

CRN / HE 88-
N° d'ordre

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00098970

THESE

présentée

pour obtenir le grade de

DOCTEUR ES-SCIENCES

par

Jean-Robert LUTZ

L'ANALYSE AUTOMATIQUE DES CLICHES ASSOCIES AUX
DETECTEURS VISUELS EN PHYSIQUE DES PARTICULES.
TRAITEMENT D'UNE EXPERIENCE A HAUTE STATISTIQUE
 \bar{p} d A 4,72 GeV/c ET EXPLOITATION DES DONNEES
DES EXPERIENCES EHS A HAUTE RESOLUTION

Soutenue le 7 Janvier 1988 devant la commission d'examen

M.R.ARMBRUSTER

M.G.MONSONEGO

M.P.L.WENDEL

M.H.BRAUN

M.L.MONTANET

A.MICHALON

Président et Rapporteur Interne

Rapporteur Interne

Rapporteur Externe

CERN LIBRARIES, GENEVA

TITRE:

"L'analyse automatique des clichés associés aux détecteurs visuels en Physique des Particules. Traitement d'une expérience à haute statistique $p\bar{d}$ à 4,72 GeV/c et exploitation des données des expériences EHS à haute résolution."

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE: Conception et réalisation de la structure d'analyse de clichés.

DEUXIEME PARTIE: L'expérience $p\bar{d}$ à 4,72 GeV/c

TROISIEME PARTIE: L'analyse des données à haute résolution du spectromètre EHS

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE, ANNEXES, REMERCIEMENTS

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE: **CONCEPTION ET REALISATION
DE LA STRUCTURE D'ANALYSE
DE CLICHES PHOTOGRAPHIQUES**

I. LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION DES DETECTEURS VISUEL

I.1. LES PRINCIPES

I.2. LES TECHNIQUES DE DETECTION

I.2.1. Les techniques de détection "électroniques"

I.2.2. Les techniques de détection visuelles

I.2.3. Les techniques de détection hybrides

I.3. LA PRISE DES CLICHES PHOTOGRAPHIQUES

I.4. LE DEPOUILLEMENT DES CLICHES

I.5. LA MESURE DES CLICHES

I.6. LA RECONSTRUCTION GEOMETRIQUE

I.7. LA CINEMATIQUE

I.8. L'IONISATION

I.9. LES DONNEES PHYSIQUES ET LEUR EXPLOITATION STATISTIQUE

II. L'ANALYSE DES CLICHES

II.1. LES DONNEES DU PROBLEME

II.2. L'ANALYSE QUALITATIVE: LE DEPOUILLEMENT

II.3. L'ANALYSE QUANTITATIVE: LA MESURE

II.3.1. La mesure manuelle et semi-automatique

II.3.2. La mesure automatique

II.3.3. La prémesure

II.3.4. Le graphique interactif

III. LES EQUIPEMENTS D'ANALYSE REALISES

III.1. L'ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE

III.1.1. Les ordinateurs

- III.1.1.1. Le matériel
- III.1.1.2. Le logiciel

III.1.2. Les interfaces

III.2. LE DEPOUILLEMENT

III.3. LA MESURE MANUELLE

III.4. LA PREMESURE

III.5. LA MESURE AUTOMATIQUE

III.5.1. Le rôle de l'appareil automatique de mesure

III.5.2. La nature de l'appareil

- III.5.2.1. Le principe
- III.5.2.2. L'option sélective
- III.5.2.3. L'option systématique
- III.5.2.4. Le choix réalisé

III.5.3. La philosophie structurelle

- III.5.3.1. La fiabilité
- III.5.3.2. Les fonctions logiques
- III.5.3.3. Le filtrage des données

III.5.4. L'Optique

- III.5.4.1. La génération de la ligne de balayage
- III.5.4.2. Le repérage le long de la ligne de balayage
- III.5.4.3. La mesure le long de la ligne de balayage
- III.5.4.4. Le balayage anormal

III.5.5. La Mécanique

- III.5.5.1. Les chariots
- III.5.5.2. Le transport du film
- III.5.5.3. Les fluides

III.5.6. L'Electronique

- III.5.6.1. Le codage des capteurs, les transmissions
- III.5.6.2. La fonction logique, les interfaces
- III.5.6.3. La commande

III.5.7. Les Programmes

- III.5.7.1. Le temps réel
- III.5.7.2. Le temps différé
- III.5.7.3. Le programme FILTRE
 - *L'input*
 - *Le filtrage des croix fiducielles*
 - *Le filtrage des traces*
 - *L'output*

III.5.8. Les tests, les outils d'investigation

- III.5.8.1. Le contrôle
- III.5.8.2. Les tests du processus
- III.5.8.3. Les réglages optiques et mécaniques
- III.5.8.4. L'analyse des signaux analogiques
- III.5.8.5. L'analyse numérique
- III.5.8.6. L'analyse graphique visuelle
- III.5.8.7. L'analyse statistique des données

III.5.9. Les calibrations; les paramètres à calibrer

- III.5.9.1. L'amplitude du signal optique
- III.5.9.2. La géométrie des mesures
 - *Problèmes systématiques*
 - *Problèmes aléatoires*

III.5.10. Les références optiques

- III.5.10.1. La mire de précision calibrée
- III.5.10.2. Les mires géométriques
 - *La mire en + sur verre*
 - *Les mires en + sur film*
 - *La mire en X*

- III.5.10.3. Les clichés de mesure

III.5.11. Les caractéristiques, les résultats

- III.5.11.1. Les caractéristiques physiques
- III.5.11.2. Les résultats de mesures

III.6. L'ANALYSE GRAPHIQUE INTERACTIVE

III.7. L'HOLOGRAPHIE

III.7.1. Les contraintes de l'optique classique

III.7.2. L'enregistrement des hologrammes

III.7.3. La restitution des hologrammes

III.7.4. La réalisation

III.8. CONCLUSION

DEUXIEME PARTIE:

L'EXPERIENCE $\bar{p}d$ à 4,72 GeV/c

I. LE TRAITEMENT DE L'EXPERIENCE $\bar{p}d$ A 4,72 GeV/c

I.1. LA PRISE DES DONNEES

I.2. LE DEPOUILLEMENT

I.3. LA MESURE DES EVENEMENTS

I.3.1. Les mesures sur les IEPs

I.3.2. Les mesures sur le HPD

I.4. LA RECONSTRUCTION GEOMETRIQUE, CALIBRATIONS, TITRES

I.4.1. Les différents types d'erreurs

I.4.2. La normalisation des images

I.4.3. Le titre FILTRE

I.4.4. Le titre HYDRA

I.4.4.1. Le fichier de mesure des croix

I.4.4.2. La "photo moyenne" par vue

I.4.4.3. La fusion des vues

I.4.4.4. La paramétrisation des distorsions: titre HYDRA

I.4.4.5. Les distributions de distances résiduelles: erreurs externes

I.5. L'AJUSTEMENT CINEMATIQUE

I.5.1. La qualité de mesure des traces

I.5.2. La distribution du carré de la masse manquante

I.5.3. La comparaison des données des IEPs et du HPD

I.6. LES AMBIGUITES D'AJUSTEMENT

I.7. LA CREATION DE LA BANDE RESUME

II. LA REACTION $\bar{p}d \rightarrow p_s \pi^+ \pi^- \pi^0$

II.1. L'ECHANTILLONNAGE

II.1.1. Les hypothèses de réactions ambiguës

II.1.2. La probabilité

II.1.3. Les contraintes d'ajustement

II.1.4. Les distributions angulaires

II.2. LA SECTION EFFICACE D'ANNIHILATION

II.3. LES RESONANCES

II.3.1. La production de résonance à 3 corps

II.3.2. La production de résonance à 2 corps chargés

II.3.3. La production de résonance à 2 corps dont un neutre

II.3.4. Le caractère périphérique des résonances

TROISIEME PARTIE:

L'ANALYSE DES DONNEES A HAUTE
RESOLUTION DU SPECTROMETRE EHS

I. LE SPECTROMETRE EHS

I.1. LES TECHNIQUES DE DETECTION

I.1.1. La détection des particules chargées

I.1.2. La détection des particules neutres

I.2. LA CONSTITUTION DU SPECTROMETRE EHS

I.2.1. Le détecteur de vertex

I.2.2. Le spectromètre

I.2.3. La mesure de l'impulsion

I.2.4. L'identification

I.2.5. La détection des neutres

I.3. LA MESURE DE L'IMPULSION

I.3.1. Les chambres à fils proportionnelles

I.3.2. Les chambres à dérive

I.3.3. La chambre inclinée PIC

I.4. L'IDENTIFICATION

I.4.1. SAD

I.4.2. ISIS

I.4.3. F.C.

I.4.4. TRD

I.5. LA DETECTION DES NEUTRES

I.5.1. IGD

I.5.2. FGD

I.5.3. INC

I.5.4. FNC

I.6. LE DECLENCHEMENT

I.7. L'EQUIPEMENT INFORMATIQUE EN LIGNE

I.8. L'EVOLUTION DU SPECTROMETRE

II. LA CHAMBRE A BULLE

III.L'ANALYSE ET LE TRAITEMENT DES CLICHES

- I.1. L'EFFICACITE DE DETECTION AU DEPOUILLEMENT
- I.2. LES PHASES DU DEPOUILLEMENT
- I.3. LA MESURE INTERACTIVE
- I.4. LA REMESURE DES EVENEMENTS CANDIDATS CHARMES
- I.5. LES RESULTATS TOPOLOGIQUES
- I.6. LA SENSIBILITE DE DETECTION DU HPD.

INTRODUCTION

La majeure partie des informations traitées par l'homme se présente sous forme de données visuelles à deux dimensions. De telles images fournissent presque toutes les informations nécessaires à la connaissance de l'environnement humain.

La recherche scientifique s'appuie souvent sur l'analyse des clichés photographiques. En effet, le support photographique constitue un moyen de mémorisation très dense, relativement inaltérable et bon marché. Contrairement aux supports électriques ou magnétiques, il mémorise les informations sous une forme conventionnelle, facilement accessible à notre sens : la vue.

La première partie de ce travail consiste à décrire les problèmes liés à l'analyse des clichés réalisés au cours d'expériences de physique à haute énergie étudiant les interactions entre particules. Les différentes solutions adoptées sont décrites et justifiées.

Le premier chapitre situe le problème de cette analyse dans le cadre de la physique des hautes énergies. Il décrit les techniques de détection utilisées ainsi que les différentes séquences du traitement de l'information contenue sur les films des détecteurs visuels et en particulier des chambres à bulles.

Le second chapitre examine et évalue les problèmes posés par la mise en oeuvre des séquences d'analyse de ces films. Des solutions sont proposées.

Le troisième chapitre décrit les équipements réalisés pour résoudre les problèmes liés au dépouillement, à la mesure manuelle, à la prémesure, à la mesure automatique, et au procédé de mesure interactif sur écran de visualisation graphique. La réalisation d'un équipement d'analyse de clichés holographiques à haute résolution est également décrite. L'accent est mis sur la structure de mesure automatique et sur les outils utilisés pour la mettre en oeuvre.

Une telle structure doit satisfaire à deux critères apparemment contradictoires : celui des expériences à hautes statistiques qui est traité dans la seconde partie et celui des expériences à haute résolution qui est traité dans la troisième partie.

La seconde partie de ce travail consiste à étudier les interactions antiproton-deuton à 4,72 GeV/c obtenues à partir des événements d'une expérience de chambre à bulles comportant 128 000 photographies. Cette étude permet la certification de l'appareil de mesure automatique dans un domaine permettant des comparaisons.

Le traitement de l'expérience est décrit dans le premier chapitre depuis la prise des clichés jusqu'à la création d'un fichier résumé de données en passant par le dépouillement, la mesure, les calibrations et l'élaboration des titres de mesure et de géométrie, l'ajustement cinématique et l'élimination des ambiguïtés.

Ce second chapitre concerne la comparaison des résultats de mesure du lot mesuré au HPD avec celui mesuré aux IEPs.

Le second chapitre est consacré au calcul de la section efficace par événement, des sections efficaces topologiques $\bar{p}n$ ainsi qu'à celui de la multiplicité moyenne chargée pour cette réaction.

Le troisième chapitre concerne l'étude de la réaction $\bar{p}d \rightarrow p_s \pi^+ 2\pi^- \pi^0$ son échantillonnage, le calcul de sa section efficace d'annihilation $\bar{p}n \rightarrow \pi^+ 2\pi^- \pi^0$ et la mise en évidence de résonnances dans ce canal.

La troisième partie de ce travail concerne l'étude des résultats de deux expériences à haute résolution NA16 et NA27 réalisées avec le spectromètre hybride EHS du CERN. Ces expériences concernent un domaine de recherche sur des particules nouvelles. Ces particules portent de nouveaux nombres quantiques tels que charme et beauté. Le rôle de notre laboratoire a été déterminant au sein de ces deux collaborations notamment grâce à notre système d'analyse. La qualité des résultats est étudiée et la contribution de notre laboratoire détaillée.

PREMIERE PARTIE

CONCEPTION ET REALISATION
DE LA STRUCTURE D'ANALYSE DE CLICHES PHOTOGRAPHIQUES

I. LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION DES DETECTEURS VISUELS

1. - Les principes
2. - Les techniques de détection
3. - La prise de clichés photographiques
4. - Le dépouillement des clichés
5. - La mesure des clichés
6. - La reconstruction géométrique
7. - La cinématique
8. - L'ionisation
9. - Les données physiques et leur exploitation statistique

I. LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION DES DETECTEURS VISUELS

I.1. LES PRINCIPES

La physique des particules, dont le domaine privilégié est celui des hautes énergies, étudie les propriétés des particules élémentaires et leurs interactions mutuelles. La recherche expérimentale dans le domaine des cibles fixes repose sur l'analyse d'événements produits par le bombardement de noyaux par des projectiles de très grande énergie. Chacun de ces événements doit être parfaitement caractérisé par :

- son état initial (type des particules incidentes, énergie, impulsion, nature de la cible)
- son état final (type des particules sortantes après l'interaction, énergie, impulsion)

Cette recherche nécessite l'utilisation d'outils très spécifiques, tels des générateurs de particules de plus en plus puissants (1 TeV actuellement) et des détecteurs de particules permettant de caractériser les états initial et final.

Les détecteurs doivent permettre :

- de matérialiser la trace des particules par émission, réflexion ou réfraction de lumière ou par localisation de décharges électriques,
- d'enregistrer la géométrie des traces matérialisées par photographie ou digitalisation des informations sur les trajectoires,
- de mesurer l'énergie et l'impulsion des particules et de les identifier.

I.2. LES TECHNIQUES DE DETECTION

Selon le domaine de la physique étudié et selon les informations que l'on souhaite obtenir, deux techniques expérimentales différentes sont utilisées.

I.2.1. Les techniques de détection "électroniques"

Elles regroupent en fait une vaste gamme d'instruments où l'utilisation de l'électronique est très importante, de la chambre à étincelles, à fils ou à dérive, aux compteurs de toutes natures. Ces détecteurs sont disposés autour d'une cible pour déceler électriquement le passage des particules avant et après l'interaction. Ces informations électriques sont amplifiées et traitées en temps réel et en temps différé. Le vertex, situé à l'intérieur de la cible et donc invisible, est déterminé par extrapolation. La localisation et l'identification de l'interaction sont assurées par calcul à partir des données brutes directement disponibles sous forme électrique. Ces techniques permettent un filtrage des données en temps réel grâce à un algorithme câblé ou programmé.

LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION DES DETECTEURS VISUELS

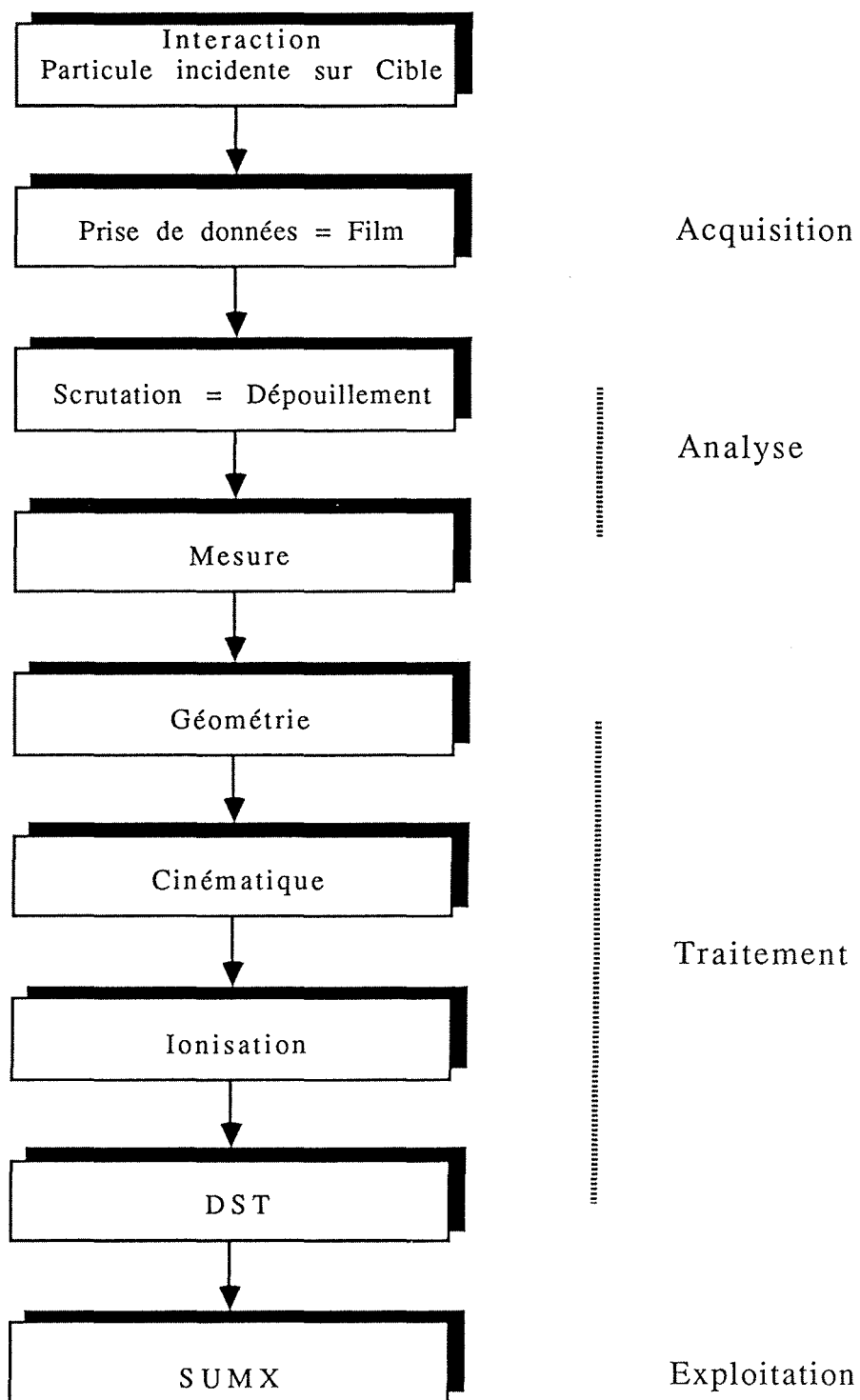


Figure I.1

I.2.2. Les techniques de détection visuelles

La technique dite "des émulsions" enregistre directement la trajectoire des particules. Il est toutefois plus courant d'utiliser la pellicule comme support de l'information en photographiant optiquement les interactions dans les chambres à bulles, les chambres à dards (streamer) et les chambres à étincelles. De plus, ces détecteurs constituent eux-mêmes la cible du faisceau de particules incident et permettent, pour cette raison, une bonne connaissance du vertex quand une interaction a lieu.

Le support photographique, s'il facilite l'examen et l'interprétation qualitative de l'information physique par l'homme, nécessite cependant un instrument de mesure approprié pour transmettre l'information graphique en information numérique - seule forme assimilable actuellement par les systèmes de traitement informatiques - à fin d'interprétation quantitative.

Quand la technique photographique classique représente un phénomène spatial, plusieurs vues sont utilisées. La reconstruction du phénomène dans l'espace est alors effectuée par calcul. La technique holographique par contre, permet l'enregistrement, en lumière cohérente, d'informations spatiales sur un seul cliché.

I.2.3. Les techniques de détection hybrides

Les deux techniques de détection précédentes possèdent chacune des avantages et des inconvénients spécifiques. Ainsi les techniques électroniques permettent un accès à l'information en temps réel ce qui autorise l'élaboration d'un déclenchement efficace visant à sélectionner un type d'événement déterminé pour réduire le taux d'événements à stocker et à traiter. Elles ne permettent par contre pas la localisation précise du vertex, ce que permettent les détecteurs visuels. La formule séduisante consiste à combiner les deux techniques ainsi que cela est fait actuellement dans le spectromètre hybride "EHS" (European Hybrid Spectrometer). Dans ce spectromètre, une chambre à bulles (ou éventuellement à dards) constitue le détecteur de vertex alors qu'une grande variété de détecteurs électroniques est affectée au déclenchement, à l'identification et à la mesure de particules neutres ou chargées à grande énergie. Les données des expériences NA16 et NA27 issues de cette configuration sont étudiées à la fin de ce travail.

I.3. LA PRISE DE CLICHES PHOTOGRAPHIQUES

La résolution, la vitesse et la puissance des systèmes d'analyse actuels interdisent le traitement en temps réel de l'information optique fournie par les détecteurs visuels. Cette information optique doit donc être mémorisée sur un cliché photographique pour être analysée et traitée ultérieurement. Les détecteurs visuels sont équipés de plusieurs caméras photographiant le volume du détecteur sous plusieurs angles. Deux caméras au moins sont nécessaires. On en utilise généralement trois, quatre ou même plus. Une alternative technique utilisant l'holographie vise notamment à résoudre l'antinomie résolution - profondeur du champ. Elle contient en outre l'information tridimensionnelle des trajectoires des particules sur un seul cliché.

SYSTEME DE REFERENCE DE LA CHAMBRE A BULLES

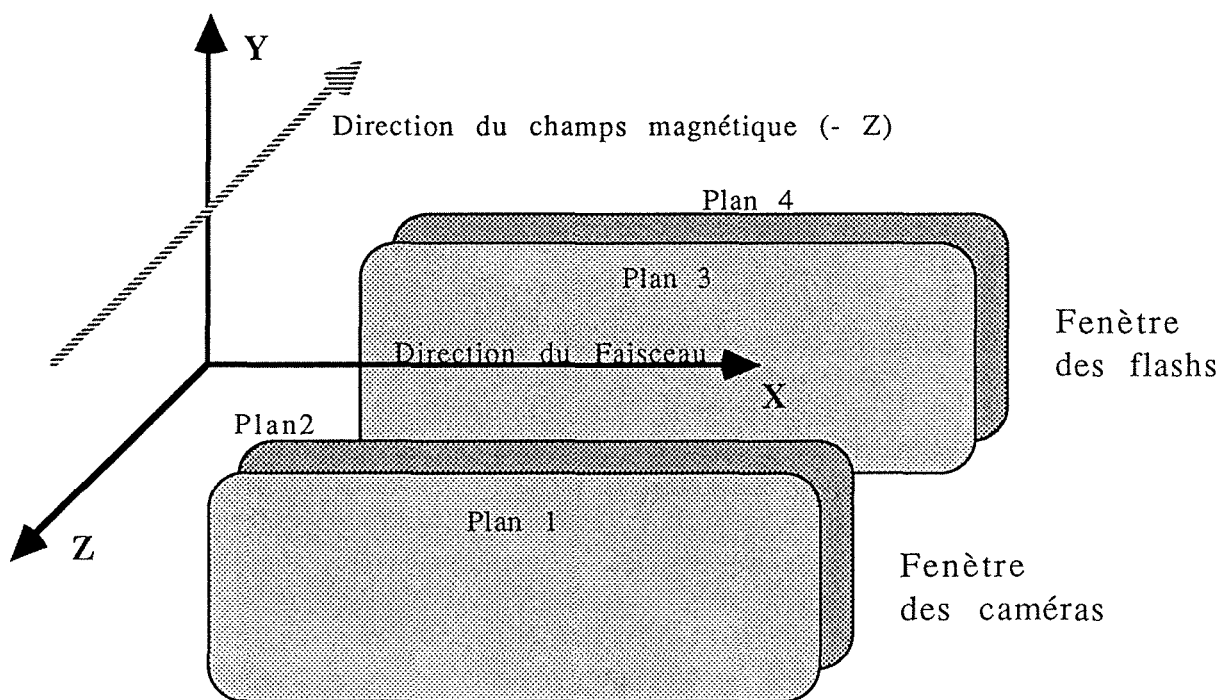


Figure I.2

I.4. LE DEPOUILLEMENT DES CLICHES

L'analyse des clichés (Fig. I.1) commence par une phase de scrutation optique qualitative où un opérateur sélectionne les photographies présentant une information que l'on souhaite étudier. Seules, les particules chargées créent une ionisation du milieu détecteur qui sera matérialisée par une succession de bulles, de dards ou d'étincelles. Un champ magnétique permet de déterminer la charge et l'impulsion des particules.

I.5. LA MESURE DES CLICHES

La mesure des clichés fournit l'information quantitative brute sous la forme des coordonnées précises d'un certain nombre de points situés sur chaque trace considérée. Ces points permettent de définir la trajectoire des particules dans un plan conjugué du plan photographique.

I.6. LA RECONSTRUCTION GEOMETRIQUE

La reconstruction géométrique des trajectoires dans l'espace est assurée par un programme qui utilise les points de mesures résumés des plans correspondant aux vues mesurées. Ce programme détermine l'équation des trajectoires dans l'espace, qui sont des hélices corrigées des dépendances de masses lorsque la chambre est placée dans un champ magnétique.

Les principaux paramètres et constantes caractérisant les conditions propres à une expérience sont fournis sous forme de "Titres" dont l'élaboration et l'utilisation sont décrites dans la seconde partie. Parmi ceux-ci, certaines quantités comme le champ magnétique, la relation parcours-énergie dans le détecteur et les caractéristiques de différents milieux optiques, sont générales et définies à la prise des données. D'autres quantités dépendent des caractéristiques de l'appareil de mesure utilisé et sont déterminées à partir de la transformation qui fait correspondre la mesure de l'image sur le film d'un système de référence solidaire du détecteur avec la mesure directe de ce référentiel.

I.7. LA CINEMATIQUE

L'ajustement cinématique des interactions reconstruites dans l'espace est assuré par le programme de cinématique. Il affecte une ou plusieurs des différentes hypothèses de réactions possibles aux interactions observées en tenant compte des lois de conservation. Cet ajustement s'obtient par une méthode de moindres carrés en utilisant les paramètres $1/p$, DIP , Φ définissant la trajectoire des particules, corrigée lors de l'assignation de masse (p désigne l'impulsion de la particule, DIP l'angle d'enfoncement par rapport au plan XY et Φ l'angle d'émission par rapport à la direction X dans le système d'axes de la Fig. I.2).

1.8. L'IONISATION

Le programme de cinématique n'est pas toujours capable d'affecter une identité certaine à chaque particule. Il fournit alors les différentes combinaisons qui satisfont aux bilans d'impulsion et d'énergie. Il indique également les probabilités correspondant aux différentes réactions retenues, calcule pour chaque particule l'intensité de l'ionisation qu'elle doit induire dans le détecteur. Dans le cas de la chambre à bulles cela correspond à la densité des bulles de la trajectoire. La scrutation optique de l'ionisation des trajectoires sur des clichés permet généralement de trancher entre les différentes hypothèses ou de réduire leur nombre.

1.9. LES DONNEES PHYSIQUES ET LEUR EXPLOITATION STATISTIQUE

Un programme de tri et d'archivage regroupe sur une bande magnétique, toutes les caractéristiques des interactions traitées et retenues par la chaîne d'analyse. Cette DST (Data Summary Tape) ainsi créée sert à l'analyse physique des interactions.

Un programme d'analyse physique est ensuite utilisé pour effectuer tous les traitements et calculs statistiques sur les données de la DST et leur représentation graphique sous forme d'histogrammes mono ou biparamétriques.

II. L'ANALYSE DES CLICHES

1. - Les données du problème
2. - L'analyse qualitative : le dépouillement
3. - L'analyse quantitative : la mesure
 - . La mesure manuelle et semi-automatique
 - . La mesure automatique
 - . La prémesure
 - . Le graphique interactif

Le Traitement de l'Information dans les différentes séquences

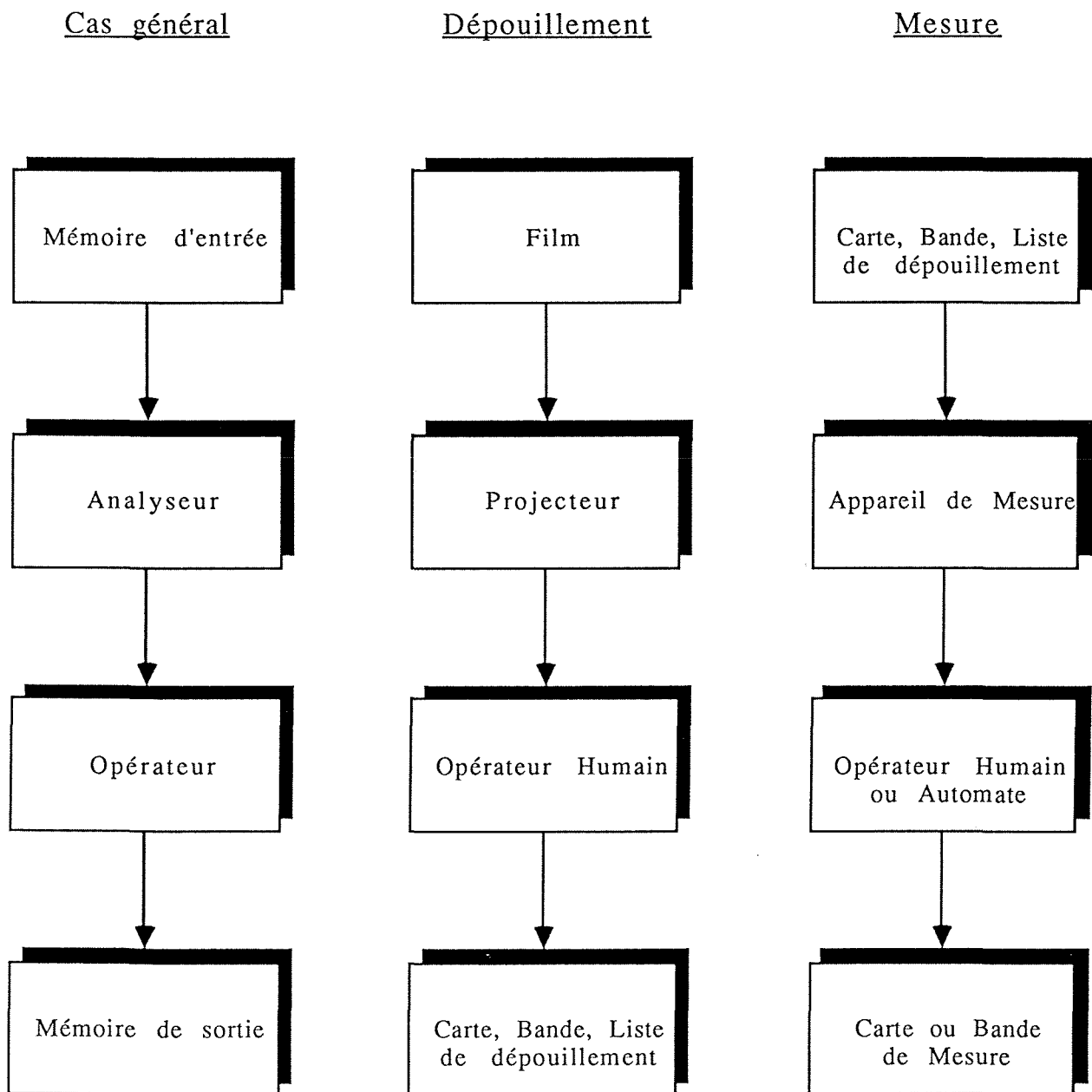


Figure II.1

II. L'ANALYSE DES CLICHES

Près d'un milliard de photographies ont été prises à ce jour pour mémoriser les interactions en physique des particules. C'est dire la dimension du problème posé par l'analyse de ces clichés. Il s'agit en fait de définir, de réaliser et de mettre en oeuvre une structure qui permette d'extraire des photographies toute l'information utile : identité et caractéristiques des particules participant aux interactions.

II.1. LES DONNEES DU PROBLEME

Les chambres à bulles matérialisent la trajectoire des particules sous forme de chapelets de bulles. La taille des chambres à bulles varie sur 4 ordres de grandeurs et celle des bulles davantage encore. Les objectifs des caméras ramènent la dimension utile de la chambre à celle du film utilisé (35, 50 ou 70 mm). L'image des bulles sur le cliché tend vers la dimension minimum compatible avec la limite de diffraction des optiques utilisées.

Une interaction dans le volume de la chambre à bulles est mémorisée sur plusieurs clichés pris simultanément sous différents angles. Chaque cliché contient ainsi des points contrastés matérialisant l'image des bulles en plus de l'image des croix fiducielles de la chambre et des indications d'identification du cliché.

Pour extraire l'information qualitative et quantitative du cliché, on peut faire appel à un opérateur humain ou à une fonction automate (Fig. II.1).

- L'opérateur humain autorise une approche inventive des difficultés et une adaptation souple aux situations nouvelles. Il a une puissance d'analyse et des possibilités de reconnaissance des formes bien supérieures à celles de l'automate dans l'état actuel des techniques. Il est, par contre, pénalisé par sa lenteur relative dans l'action et son taux d'erreur. Son rôle doit ainsi être déterminant dans l'analyse qualitative.
- L'opérateur automate est sans concurrence pour exécuter des algorithmes parfaitement définis avec rapidité, rigueur et précision. Son rôle sera ainsi déterminant dans l'analyse quantitative, la commande et le contrôle.

II.2. L'ANALYSE QUALITATIVE

L'analyse qualitative du cliché consiste à identifier l'image d'une interaction sur des critères topologiques. L'automatisation de cette fonction à partir du cliché pose de gros problèmes. En effet

- le traitement optique des clichés qui consiste à effectuer un filtrage biparamétrique de l'information dans l'espace de Fourier n'a pas permis d'aboutir à une réalisation

opérationnelle à ce jour. Le problème majeur se situe au niveau du filtre optique qui doit être commandé dynamiquement avec une résolution suffisante. De plus, l'information du cliché présente souvent un mauvais rapport signal sur bruit ce qui rend son traitement optique aléatoire.

- le traitement numérique du cliché suppose son acquisition, sa digitalisation et son traitement par ordinateur. Cette opération tentée par certains laboratoires en même temps que l'analyse quantitative a mené à un échec, essentiellement en raison de la puissance de calcul nécessaire et de l'effort à fournir pour le développement du logiciel de filtrage. Le taux de succès de ces essais s'est révélé médiocre.

De plus l'automatisation de l'analyse qualitative du cliché a perdu une part de son intérêt avec l'hybridisation des expériences. Le spectromètre peut dans ce cas assurer le déclenchement de la prise des clichés grâce à une sélection en temps réel des événements en fonction de leur localisation, de leur topologie ou des caractéristiques particulières des particules sortantes. Il peut également fournir à l'analyse ultérieure, des indications relativement précises sur la localisation du vertex primaire.

L'opérateur humain, épaulé par un équipement performant et par les informations du spectromètre se révèle le plus efficace dans cette phase d'analyse qualitative que constitue le dépouillement.

Nous décrivons plus loin les équipements de dépouillement que nous avons réalisés.

II.3. L'ANALYSE QUANTITATIVE : LA MESURE

La mesure consiste en un repérage précis des points du cliché à traiter. Selon les choix effectués, on évolue d'un appareil de mesure manuel où le rôle de l'opérateur humain est total, vers un appareil de mesure automatique où le rôle de ce dernier est faible.

II.3.1. La mesure manuelle et semi-automatique

L'appareil de mesure manuel est simple et relativement souple dans la mesure où il n'impose aucune contrainte de forme et de structure. L'entière initiative humaine entraîne toutefois lenteur, précision limitée, risque d'erreur. Nous avons mis en oeuvre quatre appareils de ce type (IEP) que nous avons profondément transformés et automatisés afin d'améliorer les performances. Ils seront décrits plus loin.

Toutefois ce type d'équipement ne satisfait pas à l'évolution des expériences, ni dans le sens des hautes statistiques ni dans celui des hautes résolutions. Aussi avons nous entrepris l'étude d'une structure de mesure automatique.

II.3.2. La mesure automatique

L'approche utilisée en traitement d'image consiste à digitaliser la densité optique de chaque point du cliché, chaque "pixel", afin de l'exploiter au moyen d'un système de traitement numérique.

