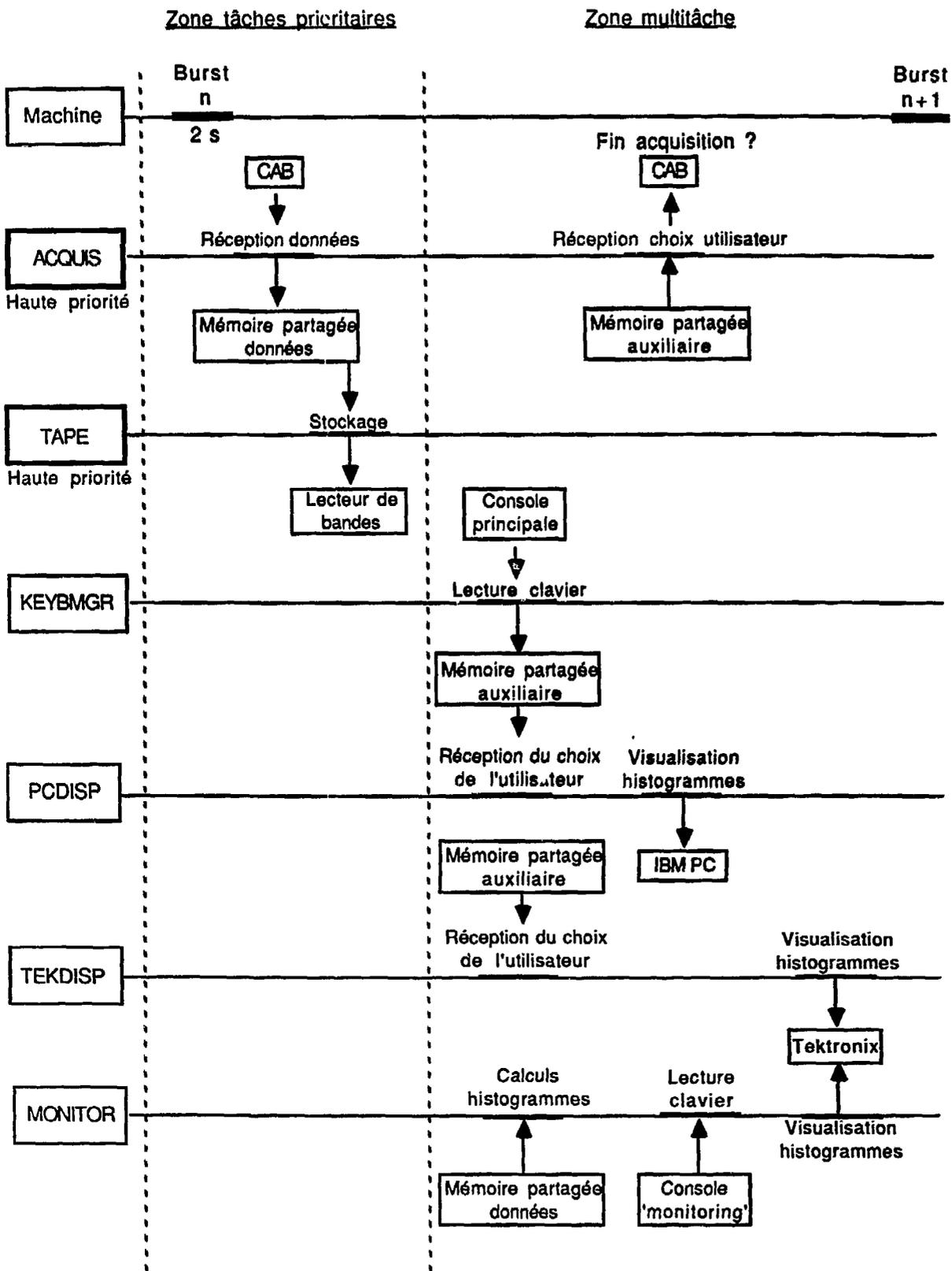


Figure 4.16: Séquencement et flux de données du programme

**PCDISP** entrent en jeu. L'utilisateur peut alors interagir avec le programme par l'intermédiaire de certaines touches de fonctions du clavier maître (20 touches).

**PCDISP** et **TEKDISP** ayant une priorité de base (6) inférieure à **ACQUIS**, elles sont mises en file d'attente dès que la tâche principale doit partager une ressource du système avec elles. **KEYBMGR** a une priorité intermédiaire entre **ACQUIS** et **PCDISP**, de manière à avoir une action assez rapide de lecture du clavier; à noter que cette tâche, malgré sa priorité élevée, ne consomme que très peu de temps CPU, car elle ne fait rien tant que le clavier n'est pas actionné (mode "interruption").

Sur l'ordinateur IBM PC est implanté un programme qui communique avec le MicroVax grâce au deuxième port de l'interface GPIB (voir figure 4.14); ce logiciel est entièrement esclave de **PCDISP**, qui lui envoie les ordres de dessin et les données indispensables à la représentation des histogrammes CAB sur l'écran couleur du PC. Le programme fonctionnant sur le PC renvoie au MicroVax un unique mot d'état qui lui indique si tout s'est bien passé.

Par ce moyen, **PCDISP** offre à l'utilisateur les facilités suivantes:

- Des histogrammes en couleurs, qui peuvent apparaître simultanément à l'écran (les routines d'histogrammation permettent de découper l'écran en plusieurs parties, chacune pouvant recevoir un histogramme); un menu typique comporte une ou plusieurs pages de ce genre, avec, dans la fenêtre réservée à chaque histogramme, les informations habituelles, telles que: titre, valeur moyenne du contenu, sigma, etc...
- La représentation sur le PC de l'ensemble du détecteur, avec le module calorimètre (en perspective). Les parties du détecteur sont dessinées avec diverses couleurs, suivant qu'elles sont touchées ou non. Dans le calorimètre, les dépôts d'énergie laissés par une particule dans les cellules de lecture sont visualisés grâce à un code de couleurs approprié. Cette facilité permet d'avoir à l'écran, pour un événement donné, une information visuelle importante et rapide à assimiler. Ainsi, il est très facile d'identifier le type de particule qui a produit la gerbe, les erreurs dans les tables de correspondance entre la position physique d'un canal et son numéro électronique sont aisément repérées, les zones défailantes du calorimètre (canaux morts, déconnectés, ou bruyants) sont clairement identifiées, le point et l'angle d'arrivée du faisceau sur le module calorimétrique peuvent être vérifiés, etc...

Au bas de l'écran du PC, une zone est réservée pour représenter un "tableau de commande" qui indique à l'utilisateur la correspondance entre les touches de fonction et les actions effectuées par **PCDISP**, ce tableau n'est pas le même

en mode "acquisition" et en mode "test". Voici les principales actions possibles dans le premier mode:

- Transmission à ACQUIS des ordres d'arrêt ou de suspension de l'acquisition en cours.
- Visualisation d'une page d'histogrammes caractéristiques d'un détecteur.
- Visualisation en perspective d'un événement.
- Affichage d'un panneau de paramètres importants du système sur l'écran de la console maître (niveau et température de l'argon dans le cryostat, par exemple...).
- Affichage d'un panneau résumant le nombre de déclenchements enregistrés par le CAB, avec classement par types (correspondants aux "données déclenchement"), et statistique.
- Activation du Tektronix, qui affichera alors les histogrammes de la même manière que le PC, grâce au processus TEKDISP, ou désactivation.

En mode "test", le nombre de fonctions est plus restreint, car les choix principaux pour l'affichage sont faits au niveau des menus de ACQUIS: les seules actions possibles sont l'arrêt ou la suspension de la prise des données.

L'acquisition se poursuit ainsi, burst après burst, jusqu'à ce que l'utilisateur décide de l'arrêt des opérations; il peut à tout moment (et sans délai) connaître l'état de l'ensemble du système grâce aux histogrammes et aux panneaux de contrôle. Cependant, pour les paramètres réellement critiques, ACQUIS elle-même effectue une surveillance permanente: à chaque burst, elle vérifie que les variables associées aux quantités critiques (lues par le CAB) ont des valeurs raisonnables; si ce n'est pas le cas, ACQUIS affiche sur l'écran du terminal principal des messages d'alarme indiquant la cause du problème. Dans les cas désespérés, ACQUIS a la possibilité d'interrompre l'acquisition, sans que l'opérateur ait à intervenir. Des exemples de variables surveillées sont: la place restant disponible sur la bande, le nombre d'événements corrects acquis (pour un burst), le nombre de particules passant dans les chambres (présence ou non du faisceau...), etc...

D'autres types de messages peuvent être envoyés par ACQUIS à la console maître: les messages d'erreur venant du CAB, (qui signalent en général des pannes de l'électronique), les messages des autres processus constituant le programme (par exemple, PCDISP peut signaler des difficultés au niveau du PC), et enfin les messages produits par les problèmes que rencontrent ACQUIS et le système VMS lui-même (à part les erreurs systèmes, qui sont elles signalées sur

la console système proprement dite). Toutes les erreurs, sauf celles qui proviennent de problèmes graves du système VMS, sont gérées par le programme, qui peut requérir l'action de l'utilisateur pour déterminer la conduite à suivre.

En mode "acquisition", ACQUIS récupère les données formatées du CAB (à chaque burst) et les range dans le buffer circulaire qu'il gère. C'est à cette zone de la mémoire que peuvent accéder TAPE et MONITOR pour stocker les événements sur bande et remplir les histogrammes du "monitoring"; il n'y a pas de problèmes posés par le temps d'exécution de ces deux tâches, étant donné l'intervalle de temps important entre deux bursts.

Quand le vidage sur bande ne peut être fait par l'entremise du lecteur de bande magnétique, par suite d'une panne, il existe une solution de remplacement: le CAB contrôle, en plus de sa mémoire, un lecteur de cartouches magnétiques à grande capacité. Celui-ci peut éventuellement recevoir le flux des données produit lors d'une acquisition à la place de l'unité de bandes magnétiques, ceci sur ordre du MicroVax; toutefois la vitesse de transfert des données sur cartouche est plus faible qu'en situation normale. Précisons que dans ce cas, les données sont tout de même envoyées au MicroVax, à l'intention de la tâche MONITOR.

Détaillons maintenant le dernier mode, "calibration", pendant lequel le CAB ne lit que les données issues du calorimètre.

Au cours d'une calibration standard, utilisant le processus CALIB, le contrôle du système est passé à la console dédiée à la calibration, CALIB ayant son propre menu, indépendant du système de menu de ACQUIS. Le terminal maître habituel est alors inhibé jusqu'à la fin des opérations de CALIB.

Une calibration est faite en enregistrant la réponse de la chaîne électronique, avec tous ses canaux, quand les générateurs explorent l'ensemble des valeurs de tension qui leur sont accessibles, correspondant à chaque fois à l'injection d'une certaine quantité de charge dans les cellules du calorimètre ("rampes" de calibration, voir 4.3.3).

Ceci est réalisé pratiquement de la manière suivante: le MicroVax (CALIB) envoie successivement les valeurs de tension à afficher au 68020 (par la voie du réseau local ETHERNET) qui les transmet ensuite aux cartes générateur. Pour chaque pas de tension, ACQUIS attend que le 68020 ait fini son opération (à ce moment, le niveau programmé est effectivement mis sur les générateurs), puis il donne au CAB l'ordre d'acquies un certain nombre d'événements (typiquement 100); pour ce faire le CAB envoie pour chaque événement un déclenchement "calibration". Ensuite, il traite ce signal de la manière habituelle et retourne les informations à ACQUIS, qui lui-même les transmet à CALIB, qui peut demander un nouveau niveau. Les données renvoyées par le CAB, à l'intention de CALIB, sont les moyennes et les sigmas des signaux (pour chaque canal), deux

histogrammes standards du CAB, calculés sur le lot d'événements demandé. Quand le système acquiert des données calibration *pendant* une acquisition normale (entre deux événements physiques, voir plus haut), la tâche CALIB n'est pas activée: en général un niveau est imposé aux générateurs par le 68020 en début de prise de données, et il reste fixe pendant celle-ci, ce qui rend inutile l'intervention de CALIB.

A partir des données ramenées du CAB, la tâche CALIB crée plusieurs tables:

- une table contenant le piédestal de chaque canal.
- Une table qui contient le gain de chaque canal. Ces facteurs dépendent d'une part des différences de réponse entre les canaux électroniques (mesurées par la calibration), et d'autre part des variations dans la structure géométrique du calorimètre (que l'on connaît), qui conduisent à des échantillonnages différents de l'énergie. Ils sont utilisés pour l'analyse hors-ligne, mais aussi pour la visualisation en ligne de l'énergie reçue par les cellules du calorimètre. Une table de ce genre existe pour les deux types de calibration, "chaude" et "froide" (voir chapitre 3).
- Une table qui donne la correspondance: valeur du niveau généré par la calibration  $\mapsto$  valeur lue par les ADCs. Elle contient la réponse de chaque canal à toute la série d'impulsions de calibration (moyennes et sigmas calculés sur des séries de 100 événements par niveau), ce qui permet de faire, hors-ligne, des analyses plus fines du comportement de l'électronique.
- Des tables contenant des paramètres intervenant à des ordres supérieurs dans la réponse du système, qui sont surtout utilisées pour les études d'électronique.

### Utilisation de la mémoire et communication entre les tâches

Le type de structure employé est illustré par la figure 4.17.

La communication entre les différentes tâches est assurée, dans le cadre du système VMS, grâce à plusieurs moyens:

- Les drapeaux gérés par le système ("event flags"), qui correspondent à un bit particulier de la mémoire. Les processus peuvent affecter ce bit, ou attendre qu'il prenne une valeur particulière avant d'exécuter une série d'opérations. Il y a divers degrés de protection et divers modes existants pour la lecture ou l'écriture de ces drapeaux, qui peut devenir assez complexe dans certains cas.

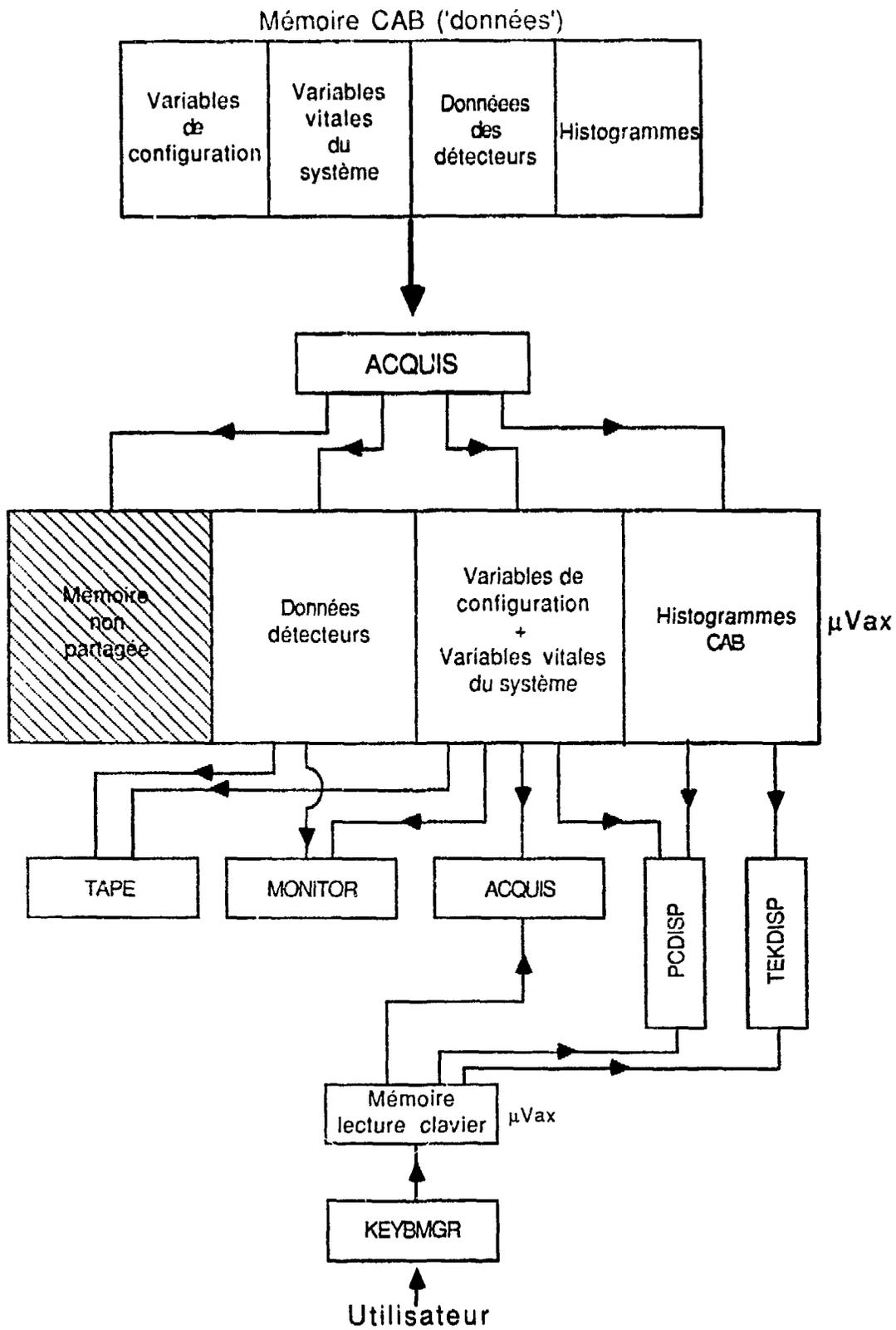


Figure 4.17: L'utilisation de la mémoire

Agir sur un drapeau de ce type est le moyen le plus rapide pour communiquer avec une tâche, cependant, c'est aussi le plus limité, puisque l'information transmise est réduite à 1 bit; pour ces raisons, ce mécanisme est adapté à un rôle de synchronisation. Un point important est que, pendant l'attente du changement de valeur d'un drapeau, une tâche ne consomme aucun temps CPU.

- Les "boîtes aux lettres", également gérées par le système, qui allient un mécanisme de synchronisation assez rapide au transfert d'une petite quantité d'information. Elles sont utilisées uniquement par les tâches MONITOR et TAPE.
- Le partage de mémoire, qui est utile quand il faut transférer assez rapidement une quantité appréciable d'information d'une tâche à l'autre. Ceci peut être réalisé à plusieurs niveaux dans VMS. Dans notre cas, nous utilisons une facilité de VMS appelée "global section", qui permet simplement de partager des variables déclarées du programme entre plusieurs exécutables, ce qui signifie que ces variables pointent vers le même emplacement mémoire pour chacune des tâches où elles interviennent. Le problème est ici qu'il n'y a aucune synchronisation rapide possible par ce moyen, il doit donc souvent être complété par l'utilisation de drapeaux système.
- Les fichiers disques, dont l'accès est beaucoup plus lent que la mémoire, mais qui permettent de transférer de très grandes quantités d'information. Ce mode n'est pas utilisé dans le programme d'acquisition.

Ainsi, par exemple, le buffer circulaire qui reçoit les données formatées du CAB est une zone de mémoire partagée entre ACQUIS, TAPE, et MONITOR. Quand ACQUIS a fini d'écrire dans cette zone, elle change la valeur d'un drapeau système qui indique à TAPE qu'elle peut aller lire le buffer pour effectuer le vidage sur bande. MONITOR récupère quelques événements en communiquant de manière analogue avec ACQUIS et TAPE.

Le même mécanisme est utilisé par ACQUIS pour envoyer histogrammes et signaux de synchronisation à PCDISP, TEKDISP, et CALIB qui ont toutes trois une partie de leur variables partagées avec ACQUIS.

KEYBMGR, chaque fois que le clavier est sollicité, met à jour (après un certain nombre d'autres actions) une variable partagée entre tous les processus. Son contenu indique la dernière touche actionnée au clavier, PCDISP et TEKDISP utilisent cette variable pour connaître les choix de l'opérateur.

Un autre type de synchronisation est employé dans le programme: ACQUIS a le privilège de pouvoir "endormir" les autres tâches; elle fait appel à cette possibilité pour neutraliser KEYBMGR et prendre le contrôle de la console principale

quand elle doit afficher ses menus.

Un point intéressant est la communication avec le CAB, à travers ACQUIS. En effet, les variables de configuration du CAB, avec celles qui décrivent l'appareillage, se trouvent en mémoire partagée, car, si la plupart sont initialisées grâce aux fichiers de configuration avant d'être envoyées au CAB, certaines d'entre elles doivent être affectées par PCDISP (comme, par exemple, la variable signalant que l'utilisateur désire arrêter l'acquisition en cours).

Ceci fait qu'une grande partie des variables du CAB a son double dans le MicroVax; le CAB étant contrôlé à partir du Fortran MicroVax par des appels sous-programmes qui n'ont rien de particulier, tout se passe comme s'il faisait partie intégrante du MicroVax...

Terminons cette description en disant que ce programme a été réalisé en Fortran standard, avec cependant de nombreux appels directs aux routines systèmes (\$QIO, et autres...), à cause de son côté multitâche, et du partage de la mémoire. Le programme entier est lancé par une procédure de commande, qui configure correctement l'environnement du MicroVax, et vérifie certaines caractéristiques du système.

L'ensemble du programme représente à peu près 10000 lignes de Fortran, sans compter les processus TAPE et MONITOR, programmés par le groupe du MPI de Munich et le processus CALIB, conçu par le groupe du LAL.

### Exemples d'utilisation pratique et d'applications du programme

Pour donner corps à ce qui précède, nous présentons dans cette section des objets "concrets" produits par les processus du programme, en expliquant rapidement leur utilisation.

Le mode "test", on l'a vu, permet d'étudier individuellement les différents détecteurs, grâce à un système de menus. Sur la figure 4.18 sont représentés quelques histogrammes typiques, tels qu'il ont été recopiés sur l'écran du Tektronix (en noir et blanc, malheureusement. On n'aura pas ici les histogrammes en couleur de l'écran du PC...). Le numéro d'identification ainsi que le titre de l'histogramme se trouvent immédiatement en dessous du dessin de celui-ci.