Pour acquérir correctement une image de bulles de 10 microns de diamètre à mi-densité, il semble judicieux d'utiliser des pixel de 2 x 2 microns au plus. Le codage d'un pixel est stocké dans le mot binaire d'une mémoire dont la taille correspond aux nombres de pixel de l'image à traiter. Un cliché de 8000 mm² correspond ainsi à 2.10⁹ pixel et nécessite donc 2 Gigamots de mémoire de données par image sans tenir compte de la taille du programme de traitement. En dépit du concept de mémoire virtuelle, la manipulation d'une telle masse de données pour chaque image ne semble pas raisonnable.

De plus, au niveau du capteur, l'utilisation de caméra électronique ne permet pas d'atteindre la résolution souhaitée alors qu'un dispositif photoélectrique ponctuel, déplacé mécaniquement devant le cliché se révèle trop lent. Enfin au niveau du codage, en tablant sur la vitesse de codage d'un signal vidéo aux normes standards, plus de 10 minutes seraient nécessaires pour acquérir 3 clichés d'un événement.

La solution retenue au niveau du capteur consiste à générer un pinceau lumineux très fin qui balaye le cliché. La lumière réfractée, recueillie par un tube photomultiplicateur, traduit la densité ponctuelle du cliché. Suivant la technique utilisée, le déplacement du pinceau lumineux est assuré électroniquement lorsque celui-ci est généré à partir d'un tube cathodique, ou mécaniquement lorsqu'il s'agit de l'image d'une lampe ponctuelle immobile. La résolution de l'appareil est directement conditionnée par la dimension du spot lumineux. Il semble que les appareils du second type permettent de meilleurs résultats sur ce plan. Le recours à la lumière cohérente peut y être envisagé.

Le codage numérique de l'information analogique du signal vidéo peut être réalisé directement, le traitement numérique biparamétrique ayant lieu en temps réel ou en temps différé. Néanmoins, la caractéristique du spectre des fréquences d'un tel cliché étant relativement constante et particulière, le traitement peut être simplifié par le recours à un processus hybride. Celui-ci consiste en un prétraitement analogique monoparamétrique en temps réel du signal vidéo visant à extraire les positions des extrêmes de densité du cliché le long d'une ligne de balayage après compression des données par filtrage analogique des éléments significatifs de l'image. Le tableau des coordonnées ainsi obtenues subit ensuite un traitement numérique biparamétrique visant notamment la normalisation géométrique dans le plan et la mise en évidence de structures d'alignements.

Toutefois, à notre connaissance les algorithmes de traitement permettant le "filtrage" des données brutes de mesure sans intervention extérieure ont une efficacité discutable et ne sont pas mis en oeuvre actuellement. Il s'avère ainsi nécessaire d'initialiser le traitement par intervention directe d'un opérateur ou à l'aide de prémesures. Il est nécessaire également de suivre le traitement au moyen d'un système de récupération des échecs quand la qualité de mesure est déterminante.

II.3.3. La prémesure

Elle consiste à fournir à l'algorithme de filtrage des données, des informations lui permettant d'initialiser plus facilement son traitement. Il s'agit des coordonnées grossières du référentiel du cliché (2 marques fiducielles) de la position du ou des vertex des interactions ainsi que 1 ou 2 points par trace. Ces indications permettent de définir des routes à l'intérieur desquelles le filtrage devient plus fiable.

Nous avons à cet effet adapté un ensemble de codeurs aux équipements de dépouillement en ligne sur un système d'acquisition de données. L'opérateur peut ainsi fournir les informations de prémesure au programme de filtrage à travers le système informatique.

II.3.4. Le graphique interactif

Le but original de la fonction de sauvetage appelée Rescue consiste à récupérer les traces en échec lors du filtrage automatique. A cet effet les digitisations sont visualisées graphiquement sur une console interactive. L'opérateur humain peut alors analyser les données et les résultats selon des critères de reconnaissance des formes supérieures à l'automate et rectifier les erreurs au moyen d'un dialogue interactif avec le programme de filtrage.

L'objectif second consiste à visualiser le fonctionnement du filtrage et à y apporter des améliorations substantielles.

Enfin l'intérêt déterminant de ce système se situe actuellement au niveau de l'analyse graphique d'activités à courte durée de vie. Les fonctions graphiques de zoom, de rotation et surtout d'anamorphose permettent d'ouvrir démesurément l'angle des traces secondaires autorisant l'accès à des paramètres d'impact de 7 microns. Il est primordial de noter que les digitisations, qui correspondent à l'axe des traces grâce au filtrage analogique, sont représentées graphiquement par un point dont la taille et la géométrie sont indépendantes de la transformation utilisée.

III. LES EQUIPEMENTS D'ANALYSE REALISES

III.1. L'ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE

III.1.1. Les Ordinateurs

III.1.1.1. Le matériel

III.1.1.2. Le logiciel

III.1.2. Les Interfaces

III.2. LE DEPOUILLEMENT

III.3. LA MESURE MANUELLE

III.4. LA PREMESURE

III.5. LA MESURE AUTOMATIQUE

III.5.1. Le rôle de l'appareil automatique de mesure

III.5.2. La nature de l'appareil

III.5.2.1. Le principe

III.5.2.2. L'option sélective

III.5.2.3. L'option systématique

III.5.2.4. Le choix réalisé

III.5.3. La philosophie structurale

III.5.3.1. La fiabilité

III.5.3.2. Les fonctions logiques

III.5.3.3. Le filtrage des données

III.5.3.4. Le filtrage du signal des traces

III.5.3.5. La détermination de l'axe des traces

III.5.4. L'Optique

III.5.4.1. La génération de la ligne de balayage

III.5.4.2. Le repérage le long de la ligne de balayage

III.5.4.3. La mesure le long de la ligne de balayage

III.5.4.4. Le balayage anormal

III.5.5. La Mécanique

III.5.5.1. Les chariots

III.5.5.2. Le transport du film

III.5.5.3. Les fluides

III.5.6. L'Electronique

III.5.6.1. Le codage des capteurs, les transmissions

III.5.6.2. La fonction logique, les interfaces

III.5.6.3. La commande

III.5.7. Les Programmes

III.5.7.1. Le temps réel

III.5.7.2. Le temps différé

III.5.7.3. Le programme FILTRE

- *L'input*

- *Le filtrage des croix fiducielles*

- *Le filtrage des traces*

- *L'output*

III.5.8. Les Tests, les outils d'investigation

III.5.8.1. Le contrôle

III.5.8.2. Les tests du processus

III.5.8.3. Les réglages optiques et mécaniques

III.5.8.4. L'analyse des signaux analogiques

III.5.8.5. L'analyse numérique

III.5.8.6. L'analyse graphique visuelle

III.5.8.7. L'analyse statistique des données

III.5.9. Les Calibrations; les paramètres à calibrer

III.5.9.1. L'amplitude du signal optique

III.5.9.2. La géométrie des mesures

- *Problèmes systématiques*

- *Problèmes aléatoires*

III.5.10. Les références optiques

III.5.10.1. La mire de précision calibrée

III.5.10.2. Les mires géométriques

- *La mire en + sur verre*

- *Les mires en + sur film*

- *La mire en X*

III.5.10.3. Les clichés de mesure

III.5.11. Les caractéristiques, les résultats

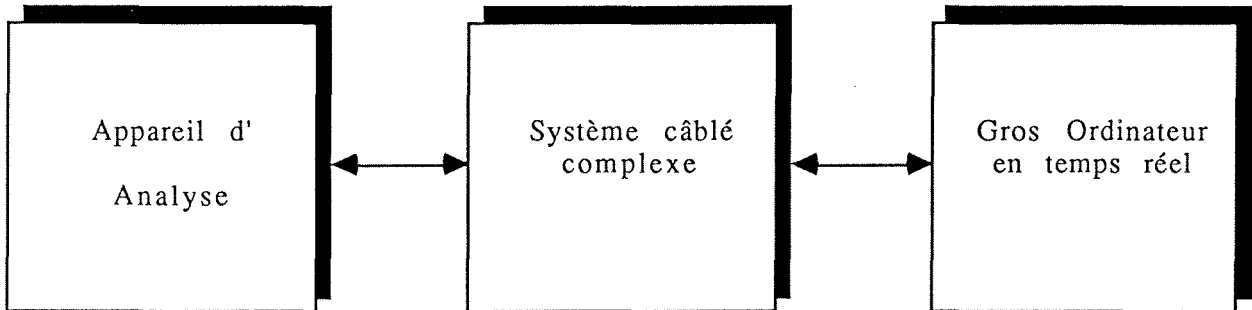
III.6. L'ANALYSE GRAPHIQUE INTERACTIVE

III.7. L'HOLOGRAPHIE

III.8. CONCLUSION

DIFFERENTES STRUCTURES INFORMATIQUES POSSIBLES

Première structure



Seconde structure



Troisième structure: La solution retenue

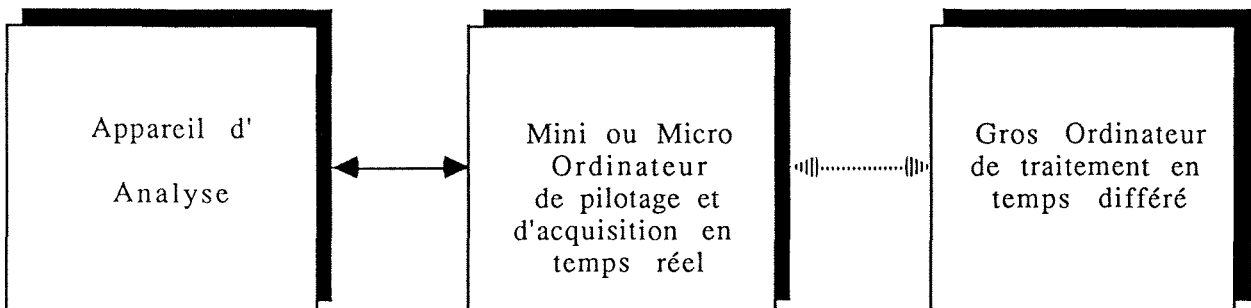


Figure III.1

III. LES EQUIPEMENTS D'ANALYSE REALISES

En physique des particules comme dans les autres domaines de la recherche scientifique, l'observation d'un phénomène et la crédibilité du résultat sera directement fonction de l'efficacité de la structure d'analyse utilisée. Il faut des appareils précis et fiables pour observer et analyser des phénomènes fins, il faut des appareils rapides pour pouvoir extraire, grâce à une statistique élevée, un phénomène noyé dans un bruit.

L'application de ces critères aux différents niveaux de nos équipements passe par la recherche de :

- standardisation
- compatibilité
- modularité
- polyvalence
- évolutivité
- mobilité
- maintenabilité
- économie

A cet effet, nous avons créé un environnement technologique, appuyé sur une structure informatique cohérente, et comportant un maximum d'éléments modulaires standardisés. Les équipements spécifiques de la structure d'analyse s'insèrent dans cet environnement.

III.1. L'ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE

Cet environnement doit satisfaire les fonctions automates de nos équipements ainsi que le stockage et le traitement de leurs données. Ces deux fonctions qui peuvent être dissociées sont assurées par la structure informatique dont les composantes constituent un compromis (Fig. III.1).

Ce compromis tient compte du fait que *pilotage et acquisition* sont des tâches à exécuter impérativement en temps réel par des moyens informatiques propres.

Le *traitement des données* brutes de mesure nécessite des moyens de calcul très puissants, en particulier dans le cas d'un appareil de mesure automatique. Si ce traitement a lieu en temps réel, tout échec pourra en principe être récupéré instantanément par rétroaction sur l'appareil de mesure, au moment même de la mesure. Le traitement différé peut cependant être envisagé, mais il nécessitera alors une procédure de récupération des échecs plus lourde. C'est la raison essentielle pour laquelle la majorité des laboratoires ayant développé des appareils de mesure automatiques, disposaient en temps réel de très puissants ordinateurs. N'ayant pas pu investir dans un tel équipement informatique, le traitement de nos données est assuré en temps différé sur l'ordinateur du Centre de Calcul (Fig. III.1)

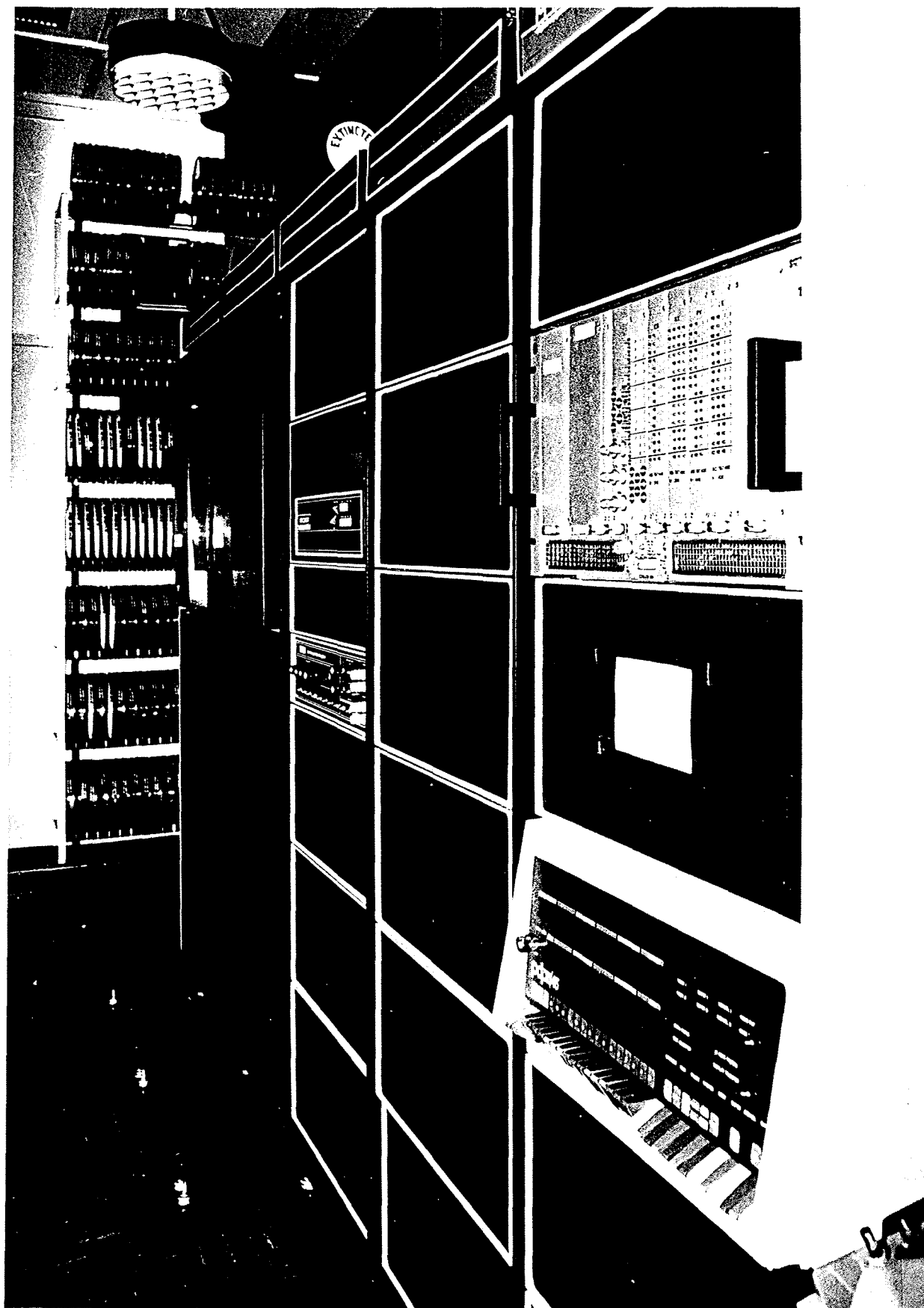


Photo III.1

Toutefois, pour réduire le délai entre acquisition locale et traitement à distance, nous avons réalisé une liaison BATCH rapide (à 100 kilobauds) à travers le réseau téléphonique du Campus, entre notre ordinateur d'acquisition et le Centre de Calcul.

III.1.1 Les ordinateurs

III.1.1.1. Le matériel

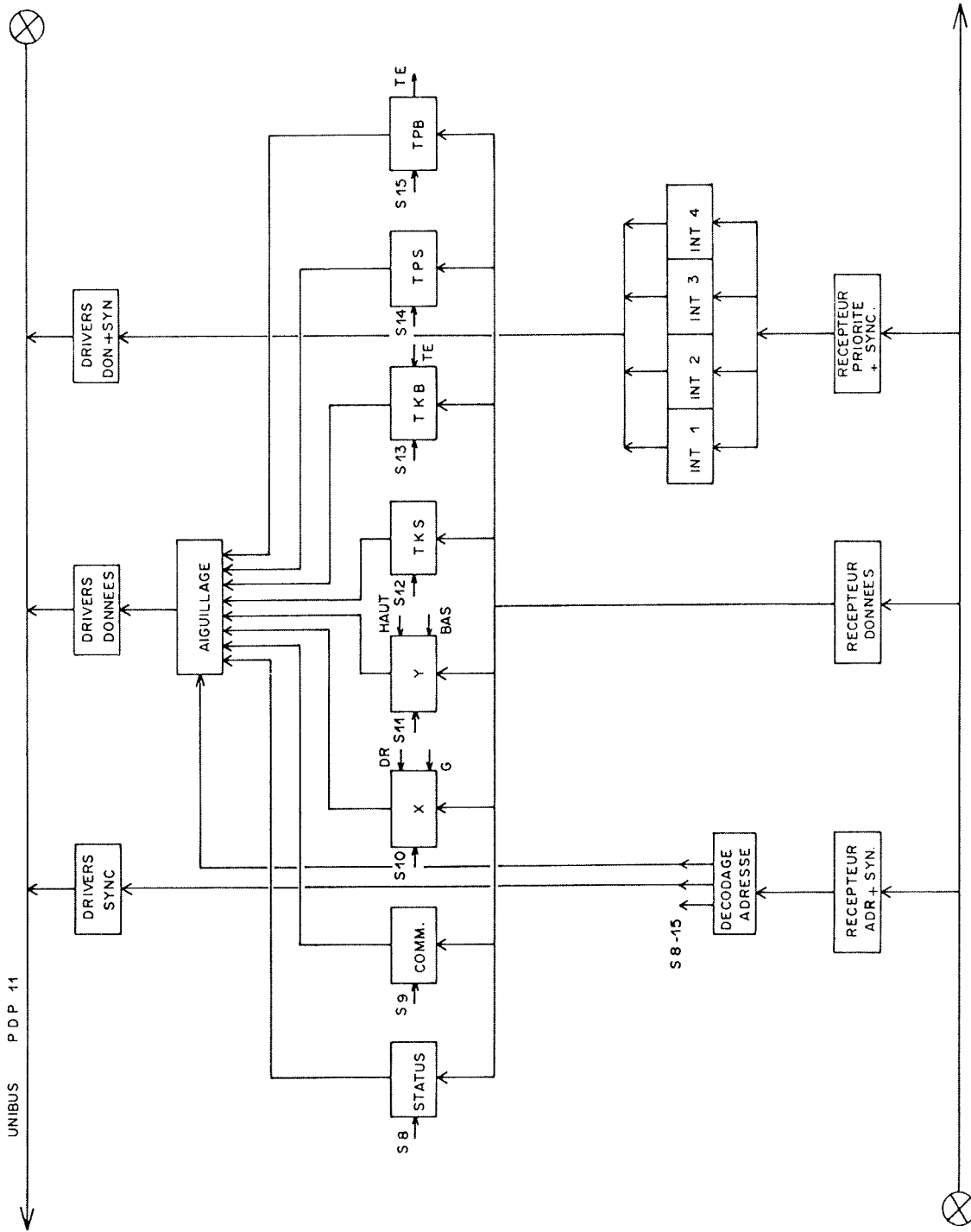
Nous avons choisi de nous équiper de deux ordinateurs PDP 11 pour résoudre nos problèmes locaux d'ordinateurs temps réel. En effet au moment de définir les options techniques de l'ensemble du système de mesure de l'équipe de recherches, nous avons prospecté le marché du matériel informatique. Les critères déterminants dans le choix de ce matériel étaient : performance de vitesse d'acquisition, mots de 16 bits de long au moins, cohérents avec la capacité des appareils existants, modularité à fins d'extensions, facilités et puissances des interfaçages, prix, maintenance.

Il nous a semblé que le meilleur choix entre ces critères était constitué par la gamme PDP 11 de DIGITAL EQUIPEMENT. Ce choix s'est avéré assez judicieux par la suite dans la mesure où la gamme PDP 11 poursuit son extension actuellement. La compatibilité du matériel et du logiciel est assurée quel que soit le modèle de la gamme. Cette gamme se singularise par le fonctionnement asynchrone d'un "BUS" de transfert de données unique et banalisé nommé "UNIBUS" et sur lequel se connecte l'ensemble des mémoires et des périphériques (Réf. yy). Les registres de périphériques possèdent une adresse mémoire, ce qui fait que le jeu d'instruction complet (environ 400 instructions) s'applique indifféremment à la mémoire et aux registres de périphériques. Il n'y a pas d'instructions d'entrées/sorties spécifiques et tous les transferts de données Mémoire-Mémoire, Mémoire-Registre, Registre-Mémoire et Registre-Registre se font en utilisant les mêmes instructions. Les transferts concernant indifféremment des mots de 16 bits ou des octets de 8 bits, 2^{18} soit 256 K adresses d'octets ou 128 K adresses de mots sont accessibles à travers les lignes d'adresses de l'"UNIBUS" (Réf. xx,yy).

La structure d'interruptions, conçue pour les applications en temps réel, est très performante : interruptions vectorisées en très grand nombre, sauvegarde automatique du contexte essentiel, gestion sophistiquée des interruptions, possibilité de transferts directs bidirectionnels de périphérique à mémoire et de périphérique à périphérique très puissante. Nous avons mis l'ensemble de ces originalités à contribution dans la structure du système informatique que nous avons finalement adopté.

Nous avons réalisé de nombreuses extensions de notre équipement de base au cours des années, avec du matériel d'origine, du matériel compatible provenant de fournisseurs concurrents et du matériel étudié et développé par nous-mêmes. Nous avons pu ainsi nous rendre compte de la souplesse de la famille d'ordinateurs que nous avons choisis et de leur faculté de connexion à d'autres équipements.

Le choix du système informatique à l'intérieur de la famille PDP 11 tient compte des équipements qui doivent y être connectés. Ces équipements, tels qu'ils sont définis dans la



L'INTERFACE D'ACQUISITION STANDARD

Figure III.3

Au moment du développement de nos équipements aucun système d'exploitation opérationnel sur les ordinateurs choisis n'acceptait d'applications en temps réel. Aussi tous nos ordinateurs DEC PDP 11 sont-ils utilisés sans système d'exploitation. Leur programmation a été assurée en langage "Macro-Assembleur". Le développement des programmes est effectué à l'aide des compilateurs et éditeurs de lien du DOS "Disk Operating System". Cette formule, plus délicate à mettre en oeuvre, présente par ailleurs, l'avantage d'être plus près de l'application ce qui permet l'optimisation des tâches et une exécution plus rapide.

Au niveau du traitement des données assuré par l'ordinateur du Centre de Calcul, la programmation est essentiellement faite en Fortran en utilisant le système d'édition PATCHY développé au CERN (Réf. zz). Le développement de ces programmes en mode Batch ou conversationnel interactif est effectué sous contrôle d'un système d'exploitation multi-utilisateur.

III.1.2. Les interfaces

Nous avons étudié, réalisé et mis en oeuvre un module "interface standard" pour résoudre les problèmes d'interfaces, omniprésents dans la réalisation de la structure d'analyse de clichés (Fig. III.3., Photos III.2 et III.3). Il existe en effet plusieurs solutions pour connecter un équipement périphérique non standard à un ordinateur. Généralement, le constructeur de l'ordinateur propose des interfaces assurant la traduction des signaux circulant sur le BUS interne, en signaux correspondant à une norme de transfert d'information en parallèle (16 bits parallèles, 8 bits GPIB-IEEE 488, 24 bits Dataway CAMAC) ou en série, asynchrone ou synchrone. Ces signaux sont ensuite acheminés vers autant de modules fonctionnels qu'il y a de fonctions à contrôler. Cette formule générale a deux inconvénients majeurs : le matériel limite sévèrement le débit des informations alors que le logiciel accède au périphérique à travers un dialogue à deux niveaux : celui de l'interface suivi de celui du module fonctionnel.

Ces contraintes nous ont apparu incompatibles avec les processus que nous voulons contrôler, en particulier celui de l'appareil de mesure automatique. Aussi nous avons choisi de mettre en oeuvre une formule originale qui assure une liaison directe entre processeur et processus. Elle tire profit de la norme de BUS "UNIBUS" de nos ordinateurs en l'associant à la norme CAMAC de châssis et de tiroirs.

Les interfaces standards que nous avons développés dans un tiroir CAMAC se connectent directement d'une part aux lignes UNIBUS de l'ordinateur qui circulent sur le DATAWAY du châssis CAMAC et d'autre part aux transducteurs du périphérique via un connecteur situé à l'arrière. Ils assurent ainsi simultanément la fonction banalisée d'interface avec l'ordinateur et la fonction spécifique requise par le périphérique.

ADRESSAGE DES REGISTRES

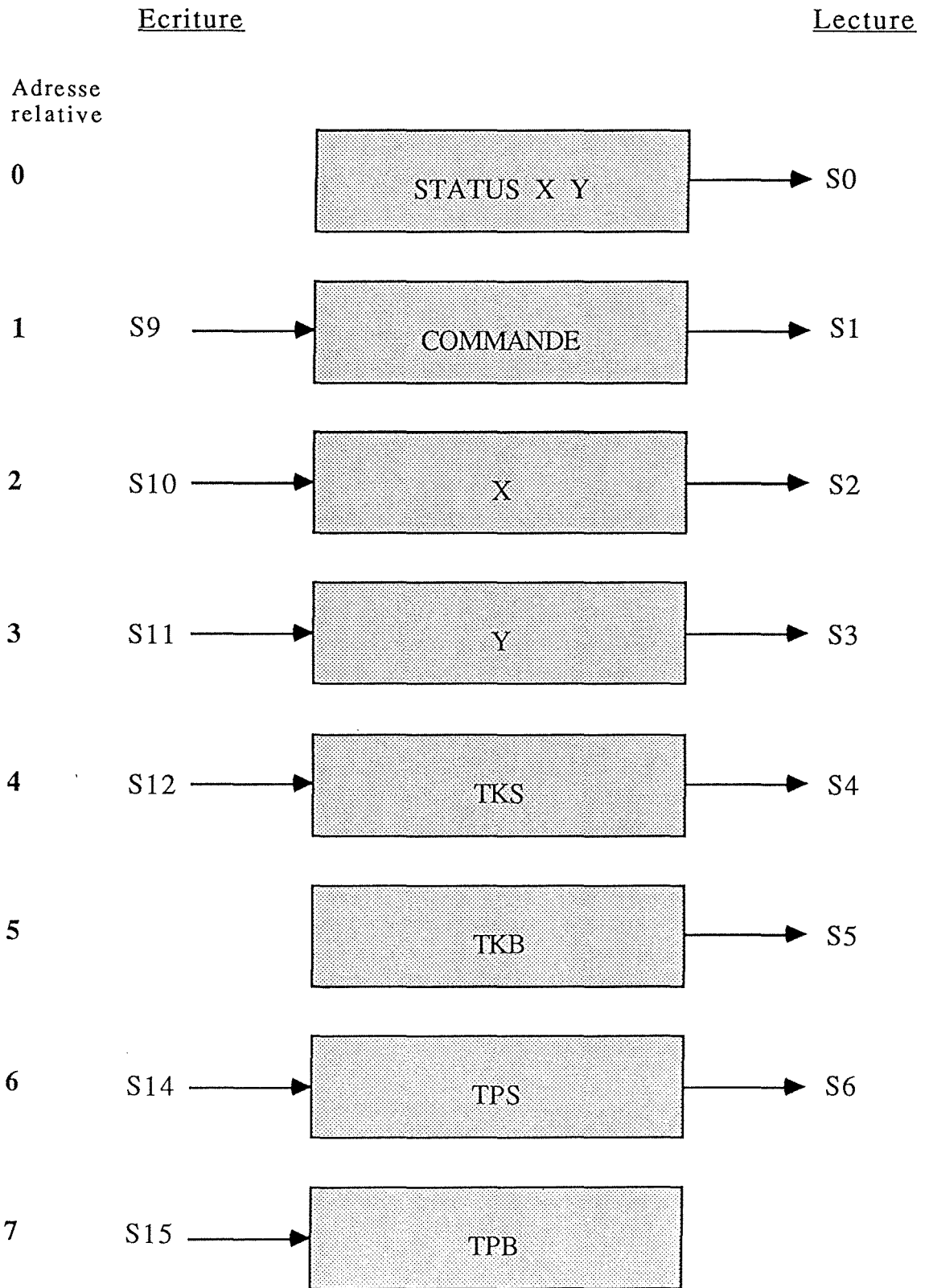


Figure III.4

La définition d'un tel type d'interface standard modulaire banalisé offre les avantages suivants :

- performances optimales,
- une seule étude et mise au point,
- fabrication à la chaîne, d'où :
- prix de revient minimum,
- réalisation rapide,
- compatibilité totale "matérielle" et "logicielle".

Pour assurer le fonctionnement d'un appareil de pré mesure ou de mesure manuel ou semi-automatique, il faut au moins (Fig. III.4) :

- un registre de 16 bits contenant la coordonnée X,
- un registre de 16 bits contenant la coordonnée Y,
- un registre d'état de l'appareil,
- un registre de commande de l'appareil.

Pour permettre le dialogue entre l'opérateur de l'appareil et l'ordinateur, il faut un terminal alphanumérique nécessitant de plus :

- un registre de commande et d'état (CSR : TKS) et
- un registre de données pour les messages opérateur-ordinateur (TKB)
- un registre de commande et d'état (CSR : TPS) et
- un registre de données pour les messages ordinateur-opérateur (TPB)

Comme plusieurs équipements sont connectés au même ordinateur, il faut aussi prévoir la faculté d'interruptions avec notamment :

- une interruption clavier pour les messages opérateur-ordinateur,
- une interruption écran pour les messages ordinateur-opérateur,
- une interruption pédale pour valider le point désigné entraînant le transfert des coordonnées de mesures,
- une quatrième interruption est nécessaire si on veut piloter l'appareil de mesure (translation du chariot-presse-film), par exemple.

Les éléments que nous venons d'énumérer suggèrent donc l'élaboration d'un interface standard contenant 8 registres de 16 bits capables de générer 4 interruptions individuellement vectorisées, ceci correspondant à deux interfaces simples (SPC) tels qu'ils sont définis dans le système PDP 11 (Fig. III.3). Notons toutefois que les circuits de décodage d'adresses et de génération d'interruptions ne doublent pas de complexité quand on double le nombre de registres et le nombre d'interruptions. De plus, la charge sur le BUS est indépendante du nombre de registres ou d'interruptions d'un périphérique.

Notre interface de mesure standard comportera donc les 8 registres cités (Fig. III.4).

Ces registres, au lieu d'assurer un simple transfert des données comme dans un interface traditionnel, réalisent directement la fonction à laquelle ils sont destinés : comptage (X et Y), mémorisation, état des variables (Fig. III.5).

ADRESSAGE ET CONTENUS DES REGISTRES
AFFECTES AUX APPAREILS MANUELS ET SEMI-AUTOMATIQUES

Status XY (767 720)

Y AR	Y AV	X AR	X AV	n° Vue	n° Vue	n° Vue	Int. 4	Int. 3	Péd Int 2	Del Int1	Ali IEP	n° IEP	n° IEP	n° IEP	n° IEP
---------	---------	---------	---------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------------	-------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------

Commande XY (767 722)

Y AR	Y AV	X AR	X AV	Sim	Com Cha	G.V			Ena Int 2	Ena Int1	Int 4	Int 3	Int2	Int 1	Sim Int
---------	---------	---------	---------	-----	------------	-----	--	--	-----------------	-------------	----------	----------	------	----------	------------

X (767 724)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
----	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Y (767 726)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
----	----	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

TKS (767 730)

Σ Err								DA Int3	Ena Int 3						
----------	--	--	--	--	--	--	--	------------	-----------------	--	--	--	--	--	--

TKB (767 732)

								7	6	5	4	3	2	1	0
--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---

TPS (767 734)

								TBE Int4	Ena Int 4				Mai nte		
--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	-----------------	--	--	--	------------	--	--

TPB (767 736)

								7	6	5	4	3	2	1	0
--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---

Figure III.5

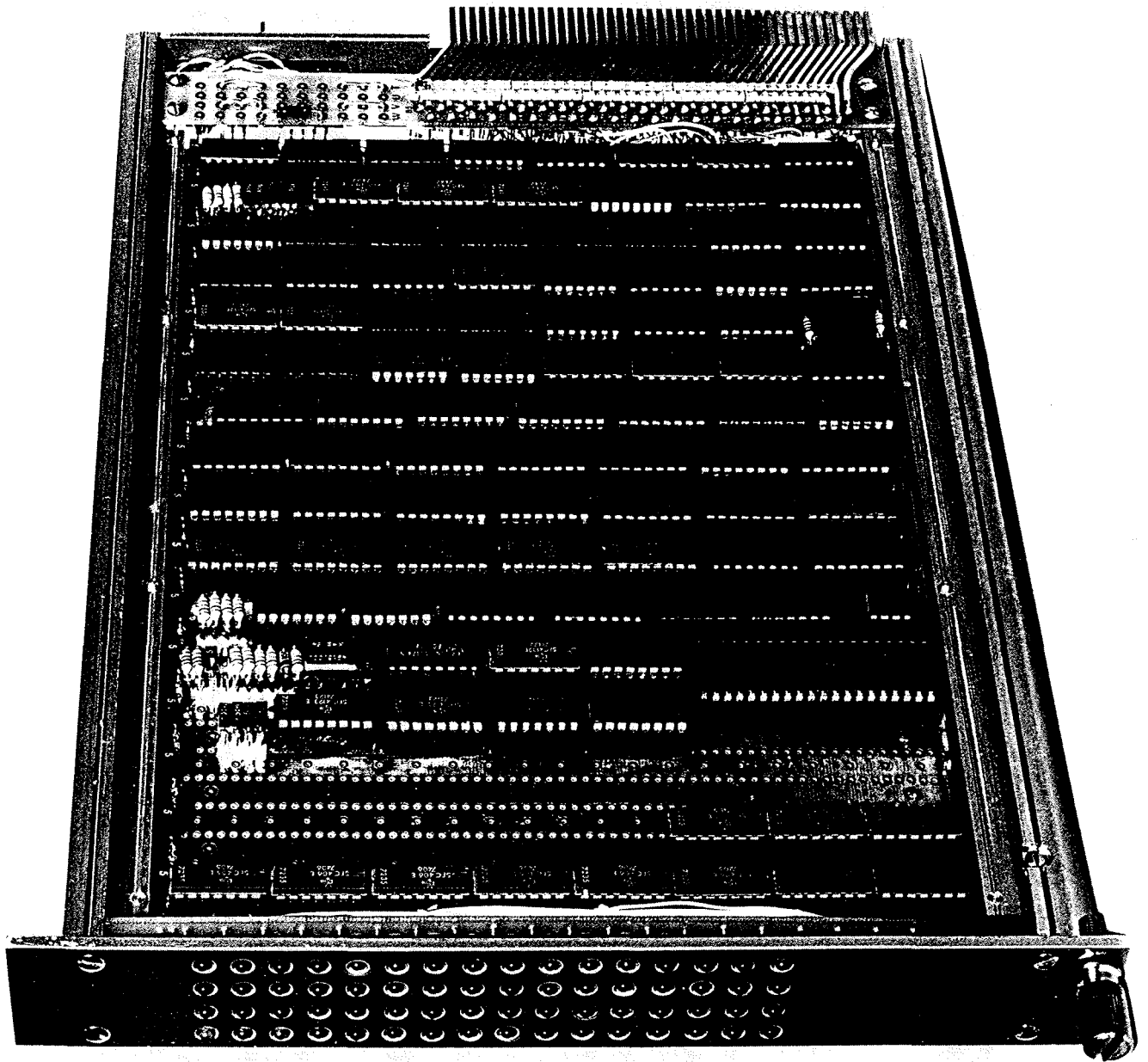


Photo III.2

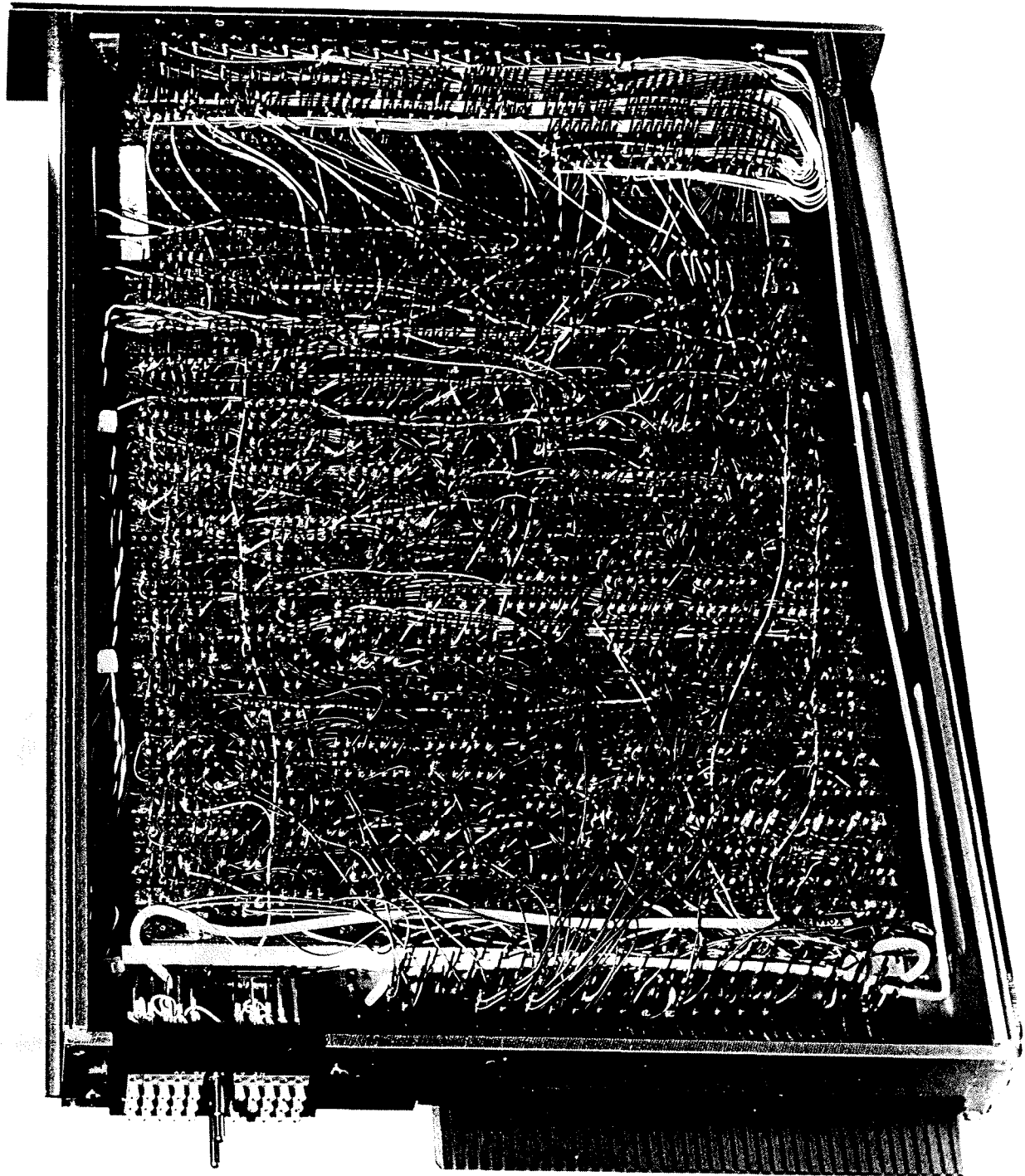


Photo III.3

Pour assurer ces fonctions, l'interface standard comporte :

- des circuits récepteurs à haute impédance d'entrée,
- des circuits transmetteurs à collecteurs ouverts pour réaliser la fonction OU-câblé,
- des circuits de décodage de l'adresse,
- des circuits de génération des interruptions vectorisées,
- des circuits registres-mémoires,
- des circuits UART pour la gestion du terminal à écran par liaison série asynchrone normes CCITT V24,
- des circuits annexes d'horloges, de multiplexage, de mise en forme, etc...,
- de la place reste disponible pour des extensions ultérieures.