On peut voir sur cette figure le profil du faisceau dans les quatre plans de fils des chambres (histogrammes 61, 62, 63 et 64), avec des déclenchements MWPC purs; les histogrammes 7 et 8 représentent deux de ces profils après des coupures standards (un coup par chambre), ce sont ces six histogrammes qui sont utilisés la plupart du temps pour régler le faisceau, parfois en changeant les coupures pour sélectionner un type de particule donné, par exemple. Sur cette figure, on

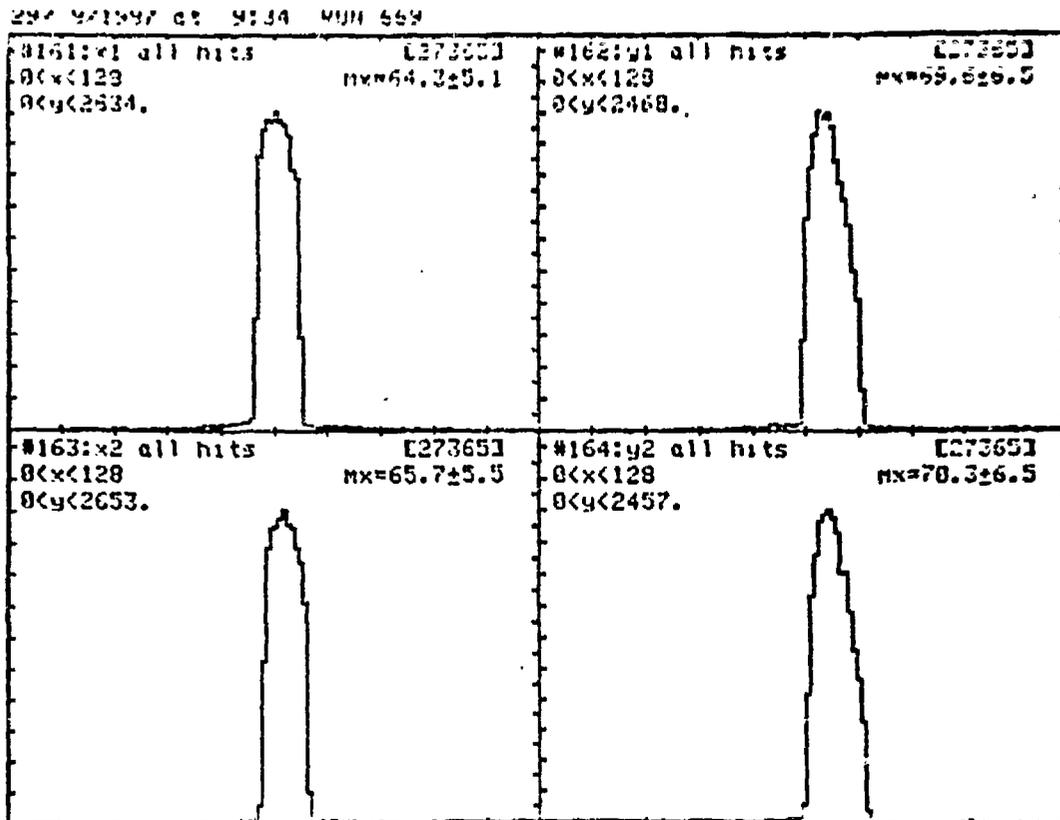
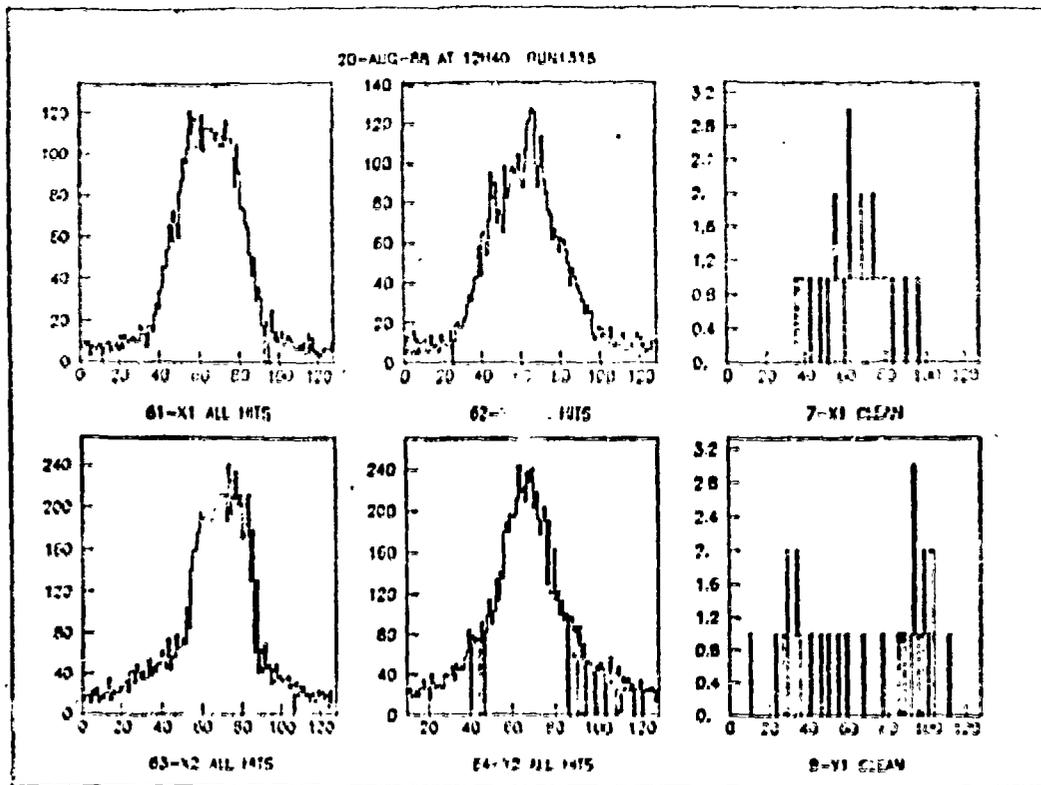


Figure 4.18: Histogrammes donnant les profils des chambres

voit également les 4 profils avec coupures standards, mais avec une statistique beaucoup plus forte (le nombre d'événements histogrammés est indiqué en haut à droite de chaque dessin).

Sur la figure 4.19 on peut trouver les résultats de plusieurs menus typiques utilisés pour tester les ADCs du calorimètre: les histogrammes 71 et 72 permettent de visualiser respectivement les moyennes et les sigmas de chaque canal et de réperer instantanément les parties bruitées ou problématiques de l'électronique (sur l'histogramme de sigmas, on distingue clairement les zones de canaux à grand gain (8) des zones à gain 1). Les histogrammes 6, 81 et 82 sont construits à partir de ces quantités, et donnent à l'utilisateur un point de vue statistique pour les analyser en ligne.

Le mode "acquisition" produit (entre autres) la représentation en perspective du détecteur et d'un événement qui s'y est déroulé (voir figure 4.20). On détaille clairement la gerbe dans le calorimètre, provoquée ici par le passage d'un pion.

Une série d'histogrammes souvent étudiés dans ce mode sont les numéros 114, 115, 116, et 117, qui donnent la répartition de "l'énergie" absorbée par les différentes couches (électromagnétiques et hadroniques) du module calorimètre et l'énergie totale (figure 4.21). Ces histogrammes permettent d'identifier facilement le type des particules arrivant dans le détecteur.

Pour finir, la figure 4.22 donne un éventail d'histogrammes issus du processus MONITOR. Ceux-ci concernent ici les chambres à fils; ces histogrammes sont plus nombreux et plus spécifiques que leurs équivalents CAB: ils donnent les profils pour chaque type de déclenchement possible (PI, E, MU, MWPC, etc...voir section 4.3.2), plus des diagrammes à deux dimensions visualisant la position du faisceau en X et en Y. En contrepartie, ils ont une statistique bien plus faible, ce qui les rend parfois incommodes à utiliser pour le réglage rapide du faisceau (le CAB peut lui histogrammer plusieurs milliers d'événements par burst, pour les histogrammes analogues). Le "monitoring" produit bien d'autres types d'histogrammes que nous ne pouvons montrer ici.

De l'utilisation en situation réelle du programme et des besoins qui se sont fait jour au cours des tests, nous avons tiré quelques conclusions dont il faudra tenir compte pour la conception du programme final:

- La conception générale de l'acquisition sort renforcée de ces périodes de test: les utilisateurs ont su apprécier la nature multitâche du programme

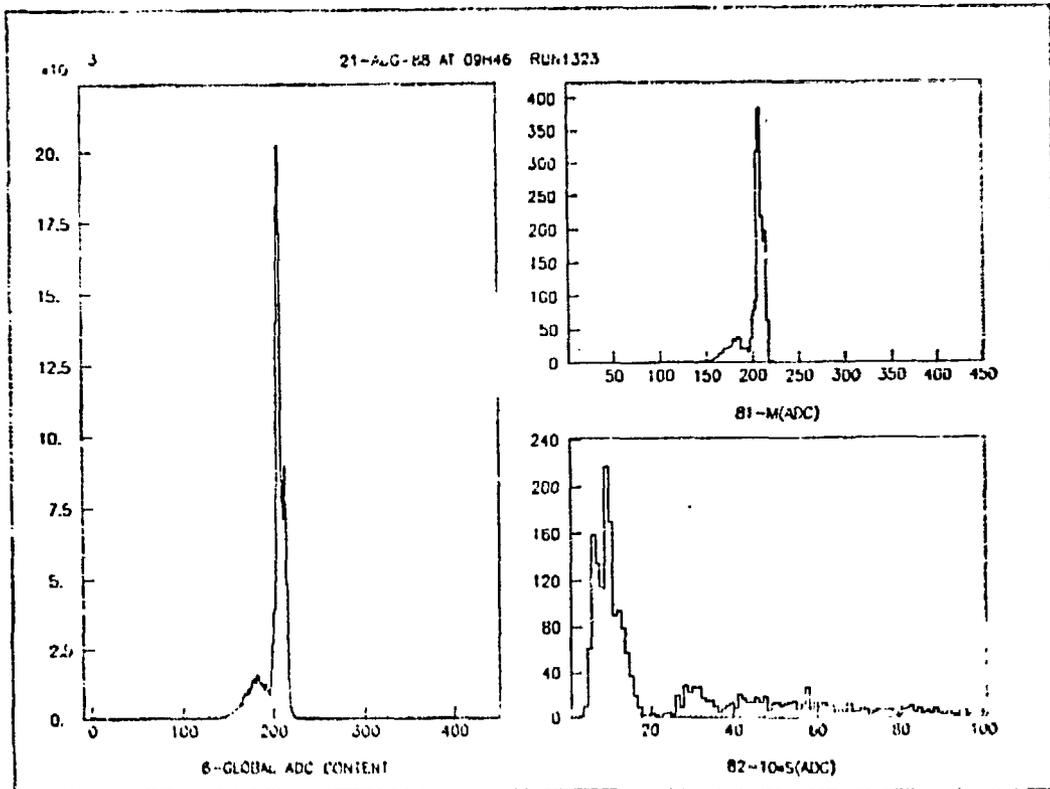
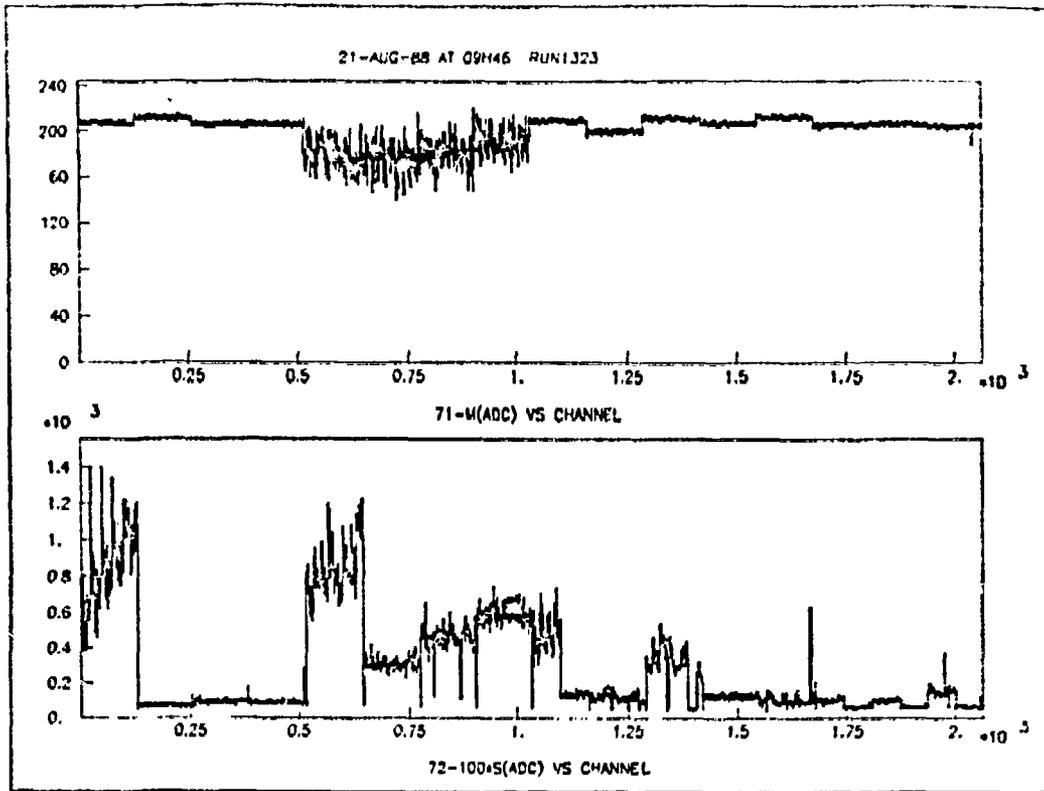
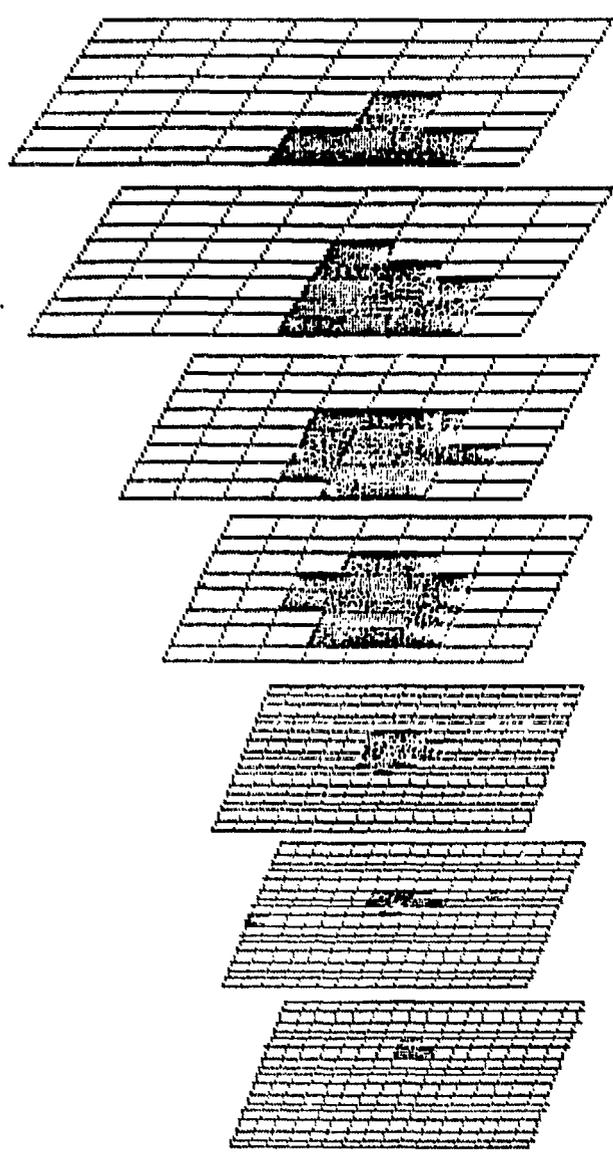


Figure 4.19: Histogrammes issus des données ADCs du calorimètre

1 5 10 50 100 500 1000 5000 <



JUNE TEST CB3  
RUN965 PIONS 30GEV CUT=0.03

Figure 4.20: Exemple de visualisation d'un événement dans le détec

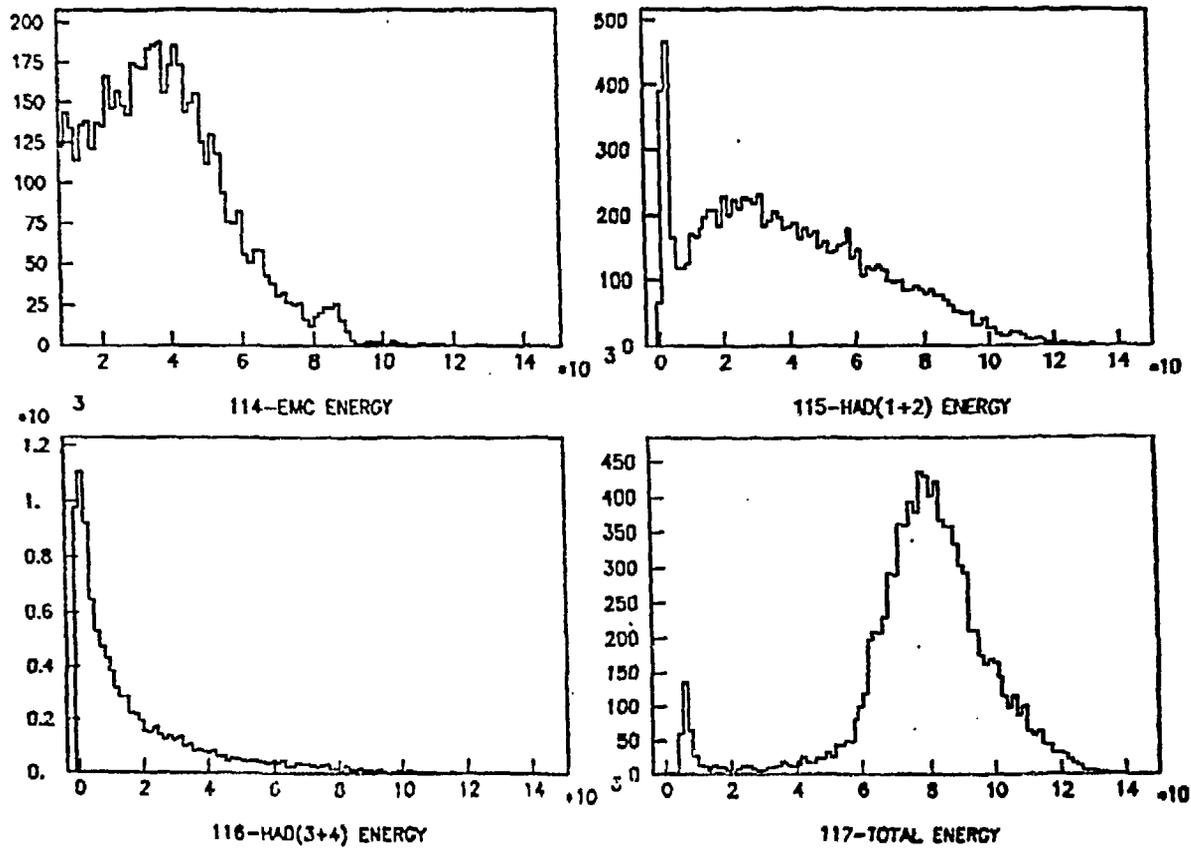
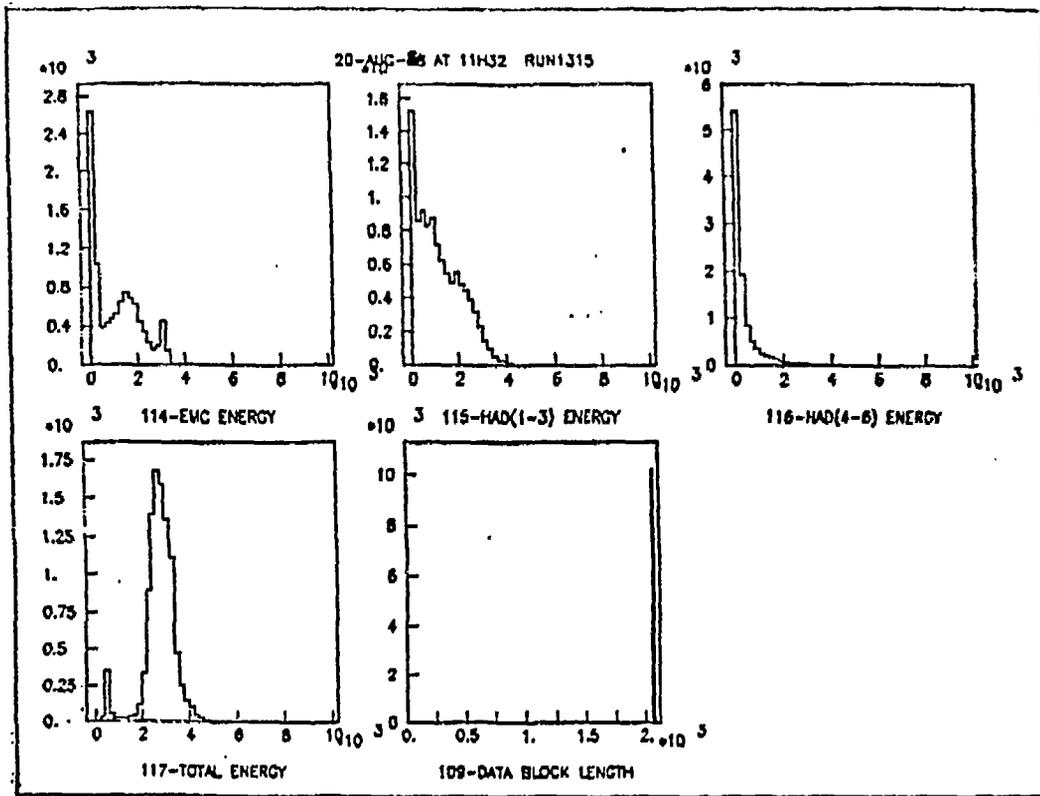