Son rôle sera de connecter aux ordinateurs temps réel PDP 11/20 et PDP 11/45 tous les équipements du laboratoire comprenant les tables de dépouillement, les trois appareils de prémesure BIDULE et les quatre appareils de mesure IEP.

Le même type d'interface, mais dont les registres et les interruptions ne sont pas préaffectés, assure la mise en ligne de chacune des fonctions de l'appareil de mesure automatique sur l'ordinateur PDP 11/45 (par exemple, le transport du film, le pilotage des chariots ou l'acquisition des mesures), ainsi qu'un certain nombre de terminaux de visualisation alphanumérique.

Nous nous trouvons ainsi en possession d'un système global d'interconnexion, standardisé au maximum, et totalement modulaire, que nous considérons comme optimal pour nos applications. Nous allons examiner dans la suite l'utilisation de ce système dans la mise en oeuvre de nos équipements de mesure.

III.2. LE DEPOUILLEMENT

Trois tables de dépouillement ont été réalisées par notre équipe pour constituer le premier chaînon de notre structure d'analyse (Réf. 10,11, Fig. III.6., Photo III.12). Elles visent à permettre à l'opérateur humain une analyse optique qualitative des images du détecteur visuel dans les meilleures conditions possibles (cf. II.2.). Il s'agit en fait de repérer les interactions, de localiser les vertex, d'identifier et de compter les traces et de fournir les résultats de cette analyse au système informatique qui stocke, trie et fournit ces informations aux étapes ultérieures. A cet effet, les images agrandies des différentes vues d'une même photographie sont projetées alternativement ou simultanément sur un plan horizontal. Le plan horizontal s'avère ergonomiquement le plus apte à extraire l'information de l'image car il permet une appréhension de l'ensemble tout en autorisant l'examen du détail.

LE DEPOUILLEMENT

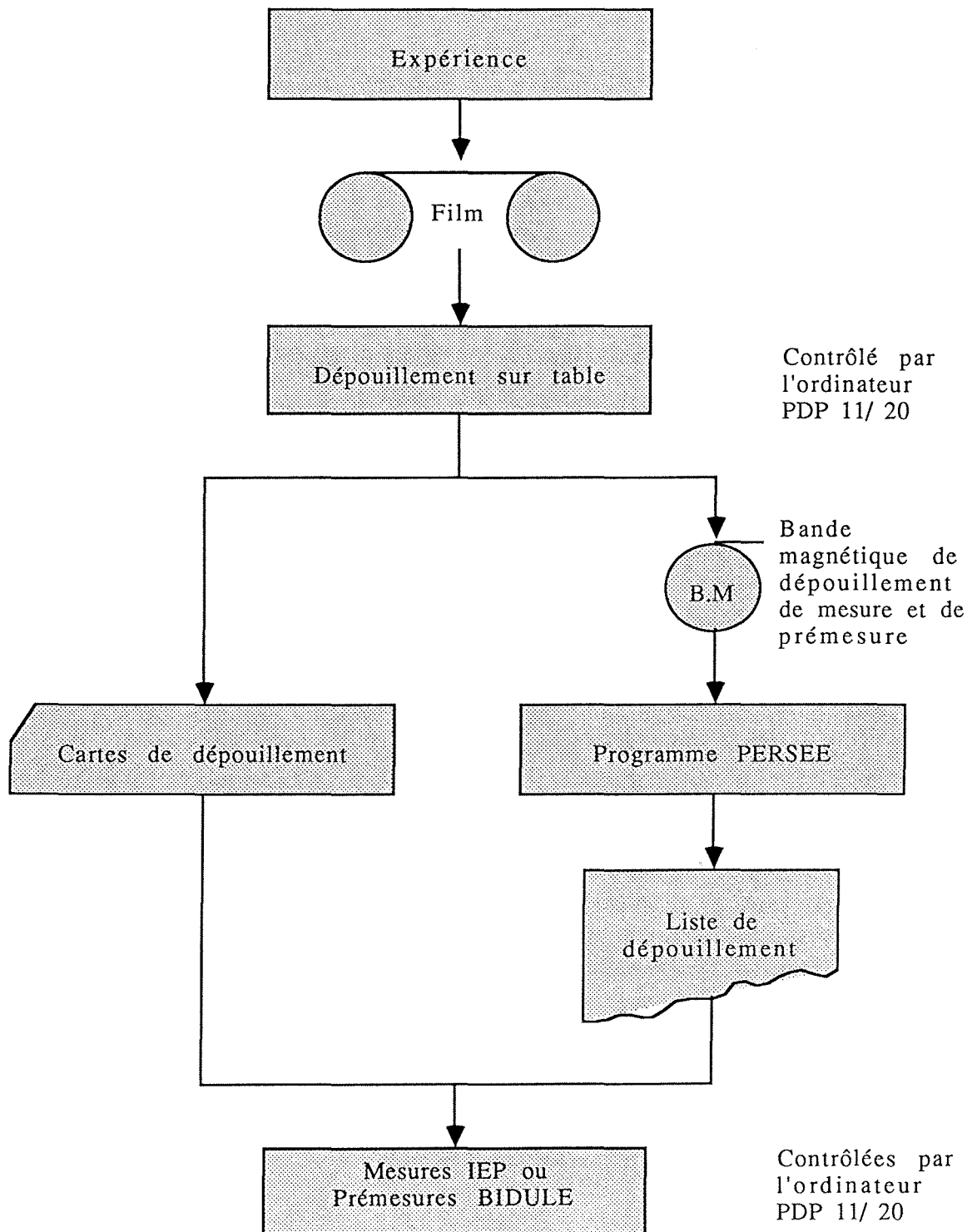


Figure III.6

Les caractéristiques des équipements réalisés sont les suivantes :

- trois vues synchrones,
- tous les formats de films (35, 50, 70 mm),
- grandissement G ajustable, $11 < G < 16$ pour un objectif de $f = 160$ mm,
- appareil sur un niveau,
- projection sans parallaxe,
- boîtier de télécommande mobile,
- dispositif de prémesure adaptable,
- dimension l x L x H en m : 1,80 x 1,80 x 2,90

Une évolution de ces équipements a été imposée par les expériences à haute résolution. A cet effet, ils ont été pourvus d'un second grandissement commutable 2,6 fois plus fort ainsi que des commandes permettant de déplacer la zone agrandie sur l'ensemble de l'image. Une console de visualisation alphanumérique, en ligne sur le PDP 11/20 à travers nos interfaces standards permet de fournir les résultats du dépouillement au système informatique. Lorsqu'un relevé précis de l'événement est nécessaire, on a recours au dessin sur cette carte perforée.

III.3. LA MESURE MANUELLE

Quatre appareils de ce type ont été mis en oeuvre par notre équipe (Réf. 2, 8, 11 et 12) pour effectuer des mesures particulières, difficiles sur un appareil automatique, pour des mesures de faible envergure ne justifiant pas la mise en oeuvre d'un appareil automatique ou pour des prémesures ou des remesures de l'appareil automatique, ces deux dernières utilisations étant abandonnées actuellement (Photo III.4 et III.5). Sur ce type d'équipement, l'opérateur fournit d'abord un certain nombre d'indications générales (Numéros de film, photo, mesure, topologie, date etc...) avant de positionner dans l'appareil les différentes vues de la photo à mesurer (préalablement sélectionnée dans la phase de dépouillement). L'image de la vue sélectionnée est alors projetée sur l'écran où un repère permet de désigner le point à mesurer. Celui-ci est validé par une pédale qui transfère les coordonnées de ce point. Les différentes vues sont traitées en séquence avec pour chacune la mesure du référentiel sous forme du centre des croix fiducielles et la mesure de toutes les traces en partant du vertex sous forme d'un certain nombre de points situés sur leur axe.

Dans le but d'accélérer la mesure et diminuer les risques d'erreurs, nous avons totalement reconditionné et largement automatisé quatre IEP 112 (Photos III.4 et III.7 à III.11) dont nous avons conservé l'optique, la mécanique et les moteurs associés à leurs circuits de puissance. Ils ont l'avantage de mesurer par construction dans un système orthonormé, sans déformations notables en raison du déplacement du point mesuré dans l'axe optique du système. Des capteurs de position à la commande des déplacements, l'ensemble de l'électronique a été refaite et mise en ligne sur l'ordinateur de pilotage et d'acquisition à travers les interfaces standards. La fonction automate est assurée par l'exécution d'un programme enregistré qui dialogue avec l'opérateur au moyen d'une console alphanumérique, acquiert et contrôle la mesure, et mémorise les informations de sortie sur bande magnétique.

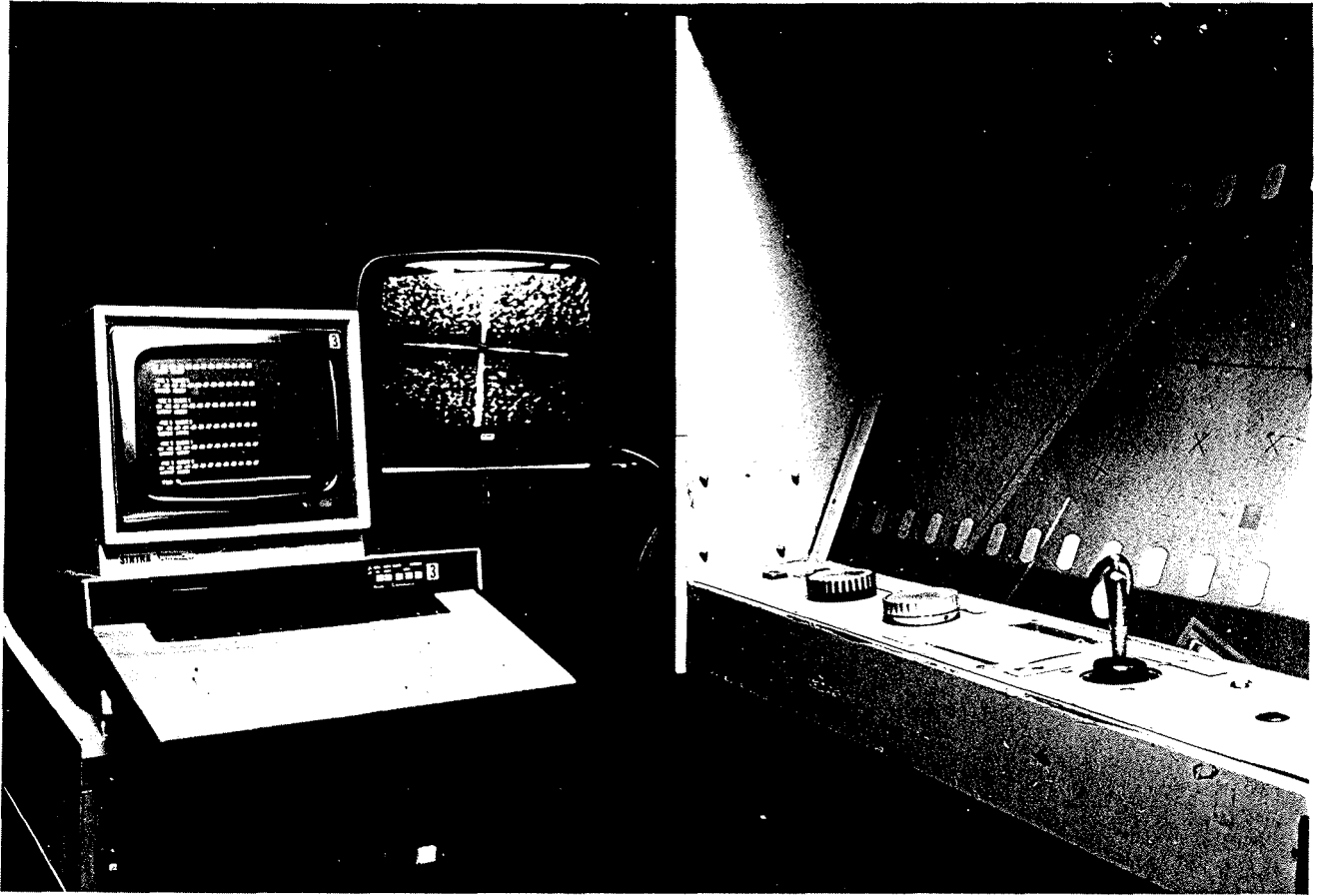


Photo III.4

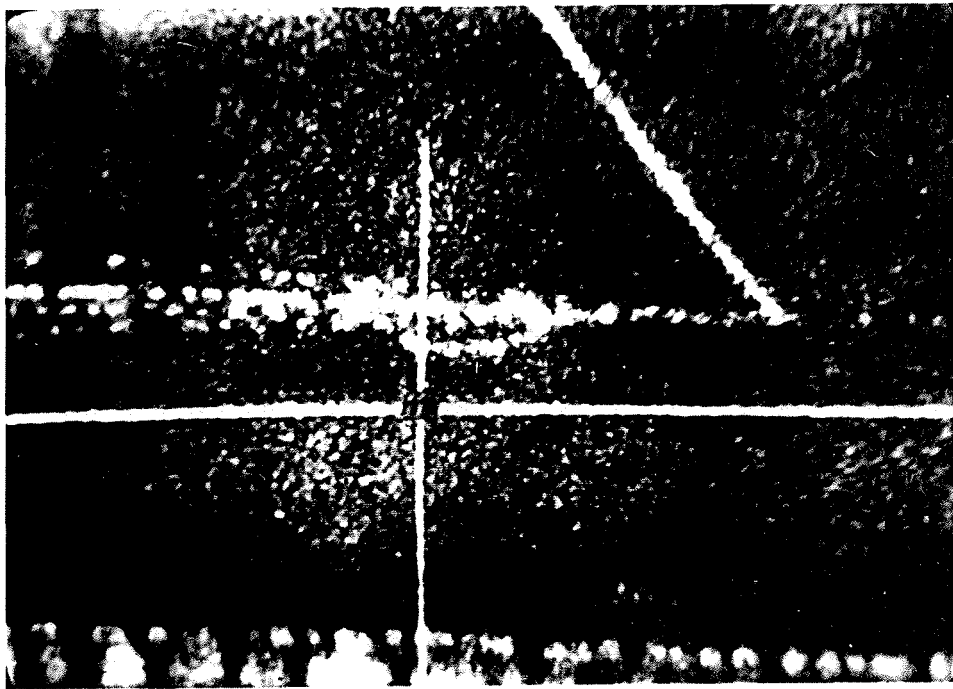


Photo III.5

Le programme de l'automate guide l'opérateur humain dans toutes les séquences et fonction répétitives, empêchant ainsi des erreurs de séquence et lui évitant de fournir tous les paramètres et caractéristiques de la mesure. Il accepte cependant les interventions de l'opérateur pour la fourniture d'informations non standard ou la correction d'une mesure. Le programme est également en mesure de piloter l'appareil dans tous les déplacements prévisibles, l'opérateur humain se limitant à l'ajustage fin du pointé : les croix fiducielles qui définissent le référentiel de la chambre sont toujours à la même place, les points des traces peuvent être prédéterminés par extrapolation linéaire d'abord, par extrapolation circulaire ensuite. Ce mode de fonctionnement réellement semi-automatique a été développé au niveau matériel sur un des appareils. Son implémentation logicielle n'a toutefois pas été réalisée.

Par ailleurs, l'ajustage précis du point à mesurer a été facilité grâce à l'intégration dans deux des appareils de mesure d'un système vidéo à haute définition. Ce système fournit sur un écran moniteur, l'image du point visé avec un grandissement linéaire de 20 fois par rapport à la projection optique, soit environ 250 fois par rapport au film. L'opérateur contrôle ainsi mieux son pointé et la précision de l'appareil se trouve notablement améliorée (d'un facteur de deux environ).

Ces appareils ont été utilisés pour la mesure de films de toute nature (positifs ou négatifs), de toute largeur (35, 50, 70 mm), en provenance d'une grande variété de chambres à bulles. Après correction des déformations, la dispersion des points (RMS) mesurés par rapport à la trajectoire reconstituée est de 2,4 microns sur le film (Réf. 2, 8, 11 et 12). La vitesse de mesure dépend de l'opérateur. Elle se situe aux alentours de 10 clichés à l'heure pour des événements de multiplicité moyenne 3 à 4.

L'ensemble des développements réalisés sur ces appareils a permis d'accroître très sensiblement la vitesse et la qualité des mesures, tout en soulageant l'opérateur.

Ils constituent le second maillon de notre structure d'analyse.

III.4. LA PREMESURE

Trois équipements de prémesure ont été réalisés (Réf. 2, 8, 11 et 12) pour approvisionner l'appareil automatique avec une efficacité raisonnable (cf. II.3.3., Photos III.12 et III.13). La solution consistant à utiliser un appareil de mesure manuel à cet effet se révèle peu efficace en raison de sa lenteur par rapport au débit de l'appareil automatique. Cette procédure oblige de plus une seconde manipulation du film après le dépouillement, une nouvelle localisation de la photo et de l'événement ce qui entraîne une perte de temps important.

Aussi avons-nous adapté un système de codage de position aux tables de dépouillement déjà décrites. Ce système est constitué d'une poutre comportant un codeur rotatif incrémental à chaque extrémité. Chaque codeur mesure la longueur d'un fil dont l'extrémité est solidaire d'un repère avec lequel l'opérateur désigne le point à prémesurer. Un "garage" permet d'initialiser ce repérage bipolaire. L'acquisition s'effectue comme pour un appareil de mesure manuel à l'aide d'un interface standard. Sa précision est limitée. La prémesure peut être effectuée en même temps que le dépouillement ou dans une phase propre.

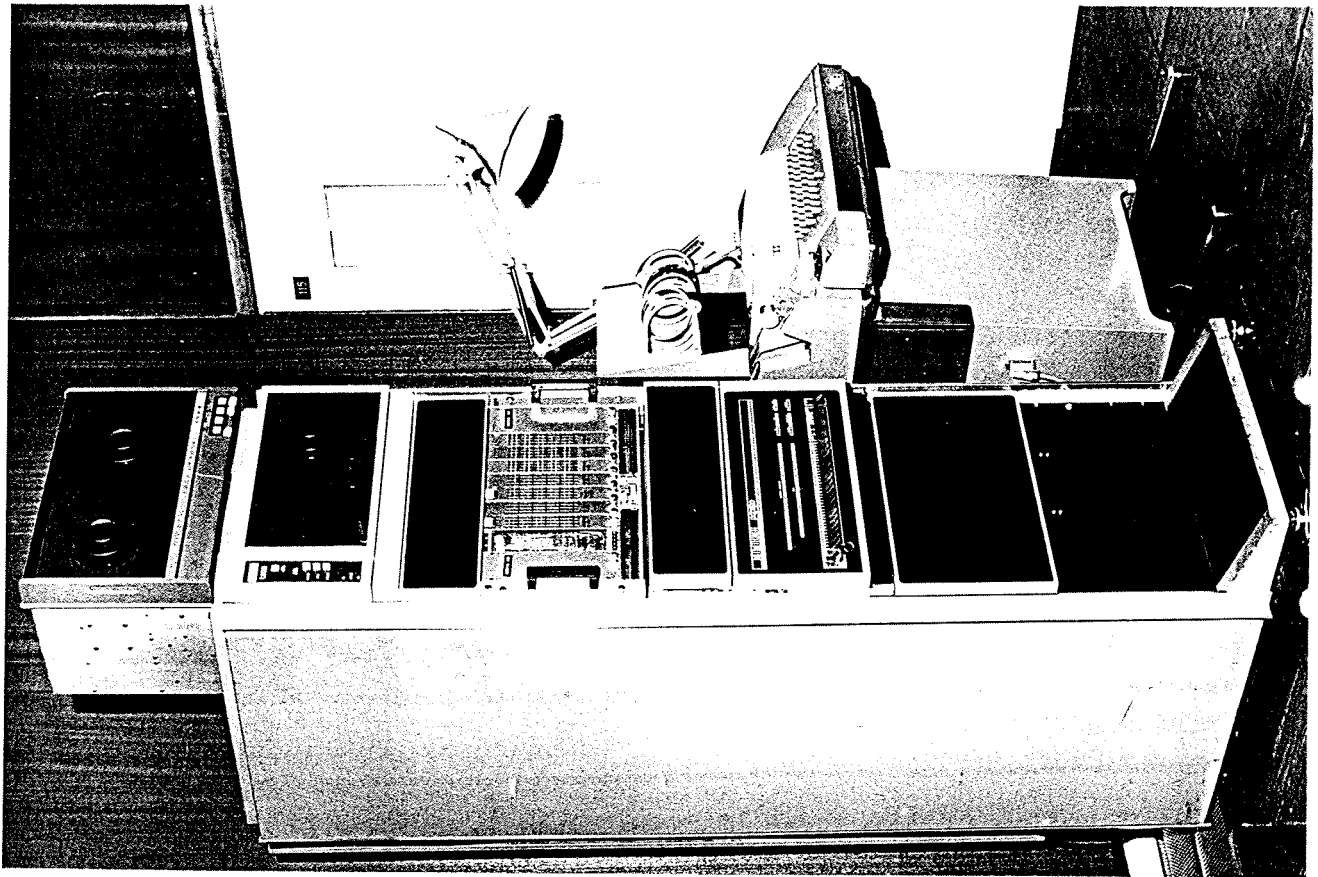


Photo III.6

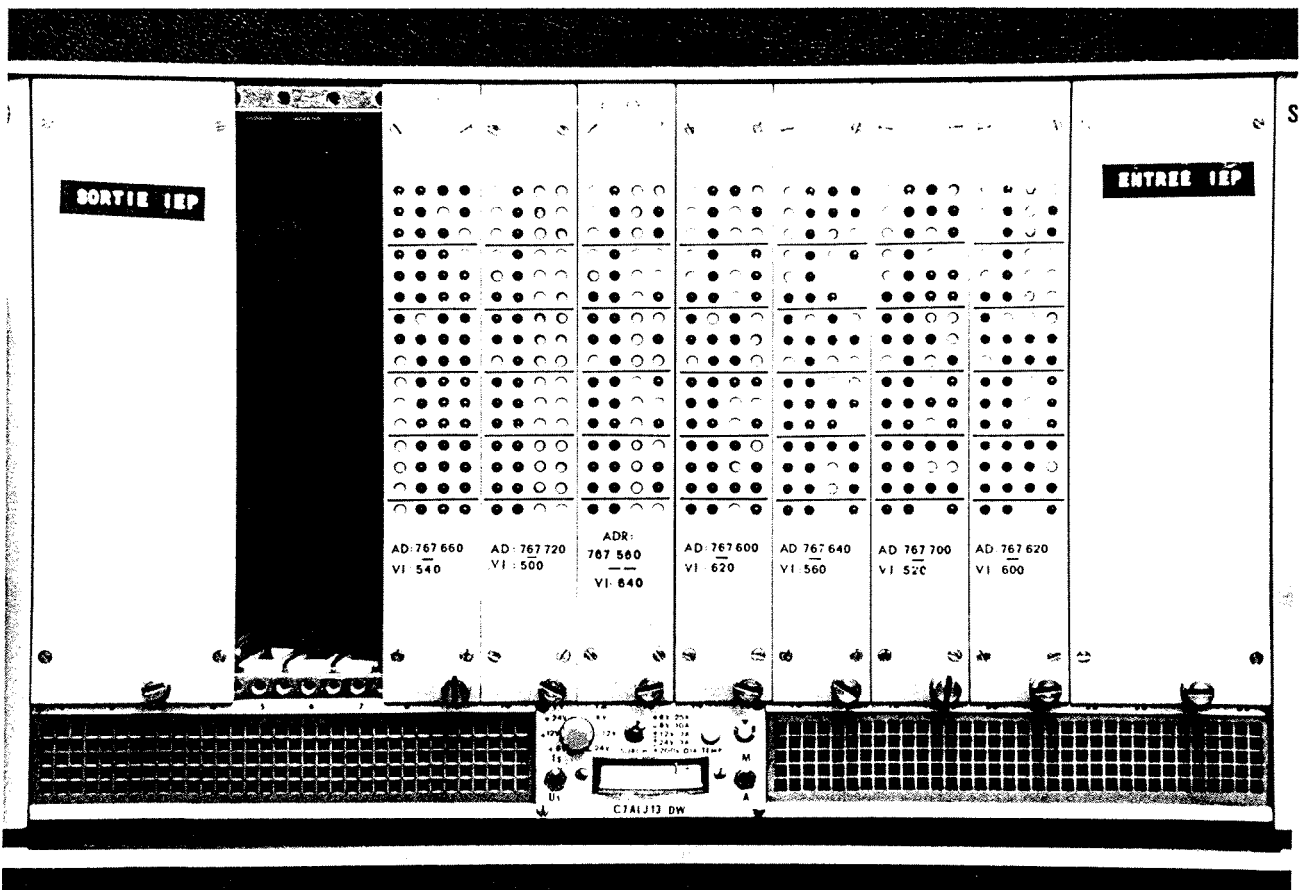


Photo III.7

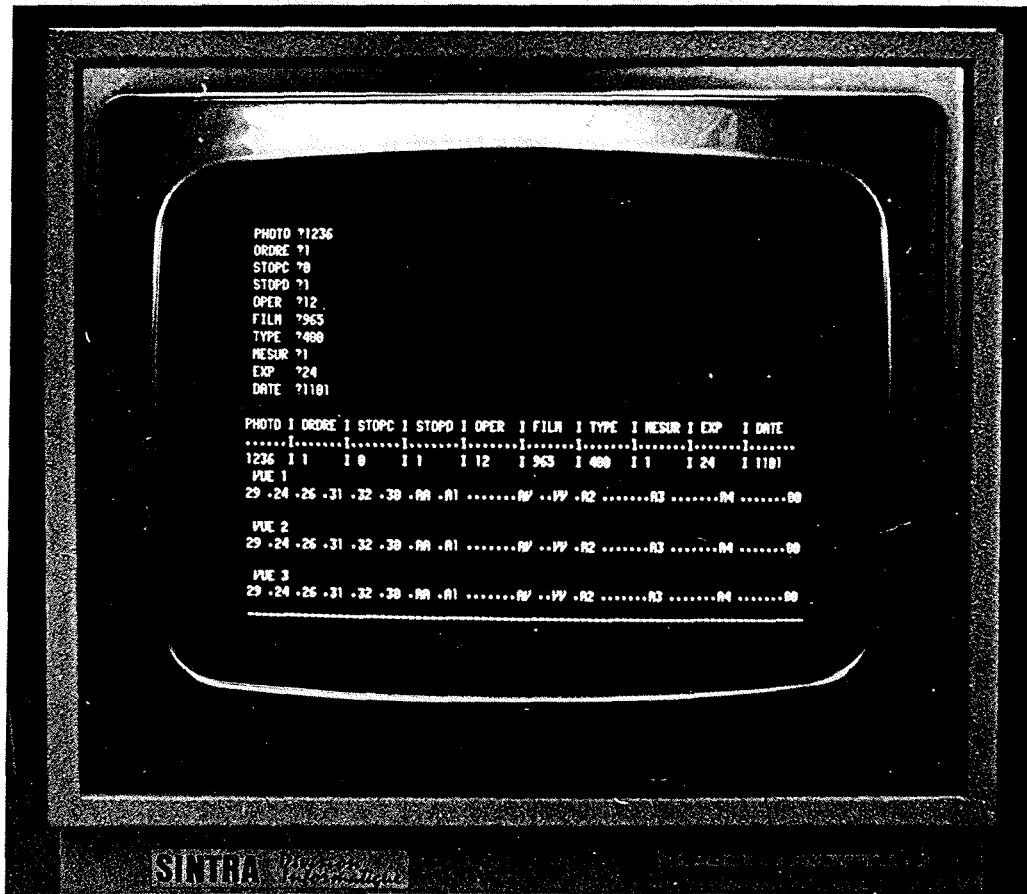


Photo III.8

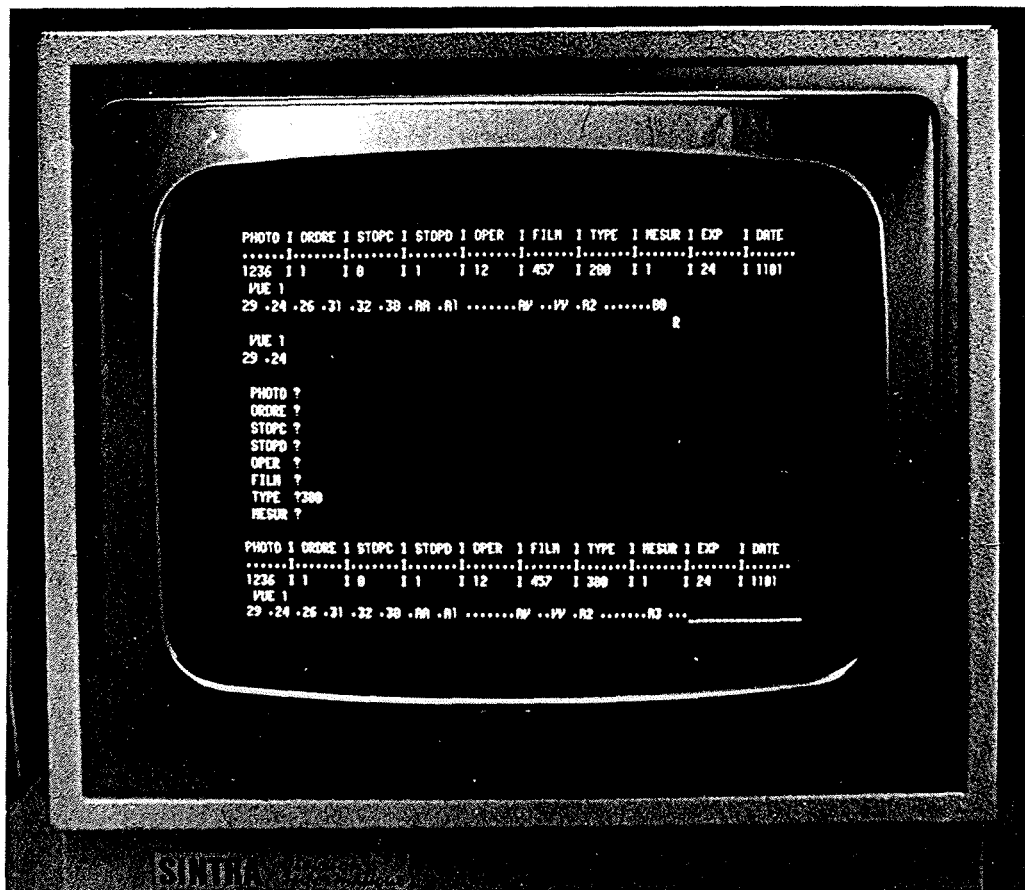


Photo III.9



Photo III.12

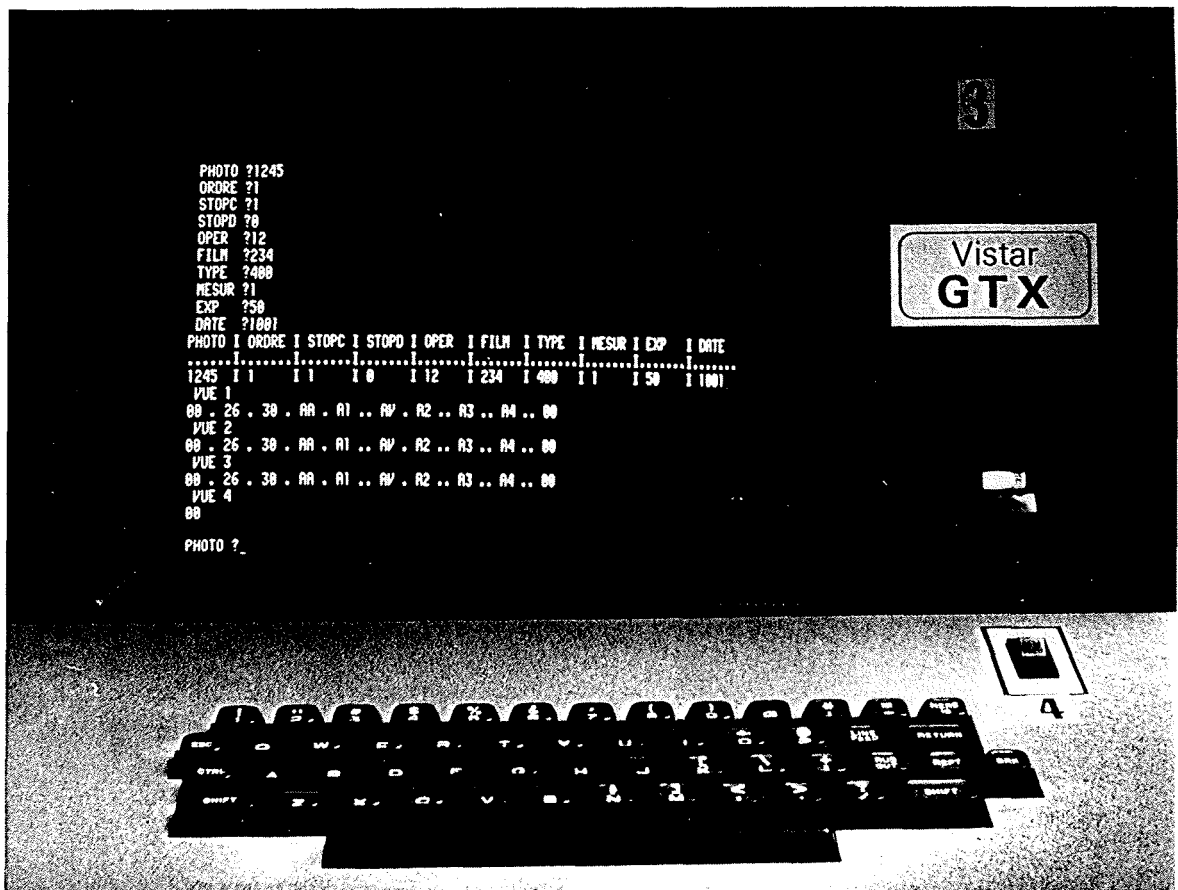


Photo III.13

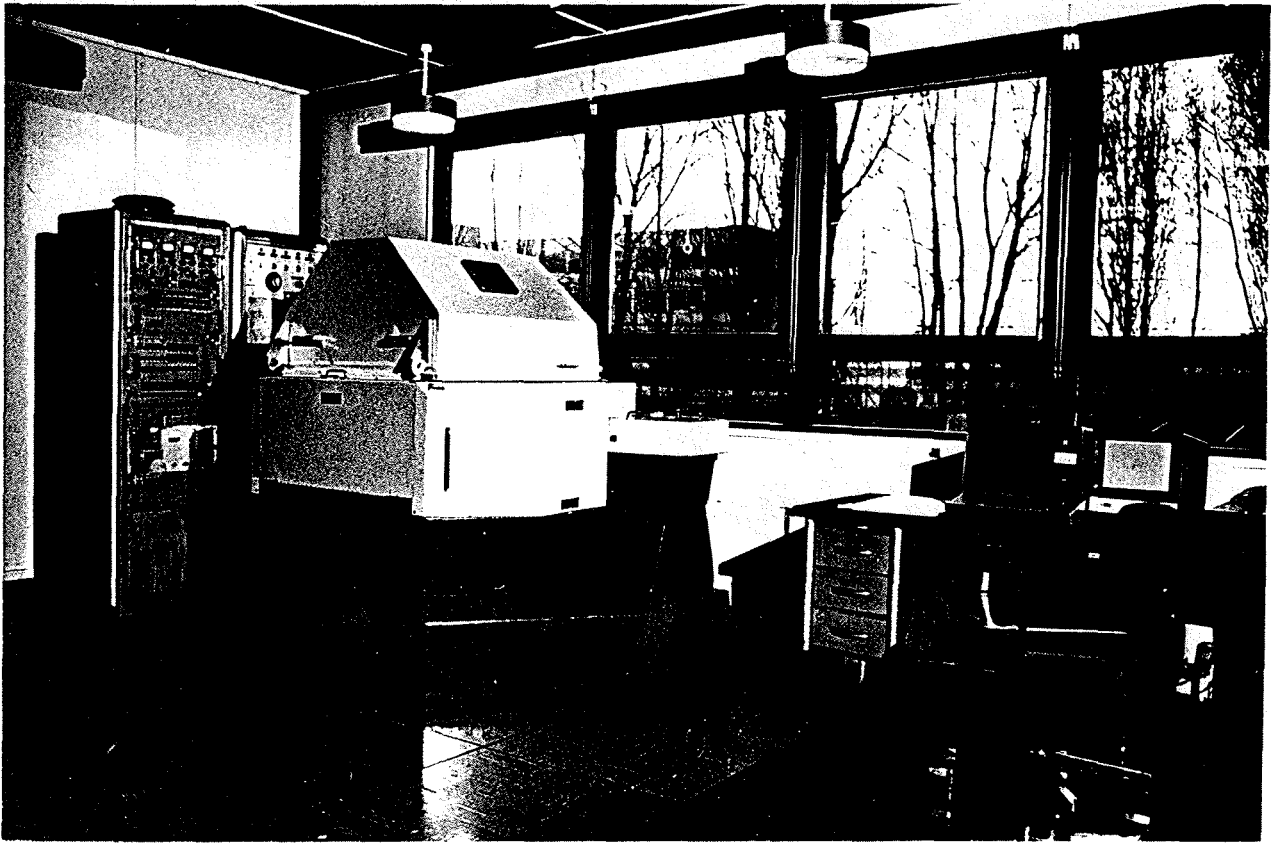


Photo III.14

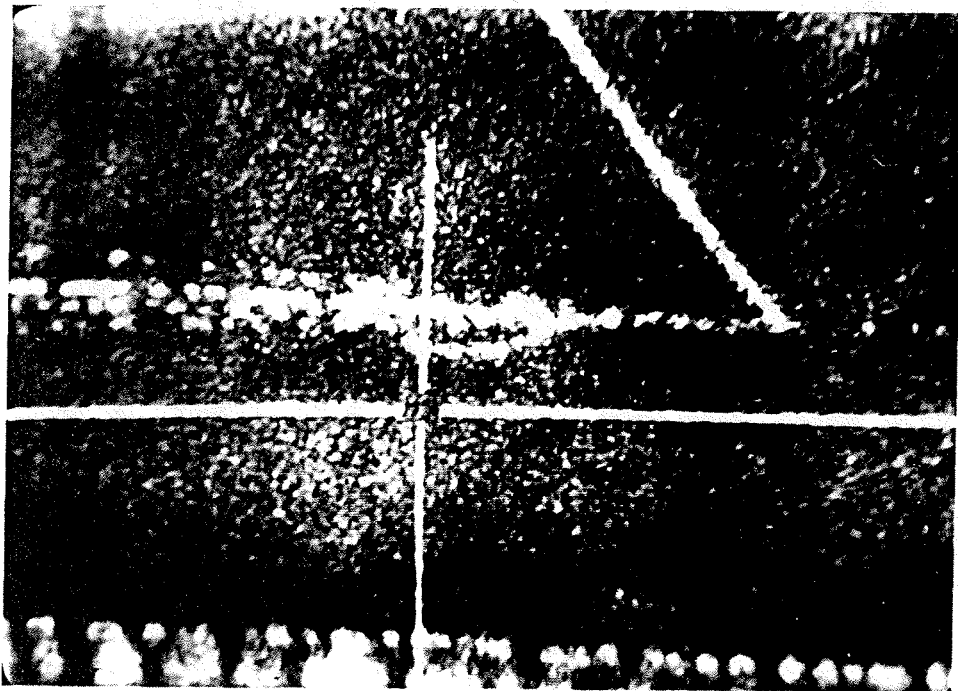


Photo III.15

III.5. LA MESURE AUTOMATIQUE

L'appareil de mesure automatique que nous avons développé constitue le pivot de notre structure d'analyse (Réf. 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 18, 21, 22 et 23, Fig. III.7. et Photo III.14). Il s'est avéré indispensable pour plusieurs raisons.

III.5.1. Le rôle de l'appareil automatique de mesure

Les appareils de mesure classiques, manuels ou semi-automatiques, ont été conçus pour des clichés bien contrastés, comportant des bulles de 25 à 50 microns de diamètre et de multiplicité moyenne faible (3 à 4). Ceci ne pose que peu de problème pour suivre les traces et pour les mesurer.

Toutefois, l'accès aux expériences à haute statistique est difficile avec ces appareils en raison de leur relative lenteur. En effet, si un bon opérateur mesure 9 à 12 clichés de multiplicité moyenne 3 à 4 à l'heure, soit 3 à 4 événements sur 3 vues, son taux de mesure chute rapidement avec l'augmentation de la multiplicité. Par contre, un appareil de mesure automatique doit permettre de digitiser plus de 100 clichés à l'heure quelle que soit la multiplicité. L'augmentation en énergie des expériences engendre une augmentation sensible de la multiplicité chargée avec en particulier des structures de jet très collimatées. De plus, la recherche d'états à durée de vie très courte (10^{-12} à 10^{-13} seconde) impose de réduire la taille des bulles dans le détecteur ce qui engendre des images très ténues, peu contrastées et souvent floues (profondeur de champ très faible). Ainsi, structures de jet et images de bulles ténues rendent le suivage par l'opérateur de la trace à mesurer très aléatoire, voire impossible sur un appareil classique. Enfin, la réduction de la taille des bulles doit correspondre à une amélioration de la précision de mesure pour permettre l'accès à la physique qui l'a motivée. Dans l'appareil classique, cette précision est de toute manière limitée par l'appréciation du pointé de l'opérateur alors que dans l'appareil de mesure automatique il s'agit d'une caractéristique intrinsèque qu'on peut techniquement maîtriser.

Ainsi se dessinent les contours de l'appareil de mesure automatique pour lequel nous visons une efficacité maximum.

Il nous faut choisir dans un premier temps, la nature de l'appareil, sa spécificité, le principe mis en oeuvre (balayage mécanique ou électronique de l'image), sa puissance. Dans un second temps, il s'agit de choisir la philosophie structurelle de la réalisation : rôles respectifs des programmes enregistrés et des programmes câblés, modularité, standardisation, polyvalence, évolutivité, fiabilité, maintenabilité, etc...

III.5.2. La nature de l'appareil

III.5.2.1. Le principe

Au niveau du choix du principe de fonctionnement on peut distinguer deux directions fondamentalement divergentes. Bien qu'elles utilisent toutes un balayage de l'image au moyen d'un pinceau lumineux elles se différencient toutefois au niveau du filtrage de l'image, c'est-à-dire du traitement visant à extraire de l'image les informations sur sa

structure, dans notre cas les trajectoires de traces. Dans le cas de l'appareil manuel ou semi-automatique, ce rôle est assuré par l'opérateur humain dont les facultés d'analyse et de reconnaissance des formes sont très performantes. Dans le cas d'un appareil automatique, ce rôle sera en principe assuré par l'automate qui suit un algorithme développé dans ce but. L'information à traiter étant mémorisée sous forme optique sur film, on voit apparaître les deux options de principe.

III.5.2.2. L'option sélective

Dans cette première option, l'automate de filtrage traite l'information directement sur le film pour ne mémoriser en sortie que les informations filtrées. Cela entraîne deux conséquences déterminantes :

- nécessité d'un accès sélectif aléatoire à l'information optique par contrôle du faisceau lumineux incident ou par analyse sélective de la lumière émergente,
- nécessité de disposer de l'automate de filtrage dans l'espace et dans le temps de la mesure, c'est-à-dire de puissants moyens de calcul en temps réel.

Ce mode de fonctionnement a été adopté pour les appareils dits "CRT" (Cathode Ray Tube) du type ERASME, PEPR, COCCINELLE, POLLY, etc... Dans ces appareils, l'automate de filtrage contrôle le faisceau électronique d'un tube cathodique qui génère un pinceau lumineux. Celui-ci sert de source lumineuse à l'image à analyser qui est ainsi balayée sélectivement. Ce déplacement d'un pinceau lumineux par l'intermédiaire du faisceau électronique du tube cathodique est utilisé en raison de la difficulté de dévier directement un pinceau lumineux avec précision et en mode aléatoire. L'utilisation de cascade de cristaux de KDP biréfringents ou de l'interaction phonon-photon dans un réseau ne permettent pas d'applications opérationnelles actuellement (Réf. 26). De même, l'analyse de l'information émergente à l'aide d'une caméra électronique équipée d'un tube image ou d'un réseau semi-conducteur ne permet pas une résolution suffisante actuellement.

III.5.2.3. L'option systématique

Dans cette seconde option apparaissent deux phases. La phase de mesure proprement dite, qui consiste à traduire fidèlement et systématiquement l'ensemble de l'information optique du film en information électronique pour la stocker dans une mémoire de masse, et la phase de filtrage où l'automate traite l'information d'image sous sa représentation numérique et non plus directement. Cela entraîne les conséquences suivantes :

- nécessité de coder systématiquement toute l'image et de la stocker dans une mémoire de masse,
- la phase de mesure proprement dite et la phase de filtrage peuvent être dissociées dans l'espace et dans le temps. Ainsi les moyens de calcul nécessaires au filtrage sont utilisés en temps différé et le débit de la phase de mesure est désaccouplé du débit de la phase de filtrage. De plus, le filtrage plus long de certains événements difficiles ne

LA FONCTION AUTOMATE
SA MISE EN ŒUVRE SUR LE HPD

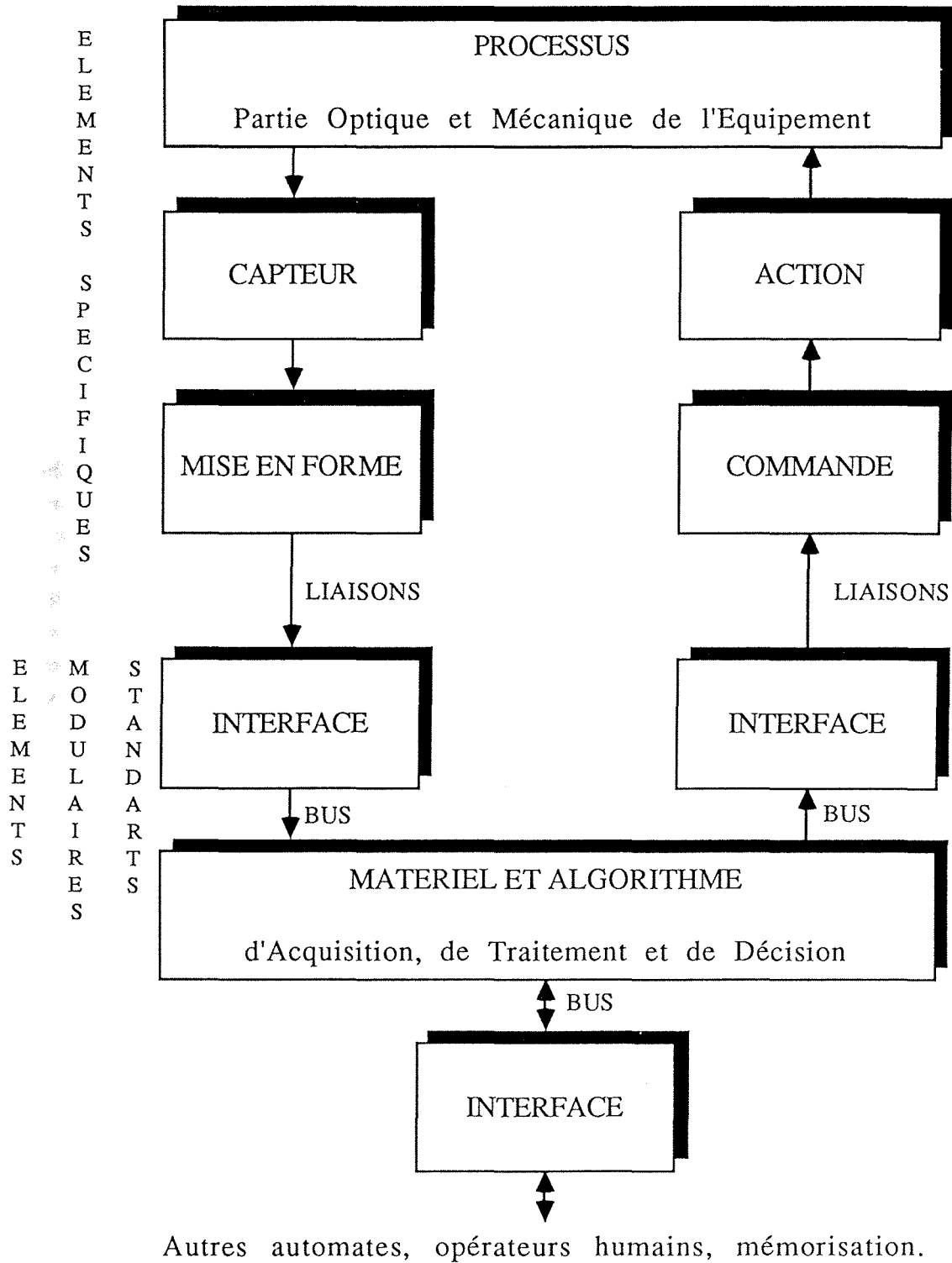


Figure III.8

ralentit pas l'appareil de mesure. On peut enfin revenir sur les données d'une mesure sans repasser par l'appareil de mesure proprement dit.

Ce mode de fonctionnement à balayage systématique de l'image est réalisé en déplaçant mécaniquement le pinceau lumineux d'analyse.

Le principe de fonctionnement de l'appareil de mesure automatique HPD (Hough Powel Device), met en oeuvre ce mode de balayage constitué par une trame de lignes parallèles dont l'automate de pilotage peut définir les coordonnées à l'origine et la longueur (Réf. 4).

Le SPIRAL READER (ou LSD), utilise un balayage en spirale autour d'un point ajustable dans le plan. Ce mode de balayage ne présente d'intérêt que pour les images dont la topologie correspond aux réactions de physique de particules et lorsque l'on positionne le centre de la spirale au vertex de l'interaction. Il s'agit d'un appareil spécifique à ce type de topologies.

III.5.2.4. Le choix réalisé

Nous avons choisi de constituer le quatrième élément de notre structure d'analyse à l'aide d'un appareil de mesure automatique du type HPD. Par rapport aux appareils à balayage aléatoire, il nécessite des moyens de calculs en ligne infiniment plus légers, donc moins chers que les appareils correspondants à l'option sélective. Il est de plus, d'usage plus général qu'un SPIRAL READER en raison de son mode de balayage par trame rectangulaire. Enfin, l'opérateur humain assure uniquement l'approvisionnement et la surveillance de l'appareil ce qui accélère le taux de mesure. Nous développons dans la suite, la réalisation de l'appareil automatique retenu : le HPD.

III.5.3. La philosophie structurelle

III.5.3.1. La fiabilité

Elle constitue un paramètre dominant dans l'efficacité d'un appareil automatique forcément complexe. En effet, un appareil dont la précision doit être inférieure ou égale à 2 microns est à la merci de la moindre variation d'un de ses éléments, ou de ses paramètres tels que température, hygrométrie, vibrations, réseau électrique, vieillissement des composants, poussière, fluctuation d'un des fluides l'alimentant et même variation des caractéristiques du film à mesurer.

S'il est relativement aisé en fin de traitement de données physiques, d'évaluer la qualité globale des mesures, il est par contre impossible par ce moyen, de constater une dérive lente ou intermittente, de l'évaluer, de la localiser et surtout de réagir à temps pour corriger le défaut en raison du délai important qui s'écoule entre cette phase et la mesure proprement dite.

Or à partir d'un certain degré de complexité, on constate d'une part que la probabilité est de 100% pour qu'en permanence, un au moins des paramètres soit hors tolérance, et d'autre part, qu'aucun opérateur humain n'est en mesure de contrôler en permanence tous les paramètres.

LA STRUCTURE DU HPD

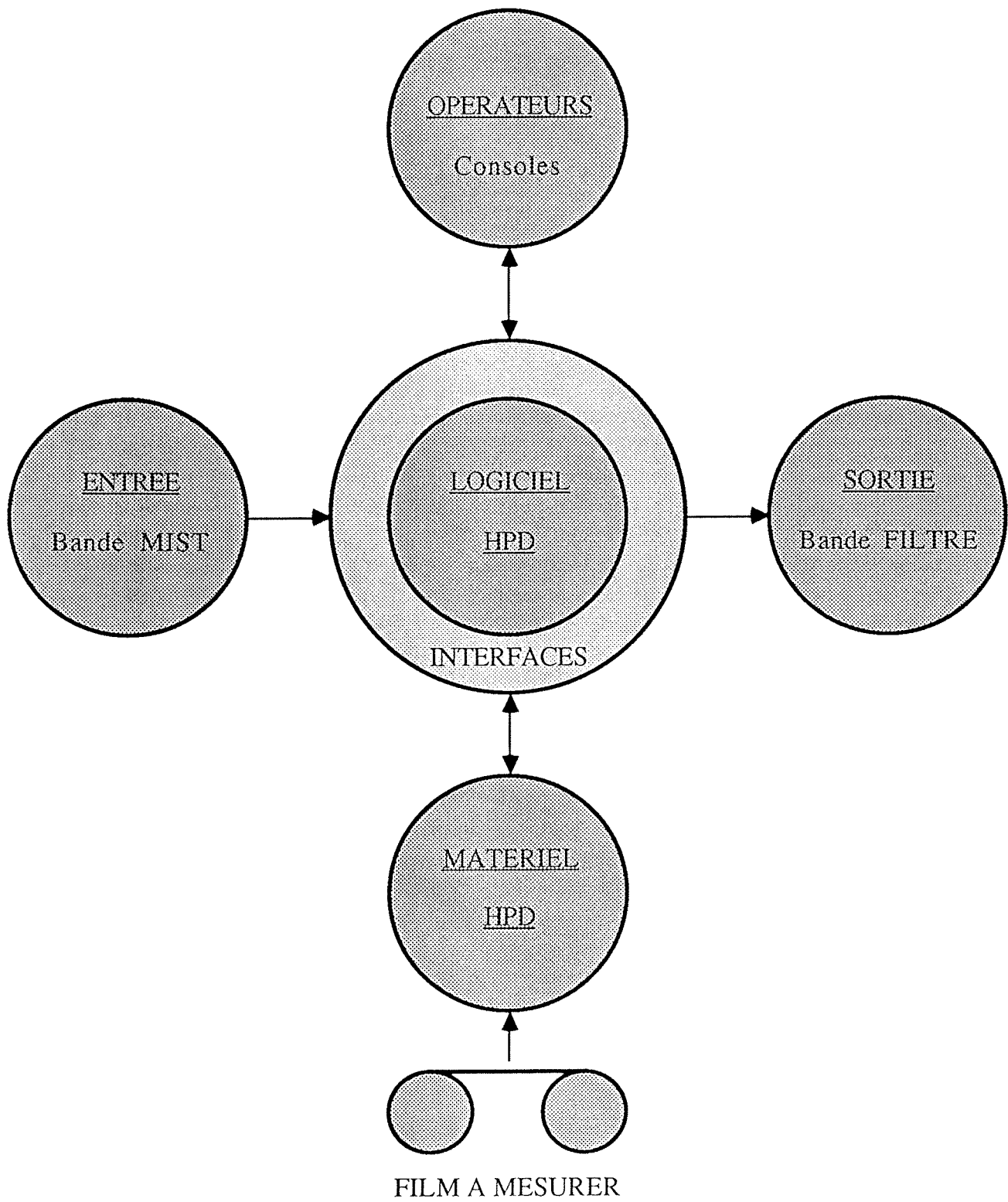


FIGURE III.9

Il faut donc développer une logique de surveillance programmée, mettant en oeuvre un algorithme de décision qui évalue l'importance des problèmes qui apparaissent invariablement, les localise et réagit de manière nuancée. Elle les signale à l'opérateur humain avec le diagnostic correspondant, des questions éventuelles et des alternatives possibles.

En cas de panne grave c'est-à-dire de résultats erronés ou de danger, le logiciel exécutant cet algorithme de surveillance arrête les fonctions correspondantes et interdit leur relance tant que le danger ou la panne subsiste.

Un programme de dépannage automatique INTERF peut être exécuté hors exploitation pour localiser et signaler avec précision la panne, le dépannage "manuel" étant impossible à partir d'un certain degré de complexité et en particulier dans les circuits interconnectés ou bouclés. Un tel programme est de plus indispensable dans le cas de pannes intermittentes impossibles à traquer autrement.

Dans le même ordre d'idées, la panne de l'ordinateur exécutant l'algorithme de surveillance a été envisagée. Son arrêt par coupure secteur ou RESET met automatiquement l'ensemble des fonctions dans un état d'initialisation et d'attente sans danger. L'exécution défectueuse d'un programme erroné perturbe le fonctionnement mais les éléments vitaux possèdent un verrouillage électronique prioritaire.

III.5.3.2. Les fonctions logiques

L'appareil automatique de mesure constitue un ensemble complexe de fonctions qui doivent être commandées en harmonie selon un algorithme logique. Nous avons dans un but de clarté et d'efficacité regroupé ces fonctions dans les ensembles logiques suivants :

- TF : transport de film
- HL : horloge temps réel
- PV : commande des puits à vide du film
- CR : commande X et Y des chariots de mesure
- XY : mesure des déplacements X et Y
- AW : acquisition du signal vidéo
- MM : transfert des données
- VIDEO : traitement du signal vidéo

Chaque ensemble logique comporte une part logicielle associée à une part électronique (Fig. III.8) et dialogue avec l'ensemble matériel mécanique et optique correspondant de l'appareil.

Le logiciel en temps réel y joue un rôle dominant (Fig. III.9). En effet, le contrôle de chaque ensemble logique est assuré par un algorithme programmé permettant à la fois la souplesse, l'efficacité et la fiabilité indispensable. Il assure l'essentiel des fonctions logiques et des séquences. Il assure également la communication avec les autres ensembles logiques au moyen d'interruptions hiérarchisées.

L'électronique assure la liaison entre le logiciel et les transducteurs. Elle comporte essentiellement deux maillons. D'une part le tiroir CAMAC qui contient l'interface standard de dialogue avec le logiciel via l'UNIBUS et la logique électronique spécifique à la fonction

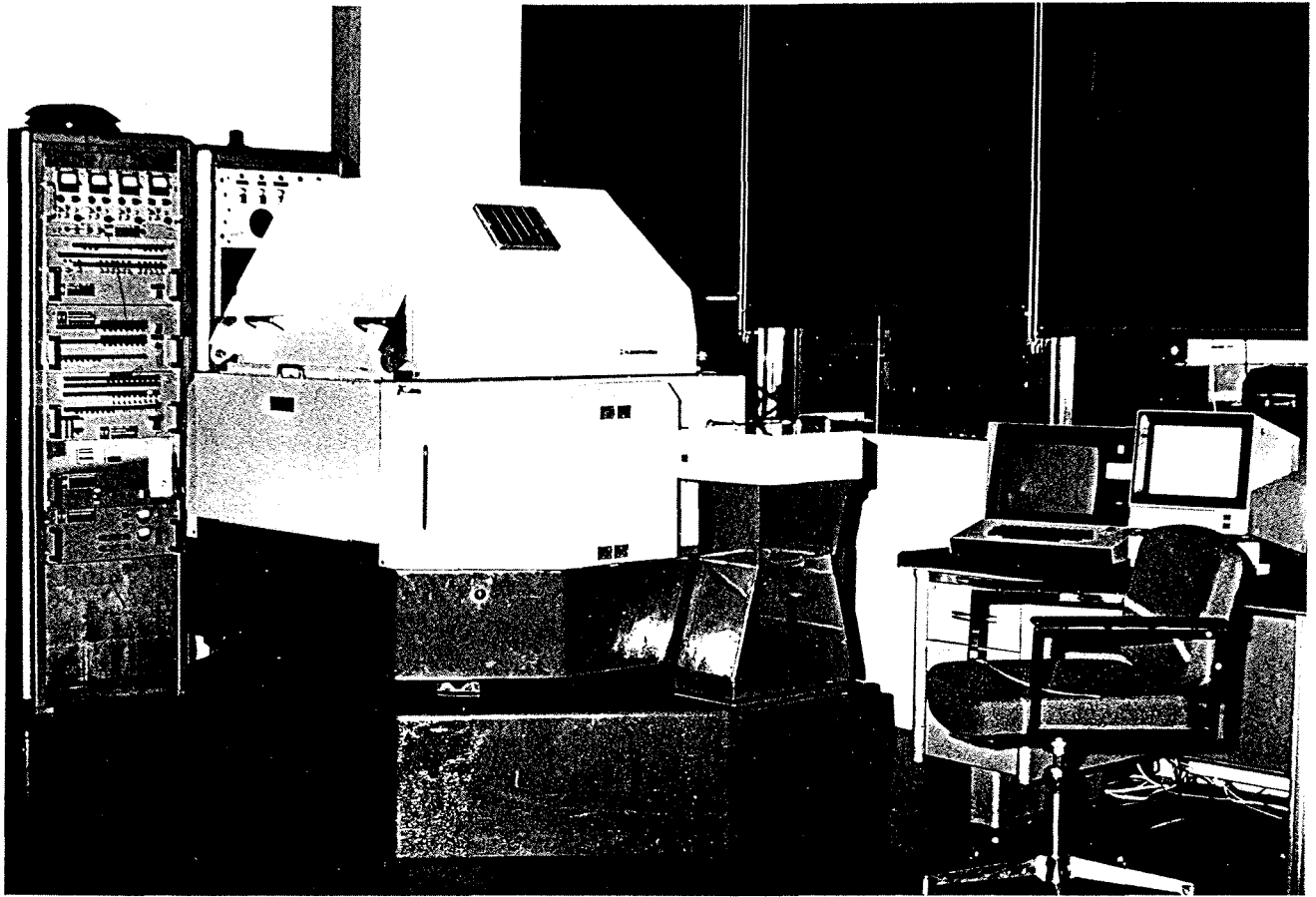


Photo III.16

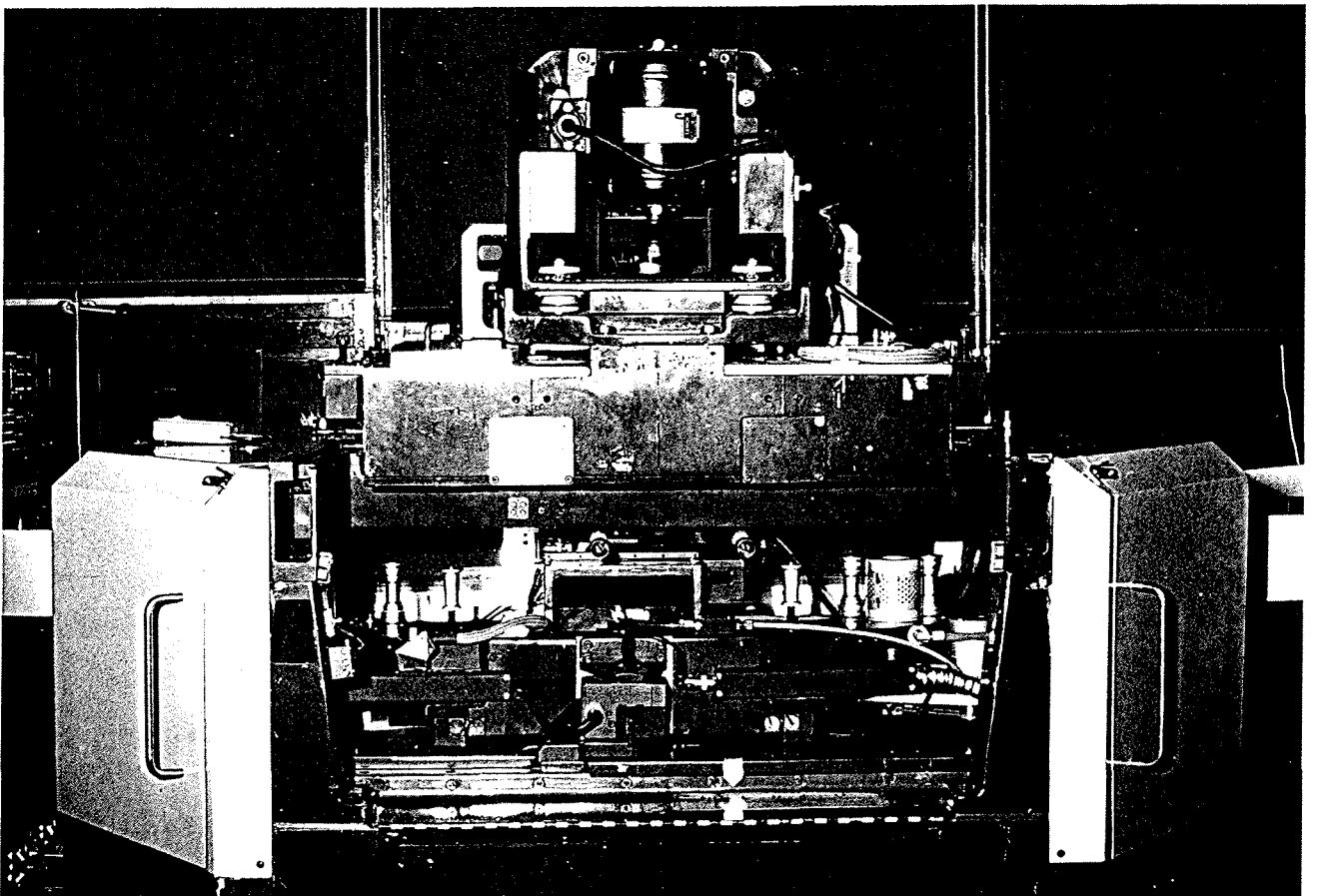


Photo III.17

à contrôler. D'autre part le ou les châssis de contrôle et de commande des transducteurs de l'appareil (mise en forme et codage des signaux, circuits de puissance, de simulation et de test). L'électronique se substitue à l'algorithme programmé pour les fonctions rapides (traitement analogique et numérique du signal vidéo), pour les fonctions de simulation et pour les sécurités vitales.

Le logiciel en temps différé intervient avant et après la phase de mesure proprement dite. Avant la mesure, il convient en effet d'élaborer les informations de pilotage sur la bande d'entrée MIST, comportant en particulier l'identité du cliché à mesurer et les informations de prémesure permettant de localiser l'interaction. Après la mesure il s'agit de traiter les données brutes de mesure contenues sur la bande de sortie FILTRE.

III.5.3.3. Le filtrage des données

Le filtrage de l'information qui détermine les trajectoires des particules sur le cliché analysé à partir du signal vidéo de balayage optique de l'image constitue une fonction complexe de traitement qui est assuré en mode hybride.

Le filtrage matériel des informations est effectué en temps réel le long de chaque ligne de balayage par traitement électronique analogique et numérique du signal pour en extraire les digitisations, constituant les données brutes de la mesure du cliché, ce qui revient à définir les coordonnées précises des intersections du spot lumineux avec un élément d'information du cliché analysé. Ces opérations sont effectuées dans le tiroir de traitement VIDEO pour la partie analogique et dans le tiroir AW pour la partie numérique qui lui succède.

Le filtrage logiciel prend en compte l'ensemble des digitisations de toutes les lignes de l'image pour en analyser la corrélation et mettre en évidence des structures d'alignements correspondant au phénomène physique enregistré et à partir desquelles sont déterminées les coordonnées du centre de croix de référence et de points résumés de traces. Ce filtrage est effectué en temps différé par le programme FILTRE sur l'ordinateur du Centre de Calcul.

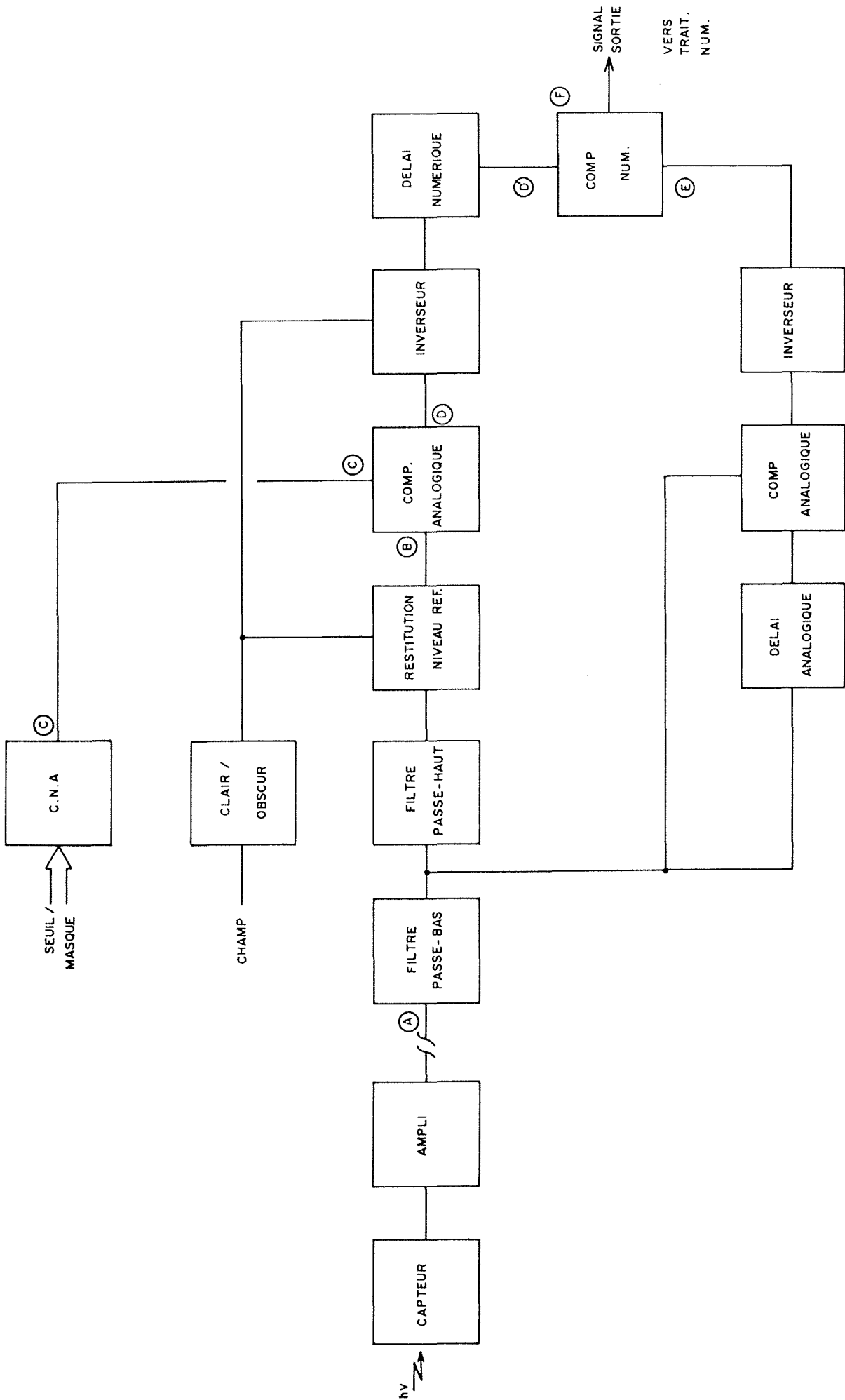
III.5.3.4. Le filtrage du signal des traces

Ce traitement du signal vise à éliminer tout signal parasite (optique ou électronique) pour ne laisser subsister que l'information fidèle des traces. A cet effet on réalise successivement les opérations suivantes.