Figure 4.21: Histogrammes représentant "l'énergie" reçue par le calorimètre

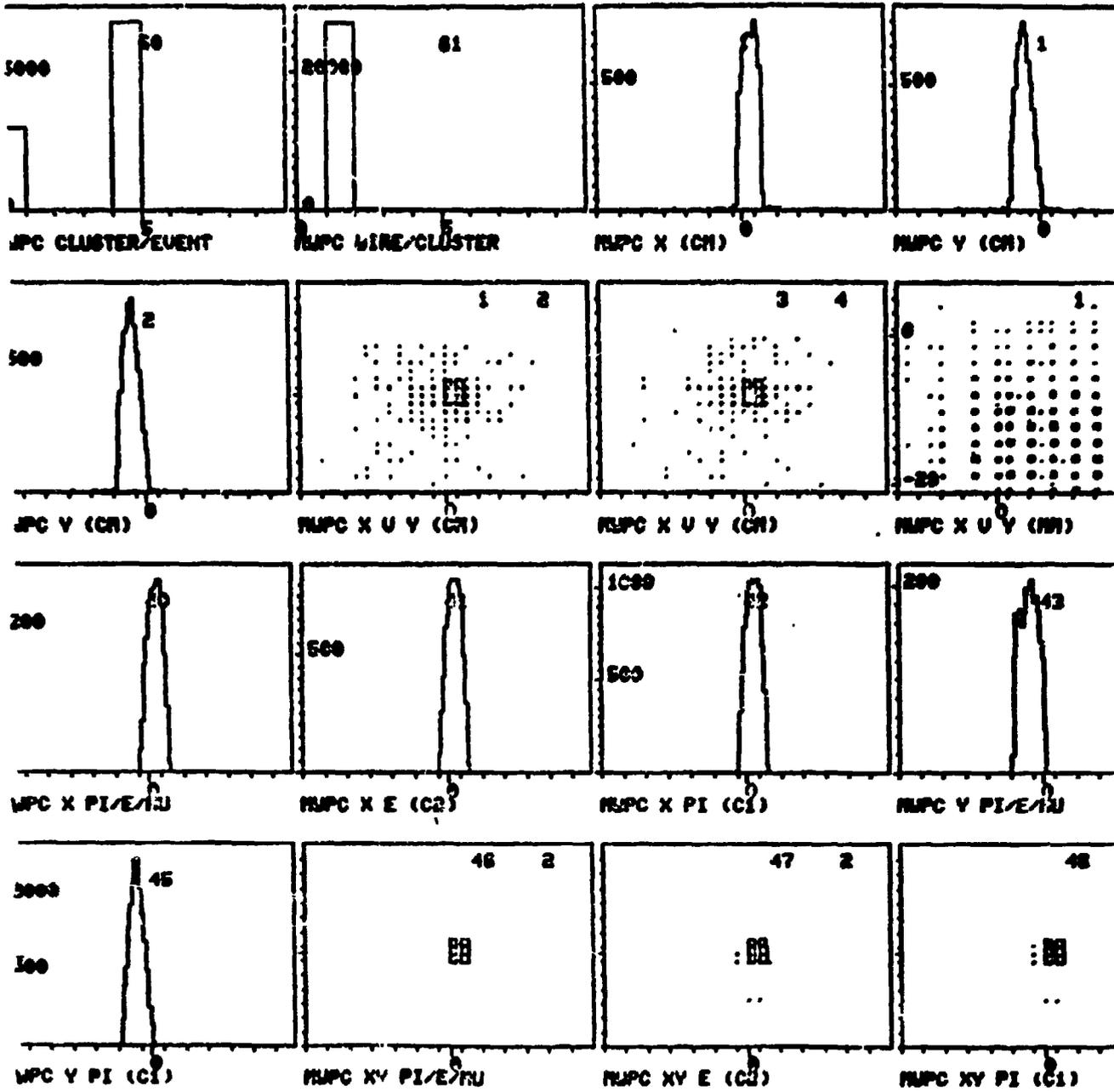


Figure 4.22: Exemples d'histogrammes créés par le "monitoring"

(qui sera encore accentuée dans le système final), et la souplesse introduite dans le système par la présence de plusieurs processeurs "intelligents", d'un bout à l'autre de la chaîne, qui permet de s'adapter facilement à des situations difficiles (par exemple: le CAB a permis, par des modifications mineures de son programme, de reconnaître et de filtrer en ligne les mauvais événements produits par le fonctionnement incorrect des ADCs, ce qui a limité les désagréments causés par ce problème).

- La nécessité d'une visualisation en "perspective" des événements individuels dans le détecteur paraît maintenant claire.
- Les histogrammes calculés, à partir de l'ensemble des événements, par le 29000 sont considérés indispensables pour le futur système de mise au point et de contrôle, étant donné l'efficacité des histogrammes équivalents du CAB pour dévoiler certains problèmes.
- Le bien fondé de la constitution de la base de données centrale de H1 par le programme de contrôle en ligne (géométrie, correspondance entre les canaux aux divers embranchements de la chaîne électronique, etc...) est confirmé, au vu des problèmes qui surgissent quand il s'agit de manipuler des tables de correspondance de taille respectable (3000 canaux pour les tests, 66000 environ pour H1...).

### 4.4.3 La mesure de pureté de l'argon

#### Le but et le principe de la mesure

L'on sait combien il est important pour l'expérience H1 d'avoir un argon pur, ou en tout cas ne se polluant pas trop vite (par dégazage éventuel des matériaux contenus dans le cryostat). Ce point est vraiment crucial pour la calibration: (voir chapitre 3) le signal fourni par le calorimètre est très dépendant du taux d'impuretés de l'argon utilisé.

Réussir à faire fonctionner ce système de mesure représentait donc pour 88 un enjeu loin d'être négligeable, les résultats pouvant avoir des répercussions assez importantes sur l'expérience de 1990, malgré les différences évidentes entre les deux situations expérimentales.

Les tests de l'été 88 ont été simplement destinés à démontrer la faisabilité du système de mesure proposé; ils précèdent les études de l'été 89 qui mettent en jeu des moyens plus importants (ultraviolets, alpha et béta, chaîne électronique plus sophistiquée) dans un ensemble de mesure proche du système final de 1990 (décrit au chapitre 3).

Le système utilisé en 88 ne réalise pas directement la mesure de pureté, mais donne plutôt une estimation de la variation de la réponse d'une cellule individuelle du calorimètre, provoquée par le changement du taux d'impuretés de l'argon.

L'idée est de simuler le mieux possible le phénomène qui intervient dans ces cellules: la dérive des charges créées dans l'argon liquide par le passage des particules, sous l'effet du champ électrique régnant entre les plaques de lecture. Pour ce faire, le moyen le plus simple que l'on peut imaginer est de plonger dans l'argon une source de particules ionisantes stable en intensité, puis de faire transiter les électrons d'ionisation produits par ces particules à travers le liquide et de mesurer le signal produit par ces électrons pendant leur parcours. On le voit, ceci est exactement ce qui se passe pour les charges collectées par les plaques de lecture du calorimètre: le signal généré par l'électron d'ionisation dérivant dans l'argon est proportionnel à la distance qu'il franchit.

Au cours de leur transit, les électrons ont une certaine probabilité de se recombinaison avec les atomes qu'ils rencontrent; celle-ci est très faible lorsqu'il s'agit d'atomes d'argon (c'est un gaz rare: toutes les couches électroniques sont saturées), mais elle devient beaucoup plus grande dans le cas d'atomes à couches incomplètes ou de molécules complexes, ce qui est courant pour le type d'impuretés produites par le dégazage des modules ou les fuites du cryostat (oxygène, par exemple). La longueur du parcours moyen, donc l'intensité du signal fourni, est fortement liée au taux d'impuretés, tout comme les signaux du calorimètre...

Une concentration plus forte d'impuretés se traduit donc par une diminution du courant détectable.

## **Le système de mesure**

Nous allons maintenant décrire plus précisément le système de mesure construit pour les tests 1988, l'ensemble est représenté sur la figure 4.23.

Ce système comporte deux cellules de lecture, la première utilise les électrons de conversion produits par une source radioactive ( $\text{Bi}^{207}$ , de demi-vie 32.2 ans). La deuxième tire parti d'une source de particules Alpha ( $\text{Am}^{241}$ , de période 432.2 ans); ces particules ionisent l'argon sur leur passage et fournissent donc des électrons.

Ces éléments sont tous deux placés dans le cryostat, près de l'enveloppe isotherme, à peu près à mi-hauteur du niveau d'argon liquide. Leur structure est indiquée sur la figure 4.24. Dans les deux cas, la source radioactive a été déposée sur un disque métallique conducteur qui joue le rôle de cathode. Les particules ionisantes perdent toute leur énergie dans l'argon liquide situé entre les deux électrodes (situées à 6 millimètres l'une de l'autre). Les électrons d'ionisation produits doivent traverser une partie de cet intervalle avant d'arriver sur l'anode, grâce à la présence du champ électrique. Ce champ correspond à une tension de 4000 Volts pour la source Alpha et 6000 Volts pour la source d'électrons (tensions où la quantité de charge collectée pour ces deux sources atteint la saturation). Comme pour le calorimètre, un amplificateur de charge est utilisé pour envoyer le signal produit par les électrons dans la chaîne d'acquisition.

La différence majeure entre les phénomènes causés par les particules Alpha et les électrons de conversion se situe au niveau de la distance que parcourent ces particules pour déposer leur énergie dans l'argon: les noyaux d'hélium produisent des électrons d'ionisation sur une très courte distance, donc très près de la source (ce qui donne lieu à un fort taux de recombinaison de ces électrons avec les ions, ainsi qu'à des phénomènes de saturation). Ce n'est pas le cas des électrons de conversion produits par le Bismuth, dont le comportement se rapproche plus des particules traversant le calorimètre, dans la mesure où ils ont une probabilité non négligeable d'arriver sur l'anode de la cellule; ceci a donné lieu à des discussions concernant le bien fondé de l'utilisation de particules Alpha, et a conduit à l'utilisation d'un deuxième type de source.