- *La discrimination en fréquence.*

Elle vise à :

- . éliminer le bruit électronique et photographique de haute fréquence,
- . éliminer le bruit de fond de basse fréquence généré par les turbulences et les variations d'éclairage lors de la prise des données,



LE TRAITEMENT ANALOGIQUE DU SIGNAL

Figure III.10

- . restituer un signal de trace fidèle,
- . restituer un niveau de référence de "fond" défini et stable.

Ces coupures en fréquence sont assurées au moyen de filtres RLC passifs dont les caractéristiques (fréquences de coupure et pente) peuvent être ajustées en fonction de la nature du film analysé (Fig. III.10). Des diodes à faible seuil assurent la restitution du niveau du fond en fonction de la nature positive ou négative des clichés (Bright Field ou Dark Field).

- *La discrimination en amplitude.*

Elle vise à éliminer selon des critères d'amplitude, les signaux parasites qui correspondent au domaine spectral des traces. Le taux de réjection est ajusté en faisant varier le seuil de discrimination. Ce seuil, sous contrôle du processus est géré dynamiquement par le logiciel en fonction de multiples paramètres.

. *La zone de l'image balayée.*

La localisation du faisceau incident et celle des croix est connue et constante le long d'une période ce qui permet d'augmenter la sensibilité de l'appareil dans les zones présumées contenir de l'information. De même, cette sensibilité est réduite sévèrement dans les zones de l'image sur ou sous exposées systématiquement.

. *L'appréciation de l'opérateur.*

Ce dernier dispose de 4 sources d'informations : les indications de dépouillement et de prémesure, l'image vidéo d'une caméra permettant de scruter l'image à analyser, l'écran de la console alphanumérique de contrôle du processus qui fournit les indications sur le nombre de digitisations et l'écran de visualisation graphique qui fournit la représentation géométrique des digitisations. A la lumière de ces indications l'opérateur peut décider de modifier les différentes valeurs de discrimination, en amplitude et en localisation.

. *Le nombre de digitisations.*

Une option d'acquisition active un algorithme du contrôle de processus qui commande les différentes valeurs de discrimination à partir du nombre de digitisations par ligne de balayage et du nombre total de digitisations.

- *La discrimination en distance.*

Au regard de la dimension géométrique des objets à mesurer, les bulles, nous avons convenu de rejeter toute digitisation située à moins de 3 microns d'une donnée déjà enregistrée. Elle ne peut pas, en principe, représenter une information significative. Elle peut se manifester dans des zones très perturbées de l'image ou au contraire, lorsque l'on cherche à acquérir des données dans une zone d'image qui n'en comporte pas. La prise en compte de ces données pourrait saturer les circuits d'acquisition, les empêchant d'enregistrer des informations utiles.

Réponse spectrale trace

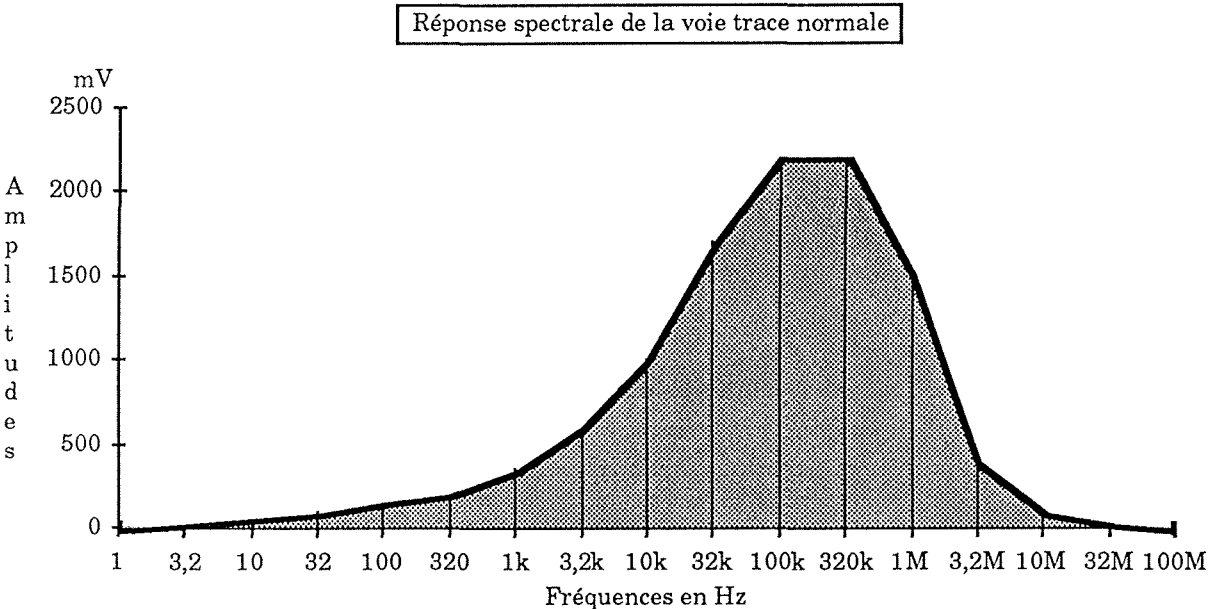


Figure III.11

Le traitement analogique du signal

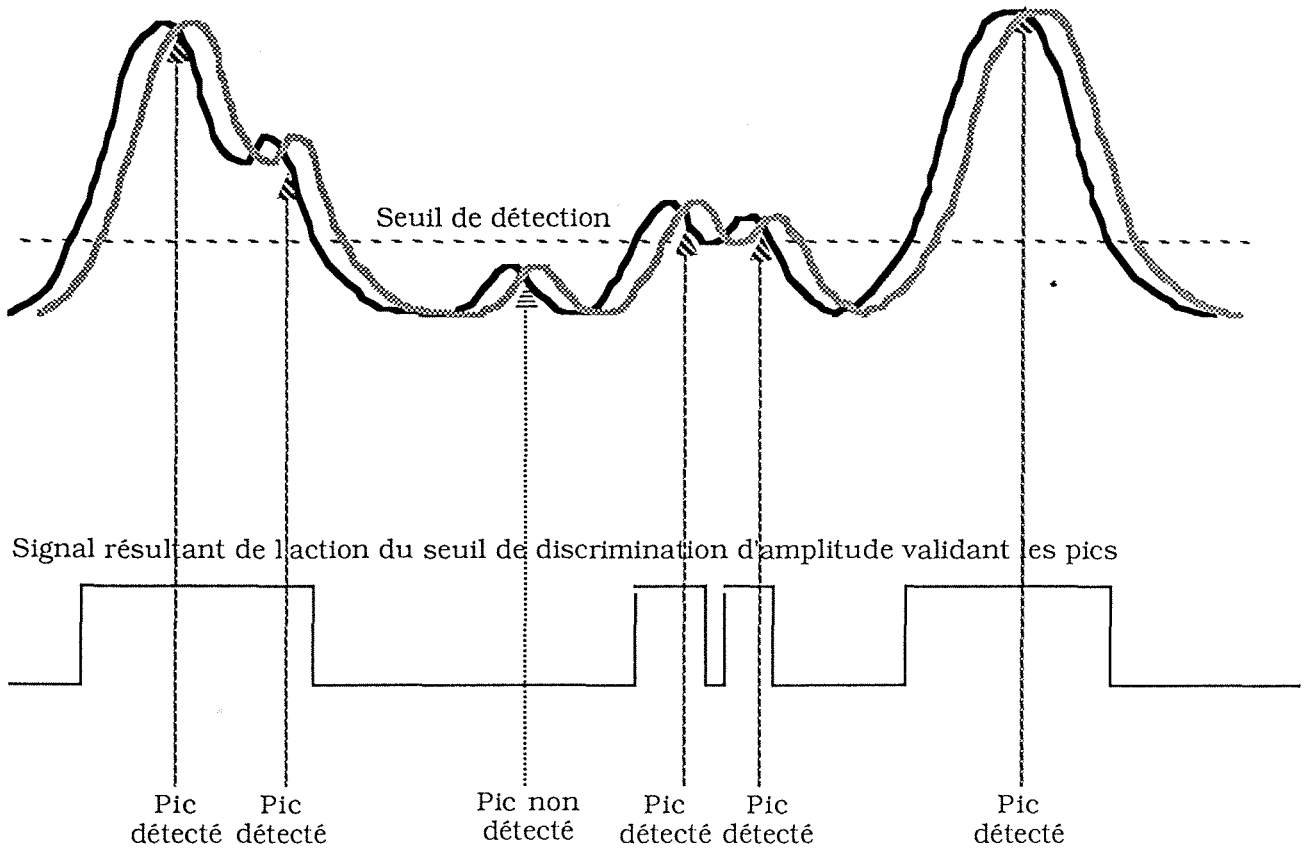


Figure III.12

III.5.3.5. La détermination de l'axe des traces

La trajectoire des particules que l'on cherche à déterminer correspond à l'axe des traces matérialisées par les bulles. Pour que les digitisations fournies par l'appareil de mesure représentent des points situés sur cet axe, il convient de rechercher le centre des bulles scrutées par le spot. En fait, on exploite l'information du signal trace, filtré, qui correspond à l'intersection de la trajectoire du spot d'analyse avec l'image de la bulle. Cette intersection ne passant pas forcément par le centre de la bulle.

Ainsi le "centre" du signal correspondra à l'axe de la trace à condition que le "filtrage" du signal de trace n'altère pas ses caractéristiques et que la trajectoire de la trace soit sensiblement normale à la trajectoire du spot. Ce centrage de trace est réalisé de deux manières.

- *Le milieu du signal de trace.*

Il est défini de la manière suivante. Le signal de trace est qualifié par le fait que son amplitude excède le seuil de discrimination. La distance qui correspond à ce dépassement est mesurée numériquement, divisée par deux et ajoutée à la valeur W du premier passage du seuil. On obtient ainsi en temps réel la valeur W du milieu du signal de trace. Ce dispositif est disponible sur notre appareil et a été largement utilisé. Toutefois, lorsque l'amplitude du signal de trace est faible devant les variations de fond, l'action indispensable des circuits de filtrage introduit des rotations de phases nuisibles à la fidélité du dispositif. Pour les expériences à haute résolution dont les clichés sont généralement peu contrastés, nous préférons une seconde technique.

- *Le pic du signal de trace.*

Il est défini par sa rupture de pente. Pratiquement, cette information est élaborée dans les blocs fonctionnels "Délai analogique", "Comparateur analogique", et "Inverseur" qui constituent le détecteur de pic de la figure III.10. La comparaison du signal de trace direct avant filtrage avec le même signal très légèrement retardé fournit un signal de pic "E" qui sera qualifié dans l'étape suivante. Pour les clichés à haute résolution et à faible contraste, cette information s'avère plus fidèle que celle issue de la méthode précédente de calcul du milieu du signal de trace. Il est important de noter que le signal du détecteur de pic est prélevé après le filtre passe-bas et avant le filtre passe-haut. En effet, le filtre passe-bas n'altère pas le profil du signal mais permet un fonctionnement correct du détecteur de pic, alors que le filtre passe-haut, qui permet la restitution du fond au prix d'une légère distorsion du profil, est nécessaire au fonctionnement correct du discriminateur d'amplitude.

- *La qualification du signal de trace.*

Comme exposé précédemment, une réduction des données est nécessaire. Elle a lieu dans le bloc fonctionnel "Comparateur numérique" en validant le signal "E" du détecteur

Distribution des distances entre digitisations successives

Distribution des DeltaW d'un cliché de mesure

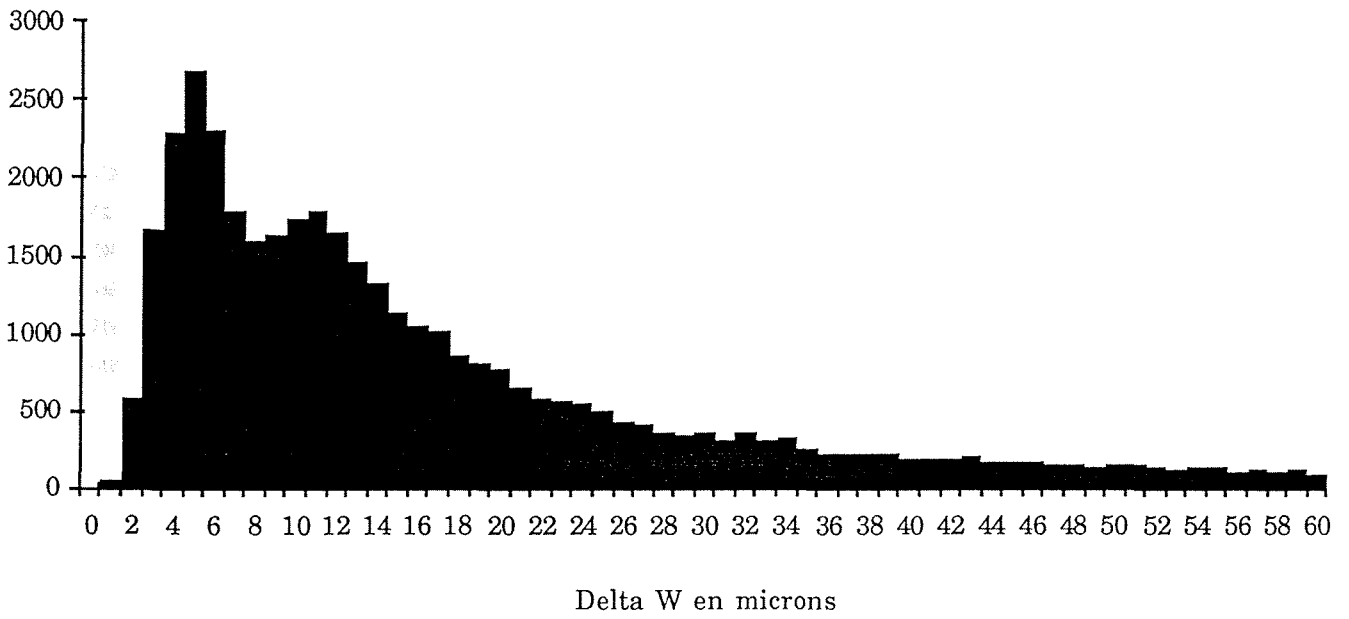


Figure III.14

de pic par le signal "D", correctement équilibré en temps, de dépassement du seuil de discrimination d'amplitude. Le signal de sortie "F" est acheminé vers le traitement numérique où il subit notamment la discrimination en distance mentionnée précédemment. Les signaux correspondants au fonctionnement du détecteur de pic sont représentés sur la figure III.12. Ce dispositif est utilisé systématiquement pour nos mesures.

- *La discrimination de forme.*

Un tel dispositif a été testé dans le passé. Il n'est pas utilisé avec les clichés actuels dans la mesure où il ne procure pas de gain significatif de filtrage pour une mise en oeuvre délicate. Son principe repose sur le codage numérique du signal selon la modulation delta. Cette information "glisse" en temps réel devant un comparateur numérique qui détermine la plus ou moins grande similitude de cette configuration avec une configuration de filtrage de référence paramétrable.

- *Les résultats.*

Après que nous ayons étudié les caractéristiques de l'appareil sur des mesures de mire, les résultats réels sont évalués sur de vraies mesures de traces. La figure III.13 montre les digitisations d'une trace horizontale réelle. La dispersion maximum des points est de 5 microns pour des bulles de 20 microns de diamètre.

La figure III.14 montre la distribution des distances entre digitisations successives (ΔW). Le spectre est continu et plonge vers zéro pour des valeurs de 3 microns. Les résultats obtenus avec cette technique de digitisation sont satisfaisant en regard de l'information réellement disponible sur le film. Il nous semble qu'une évolution significative des performances n'est possible qu'au moyen d'un traitement numérique du signal, associé ou non aux techniques traditionnelles de traitement d'image.

III.5.4. L'Optique

L'appareil de mesure du type HPD fait appel au principe de balayage systématique du cliché par un pinceau lumineux fin selon une trame rectangulaire de lignes parallèles.

III.5.4.1. La génération de la ligne de balayage

Une source lumineuse intense constituée par une lampe à vapeur de mercure éclaire uniformément une fente définissant la ligne de balayage (Fig. III.15). Le balayage proprement dit le long de cette ligne est assuré par le déplacement uniforme le long de la première fente d'une seconde fente perpendiculaire à la première. L'intersection des deux fentes définit le point lumineux dont l'image constitue la ligne de balayage sur le cliché. En réalité, les fentes sont constituées de fibres optiques éclairées perpendiculairement à leur axe et jouant ainsi le rôle de lentille cylindrique. Le déplacement de la fente mobile est réalisé au moyen d'un disque tournant, comportant huit fentes radiales équipées de fibres optiques. Ces fibres mobiles ne sont pas rectilignes mais de forme élaborée de sorte que leur intersection avec la fibre fixe génère un pinceau lumineux circulaire dont le déplacement soit linéaire dans le temps. La durée totale de balayage d'une ligne est de 5 millisecondes. La vitesse du spot sur le cliché est de 12 microns/ μ s. Le diamètre à demi-intensité du spot est inférieur à 10 microns.

III.5.4.2. Le repérage le long de la ligne de balayage

Bien que toutes les précautions aient été prises pour obtenir une ligne de balayage linéaire dans l'espace et dans le temps, le résultat est insuffisant pour répondre à la précision de mesure recherchée. Il faut donc repérer en temps réel la position du spot lumineux dans l'espace du cliché et non dans le temps.

Pour ce faire, le faisceau lumineux est séparé en deux. Une partie, focalisée sur le film au moyen d'un objectif, balaye le cliché pendant que l'autre partie, focalisée sur une règle graduée de précision, le réseau, fournit le repérage de la position du spot dans l'espace, le long de la ligne de balayage. Une interpolation linéaire dans le temps entre deux graduations successives permet d'atteindre la résolution recherchée. Elle est de $25,4/16 = 1,5875$ microns. Nous appellerons W la mesure de position instantanée du spot le long de cette ligne de balayage.

III.5.4.3. La mesure le long du balayage

Le balayage du réseau par le spot lumineux fournit un signal optique périodique modulé en amplitude qui, condensé sur un tube photomultiplicateur, fournit un signal électrique de repérage dont l'amplitude est proportionnelle au signal optique (Fig. III.16).

Parallèlement le balayage du cliché par le spot lumineux fournit un signal optique modulé en fonction de la densité optique ponctuelle de l'image. Le tube photomultiplicateur recueille cette lumière pour obtenir un signal électrique "vidéo" dont l'amplitude traduit linéairement les densités du film le long de la ligne de balayage. L'intersection du spot avec une information (trace, croix, poussière, etc...), se traduit par un pic du signal vidéo.

Structure optique du HPD

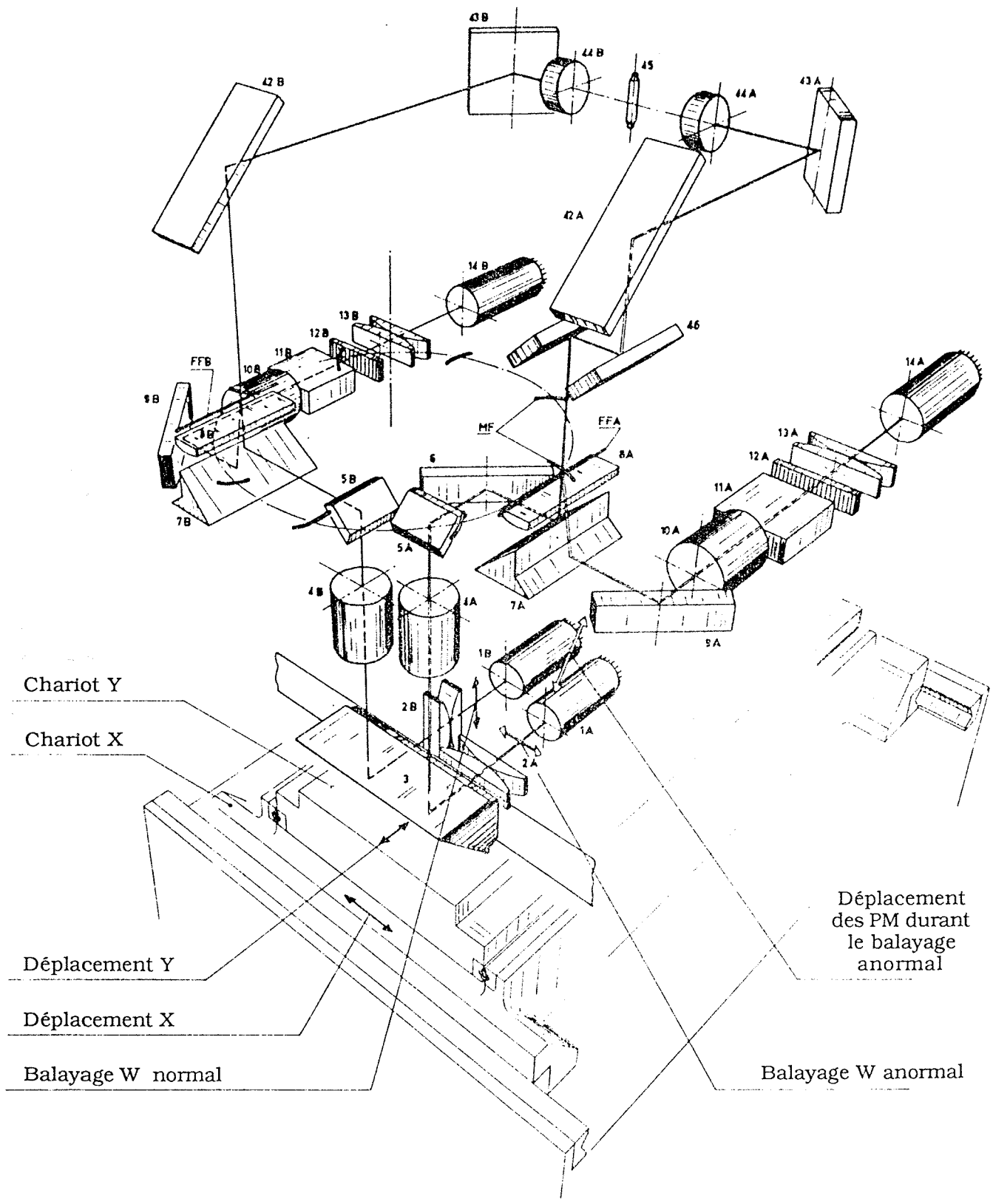


Figure III.15

Les signaux fournis par les photomultiplicateurs réseau et trace sont préamplifiés immédiatement à l'aide de circuits à grand facteur de mérite. Ils sont adaptés en vue de leur transmission vers l'électronique de traitement chargée de la mesure proprement dite.

III.5.4.4. Le balayage anormal

Lorsque la ligne de balayage est sensiblement perpendiculaire aux traces du cliché à mesurer, il n'y a pas de problème. Par contre, les traces formant un angle faible par rapport à la ligne de balayage posent un problème, l'intersection n'étant pas franche et le pic difficile à extraire du bruit.

Il est donc nécessaire de disposer sur l'appareil d'une seconde ligne de balayage perpendiculaire à la première. Nous la nommons balayage anormal. Sa réalisation revient à dédoubler tout ce qui a été décrit plus haut, les seuls points communs entre les deux balayages étant la source lumineuse et le disque. La commande d'un ou plusieurs balayage anormaux après le balayage normal est donnée par le logiciel temps-réel à partir des informations de prémesures fournies par la bande de pilotage MIST.

III.5.5. La Mécanique

III.5.5.1. Les chariots

Pour balayer un cliché entier à l'aide de la ligne définie en III.5.4.1. il convient de lui appliquer un mouvement de translation linéaire dans l'espace et dans le temps selon une direction perpendiculaire. La mesure de cette translation fournit la coordonnée X. Une translation perpendiculaire Y, donc parallèle à la ligne de balayage normal, fournit l'ordonnée à l'origine de cette dernière. Dans le cas d'un balayage anormal, les rôles de X et Y sont permutés.

Ces deux déplacements sont réalisés en fixant le presse-film, qui maintient de manière rigide et sans contraintes le cliché à mesurer, sur deux chariots de précision, perpendiculaires, eux-mêmes fixés sur une base massive rigide, précise et horizontale (Fig. III.17). Leur déplacement est assuré au moyen de vérins hydrauliques commandés par un ensemble de vannes et de régulateurs de débit. Leur commande est assurée par l'ensemble fonctionnel CR (chariots).

Chacun de ces chariots est équipé d'un codeur incrémental et de repères de fin de course fournissant une mesure de leur déplacement à 2 microns près. Ce repérage est sous contrôle de l'ensemble fonctionnel XY, qui fournit également à CR des tops tous les 1024 pas, pour permettre un pilotage grossier.

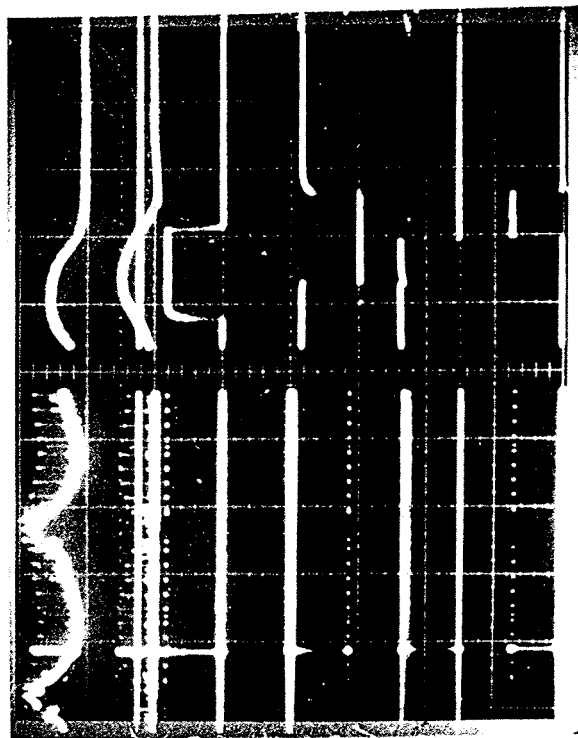
Ainsi, en première approximation, la mesure d'un point d'un cliché sera définie par X, déplacement selon X de la ligne de balayage, et par la somme de Y_0 , ordonnée à l'origine de la ligne de balayage et de la position W du spot lumineux le long de cette dernière.

III.5.5.2. Le transport du film

Les films à mesurer étant disponibles sous forme de bobines de plusieurs centaines de clichés, il convient de les dérouler, le plus vite possible mais surtout sans contraintes et

Figure III.16

CHRONOGRAMMES



A B C D E F

2 ms / cm

2 μ s / cm



A B C D

\sim 0,5 ms / cm

CHRONOGRAMMES DES SIGNAUX

sans rayures, de manière à amener le cliché souhaité avec précision dans le presse-film où il est fixé par aspiration. Un système opto-électronique, adjacent au presse-film, repère le passage de chaque cliché.

Cette fonction de déplacement du film est sous contrôle de l'ensemble fonctionnel TF (transport film). Pour atténuer les contraintes appliquées au film les bobines de déroulement et d'enroulement sont isolées mécaniquement de la mesure proprement dite par des puits à vide sous contrôle de l'ensemble fonctionnel PV.

III.5.5.3. Les fluides

L'ensemble des fluides nécessaires au fonctionnement du HPD est généré dans des locaux techniques ad hoc. Il s'agit de la climatisation, de la pression hydraulique pour le déplacement des chariots, de l'air comprimé pour l'ouverture du presse-film, de la dépression pour les puits à vide et du vide pour le presse-film et la succion des cabestants.

III.5.6. L'Electronique

III.5.6.1. Le codage des capteurs, les transmissions

Chaque capteur de l'appareil est associé à un ensemble logique qu'il alimente en information. Cette information issue d'un interrupteur, d'un pressostat, d'un vacuostat, d'une photo-diode, d'un photomultiplicateur ou d'un capteur de déplacement doit être codée et amplifiée correctement en vue de sa transmission à la fonction logique. Les circuits électroniques qui assument ce rôle sont localisés physiquement dans l'appareil de mesure proprement dit ou plus généralement dans des châssis regroupés dans une baie à proximité immédiate de l'appareil. Chacun de ces châssis est connecté à un ensemble logique spécifique. Leur face avant est pourvue de voyants visualisant le fonctionnement des capteurs. Des clés permettent leur simulation dans la plupart des cas.

III.5.6.2. La fonction logique, les interfaces

Elle est assurée par l'ensemble -électronique de décodage, logique électronique câblée, interface, algorithme programmé, circuits électroniques de décodage et de transmission- (Fig. III.18). Les éléments matériels de cet ensemble, appelés "Interfaces Standards" sont décrits en III.1.2.. Etroitement associés aux éléments logiciels de l'ordinateur, ils sont physiquement localisés dans un châssis CAMAC intégré à ce dernier. Chacun de ces tiroirs assume un rôle spécifique. Ils disposent potentiellement chacun de 8 registres de 16 bits et de 4 possibilités d'interruptions vectorisées. Ces dernières pointent en fait l'adresse à laquelle se trouve l'adresse de la routine d'interruption suivie d'un mot PSW donnant les informations sur le contexte au moment de l'interruption. L'adresse des registres, tels que les voit le logiciel ainsi que l'affectation des bits à l'intérieur des registres est résumée en appendice pour chaque fonction. Les valeurs des vecteurs d'interruption sont précisées également.

On distingue essentiellement les fonctions suivantes :