Les raies utilisées pour la mesure ont une énergie de 976 KeV et 1048 KeV pour le Bismuth (elles se confondent pour notre appareillage), et les particules Alpha ont une énergie proche de 5500 KeV. La fréquence de production des électrons de conversion par le Bismuth est de l'ordre de 3000 Hertz, le taux de production est du même ordre pour les particules Alpha. L'intervalle de temps moyen séparant l'arrivée des électrons d'ionisation produits par deux particules différentes est donc relativement grand; il est suffisant, en tout cas, pour que le système de détection puisse discriminer les impulsions de courant générées par

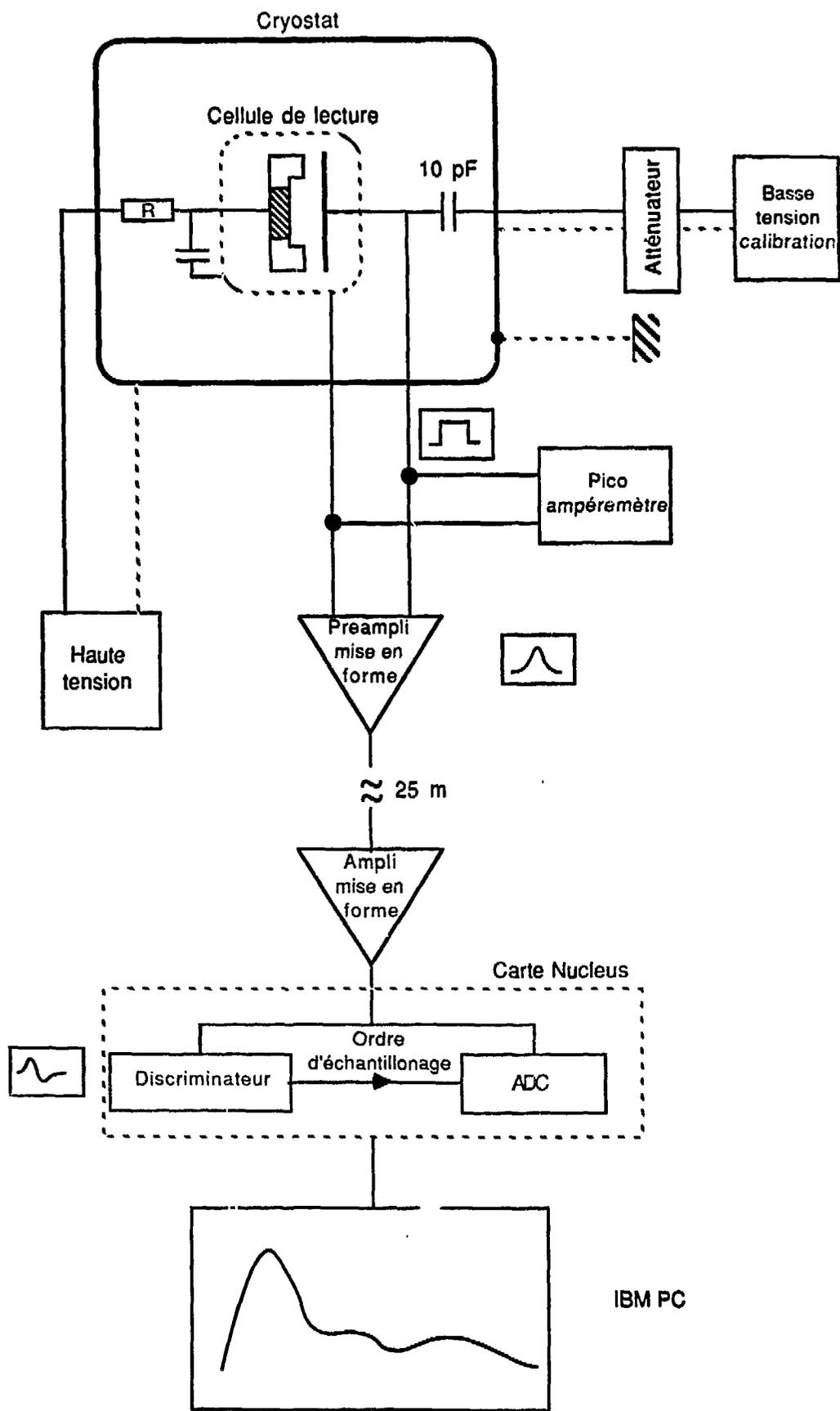


Figure 4.23: Schéma général de l'ensemble de mesure

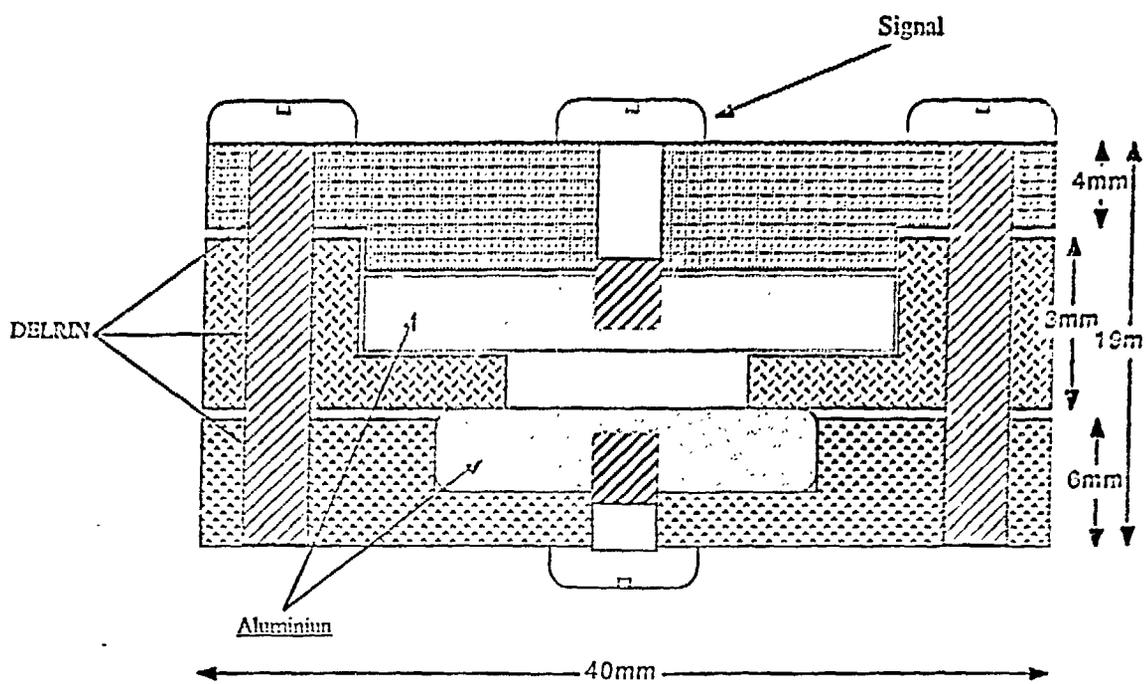


Figure 4.24: Structure d'une cellule de lecture

leur perte d'énergie respective dans l'argon.

Le résultat est que la position du pic sur le spectre de courant du signal dépend directement du nombre et du parcours moyen des électrons d'ionisation produit par *chacune* des particules. Ce nombre étant fixé par l'énergie des particules ionisantes, c'est donc essentiellement le taux d'impuretés qui détermine l'emplacement du pic.

Pour s'affranchir des fluctuations et dérives éventuelles dues à l'électronique, la chaîne de lecture comporte un système de calibration qui injecte une charge connue dans le système. Ces impulsions de calibration se traduisent par un second pic sur les spectres en courant, qui est utilisé comme référence pour repérer la position du pic provenant des électrons d'ionisation.

La partie analogique de la chaîne d'acquisition (voir figure 4.23) comprend un étage préamplificateur de charge-mise en forme (type CELLO) à bas bruit, connecté à l'anode de la cellule de lecture et à la capacité de calibration (10 pF). Après cela, les signaux voient leur amplitude fixée par un module atténuateur qui permet de changer le gain global de la chaîne. Le signal de sortie est ensuite traité par la carte spectroscopie de l'IBM PC, qui fait passer les signaux dans un module discriminateur, et, parallèlement, les amplifie et les met en forme. Enfin, l'ADC 12 bits de la carte spectroscopie (déclenché par le signal issu du discriminateur) échantillonne l'information et la digitise.

Cette carte spéciale (fabriquée par la société Nucleus) transforme le PC en analyseur multicanal 4096 canaux. Le spectre obtenu peut être visualisé avec différentes options sur l'écran couleur associé. Les données recueillies sous cette forme sont stockées sur le disque dur du PC.

Une des particularités de cette carte est qu'elle possède une interface logicielle pour langage évolué, qui la rend contrôlable, dans notre cas, à partir d'un programme BASIC que nous avons implanté sur le PC. Cette facilité a permis d'automatiser la prise de données, qui aurait été assez fastidieuse sans cela, puisqu'il s'agit d'enregistrer 5 ou 6 spectres par jour, chacun d'eux nécessitant un temps d'acquisition de l'ordre de 20 minutes pour atteindre une excellente statistique: le programme réalise ces opérations systématiquement pendant plusieurs semaines de suite, en enregistrant les données sur disque. Dans le système final, les données seront transmises directement à l'acquisition centrale (voir chapitre 3).

A la fin de la période de prise de données, les spectres sont transmis à un ordinateur de plus grande taille que le PC pour analyse.

Le protocole de mesure choisi comporte les opérations suivantes (pour les deux sources):

- Détermination de la haute tension pour laquelle le signal est dans la zone

de saturation ("plateau"): on fait varier celle-ci de 2000 à 6000 Volts. Cette étape n'est réalisée qu'une seule fois, car la dépendance à la tension est faible au-delà d'une certaine valeur, et donc la détermination de cette quantité n'est pas critique.

- Première calibration, sans haute tension appliquée à la cellule, donc sans signal réel. La tension de calibration est choisie de telle manière que le pic de calibration se trouve au futur emplacement du pic de signal.
- Prise de données proprement dite, incluant l'enregistrement (à intervalles de temps réguliers) des spectres de signal par le programme du PC. Ces spectres, en plus du pic qui reflète la présence du signal réel, comportent un second pic de calibration (cette fois, la tension de calibration est choisie telle que le pic ne se superpose pas au signal).  
La figure 4.25 permet de voir un spectre Alpha et un spectre Bismuth tels qu'il ont été enregistrés.

### **Les résultats**

Nous présentons maintenant la procédure d'analyse des données que nous avons recueillies pendant l'été, en indiquant les résultats auxquels elle a mené. Celle-ci doit être vue comme préliminaire, une expérience analogue et plus sophistiquée ayant lieu au cours des tests de l'été 1989.

Nous avons à notre disposition environ 300 spectres à analyser; parmi ceux-ci il y a les spectres complets (calibration + signal) enregistrés automatiquement par le PC toutes les 4 heures (pendant une période d'un mois environ qui a suivi les tests de calorimétrie, deux modules FB2 reposant dans l'argon liquide), et les spectres de calibration "pure", qui ont été enregistrés ponctuellement par l'opérateur.

L'analyse consiste à mettre en évidence (si possible) un déplacement au cours du temps du pic de signal dans les spectres en courant. Elle comporte plusieurs étapes:

- Pour chaque spectre, détermination de la position brute du pic.
- A partir de cette information, détermination d'un ensemble "cohérent" parmi les 300 spectres: on élimine les données manifestement aberrantes, et l'on se limite pour la suite des opérations au sous-groupe ainsi obtenu.
- Utilisation de la calibration pour déterminer gain et piédestal, pour chaque spectre.

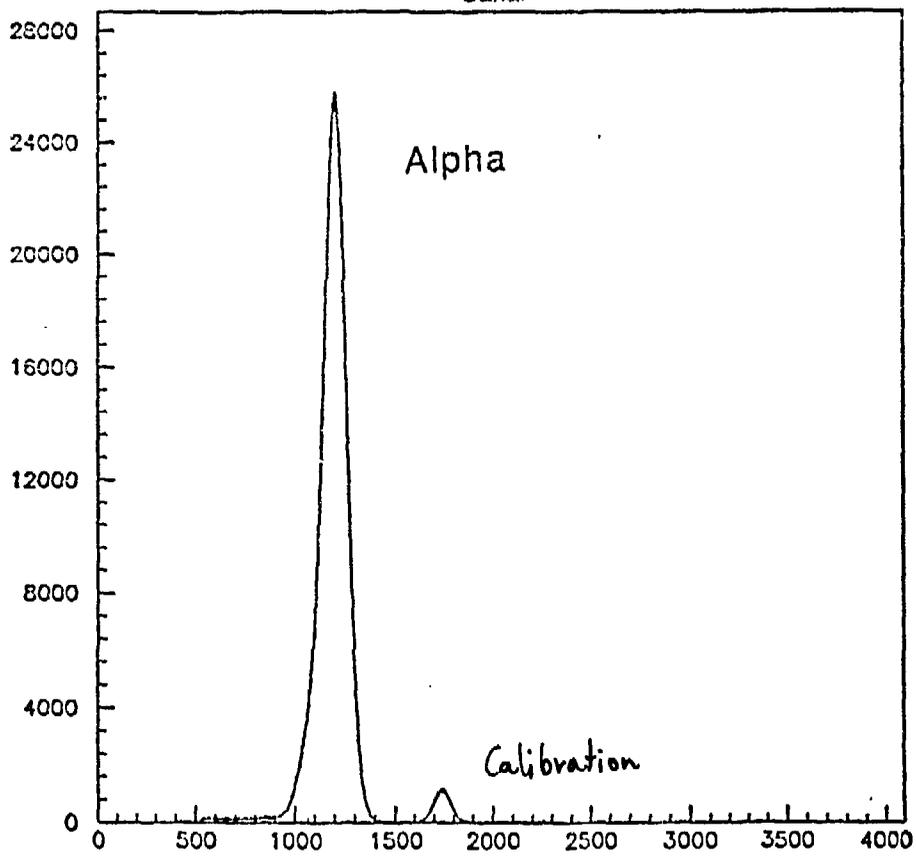
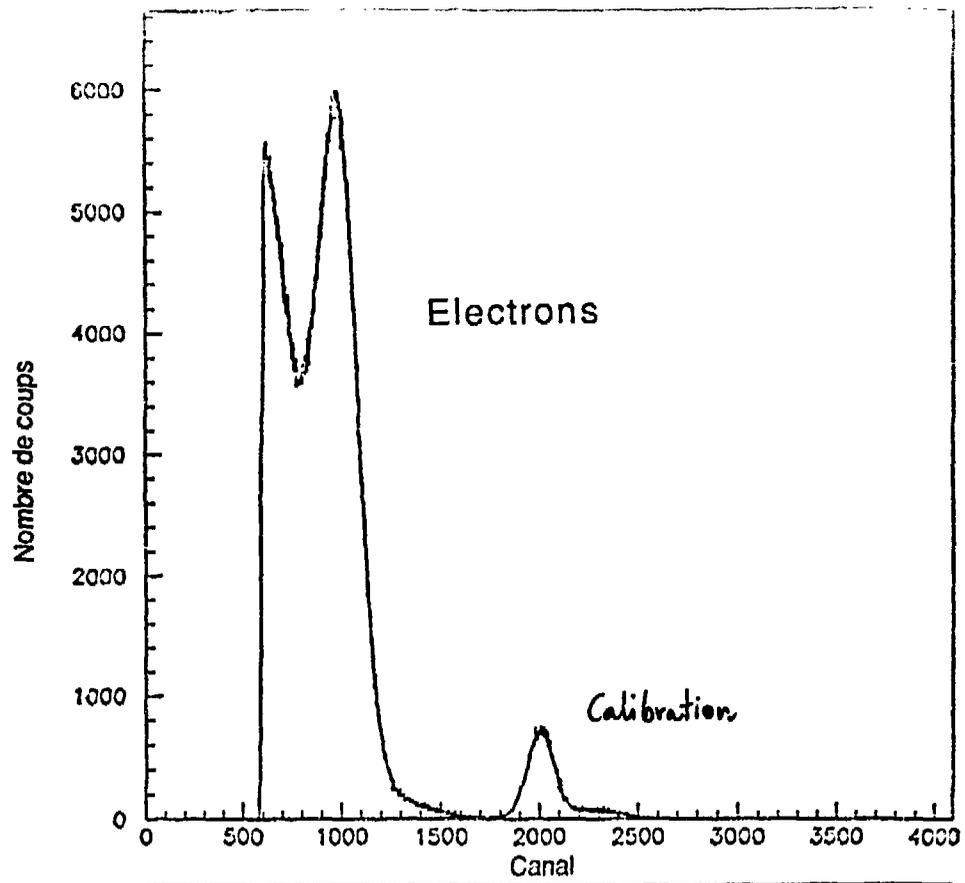


Figure 4.25: Spectres  $\alpha$  et électrons de conversion mesurés dans l'argon

- Corrections des positions de pics brutes grâce à ces facteurs, puis calcul d'une éventuelle variation dans le temps des positions corrigées, et paramétrisation de ce comportement.

Pour remplir chacun de ces points, nous avons dû fabriquer plusieurs outils: programme de recherche de la position des pics, programme de paramétrisation (gaussienne et linéaire), visualisation des spectres, calculs des corrections, etc... Détaillons maintenant un peu les étapes les plus cruciales.

La position des pics de tous les spectres est déterminée systématiquement grâce au programme suivant: recherche d'une valeur grossière du maximum de la courbe sur le pic, puis calcul plus précis de la position par moyenne pondérée des abscisses par les ordonnées dans un intervalle autour de ce maximum. Cette méthode donne des résultats très proches de ceux fournis par une paramétrisation gaussienne du spectre autour du maximum (la statistique, pour les canaux proches du pic, est très grande: pour le signal, 20000 coups ou plus).

La sélection préliminaire écarte les spectres dont les pics de signal ont des positions très éloignées par rapport aux pics équivalents des spectres pris peu avant ou peu après. Nous avons remarqué, notamment, qu'au début de chaque période de prise de données, le temps de stabilisation assez long de la chaîne électronique rend aberrants les deux premiers spectres acquis (position de pic signal bien plus grande que pour les spectres suivants).

La phase de calibration tire parti du pic correspondant enregistré avec le signal réel sur chaque spectre, et aussi des spectres de calibration "pure" (peu nombreux), dont le pic est placé plus bas sur l'échelle des canaux, à peu près à l'emplacement du signal. La connaissance des positions brutes de ces deux pics, et des valeurs de la tension qui en est à l'origine permet d'estimer simplement le piédestal et le gain de la chaîne pendant une période donnée. Le faible nombre de spectres de calibration "pure" rend impossible la détermination de ces quantités pour chaque spectre "calibration + signal": il aurait fallu réaliser des calibrations avant chaque prise de données réelles, ce qui aurait nécessité la présence permanente d'un opérateur (nous ne pouvions commander la tension à partir du PC).

Pour cette raison, l'on se contente d'une valeur de piédestal moyenne pour chaque série de mesure et pour chaque type de signal (Alpha ou conversion). Nous avons donc maintenant en main tous les éléments pour calculer une grandeur montrant un déplacement progressif des pics de signal.

Cette grandeur, que nous noterons " $S_{cor}$ ", a pour expression:

$$S_{cor} = \frac{S_{brut} - \langle P \rangle}{S_{calibration} - \langle P \rangle}$$

où  $S_{brut}$  représente la valeur du signal non-corrigé,  $\langle P \rangle$  le piédestal moyen calculé pour chaque type de source et chaque période, et  $S_{calibration}$  la valeur du signal de calibration pour le spectre en question (voir figure 4.25).

Les valeurs de  $S_{cor}$  obtenues sont représentées sur la figure 4.26 pour les deux sources (en fonction du temps, exprimé en heures), sont indiquées également les valeurs de piédestaux moyens utilisées pour les calculs. Les valeurs brutes des positions des pics de calibration sont tracées un peu plus haut sur la même figure, afin de donner une idée de la stabilité de l'électronique pendant la période de mesure. Les unités en ordonnée sont arbitraires et le décalage entre les points de calibration et les signaux également.

L'on voit clairement une pente sur le signal corrigé: que ce soit pour le signal Alpha ou le signal des électrons de conversion, la valeur de  $S_{cor}$  diminue au cours du temps. En comparaison, le signal de calibration reste stable, ce qui montre que la diminution de l'intensité du signal réel n'est pas un artefact dû à une dérive de l'électronique non maîtrisée.

Les erreurs statistiques sont négligeables par rapport aux autres types d'erreurs: systématiques, mauvaise connaissance des piédestaux et des gains, détermination de la position du pic, etc... Les valeurs de  $S_{cor}$  pour le signal issu des électrons de conversion sont plus dispersées que pour le signal Alpha, ceci est dû au fait que le pic des électrons est en fait une superposition de deux raies d'importance à peu près égale, ce qui le rend plus large, et moins "gaussien" que le pic Alpha (voir figure 4.25); d'autre part, le pic est élargi par un bruit persistant issu de problèmes de couplage de la cellule avec la haute tension (capacité de découplage hors fonction), ce qui n'était pas le cas avec la cellule fonctionnant avec la source Alpha.

Pour décrire plus quantitativement ce comportement, la prochaine étape est de réaliser une paramétrisation linéaire des valeurs de  $S_{cor}$  en fonction du temps, pour chaque type de source. La difficulté est ici la détermination des erreurs à prendre en compte sur ces points pour mener à bien cette opération: elles sont liées à des fluctuations de nature non-statistique, mal connues. Une solution raisonnable de ce problème consiste à les estimer par la dispersion des points de mesure autour d'une première droite ajustée avec des valeurs d'erreurs constantes sur ces mesures.

On peut alors répéter l'opération avec ces barres d'erreurs calculées, et arriver ainsi à une estimation de la pente et de l'incertitude sur celle-ci proche de la réalité.