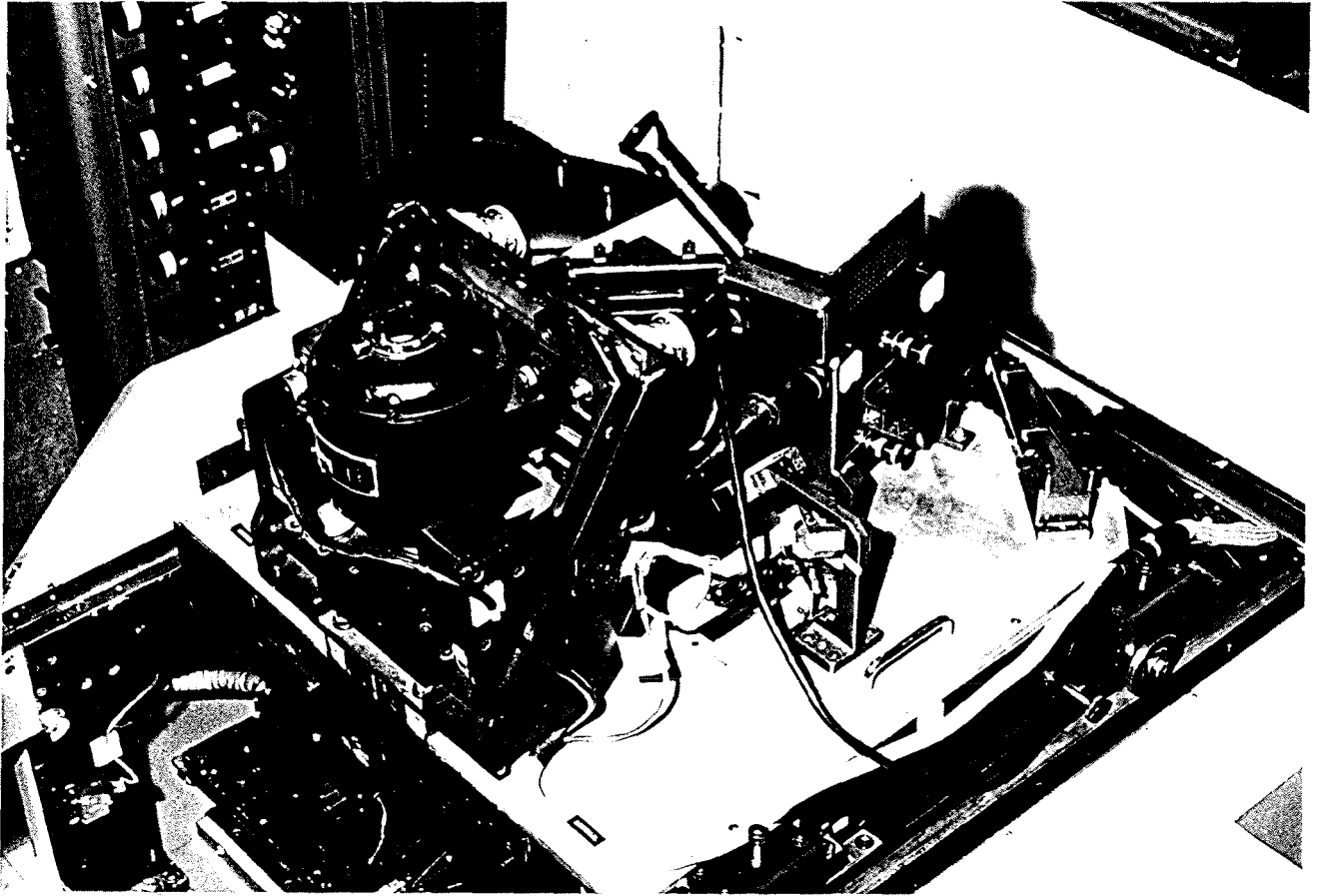


Photo III.18

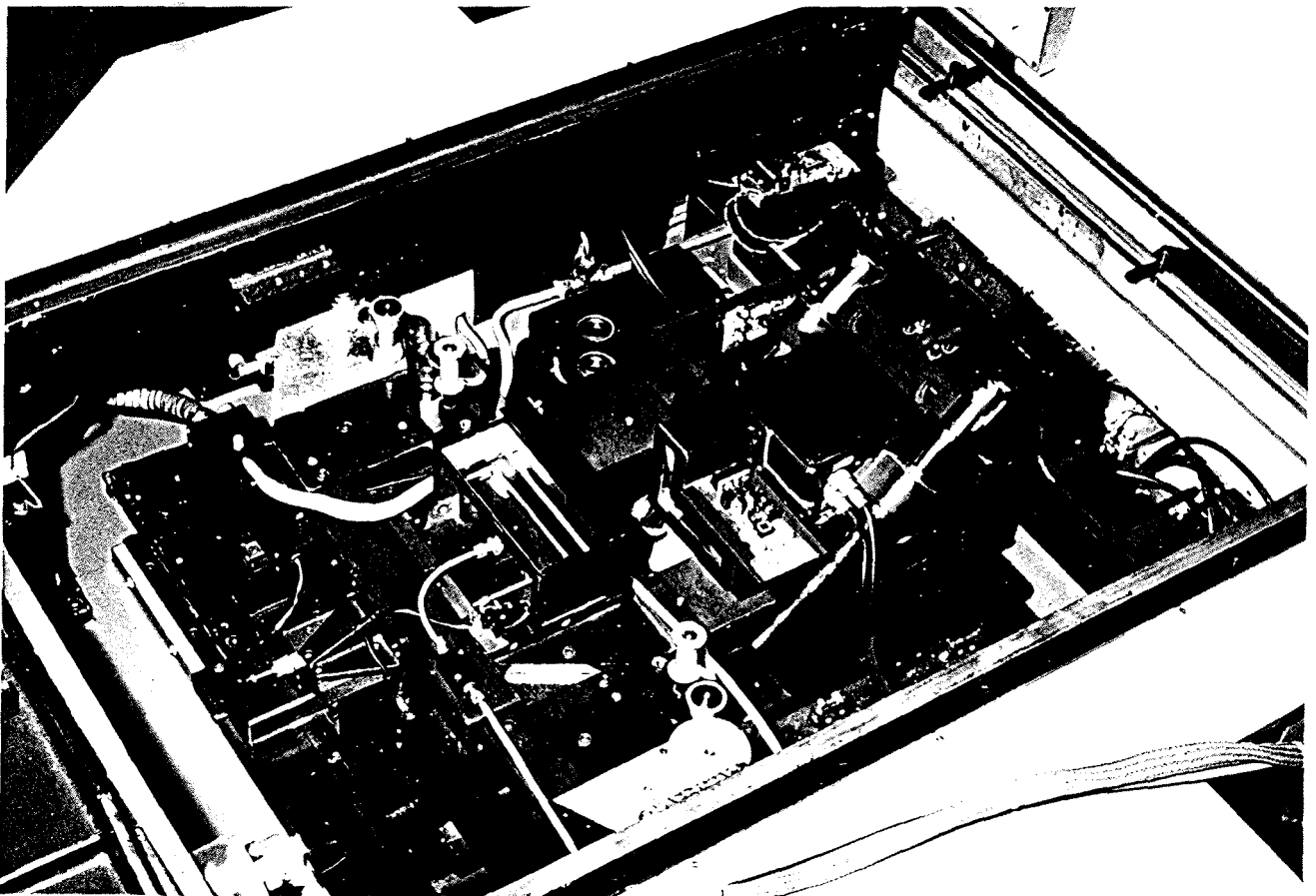


Photo III.19

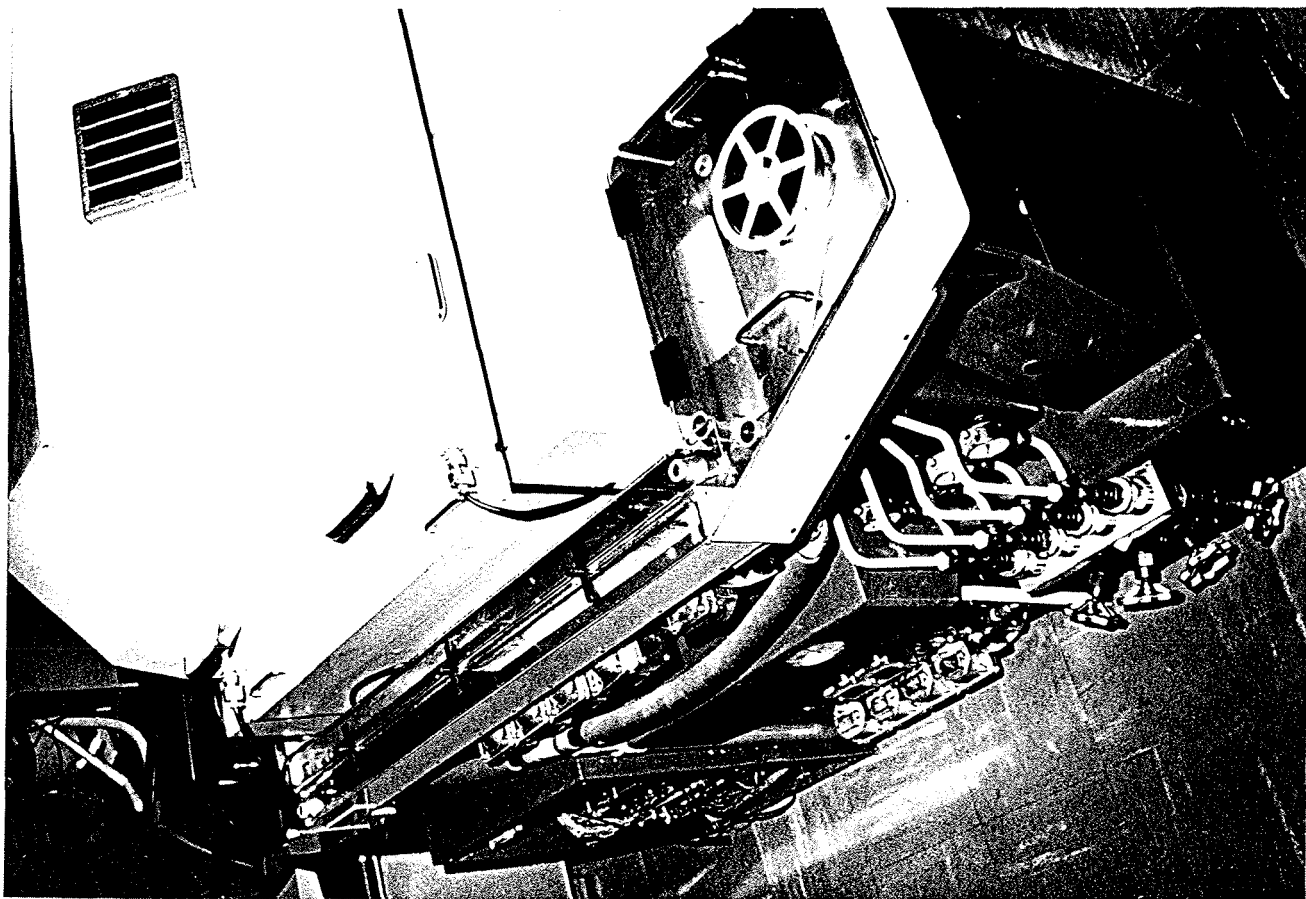


Photo III.20

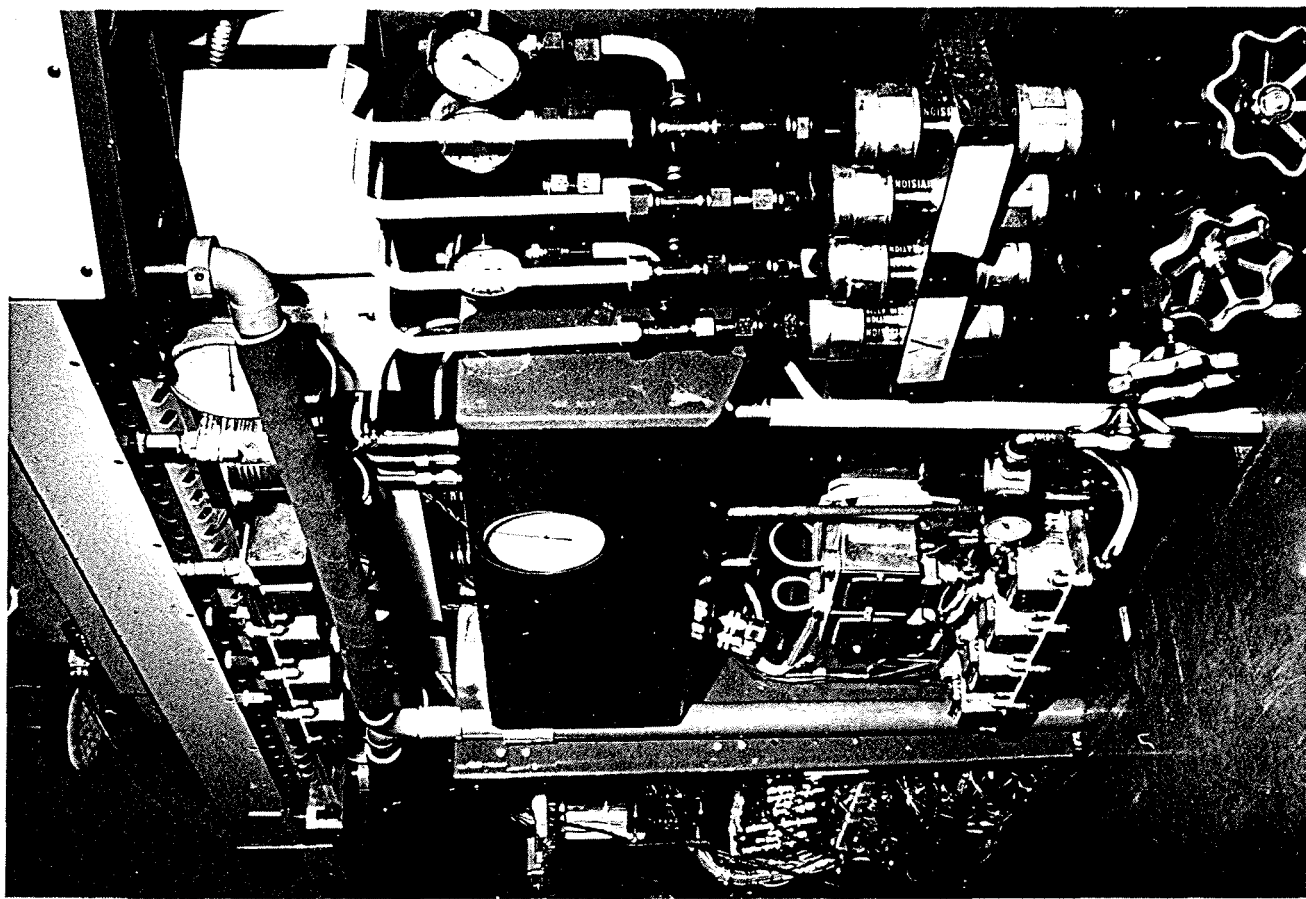


Photo III.21

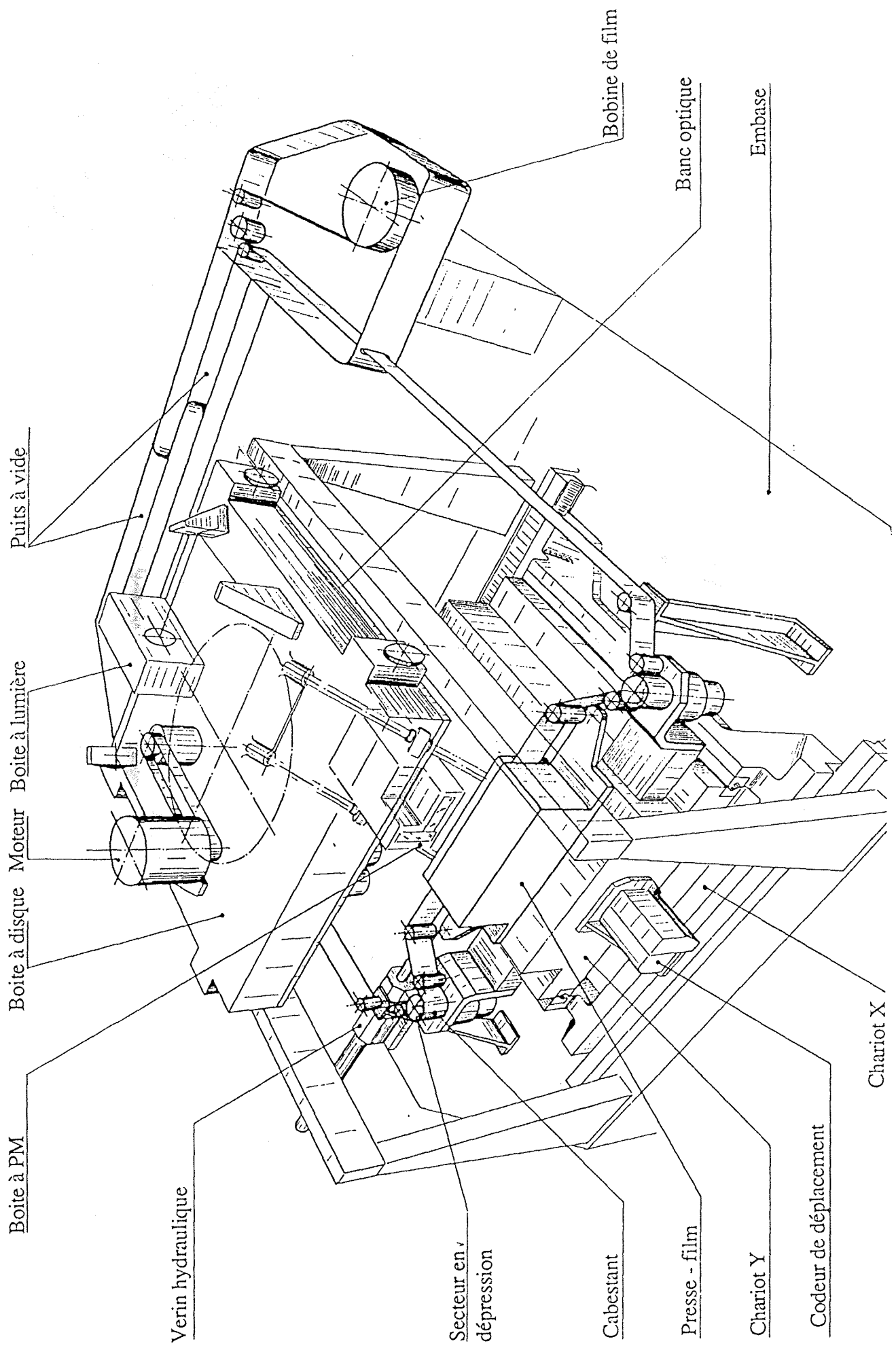


Figure III.17

- TF - chargé de la logique de transport du film il active notamment le cabestan de déplacement du film et le presse-film. A l'avant de chaque cliché, la zone de la Data Box qui regroupe les informations d'identification des clichés comporte une Marque Brenner qui est décodée au vol par TF. Le numéro du cliché est décodé par le logiciel en temps réel après son acquisition.
- HL - physiquement implanté dans le tiroir TF, l'horloge de temps réel HL constitue un périphérique indépendant. Il sert de base de temps précise au logiciel pour des incréments compris entre 100 microsecondes et 100 secondes.
- PV - chargé de la gestion des puits à vide il scrute une batterie de vacuostats et commande le mouvement des bobines de film de manière à infliger le minimum de contraintes à ce dernier.
- CR - il effectue le pilotage des chariots X et Y déplaçant ainsi le presse-film pour la mesure, au moyen de la commande par vannes de vérins hydrauliques.
- XY - il permet une mesure à 2 microns près de la position des chariots X et Y ainsi que le repérage à 2,048 mm près en vue de leur pilotage
- VIDEO - le traitement vidéo assure la transformation des signaux vidéo issus des photomultiplicateurs réseau et trace en signaux numériques.
- Pour la voie "réseau" il calibre l'amplitude des signaux, reconstitue les signaux dégradés ou absents, discrimine la période noire entre deux lignes de balayage et fournit des impulsions rectangulaires correspondant au réseau c'est-à-dire correspondant à des déplacements de 25,4 microns du spot.
- Pour la voie "trace", il réalise une discrimination des signaux en fréquence, en pente et en amplitude visant à ne conserver que les signaux porteurs d'information selon des critères de fréquence et d'amplitude. La discrimination de pente localise le pic du signal correspondant aux extrémums de densité du cliché.

Ce tiroir est physiquement logé dans le châssis CAMAC à côté de AW qu'il alimente en données. Il n'est toutefois accessible au logiciel qu'à travers AW.

- AW - A partir des signaux élaborés par le traitement vidéo, ce tiroir génère la position instantanée du spot le long de la ligne de balayage. Il assure une interpolation précise entre les traits du réseau pour atteindre une résolution de 1,5875 microns. Il calcule numériquement le centre des pics et gère le transfert des données vers le prochain tiroir en particulier dans le cas de débits instantanés élevés. Il définit également pour le tiroir de traitement vidéo le niveau dynamique du seuil de discrimination d'amplitude ainsi que la nature négative ou positive du film à mesurer qui lui est fourni à partir des titres propres à l'expérience. Les données

issues de ce tiroir peuvent être transférées par accès direct à la mémoire centrale de l'ordinateur de contrôle et d'acquisition à l'aide du module DR 11B de Digital Equipement. Nous lui préférons actuellement un mode de transfert programmé par interruption de blocs de données. Ce mode, instantanément plus long mais statistiquement plus rapide permet une utilisation plus rationnelle du temps machine. Il nécessite toutefois l'utilisation du tiroir suivant.

MM - il s'agit d'une double mémoire tampon en flip-flop dont une moitié est remplie par des données AW correspondant à une ligne de balayage du spot pendant que l'autre moitié, contenant les données de la ligne précédente, est lue par l'ordinateur en mode programmé.

Les tiroirs interfaces et contrôleurs de terminaux de visualisations alpha-numériques bien qu'utilisés pour le HPD ne sont pas analysés ici car non spécifiques à cette application.

Les tiroirs fonctionnels d'interface, localisés dans le châssis CAMAC permettent par leur modularité, dépannage et modification future aisée.

III.5.6.3. La commande

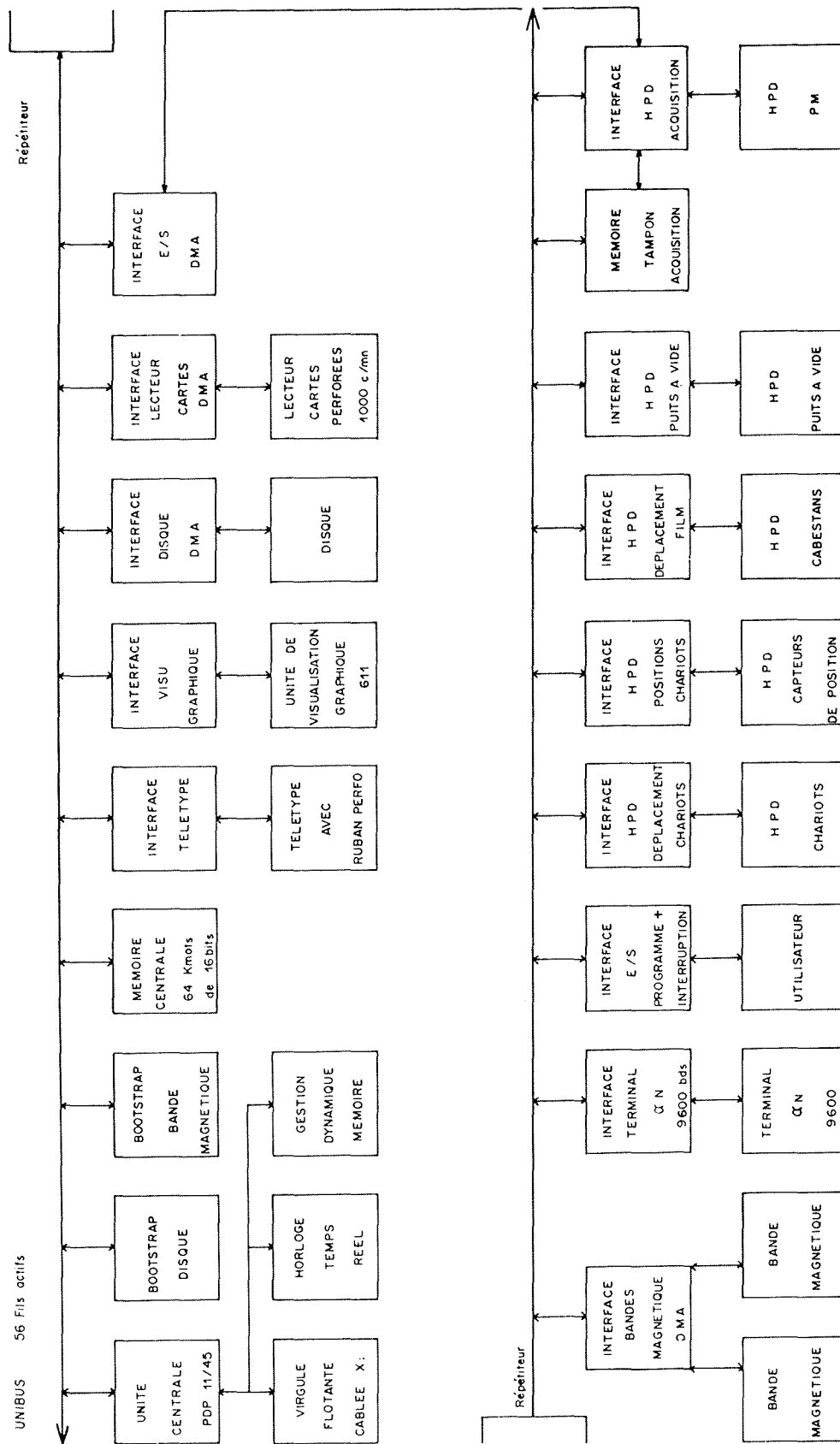
Symétriquement aux capteurs, la commande issue du tiroir logique d'interface doit être communiquée, décodée, et appliquée après amplification aux organes d'action : vérins hydrauliques, moteurs, vannes etc ... Ce rôle est assuré par des circuits électroniques spécifiques, localisés pour un ensemble logique donné dans les mêmes châssis que ceux des capteurs, à proximité du HPD. La face avant comporte là aussi des voyants de visualisation et clés de simulation.

III.5.7. Les Programmes

Le logiciel constitue le pivot de la structure de mesure automatique (Fig. III.9). Il assure le contrôle du processus, l'acquisition et le traitement des données. Il assure également le dialogue avec l'opérateur dans les deux séquences essentielles de la mesure automatique : la digitisation du film d'une part et le filtrage interactif de ces digitisations d'autre part.

Bien que le fonctionnement du HPD ne nécessite normalement pas d'intervention de l'opérateur, celui-ci suit le déroulement des opérations sur les écrans de contrôle (Fig. III.19). Il dispose à cet effet d'un terminal de visualisation alphanumérique pour dialoguer avec le processus, d'un écran graphique qui visualise les digitisations sous forme de points et d'un écran vidéo permettant de scruter optiquement le cliché à mesurer pour vérifier numéro de photo et cadrage en cas de défaillance des fonctions automatiques homologues.

L'opérateur peut être amené à intervenir de sa propre initiative s'il estime nécessaire de modifier un des paramètres de la mesure (seuil de discrimination, masque etc ...). Il



LE MATERIEL DU CONTROLE DE PROCESSUS ET DE L'ACQUISITION DU H.P.D

Figure III.19

peut être amené à intervenir également à l'initiative du logiciel pour une manipulation de routine (changement de film) ou suite à une alarme d'un paramètre hors norme.

L'intervention de l'opérateur dans la séquence du filtrage interactif est traité en III.6.

III.5.7.1. Le temps réel

Le langage de programmation Macro-Assembleur a été utilisé pour des programmes devant s'exécuter en temps-réel. Ceux-ci concernent essentiellement deux applications : d'une part le contrôle, le pilotage et l'acquisition du HPD et d'autre part la gestion d'une liaison synchrone à haut débit (100 kbps) avec l'ordinateur du Centre de Calcul pour la soumission des programmes de traitement en temps différé.

La philosophie ayant présidé au contrôle et au pilotage de l'appareil consiste à entreprendre une action en réponse à une interruption. Les interruptions étant individuellement vectorisées et hiérarchisées, aucun conflit ne peut apparaître et les tâches sont exécutées dans l'ordre de leur priorité qui peut d'ailleurs être gérée dynamiquement. Ainsi, on trouve en dernière priorité des tâches de routine ou de régénération d'écrans de visualisation alors que les tâches d'acquisition et de stockage des informations ont une priorité très élevée.

Les différentes tâches pouvant être activées par programme ou par interruption sont regroupées en autant d'ensembles fonctionnels symétriques du matériel auquel elles se trouvent associées. Elles peuvent être inhibées individuellement au moyen des clés de l'ordinateur que le superviseur des tâches vient scruter régulièrement.

Ce superviseur constitue le squelette du programme MHPD qui active et désactive les tâches en fonction des besoins.

Il dialogue essentiellement avec trois interlocuteurs : la composante matérielle du HPD, l'opérateur et les périphériques standard de l'ordinateur : Bandes magnétiques MIST en entrée, FILTRE en sortie, consoles, etc ... (Fig. III.20). Chacun de ces interlocuteurs peut intervenir dans le déroulement de la séquence en cours.

Quand l'intervention provient du HPD lui-même ou des périphériques standards, elle vise généralement à signaler à l'opérateur de la machine, une erreur de fonctionnement et à attendre une réponse ou une initiative de celui-ci (par exemple : Bip, Erreur de décodage du numéro de photo, Vérifier sur l'écran de TV).

Quand l'intervention provient de l'opérateur, elle vise à interrompre la séquence de mesure pour une raison ou une autre par exemple : modification d'un des paramètres de la mesure (seuil de discrimination d'amplitude).

Les fonctions principales du superviseur MHPD sont résumées dans le Tableau III.1 avec les fonctions matérielles auxquelles elles s'adressent. L'ensemble du programme comporte 23 400 octets auxquels il convient d'ajouter 10 600 octets affectés à la procédure Full Duplex de liaison BATCH avec l'ordinateur du Centre de Calcul.

III.5.7.2. Le temps différé

Les programmes exécutés en temps différé concernent le traitement de données *avant* et *après* la digitisation du film par le HPD.

- Localement, on exécute les programmes de calibrations simples (OPTIC), les programmes de tests (INTERF, MMTEST) de mise au point, de simulation, ainsi que les

Les organes de l'exploitation du HPD
La circulation des données

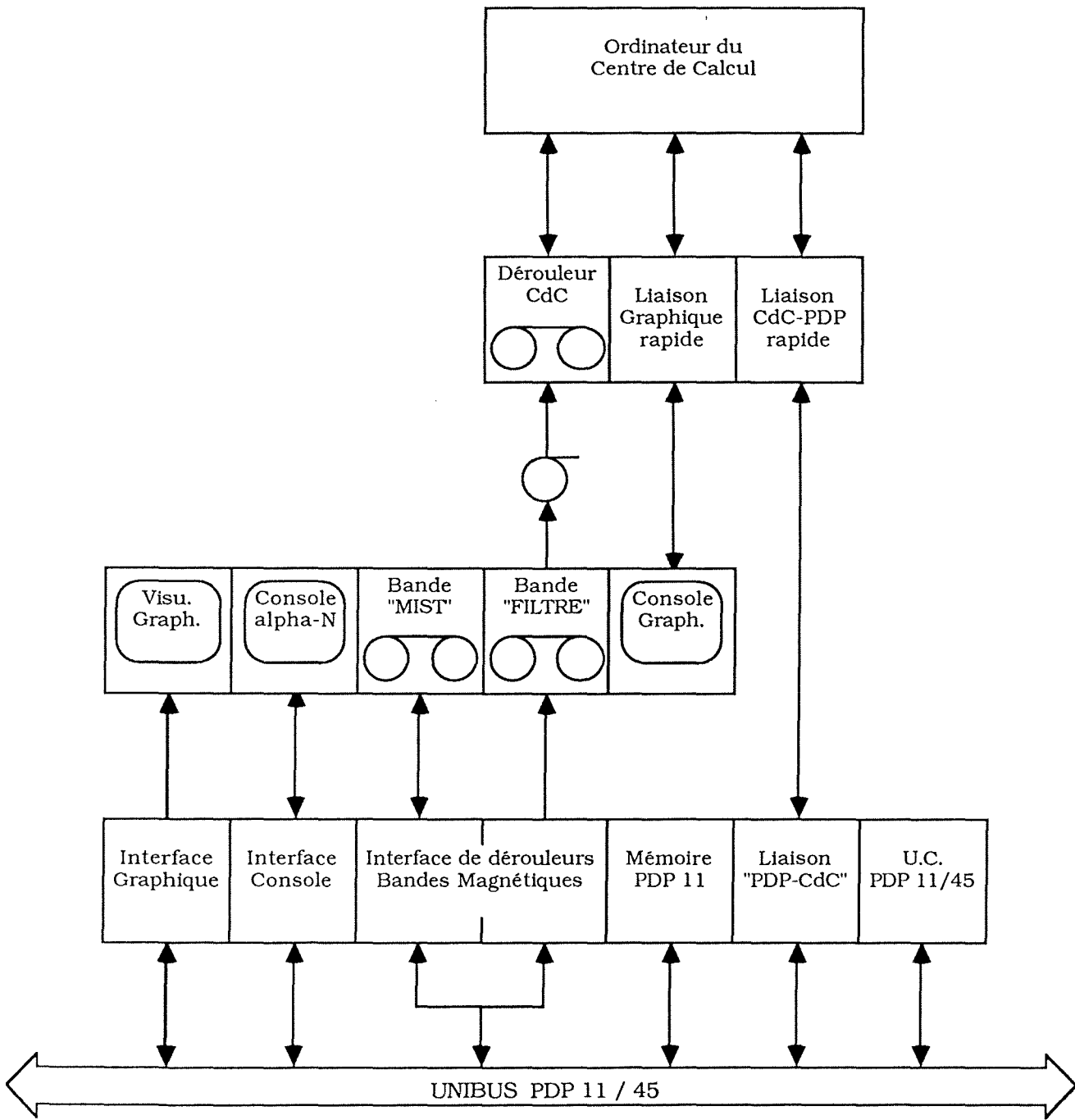


Figure III.20

programmes de maintenance et de dépannage du constructeur (DEC X11 par exemple). Ils se déroulent sur le processeur DEC PDP 11/45 associé au HPD. Ils sont généralement écrits en Macro-Assembleur.

- A l'aide de la liaison "batch" associée au HPD, on exécute sur l'ordinateur du Centre de Calcul les programmes les plus importants qui sont écrits en FORTRAN. Cette liaison à 100 kilobauds (Réf. 9) que nous avons réalisée connecte le PDP 11/45 ci-dessus au Centre de Calcul à travers le réseau téléphonique. Elle transforme l'ordinateur PDP 11/45 avec ses périphériques en terminal lourd du Centre de Calcul permettant de soumettre et d'exécuter l'ensemble des programmes non conventionnels.

Avant la digitisation des films, un ensemble de programmes dont MIST assurent l'élaboration de la bande de pilotage du HPD à partir des données de dépouillement et de prémesure. Après la mesure, FILTRE assure le filtrage des données brutes des trois vues à partir des Titres FILTRE. DIANE assure la fusion des trois vues, MEDUSE est un programme d'archivage qui structure la bande de données en vue de son traitement ultérieur.

III.5.7.3. Le programme FILTRE

Il est indissociable du HPD. Il est organisé sous forme de PAM FILE c'est-à-dire un ensemble de paquets, des "patches" de logiciel, qui sont ensuite assemblés pour exécuter une fonction. Ces patches constituent donc des macrobriques dont l'assemblage génère non seulement FILTRE mais aussi RESCUE, RUNH qui fournit les constantes de calibration durant la mesure, RUNF qui fournit et affine les Titres FILTRE, etc...

L'exécution de FILTRE a lieu en quatre étapes : l'input, les croix, les traces, l'output.

- *L'input*

L'entrée de données consiste à lire les données des bandes magnétiques enregistrées à partir de mots de 16 bits du PDP 11/45, et à les ranger dans la mémoire de l'ordinateur du Centre de Calcul en mots de 32 bits, après avoir trié X, Y et W. W est corrigé, à ce niveau, de la dérive du chariot Y durant la mesure. Ces données, correspondant à une image, représentent jusqu'à 250 kmots et doivent donc être rangées en mémoire.

- *Le filtrage des croix fiduciaires du cliché*

Il sert à définir le référentiel de mesure. Dans le cas d'un appareil de mesure automatique comme le HPD, il faut d'abord localiser les croix dans les données brutes de mesure du cliché. Les Titres FILTRE (cf. deuxième partie) doivent être élaborés à cet effet pour chaque expérience. Ils comportent notamment l'ordre de recherche et de filtrage des croix selon des critères de visibilité. Ils comportent également les positions théoriques des centres de toutes les croix visibles, ainsi que l'angle et la longueur de leurs branches. La position théorique du centre des croix définit une fenêtre de recherche des croix. La première sera recherchée à l'intérieur d'une fenêtre relativement large, essentiellement dans la direction du déplacement du film, pour tenir compte de la fluctuation du cadrage lors du changement

de cliché. Il faut ensuite "filtrer" chaque croix pour en définir les coordonnées précises du centre dans le référentiel de mesure. Une fois la position exacte filtrée de la première croix trouvée, le système de référence peut alors être cadré par rapport à cette position de référence et les fenêtres de recherche des autres croix localisées avec précision. Ces fenêtres ont approximativement la taille des croix. Une fenêtre trop grande risque de permettre le filtrage d'une trace à la place d'une branche de la croix. Une fenêtre trop étroite risque de faire sortir la croix de la fenêtre lors des fluctuations de la position dues à des distorsions d'origines variées. En cas d'échec de la première croix, on utilise le même processus pour les croix suivantes jusqu'à obtention d'un succès. Le filtrage de ces croix, c'est-à-dire la localisation de leur centre, est effectué par un ajustement linéaire itératif, par la méthode des moindres carrés, des coordonnées des points de mesure contenus dans la fenêtre avec élimination du bruit de fond et dans la direction de chaque branche de la croix. L'intersection des deux droites ajustées fournit les coordonnées du centre de la croix. A la fin de la recherche, les coordonnées des centres des croix sont définies avec précision dans le système de coordonnées du HPD.

- *Le filtrage des traces*

Plusieurs techniques de filtrage existent. Elles se distinguent par un guidage plus ou moins important de l'automate de filtrage. Ce guidage par un opérateur humain a lieu à travers les prémesures et après la mesure par RESCUE. Le filtrage avec guidage normal que nous utilisons (Full Guidance ou Road Guidance) nécessite la prémesure de deux croix de référence et de deux points par trace en plus du vertex. Son algorithme a été développé au CERN.

L'objectif du programme FILTRE consiste à caractériser les trajectoires des particules de l'interaction sous forme d'un jeu de coordonnées dans le système du HPD, en définissant avec précision la position d'un certain nombre de points résumés situés sur les traces des particules. Ces points résumés sont élaborés à partir des digitisations contenues dans une route approximativement centrée autour de la trace. L'axe de la route est défini par le cercle passant par les trois points de prémesure de chaque trace. La largeur de la route constitue un paramètre à ajuster en fonction de la nature des clichés de chaque type d'expérience.

Une route large (1 mm par exemple) conduit à de nombreuses ambiguïtés en particulier dans un "jet". Elle sera utilisée pour des événements à traces non circulaires (BEBC). Une route étroite ($< 100 \mu$, par exemple) risque de se trouver à côté de la trace à filtrer, en raison de la précision limitée des prémesures. Elle sera utilisée dans les interactions à très haute énergie présentant un jet de traces peu courbées ou droites.

Les digitisations contenues dans la route sont sélectionnées et stockées dans une zone de travail de la mémoire réelle. La trace est alors découpée en sections (slices), chaque section contenant les données sélectionnées dans 32 lignes de balayage adjacentes. Le filtrage vise à définir un point "moyen" pour chaque section, le point résumé (Réf. 5, 18, 21, 22, 23, 24 et 25). Le principe de la méthode consiste à construire un histogramme perpendiculairement à la trace et à convertir les pics de l'histogramme en coordonnées du point résumé après un certain nombre de tests de vraisemblance et élimination des points

situés à plusieurs écarts standard. Cette recherche commence en principe à l'extrémité de la trace opposée au vertex en raison de la confusion au voisinage du vertex. Toutefois, en cas d'échec, la recherche est reprise à partir du vertex. Initialement, la recherche dans la première section est entreprise en supposant la trace située sur le cercle des prémesures, mais sitôt deux points résumés disponibles, le programme utilise les informations des deux sections filtrées pour extrapoler la direction de la trace dans la prochaine section. Lorsque deux traces se croisent, deux pics apparaissent dans l'histogramme de chaque section et le programme entre alors dans une routine spéciale mettant à contribution les informations des sections postérieures et antérieures. Lorsqu'aucun pic n'est décelé dans l'histogramme d'une section, aucun point résumé n'est fourni pour cette section, mais le filtrage se poursuit pour les autres sections.

Un traitement spécial est généralement nécessaire pour filtrer les traces courtes présentant un point STOP. Elles ont une grande importance au niveau du bilan d'impulsion et d'énergie des interactions et sont essentiellement constituées de protons de recul comme ceux apparaissant dans l'expérience que nous traitons dans la seconde partie. Ces traces courtes dont la longueur est inférieure à 600 microns ne fournissent que quelques digitisations qui peuvent mettre en défaut la méthode normale.

Elles sont identifiées à la prémesure et leur extrémité prémesurée avec soin. Lorsque la technique de filtrage normal échoue, on sélectionne les digitisations contenues dans la route (droite) et, partant du vertex, on définit un point STOP présumé, comme étant la dernière digitisation avant un trou. A partir de ce point, le programme analyse la cohérence des points de la route, élimine les mauvais points et calcule les distances résiduelles des points situés entre le vertex filtré et la point STOP à la droite qui joint ces deux points. Un ajustement linéaire par moindres carrés définit l'équation de la droite de la trace sur laquelle on projette le point STOP présumé et le point STOP prémesuré. Ce dernier est éliminé s'il se trouve trop éloigné de la droite ajustée. On conserve sinon le candidat le plus éloigné du vertex.