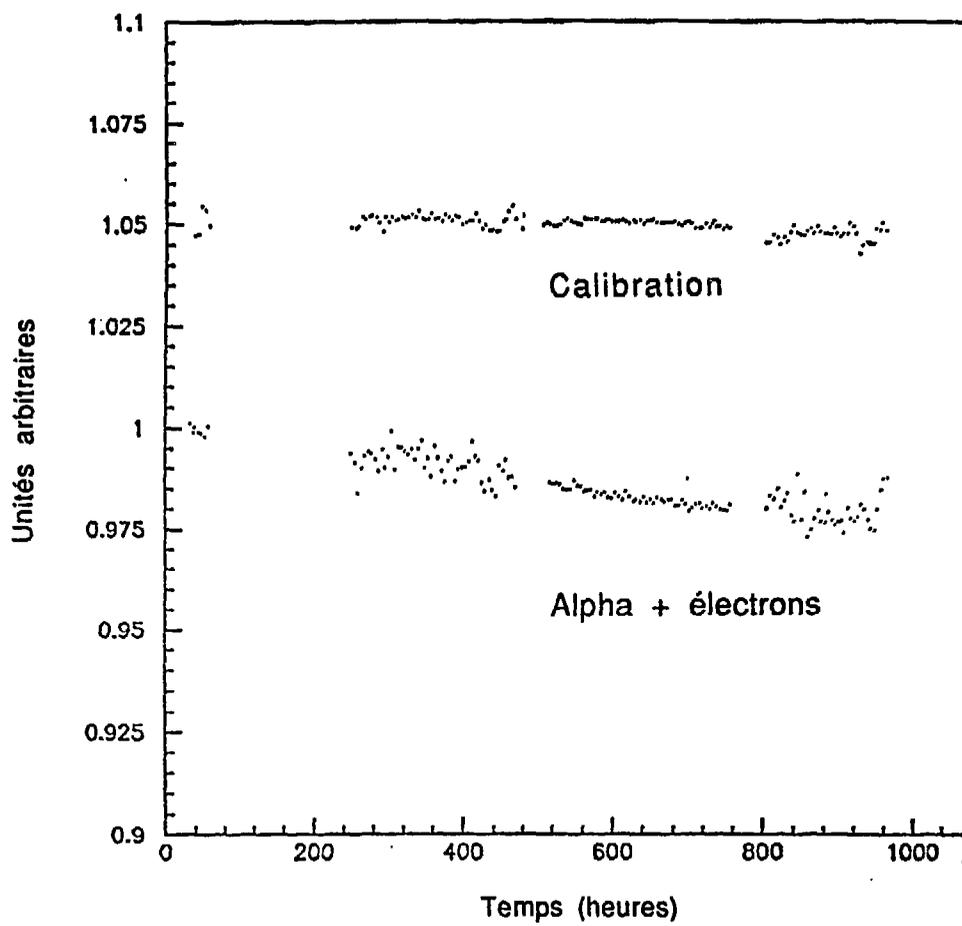


Figure 4.26 Evolution de l'intensité du signal (pour les deux sources) comparé à la calibration

On aboutit alors aux chiffres suivants:

Cellule	Pente	Erreurs paramétrisation	Erreurs piédestaux
Alpha	2.04 %	0.04 %	~ 0.2 %
Electrons	1.56 %	0.09 %	~ 0.2 %

Tableau 4.6: Résultats de la mesure de pureté

Ces résultats amènent plusieurs remarques:

- Les signaux pour les deux types de source ont un comportement analogue qui conforte la réalité du phénomène observé. Les craintes exprimées quand à l'utilité de construire une cellule à source Alpha (voir plus haut) ne s'avèrent pas fondées: les différences entre les deux phénomènes physiques ne semblent pas avoir d'incidence sur les résultats.
- Les fluctuations de réponse de la chaîne de lecture se traduisent dans les mesures par des incertitudes inférieures à un pour mille, ce qui signifie que le bruit a pu être maîtrisé à ce niveau.  
Ceci a permis de contrôler effectivement la pureté avec une précision de cet ordre.
- Les incertitudes principales sur les mesures proviennent de la mauvaise détermination des piédestaux, ce qui signifie que, dans l'avenir, un contrôle et un enregistrement permanent des piédestaux s'impose.
- Le système que notre groupe a construit a permis de suivre l'évolution d'un phénomène qui était hors du champ de détection des instruments classiques. En particulier, le spectromètre employé par la cryogénie pour mesurer les impuretés oxygène n'a pu mettre en évidence l'altération progressive de l'argon (ce qui laisse supposer que la majeure partie des impuretés sont constituées de molécules provenant du dégazage).
- Il est clair qu'une détérioration aussi rapide de l'argon (si le phénomène est d'une ampleur comparable lors de l'expérience finale) va poser des problèmes à H1; n'oublions pas que le but fixé est d'atteindre 1 % de précision sur la calibration absolue en énergie, ce qui sera difficile si le signal du calorimètre fluctue de 2 % par mois... Des éléments nouveaux seront certainement apportés par les tests de l'été 89.

# Bibliographie

- [1] G. Ingelman, Deep inelastic physics at HERA, DESY 87-144 (1987)
- [2] G. Ingelman, R. Rückl; Monte Carlo study of structure function measurements at HERA, DESY 88-099 (1988)
- [3] M. Bengtsson et al., QCD effects in hadronic final states at HERA, DESY 88-085 (1988)
- [4] Proceedings of the HERA workshop: Electroweak physics at HERA (1987)
- [5] A. Ali et al., Heavy quark physics at HERA, DESY 88-119 (1988)
- [6] G. Ingelman, G.A. Schuler; Characteristics of heavy flavor production in ep collisions, DESY 88-020 (1988)
- [7] F. Cornet, Some exotic physics at HERA, DESY 87-131 (1987)  
M. Besançon, Thèse de troisième cycle (1989, Université de Paris-Sud)
- [8] Ch. Berger et al., Excited electrons at HERA (Proceedings of the HERA workshop, 1987)
- [9] ZEUS collaboration, Development of the ZEUS detector, DESY 87-165 (1987)
- [10] H1 collaboration, Technical proposal for the H1 detector (1986)
- [11] H1 collaboration, Results from a test of an iron streamer tube calorimeter, NIM A270(1988) 334-346  
H1 collaboration, Performance of a Pb-Cu liquid argon calorimeter with an iron streamer tube tail catcher, DESY 88-073 (1988)
- [12] H1 collaboration, Results from a test of a Pb-Fe liquid argon calorimeter, DESY 89-022 (1989), à paraître dans NIM.
- [13] H1 collaboration, Results from a test of a Pb-Cu liquid argon calorimeter, NIM A265(1988) 419-434

- [14] Pascal Perrodo, Thèse de troisième cycle (1988, Université de Paris-Sud)
- [15] H. Greif, Results on  $\pi^0$  weighting parameters from the analysis of jets, H1 report (MPI, 1989)
- [16] Denis P. Johnson, Beam gas background at HERA, H1 note (1987)
- [17] W. Bartel, D. Pitzl; Synchrotron radiation masks for H1, H1 note (1988)
- [18] E. Barrelet et al., Applications of microprocessors to high energy physics experiments, CERN 81-07, 258 (1981)

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Présentation de l'expérience</b>	<b>4</b>
2.1	L'accélérateur HERA . . . . .	4
2.2	Physique à HERA-H1 . . . . .	5
2.2.1	Cinématique ep à HERA . . . . .	5
2.2.2	Les processus physiques intervenant à HERA . . . . .	7
2.3	Le détecteur H1 . . . . .	17
2.3.1	Structure globale de H1 . . . . .	18
2.3.2	Le détecteur de traces . . . . .	21
2.3.3	La calorimétrie . . . . .	27
2.3.4	Le détecteur de muons et de fin de gerbe . . . . .	33
2.3.5	Performances du détecteur . . . . .	35
2.4	Le bruit de fond à H1 . . . . .	39
2.4.1	Les différents types de bruit de fond . . . . .	39
2.4.2	La suppression du bruit de fond . . . . .	42
<b>3</b>	<b>L'acquisition du calorimètre</b>	<b>45</b>
3.1	Schéma général de l'acquisition . . . . .	45
3.1.1	Les contraintes sur le système d'acquisition . . . . .	45
3.1.2	Le système résultant de ces contraintes . . . . .	50
3.1.3	L'intégration à l'acquisition centrale . . . . .	55
3.2	La chaîne de déclenchement du calorimètre . . . . .	60
3.2.1	L'électronique et les signaux du déclenchement de niveau 1 . . . . .	60
3.2.2	Le déclenchement de niveau 2 . . . . .	66
3.2.3	Le déclenchement de niveau 3 . . . . .	66
3.2.4	Les données "déclenchement" et la détection de l'empilement . . . . .	68
3.2.5	Alternatives possibles . . . . .	69
3.3	La chaîne de lecture du calorimètre . . . . .	72
3.3.1	L'électronique analogique . . . . .	72
3.3.2	L'électronique de lecture . . . . .	74
3.3.3	Le rôle des DSPs . . . . .	75

3.3.4	Le rôle du 29000 . . . . .	76
3.3.5	Le système de calibration . . . . .	77
3.4	Le contrôle en ligne de l'acquisition calorimètre . . . . .	80
3.4.1	Structure du système . . . . .	80
3.4.2	Le processeur 68020 . . . . .	82
3.4.3	le MicroVax . . . . .	84
3.5	Les paramètres variant lentement . . . . .	84
3.5.1	Les hautes tensions du calorimètre . . . . .	85
3.5.2	Le contrôle de la pureté de l'argon . . . . .	85
<b>4</b>	<b>La réalisation du système d'acquisition</b>	<b>87</b>
4.1	Introduction . . . . .	87
4.2	Présentation du test CERN 88 et de ses objectifs . . . . .	88
4.2.1	Les objectifs liés à la physique . . . . .	90
4.2.2	Les objectifs liés à l'électronique . . . . .	91
4.2.3	Les objectifs liés au contrôle en ligne . . . . .	92
4.3	La réalisation pratique du test . . . . .	93
4.3.1	Le détecteur de test . . . . .	93
4.3.2	Le système de déclenchement . . . . .	100
4.3.3	Le système d'acquisition du test . . . . .	105
4.4	L'ensemble CAB-MicroVax . . . . .	112
4.4.1	Le CAB . . . . .	112
4.4.2	Le MicroVax . . . . .	127
4.4.3	La mesure de pureté de l'argon . . . . .	151

## Résumé

Nous exposons ici les contraintes qui pèsent sur l'acquisition et le déclenchement du calorimètre à argon liquide de l'expérience H1.

La description du système découlant de ces contraintes met en évidence les solutions qui ont été adoptées pour répondre aux caractéristiques particulières du détecteur et aux conditions expérimentales difficiles existant sur le collisionneur HERA: bruit de fond physique élevé ( $10^{4-5}$  Hz), empilement d'événements physiques et de bruit de fond dans le calorimètre (10 %), fréquence de croisement des paquets d'électrons et de protons très grande (10.4 MHz).

La suite de l'exposé décrit en détail le schéma d'acquisition et de contrôle en ligne qui est utilisé pour les tests de calorimétrie dans le faisceau du SPS, au CERN. Ce système de test, qui préfigure dans ses grandes lignes le système qui fonctionnera lors de l'expérience finale, comprend un processeur frontal rapide CAB prenant en charge d'une part la lecture et le séquençage de l'électronique, et d'autre part le calcul d'histogrammes simples. Le CAB est contrôlé par un ordinateur MicroVax assurant l'interface avec l'utilisateur et permettant une visualisation et une vérification rapide des données acquises, cela dans un environnement multitâche.

## Abstract

The acquisition and trigger system for H1 liquid argon calorimeter deals with severe constraints which have to be taken into account.

We describe the system which results from these constraints, emphasizing the solutions adopted to meet the specificities of the detector and the difficult experimental conditions at HERA: high physical background ( $10^{4-5}$  Hz), physics and background events pile up (10 %), large crossing frequency of proton and electron bunches (10.4 MHz).

Next, we present a detailed description of the acquisition and online control scheme used during the calorimetry tests in SPS beam, at CERN. This test system, prefiguring the final one (which will start to work at the end of 1989), includes a fast frontal processor CAB (taking charge of the electronics read out and sequencing, and furthermore producing simple histograms). The CAB is controlled by a MicroVax computer which realizes the user interface, allowing a quick visualisation and verification of the acquired data, these functions being performed in a multitasking environment.