- *L'output*

La sortie des données, consiste à ranger les résultats du filtrage des croix et des traces d'une interaction (les coordonnées des centres des croix et les coordonnées des points résumés des traces) sous forme d'un fichier ayant une structure HYDRA afin d'en faciliter l'accès et la manipulation ultérieure.

PROGRAMME MHPD

FONCTIONS LOGICIELLES

FONCTIONS MATERIELLES CONCERNEES

Initialisation

- Initialisation superviseur			
- Initialisation des périphériques	TOUS	+	BM
- Positionnement sur les bandes magnétiques			BM
- Retour fin Bande MIST			BM
- Retour fin de film et réinitialisation	TOUS	+	BM
- Mise en place du film	TF+TV+HL		

Boucle sur les photos

- Lecture et écriture des entêtes			BM
- Déplacement du film	TF+TV+HL		
- Contrôle TV et butées	CR+XY+HL		
- Chariotage normal	CR+XY		
- Vérification fermeture du PF	TF		
- Décodage Data Box	AM+MM+CR+XY		
- Balayage normal	AW+MM+CR+XY+HL		
- Balayages anormaux	AW+MM+CR+XY+HL		
- Test de NW	AW+MM		
- Erreurs d'écriture Bande?			BM
- Contrôle TV si échec Data Box			
- Dump mémoire			Imprimante
- Modification des seuils de discrimination	AW		
- Intervention opérateur			
- Intervention machine			

Fin de boucle sur les photos

Traitement des interventions opérateur ou machine

- Stop en cours de mesure photo ou intervention	AW+MM+CR+XY		
- Intervention	AW+MM+CR+XY		
- Recommencer la photo			
- Arrêt du traitement	CR+XY		
- Procédure de démarrage après accident	TOUS		
- Réinitialisation de sécurité	TOUS		
- Routine de backspace			BM

Tableau III.1.

III.5.8. Les tests, les outils d'investigation

La qualité des résultats de mesure est conditionnée par la vigilance et l'efficacité d'un certain nombre de procédures de test et de calibration. Certaines de ces procédures sont mises en oeuvre rarement, suite à une alarme, de l'algorithme de surveillance en temps réel ou des programmes d'exploitation qui suivent l'évolution des titres et des qualités de mesure de l'expérience.

D'autres procédures sont appliquées systématiquement dans le cadre d'une maintenance préventive périodique.

III.5.8.1. Le contrôle.

L'algorithme de surveillance du processus en temps réel contrôle au niveau macroscopique, un grand nombre de paramètres généraux de l'appareil : tous les fluides, la vitesse de rotation du disque d'analyse, c'est-à-dire la durée d'une ligne, la longueur de la ligne de balayage, la course des chariots, la distance d'arrêt du film, le sens de déplacement, etc... C'est lui qui déclenche l'alarme en cas de dysfonctionnement, localise grossièrement le problème et demande des directives à l'opérateur.

III.5.8.2. Les tests du processus.

Lorsqu'un problème est localisé au niveau du processus dans la séquence précédente, nous mettons en oeuvre localement deux types de procédures de mise au point et de maintenance. Ces procédures, INTERF et GENTEST, visent le fonctionnement général de l'électronique et des interfaces spécialisés avec l'ordinateur. Elles localisent automatiquement les pannes même intermittentes. Elles permettent aussi de simuler les signaux en provenance du matériel et d'adresser, vers le matériel, des signaux périodiques afin d'autoriser leur scrutation éventuelle au moyen d'un oscilloscope. Des programmes annexes visent des organes très spécifiques.

III.5.8.3. Les réglages optiques et mécaniques.

Les procédures fondamentales concernant les contrôles et les réglages visuels ne sont mis en oeuvre que très exceptionnellement. Elles consistent à aligner grossièrement les éléments optiques et à vérifier les éléments mécaniques en mouvement par comparateur.

III.5.8.4. L'analyse des signaux analogiques.

Il faut se souvenir que le traitement du signal traduisant la densité du cliché est assuré par un processus analogique qui vise à éliminer les informations parasites et à traduire la position du pic des signaux utiles en coordonnée numérique.

Ainsi, nous ne disposons pas du codage numérique de l'information analogique de densité du cliché. Tout au plus peut-on avoir un accès numérique indirect à cette information en comparant les acquisitions successives faites avec des seuils de discrimination croissants.

En fait, c'est l'oscilloscope qui permet d'analyser le comportement analogique de notre appareil. L'examen des signaux des photomultiplicateurs traces et réseaux permet d'affiner les premiers réglages optiques visuels et mécaniques. L'amplitude et la forme des signaux permet l'alignement optique et mécanique fin, le temps de montée des signaux permet la focalisation et la détermination du profil du spot d'analyse, la comparaison par battement des signaux d'un réseau identique à la voie réseau dans la voie trace permet un examen des caractéristiques différentielles de la voie "mesure" par rapport à la voie "référence". L'analyse du comportement spectral de la partie analogique est assurée par vobulation. Un contrôle à posteriori indirect est effectué sur la distribution des valeurs numériques des distances lors de la mesure de "bruit photographique".

III.5.8.5. L'analyse numérique.

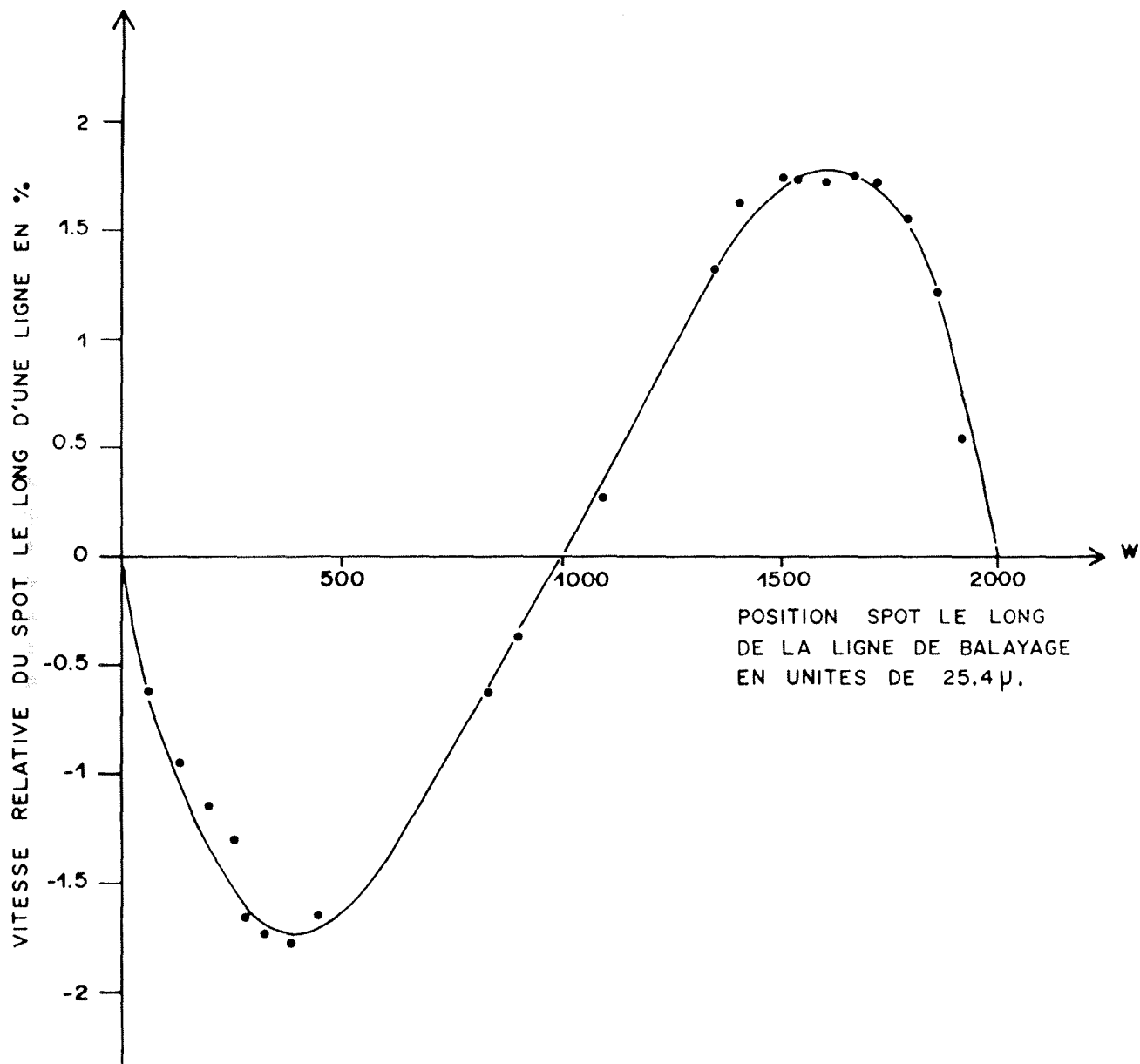
Les étapes suivantes reposent sur l'analyse géométrique des informations. Elles visent les réglages, la surveillance et le test de phénomènes géométriques fins. Elle met en oeuvre les moyens informatiques d'analyse numérique associés au HPD : PDP 11/45 et Centre de Calcul.

III.5.8.6 L'analyse graphique visuelle.

Une première analyse graphique visuelle est effectuée en temps réel sur l'écran de visualisation associé au HPD. Cet écran fournit une représentation géométrique des données numériques d'acquisition en fin de chaîne. Il sert normalement à l'opérateur pour vérifier le fonctionnement correct de l'acquisition et ajuster le seuil de discrimination. Dans le cas d'acquisition d'une mire, il permet une première évaluation rapide de la qualité de la mesure. Une analyse graphique plus fouillée met en oeuvre en différé le système RESCUE décrit en III.6. Ce système qui est utilisé pour le filtrage interactif des données de mesure en exploitation normale permet la représentation et la manipulation graphique de toutes les digitisations. Lorsqu'il est utilisé pour l'analyse des mesures de mires, il visualise et accentue les défaut d'alignements des points d'une grille et permet l'accès aux coordonnées numériques vraies de chaque point qui peut être sélectionné au moyen d'un repère.

III.5.8.7 l'analyse statistique des données.

En temps différé, la procédure OPTIC permet une première évaluation locale de la qualité des mesures et rentre à ce titre dans le cadre des opérations de maintenance préventive et de calibration continue de l'appareil. Elle consiste à analyser les données d'une bande de mesure, cette bande pouvant provenir de l'exploitation normale ou, au contraire, d'une mesure de grilles ou de mires de précision. Elle permet l'impression des données de mesures X, Y et W en décimal et en hexadécimal. Elle permet également une analyse statistique des ces données avec un pas et une origine paramétrable. Elle autorise la surveillance du fonctionnement de la chaîne d'acquisition, de la partie optique de l'appareil, du traitement vidéo, du traitement numérique, de l'acquisition et du transfert sur bande de sortie FILTRE. Elle met aussi en évidence les problèmes de géométrie, de résolution et de précision.



VITESSE RELATIVE DU SPOT

Figure III.21

La procédure OPTIC ci-dessus constitue un outil d'investigation rapide et efficace. Il souffre toutefois de la puissance limitée du processeur local. Une version plus performante, HISTOW, permet de se focaliser sur un problème avec plus de précision à l'aide de coupures sur les différentes variables.

Ce programme, qui s'exécute au Centre de Calcul permet de manipuler les données corrigées des dérives des chariots X et Y. Plus lourd à utiliser mais plus efficace, il est mis en oeuvre lorsque OPTIC ne permet pas de conclure avec certitude.

III.5.9. Les calibrations; les paramètres à calibrer

Au niveau d'un appareil de mesure de clichés deux paramètres nous semblent déterminant pour la qualité des résultats : l'amplitude de la lumière d'analyse qui détermine le rapport signal sur bruit, sa stabilité dans le champs de mesure et dans le temps, et les distorsions géométriques de la mesure.

Avec le HPD nous nous trouvons avantagés sur ces points par rapport à un appareil CRT dont l'émission lumineuse n'est pas homogène, qui souffre de l' "afterglow" et dont le diamètre du spot et la stabilité de déviation sont difficiles à maîtriser au niveau de résolution et de précision que nous recherchons.

III.5.9.1 L'amplitude du signal optique

La source lumineuse que nous utilisons (lampe à vapeur de mercure) présente néanmoins certains problèmes : bruit optique, fluctuations et usure relativement rapide. La lumière émise traverse ou se réfléchit sur plus de 50 interfaces jusqu'à ce qu'elle soit recueillie par le photomultiplicateur de détection. Chaque interface introduit ses perturbations intrinsèques (densité de matière, diffusion, réflexions parasites) et extrinsèques (poussières, saletés, rayures). De plus, des problèmes thermiques peuvent intervenir au niveau de la stabilité lumineuse et le gain des photomultiplicateurs n'a rien d'absolu.

Ainsi le signal électrique du photomultiplicateur ne fournit pas d'information absolue sur la lumière émise par la source. Sa calibration relative est assurée à l'aide de mires et par scrutation du signal du réseau (qui constitue en fait une mire particulière). L'évolution du signal dans le temps est compensée par l'action sur le gain des PM entre deux interventions (changement de lampe, nettoyage optique etc...) ce qui n'introduit qu'une dégradation de second ordre sur le rapport signal/bruit. En tout état de cause, le traitement du signal ne retient qu'une information dynamique dans une zone spectrale limitée et la détermination du pic de ce signal est indépendante de son amplitude.

L'amplitude du signal vidéo recueilli n'est donc pas critique dans la mesure où le bruit de la source lumineuse et le bruit électrique ne perturbent pas le spectre utile du signal. Une information concrète concernant l'influence sur la mesure du rapport signal/bruit est fournie par l'étude de la dispersion des mesures de traits de largeur décroissante.

III.5.9.2. La géométrie des mesures

Elle peut être altérée par des phénomènes systématiques quantifiés, et par des phénomènes aléatoires plus difficiles à appréhender. La génération de la trajectoire du

spot d'analyse induit des déformations géométriques. En effet, l'intersection de la fibre fixe avec la fibre mobile, solidaire du disque tournant engendre une translation linéaire dans l'espace mais non dans le temps (Fig. III.21). Pour permettre un repérage spatial linéaire, une fraction de la lumière du spot est prélevée dans la voie "trace" pour balayer un réseau de précision dans la voie "réseau". Ce dispositif permet également de s'affranchir dans une certaine mesure, des déformations cylindriques des objectifs de focalisation. En principe, seules les caractéristiques différentielles des deux voies ne sont pas corrigées. En pratique deux phénomènes de second ordre doivent être mentionnés. D'une part le pas du réseau de repérage, qui est de 25,4 microns, nécessite une interpolation par horloge qui n'est pas asservie aux fluctuations de vitesse du spot. Il en résulte une erreur systématique sur la mesure de W qui est inférieure ou égale à ($\pm 0,45$ microns). D'autre part, la variation de vitesse de balayage de la ligne, associée à la translation linéaire du cliché dans la direction perpendiculaire engendre une trajectoire relative en S sur le cliché. L'erreur en X qui en découle est inférieure à ($\pm 0,54$ microns). A la précision de nos mesures près l'identité entre les 8 fibres mobiles est totale.

Par ailleurs, l'ordonnée absolue du spot lumineux est fournie par l'ordonnée relative W du spot par rapport au début de la ligne de balayage ajoutée à l'ordonnée à l'origine de Y_0 de cette ligne par rapport au cliché, Y_0 étant défini par la position du chariot supportant le presse-film. La commande de ce chariot est assurée par des vannes hydrauliques dont l'étanchéité n'est jamais totale. Une dérive de Y_0 de quelques microns se manifeste le long du balayage en X ($80 \leq X < 200$ mm). La valeur courante de Y_0 est enregistrée ce qui permet de corriger W de cette dérive. Les déformations géométriques aléatoires ont des origines variées : fluctuations optiques, mécaniques, électroniques, fluides, contraintes du film lors de la mesure ou pendant le stockage ... Leur évaluation, leur surveillance, et leur localisation est effectuée en appliquant les outils d'investigation décrits à des mesures de mires.

III.5.10. Les références optiques

L'analyse fine des caractéristiques de mesure de l'appareil, à l'échelle du micron, bute sur deux problèmes importants : la qualité des mires de référence géométrique et la complexité des phénomènes pouvant introduire des distorsions.

Nous avons été amenés à utiliser des mires de précision en verre de petite dimension pour l'étude intrinsèque de la qualité de mesure directement lié aux caractéristiques du spot d'analyse. Les caractéristiques géométriques, étudiées plus loin sont par contre analysées au moyen de mires de grande dimension couvrant tout le champ de mesure.

III.5.10.1. La mire de précision calibrée.

Elle comporte plusieurs réseaux de traits fins équidistants de 30 à 2 microns de largeur. Elle comporte également une structure de traits radiale permettant des mesures à toutes les incidences entre 0° et 90° . Les traits de 30 microns de large sont opaques sur fond transparent ce qui constitue le cas le plus défavorable dans la mesure ou le

VISUALISATION TRACES - Ecranage NORMAL TYPE 700 APPAREIL 7 OPERATEUR 12 DATES 50382 00284 VERSION 283 SERIAL 1
 VERTEX AA CODE 1 TRACES 0 ESTIMATEUR

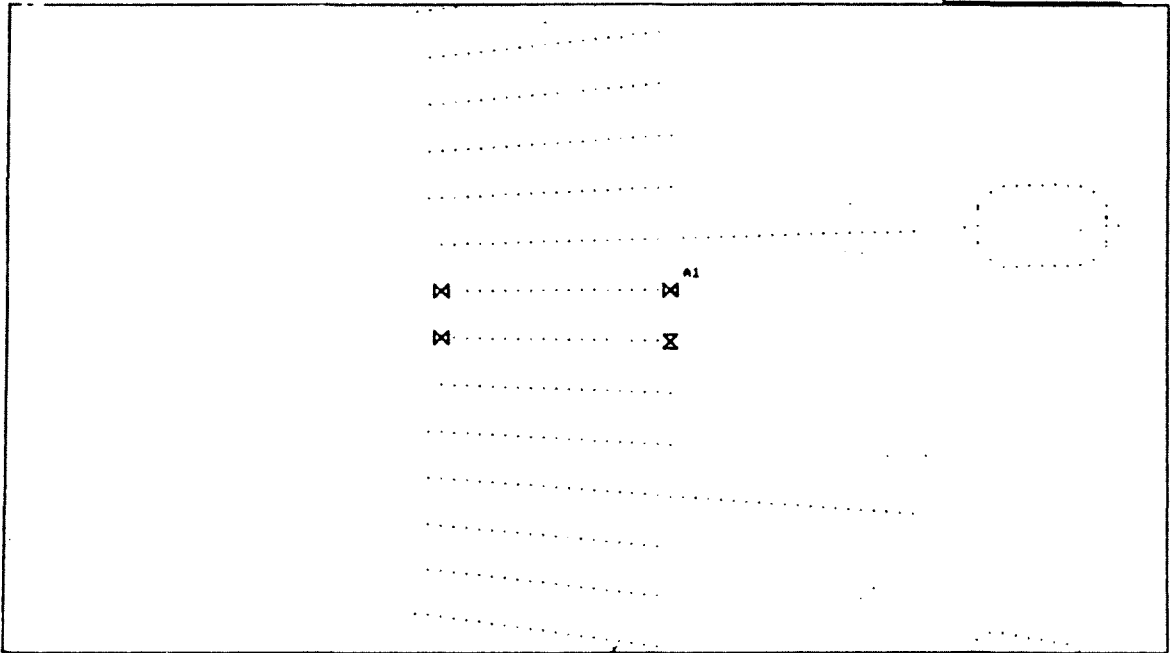


Figure III.25

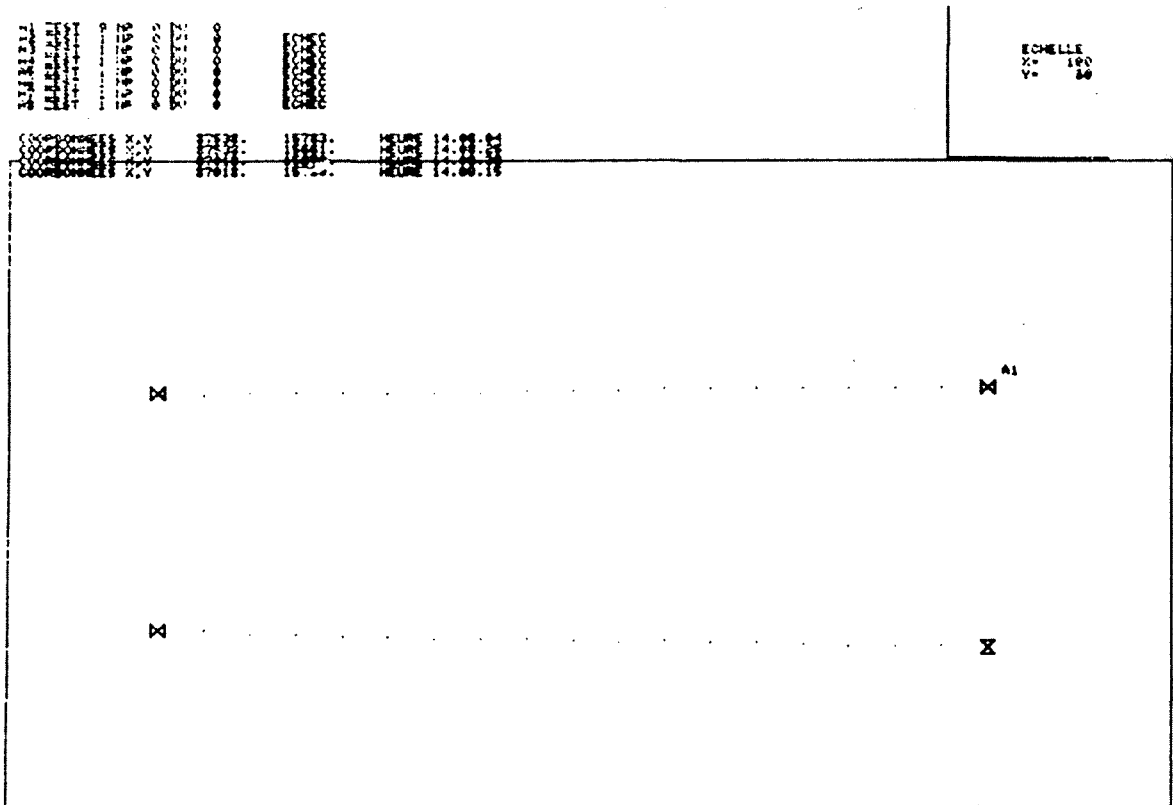


Figure III.26

MIRE EN VERRE HEINDENHEIM: Acquisition statique

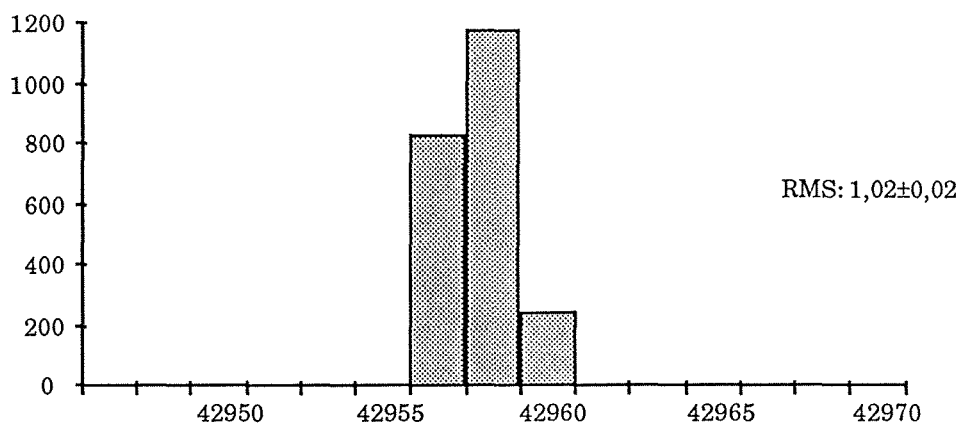


Figure III.29: Valeurs W d'un trait de 30μ en microns

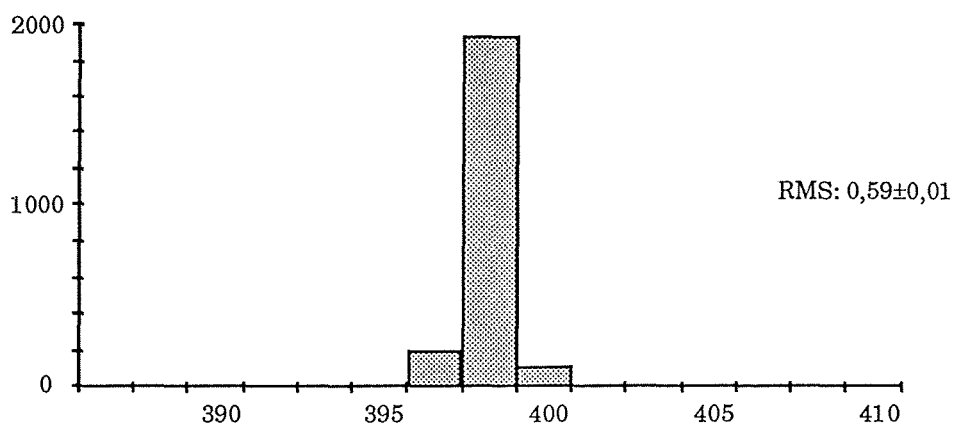


Figure III.30: ΔW de 2 traits de 30μ en microns

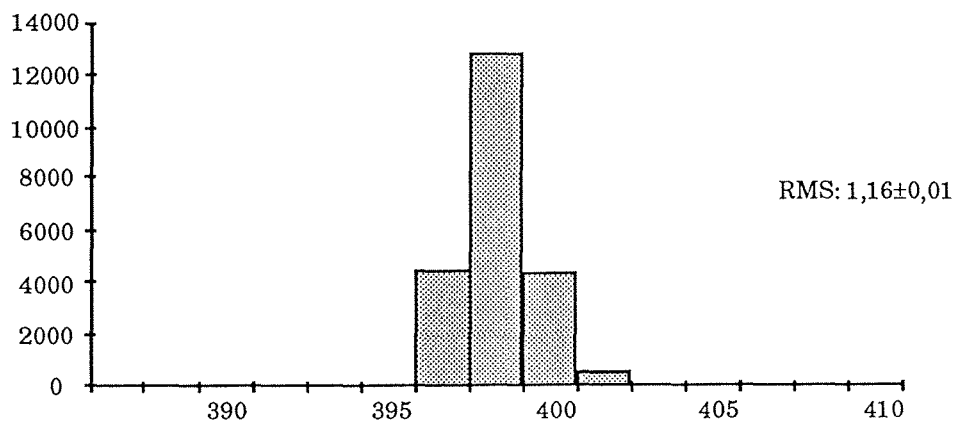


Figure III.31: ΔW de 11 traits de 30μ en microns

détecteur est ébloui la majeure partie du temps. La figure III.22. représente cette mire en balayage normal, la figure III.23. en balayage anormal. Les figures III.24., 25., 26., 27., 28. représentent les détails de cette même mire.

Cette mire est déplacée dans le champ utile et mesurée en statique ou en dynamique. Les figures III.29. et III.30. représentent la distribution des mesures statiques absolues et relatives d'un trait de 30μ de largeur. Sa RMS est respectivement de 1,6 et $0,6 \mu$ ce qui justifie le recours systématique à des mesures relatives. La qualité intrinsèque de la mire est mise en évidence en juxtaposant les figures III.31 et III.30. Elles représentent respectivement la distribution des distances de 11 traits parallèles de 30μ de large pris deux à deux et de 2 d'entre eux seulement. La RMS passe de 1,2 à $0,6 \mu$, l'écart correspondant à la fluctuation de distance des différents traits.

En raison de la nécessité d'analyser des clichés comportant des images de bulles de plus en plus petites, nous avons étudié la précision de mesure de l'appareil en fonction de la dimension de l'élément d'image à analyser. Nous avons mené cette étude à partir de la distribution des distances mesurées entre deux traits d'un réseau en fonction de la largeur de ces traits. Sans vouloir associer le diamètre d'une image de bulle à la largeur d'un trait, la mesure de la structure linéaire d'un trait donne des informations utiles sur la mesure d'un chapelet de bulles matérialisant une trace de particule. Nous avons trouvé les valeurs suivantes :

largeur trait (μ)	RMS (μ)	RMS/largeur (%)
30	0.59 ± 0.01	2 ± 0.03
20	0.41 ± 0.01	2 ± 0.05
10	0.70 ± 0.01	7 ± 0.1
4	0.79 ± 0.02	20 ± 0.5
2	0.90 ± 0.02	45 ± 1.0

Ces résultats représentés sur la courbe de la figure III.32. sont cohérents avec le diamètre du spot (10μ à $1/2$ hauteur) et avec le filtrage analogique du signal visant à éliminer le bruit photographique ($\sim 1\mu$). Ces réseaux de traits fins sont également étudiés à partir de mesures dynamiques et avec mise en oeuvre de HISTOW. La figure III.33. représente le réseau de traits de 30 microns de large, espacés de 400 microns, alors que la figure III.34. représente sa projection sur l'axe des W. La figure III.40 représente la distribution des distances entre les 11 traits pris deux à deux en fonction de X alors que la figure III.41 représente sa projection sur l'axe des Δ . Cette dernière distribution, associée aux mesures statiques homologues fournit respectivement les résultats suivants en unités HPD :

Traits de 30μ	2 traits statique	11 traits statique	11 traits dynamique
$\langle \Delta W \rangle$	250.95 ± 0.01	251.05 ± 0.01	250.7 ± 0.1
RMS	0.37 ± 0.01	0.73 ± 0.01	0.68 ± 0.06
Figures	III.35	III.36	III.37

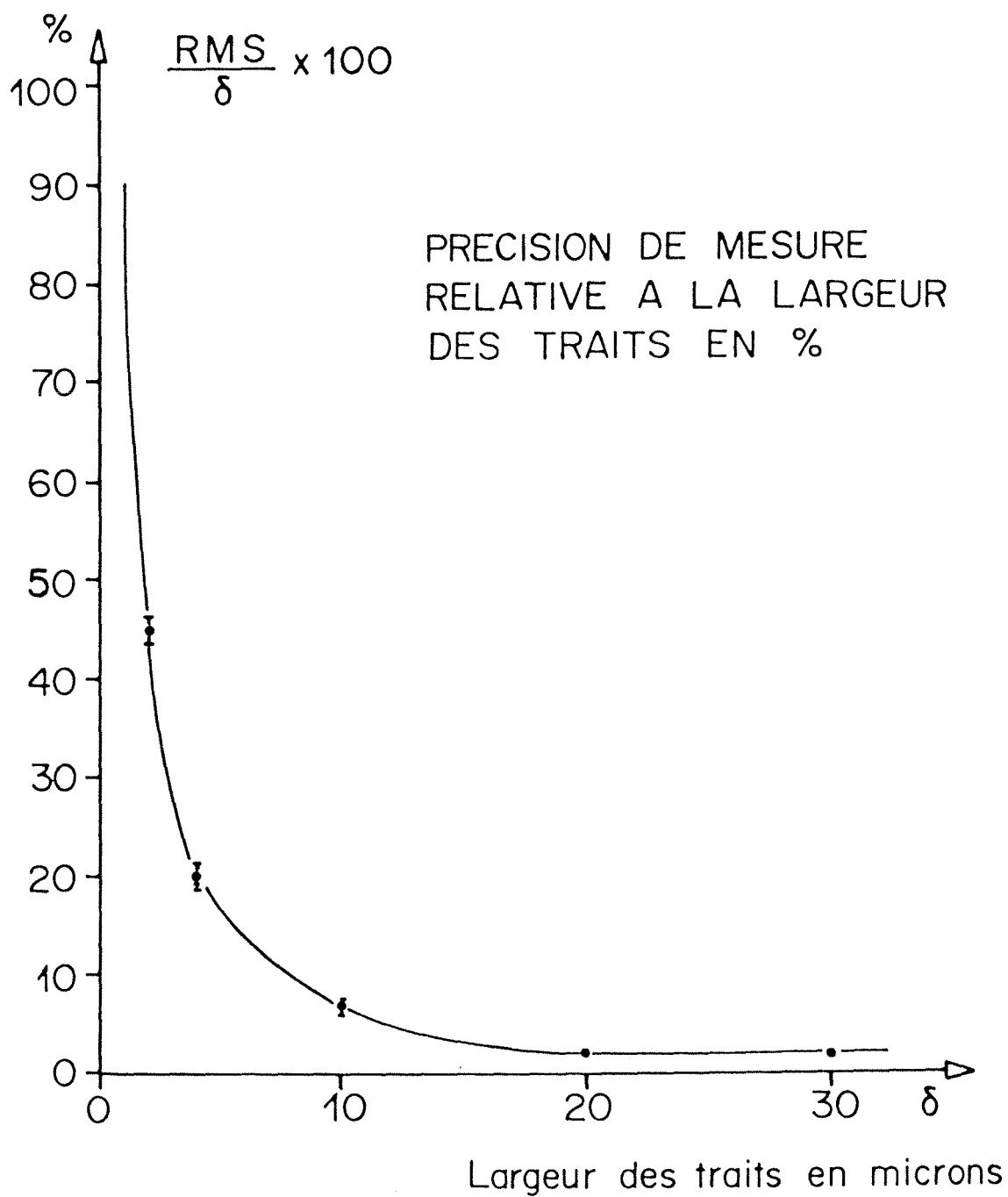


Figure III.32

Représentations d'un fragment de mire en verre de grande précision

MIRE EN VERRE : Traits de 30 microns de large

Distribution des valeurs W versus X

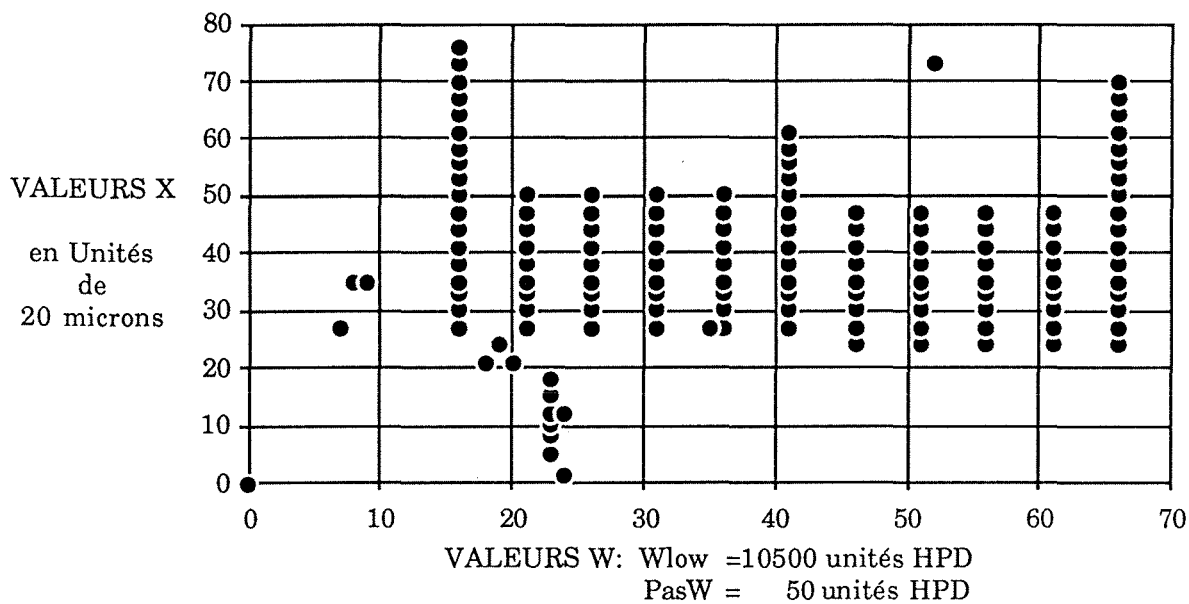


Figure III.33

MIRE EN VERRE: Traits de 30 microns de large

Distribution du nombre de valeurs W versus X

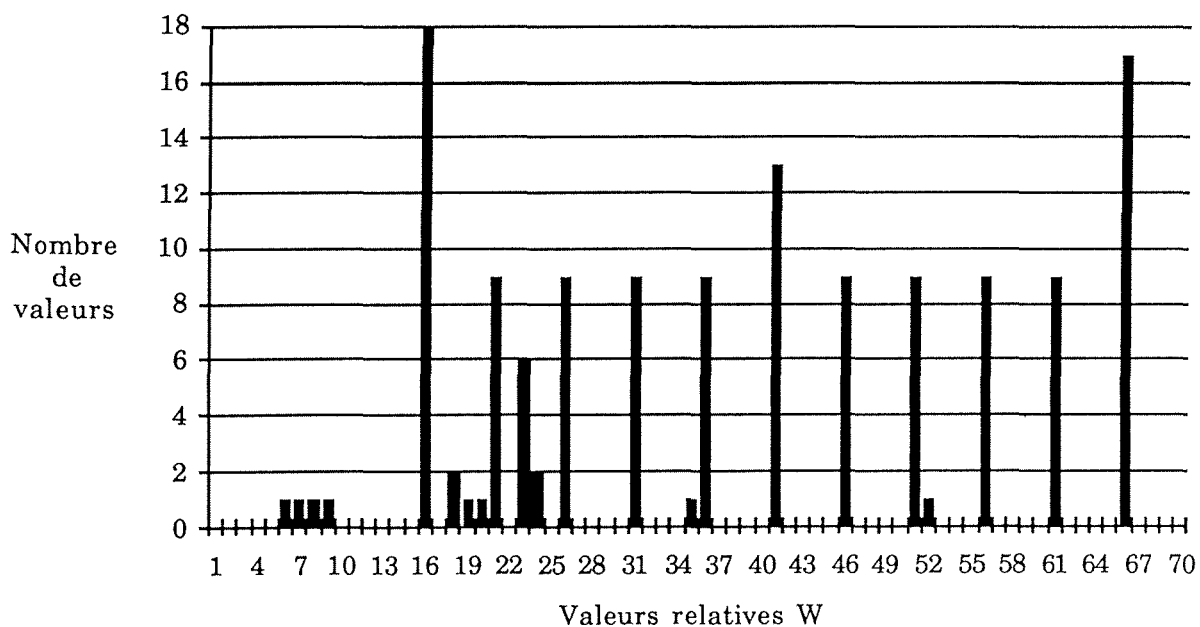


Figure III.34

Mire en verre Heindenheim
Acquisition chariots statiques

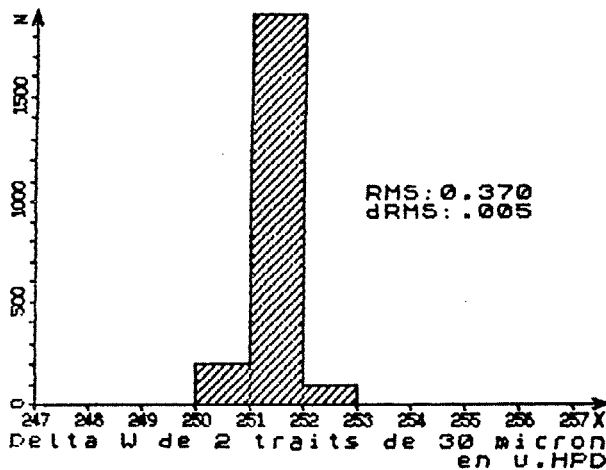


Figure III.35

Mire en verre Heindenheim
Acquisition chariots statiques

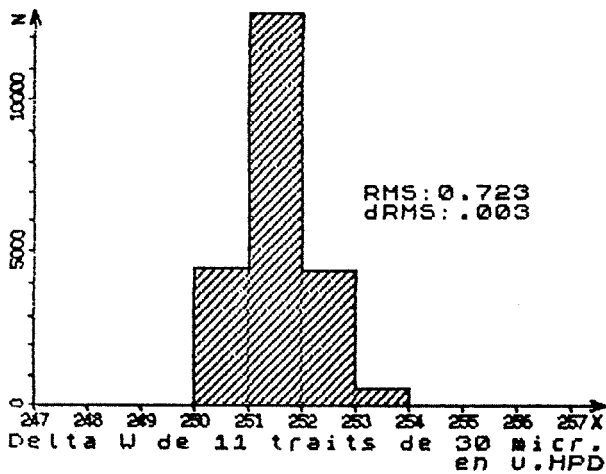


Figure III.36

Mire en verre Heindenheim
Acquisition dynamique

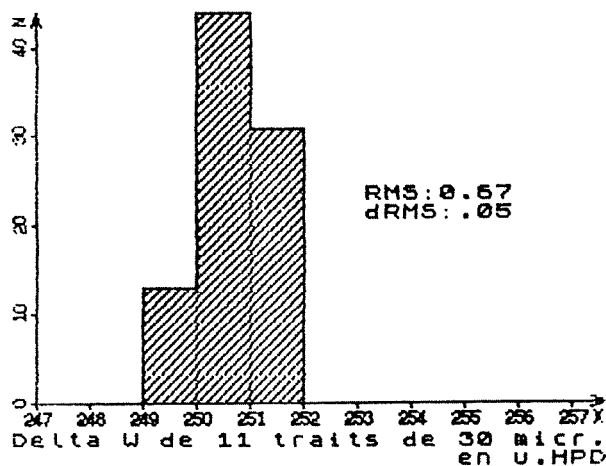


Figure III.37

Les erreurs représentent les fluctuations statistiques. L'écart entre les distributions des mesures de distance de deux traits par rapport à la totalité des 11 traits représente essentiellement la qualité géométrique finie de la mire. Les mesures statistiques et dynamiques des 11 traits sont comparables ce qui est cohérent avec la faible amplitude du déplacement.

En complément de l'étude précédente, l'analyse des mesures dynamiques des traits à incidence variable par rapport à la trajectoire du spot permet d'examiner le comportement de l'appareil dans le domaine spectral inférieur. Les figures III.22, III.23 et III.27 montrent à l'évidence que la mesure de ces traits de 30 microns de large, est satisfaisante jusqu'à des incidences relatives faibles.

L'étude de la distribution du nombre d'intersections en fonction de l'incidence montre que le résultat de la mesure est univoque jusqu'à une incidence de 10 degrés ce qui correspond à une largeur apparente de 30 microns/sin alpha soit 175 microns. La détection devient ambiguë pour une incidence de 5 degrés ce qui correspond à une largeur apparente de 345 microns. Ce comportement reflète indirectement la caractéristique du filtrage analogique.

III.5.10.2. Les mires géométriques.

Une fois les caractéristiques du spot et de la ligne de balayage bien connues, le comportement géométrique de l'appareil est étudié au moyen de mires de grande dimension (55x160mm). Ces mires sont constituées d'un quadrillage de traits calibrés parallèles équidistants, parallèles aux bords de l'image ou à 45 degrés. De telles grilles sur support transparent de verre servent de référence absolue, alors que des copies négatives ou positives sur film, à différents contrastes, servent à simuler le comportement des clichés lors de la mesure : incidence du contraste, du grain photographique, des distorsions dues aux contraintes du support etc...

Comme pour l'étude précédente, nous utilisons de manière concomitante l'analyse graphique visuelle et l'analyse statistique des données.

Les mires en "+", à traits parallèles au bord de l'image nous fournissent une information directement utilisable sur la linéarité du balayage ligne en fonction de la translation perpendiculaire. Une information réellement biparamétrique nécessite l'utilisation d'une mire en "x", dont les traits sont à ± 45 degrés par rapport au bord de l'image. Les coordonnées des intersections sont calculées et comparées à leur position théorique. La mesure des grilles après rotation de π ou de $\pi/2$ permet une discrimination entre les perturbations dues à la mire elle-même et celles introduites par l'appareil. Des mires particulières permettent l'examen spécifique de certains points : centrage des traces en fonction de la largeur du trait etc...

a - La mire en "+" sur verre

La mesure de la mire en + originale sur verre, dont les traits font 25 ± 1 microns de large fournit la représentation de W/X de la figure III.38 après anamorphose de rapport ~ 500 (voir échelle). L'aspect du trait constitué de segments obliques provient de l'effet conjugué d'un défaut d'horizontalité de 120 microns de la mire lors de la mesure et de l'anamorphose démesurée.

L'analyse statistique des mesures des mires en + est essentiellement centrée sur l'examen de la distribution des distances des traits parallèles de ces mires. Toute perturbation sensible de la mesure se retrouve sur cette distribution dite des ΔW . Elle est caractérisée par sa valeur moyenne $\langle \Delta W \rangle$ et sa RMS.

La mesure de la mire en + originale sur verre nous fournit sur la figure III.39, les valeurs suivantes en unités HPD :

$$\langle \Delta W \rangle = 3146.87 \pm 0.01$$

$$RMS = 1.02 \pm 0.01$$

L'erreur sur les résultats représente la seule fluctuation statistique. Ces résultats représentent la somme de la dispersion intrinsèque d'une mesure ponctuelle de ΔW et des fluctuations géométriques de cette mesure en fonction de X et de W. Ces fluctuations géométriques peuvent être mises en évidence dans le cadre d'une étude plus approfondie menée sur les représentations biparamétriques de ΔW et de la RMS versus X ou W. Elles peuvent être attribuées à la qualité de la mire, à la qualité de son placage contre la surface de référence du presse-film, et à la caractéristique géométrique de l'appareil de mesure.

La figure III.40 est une représentation biparamétrique de ΔW , moyenné sur 16 lignes adjacentes, en fonction du déplacement X. Elle montre une évolution du ΔW de l'ensemble des traits pris deux à deux le long du balayage X. Cette évolution, chiffrée à 0.48 ± 0.04 unités par la RMS de la projection sur l'axe des ΔW (Fig. III.41), est essentiellement due à un défaut de placage de 30 microns de l'extrémité de la mire de verre sur la surface de référence du presse-film.

De manière symétrique, la figure III.42 est une représentation biparamétrique de ΔW entre deux traits, moyenné le long de X, en fonction du balayage W. Les barres verticales de la figure visualisent la RMS correspondant à chaque valeur moyenne. Les fluctuations globales de ΔW en fonction de W sont chiffrées à 0.69 ± 0.19 unités HPD par la RMS de la projection sur l'axe des W (Fig. III.43).

L'évolution de $\langle \Delta W \rangle$ examinée ci-dessus en fonction de X et de W fournit une information intéressante sur la géométrie macroscopique de la mesure de la mire.

Une étude au niveau de chaque point est réalisée, sur la distribution des mesures, au moyen de coupures selon X et selon W.

L'ensemble des résultats fournis par l'étude de la mire en + sur verre, est résumé dans le tableau III.2. Seule la contribution statistique intervient dans les calculs d'erreur. On note une bonne cohérence des résultats, les légères fluctuations de la valeur moyenne, - à la limite de l'erreur statistique -, correspondant à une pondération différente des données aux limites en fonction du mode de calcul.

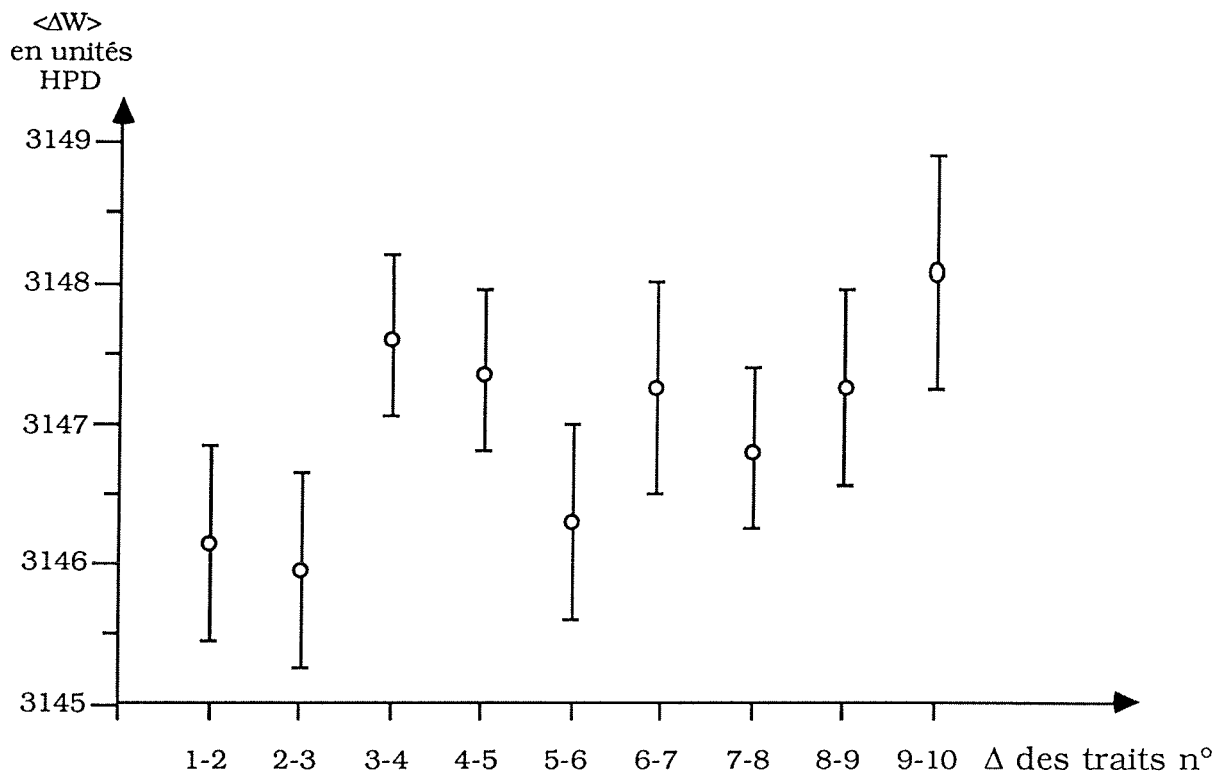


Figure III.42

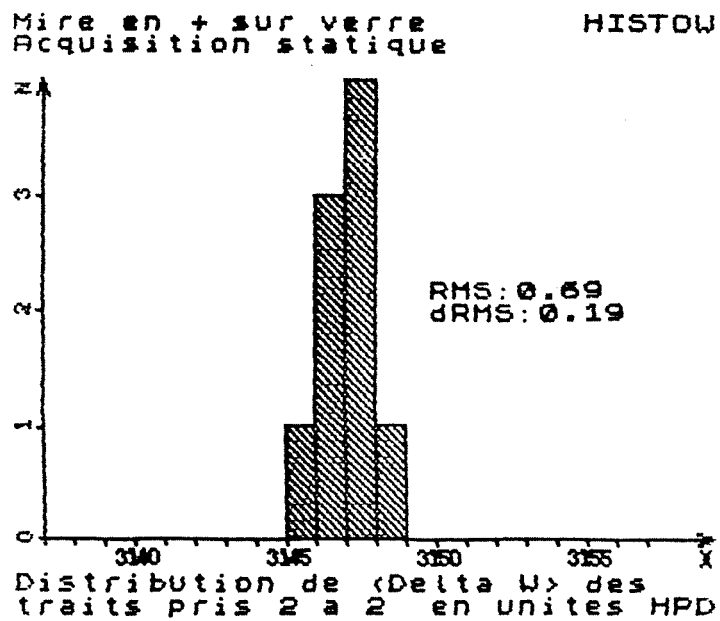


Figure III.43

MIRE EN + SUR VERRE			
Etude ΔW en unités HPD	Coupure sur les mesures	Evolution de $\langle \Delta W \rangle$	Axe de l'évolution
Sans coupure	$\langle \Delta \rangle = 3146.87 \pm .01$ RMS = $1.02 \pm .01$ Figure III.21		
Coupure sur W	Distribution du $\Delta W/X$ (ΔW des traits 5-6) $\langle \Delta \rangle = 3146.18 \pm .02$ RMS = $.67 \pm .02$ Figure III.27	Evolution du $\langle \Delta W \rangle / X$ $\langle \langle \Delta \rangle \rangle = 3146.36 \pm .05$ RMS = $.48 \pm .04$ Figure III.23	en f(X)
Coupure sur X	Distribution du $\Delta W/W$ (pour 5000 X) $\langle \Delta \rangle = 3147.15 \pm .03$ RMS = $1.00 \pm .02$ Figure III.26	Evolution du $\langle \Delta W \rangle / W$ $\langle \langle \Delta \rangle \rangle = 3146.83 \pm .30$ RMS = $.69 \pm .19$ Figure III.25	en f(W)
Coupure sur X et W	$\langle \Delta \rangle = 3146.34 \pm .05$ RMS = $.62 \pm .04$ Figure III.28		

Tableau III.2

L'examen de la RMS révèle des résultats légèrement meilleurs selon l'axe X que selon l'axe W. Ce phénomène est essentiellement dû à une erreur systématique en W de ± 0.3 unités occasionnée par le non asservissement de l'horloge d'interpolation aux fluctuations de vitesse systématiques du balayage W (cf. III.5.9.2.)

Ainsi, si la précision de mesure de l'appareil est représentée par la valeur de la RMS sur des mesures de points d'une mire, on peut affirmer que cette précision est meilleure que l'unité (1.59 micron) sur tout le champ utile de mesure (55x160mm). Il semble en fait que cette précision peut atteindre la demi-unité sur l'ensemble du champ utile mais qu'elle se trouve masquée, dans l'état actuel des choses, par le positionnement et les contraintes géométriques du cliché dans le presse-film.

b - Les mires en "+" sur film

La figure III.48 visualise graphiquement la mesure de la copie positive sur film (fond clair) de la mire en +. Les traits verticaux ne sont pas visibles dans le balayage normal en raison de leur parallélisme avec la trajectoire du spot. Le balayage anormal permet leur examen. Le cliché est situé dans une bande amorce de grande longueur afin d'assurer son positionnement précis et reproductible

Les traits horizontaux labellés A1, A2, A3 et A4 sont représentés sur la figure III.49 après une anamorphose importante (300) ainsi que le montre l'échelle du coin droit supérieur. Leur largeur nominale, mesurée au microscopie, est de 25 ± 10 microns. On note visuellement une déformation du trait mesuré de ± 10 microns. Après rotation de π , une nouvelle mesure, (Fig. III.50), fournit l'image des mêmes traits dont l'anamorphose est représentée sur la figure III.51. Les déformations notées sur la première mesure se retrouvent avec la même amplitude mais tournées de π . On met ainsi optiquement en évidence les imperfections de la copie sur film de cette mire.

- Stabilité à long terme

Les problèmes liés au support de l'image deviennent déterminants dans le cas du film. La mesure d'une copie positive (fond clair) sur film de la mire en verre fournit la distribution des ΔW représentée sur la figure III.47. Les valeurs numériques correspondantes sont :

$$\langle \Delta W \rangle = 3134.23 \pm 0.02$$

$$RMS = 1.37 \pm 0.01$$

Les écarts par rapport aux mesures de la mire en verre sont liés à la qualité de la copie. Toutefois, cette mire sur film est plus facile à mettre en oeuvre que la mire en verre et de plus, elle offre une meilleure simulation des conditions d'exploitation réelles. Aussi a-t-elle été utilisée systématiquement pour suivre l'évolution de l'appareil. C'est ainsi qu'au cours de deux ans de fonctionnement, nous avons pu relever les fluctuations suivantes des paramètres ΔW et RMS :

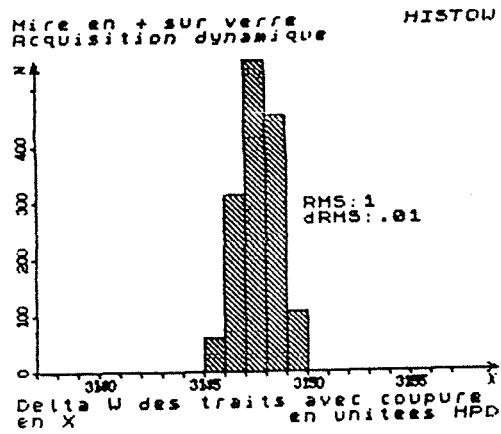


Figure III.44

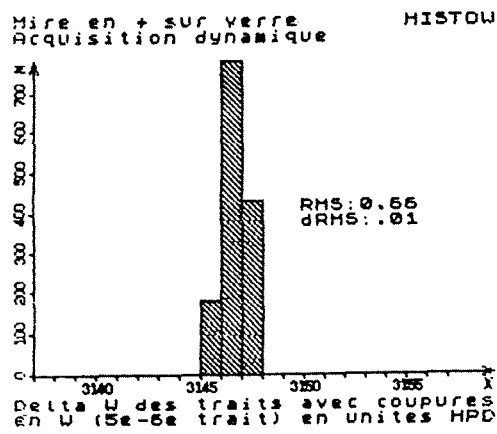


Figure III.45

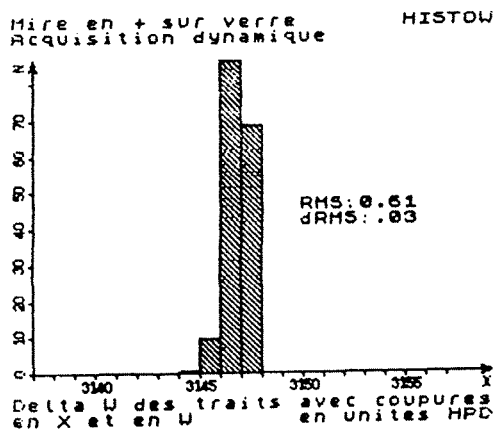


Figure III.46

Fluctuation de $\langle \Delta W \rangle = \pm 1.65$ ($= 5.10^{-4} \langle \Delta W \rangle$)

Fluctuation de la RMS = ± 0.14 ($= 10\%$ de la RMS)

Il s'avère ainsi que la précision de l'appareil, au sens ou nous l'avons définie, peut être garantie sur un intervalle de temps important en dépit de la complexité du système.

Les distorsions géométriques qui peuvent apparaître sont assez facilement localisées comme l'illustre l'anomalie de la distribution des ΔW de la figure III.53. Une coupure ne laissant que les W faibles localise le problème au niveau du bord inférieur de l'image comme le révèle la figure III.52 des ΔW versus X et surtout sa projection sur l'axe des ΔW de la figure III.54. Une coupure des faibles W redonne à l'histogramme de la figure III.55 son allure académique. Le problème ainsi localisé a pour origine un mauvais positionnement du bord inférieur du film par rapport au système d'aspiration à vide, destiné à le plaquer sur la surface de référence du presse-film et occasionnant une légère déformation de ce bord.

c - Les mires en "X"

Jusqu'à présent, nous nous sommes essentiellement focalisés sur la précision de l'appareil selon l'axe l'axe W. Deux raisons justifient cette approche.

La première tient à la nature particulière de cet axe qui peut soulever des craintes quand à sa précision : génération du mouvement par disque à fentes engendrant un déplacement non linéaire dans le temps, interpolation de 16 entre deux repères, déformations optiques, vitesse de balayage. L'incidence de ces phénomènes sur les mesures à déjà été mis en évidence lors de l'étude des mires en +.

La seconde raison tient à la nature topologique de l'information à mesurer. La trajectoire des bulles présente une composante essentiellement perpendiculaire à W. Le rapport des composantes W et X représente sensiblement deux ordres de grandeurs ce qui permet d'évaluer l'incidence respective de la précision sur W par rapport à la précision sur X dans la détermination des paramètres de la trajectoire.

Au contraire de W, la translation selon X ou Y est assurée par une commande hydraulique et son repérage est assuré par un codeur linéaire numérique sans interpolation au pas de 2 ± 10^{-5} microns. Cette technique classique soulève peu de problèmes de précision. Lors de l'acquisition, les valeurs X et Y sont enregistrées en permanence et leur consistance vérifiée.

Une erreur macroscopique est ainsi rapidement localisée. Au niveau microscopique, l'étude de la précision dans le plan W/X ou W/Y est menée à l'aide de la mire en X (croix de Saint-André). Elle permet la visualisation des intersections sur les mesures et la détermination de leurs coordonnées (au contraire de la mire en +).

Mire en + sur film n.10 OPTIC
Acquisition dynamique du 8/2/83

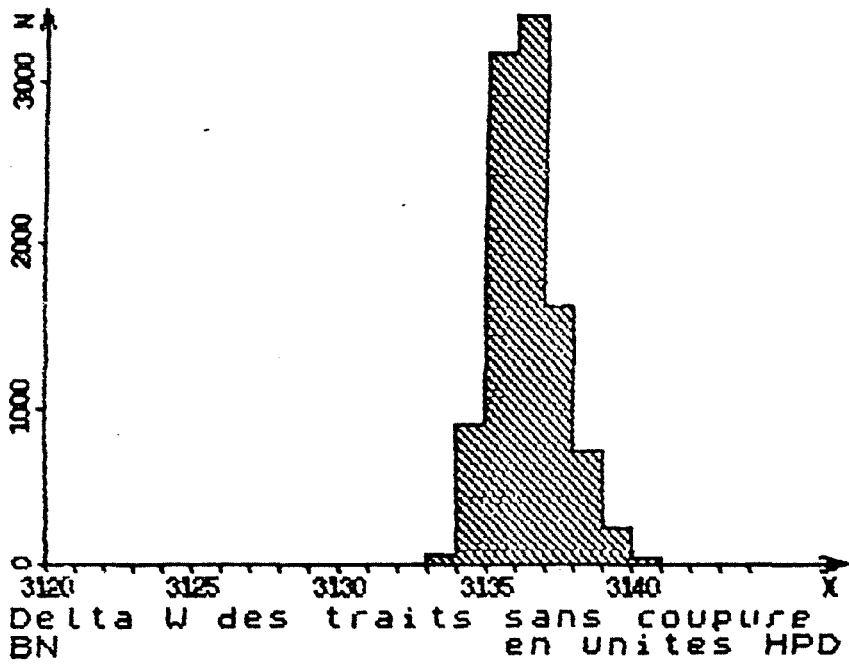


Figure III.47

EVENT 45 165 2361.1 ORDRE 1 UVE 1 TYPE 500 APPAREIL 6 OPERATEUR 12 DATES 300482 300482 VERSION 322 SERIAL 6
 VISUALISATION TRACES - BALAYAGE NORMAL VERTEX AA CODE 1 TRACES 0 ESTIMATEUR .0
 A1 TEST 000000 222222
 A2 TEST 000000 222222
 A3 TEST 000000 222222
 A4 TEST 000000 222222
 A5 TEST 000000 222222
 A6 TEST 000000 222222
 ECHEC

ECHELLE
 X= 11000
 Y= 8000

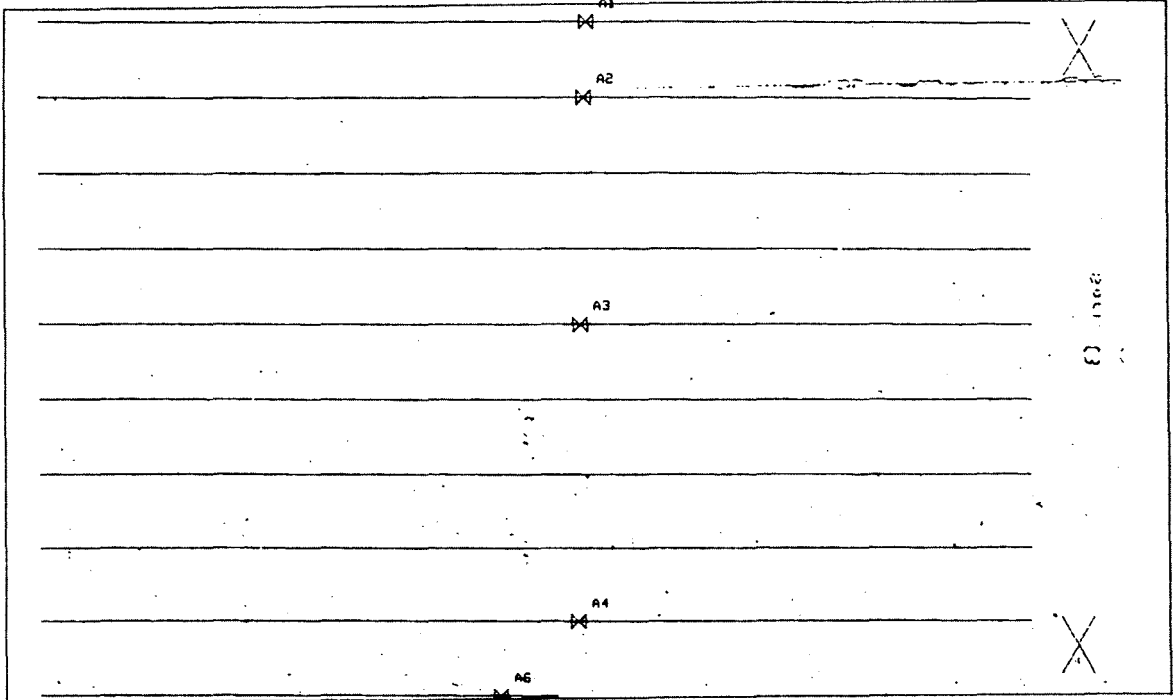


Figure III.50

EVENT 45 165 2361.1 ORDRE 1 UVE 1 TYPE 500 APPAREIL 6 OPERATEUR 12 DATES 300482 300482 VERSION 322 SERIAL 6
 VISUALISATION TRACES - BALAYAGE NORMAL VERTEX AA CODE 1 TRACES 0 ESTIMATEUR .0
 A1 TEST 000000 222222
 A2 TEST 000000 222222
 A3 TEST 000000 222222
 A4 TEST 000000 222222
 A5 TEST 000000 222222
 A6 TEST 000000 222222
 ECHEC

ECHELLE
 X= 11000
 Y= 20

COORDONNEES X,Y 61602. 15771. HEURE 17.27.31
 COORDONNEES X,Y 61602. 15765. HEURE 17.27.33

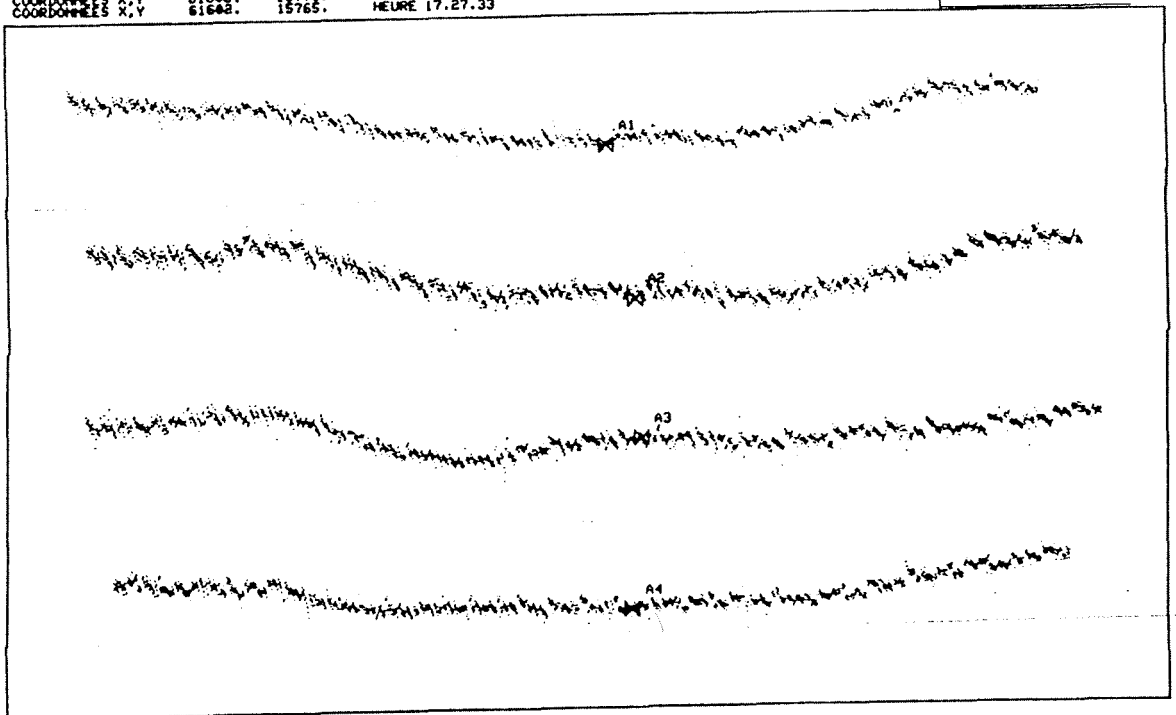


Figure III.51

Exemple de défaut localisé sur la distribution des ΔW

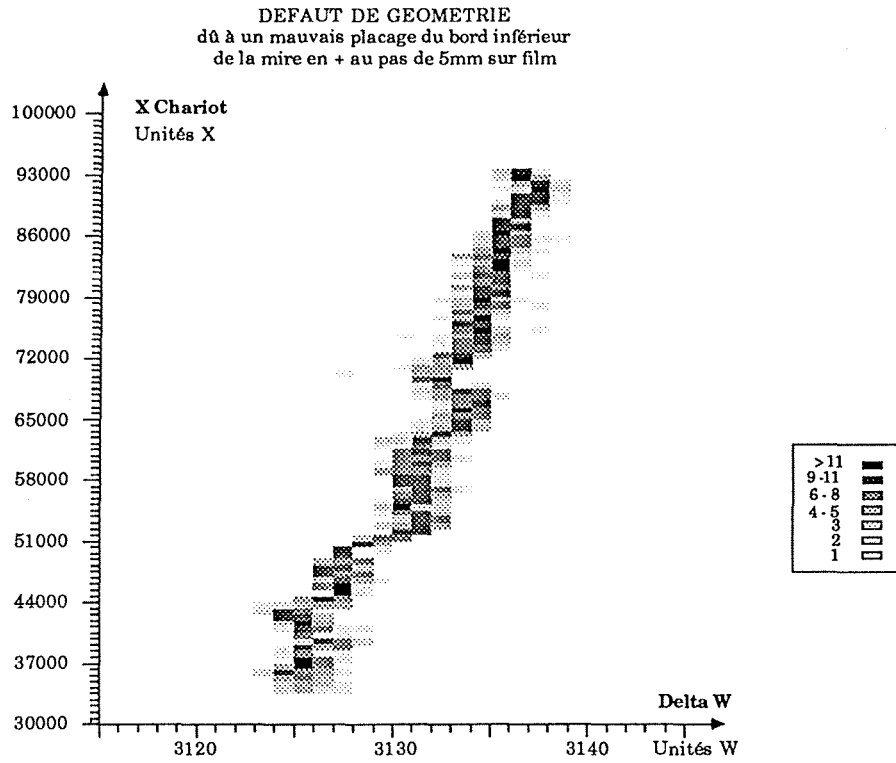


Figure III.52

MIRE EN + SUR FILM n°10: HISTOW: Acquisition dynamique

Figure III.53

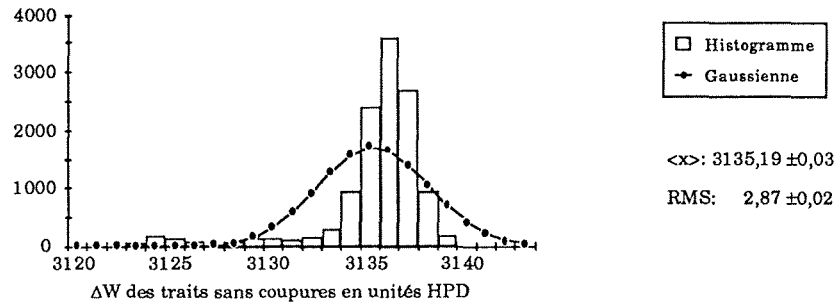


Figure III.54

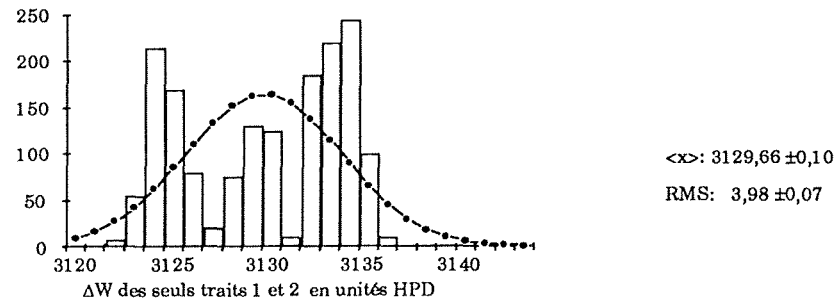
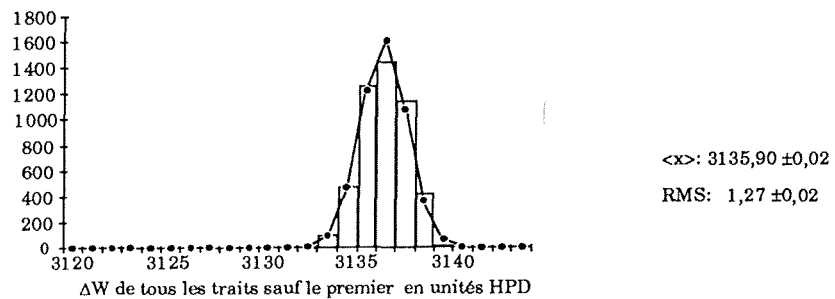


Figure III.55



DEFAUT DE GEOMETRIE
 dû à un mauvais placage du bord inférieur
 de la mire en + au pas de 5mm sur film

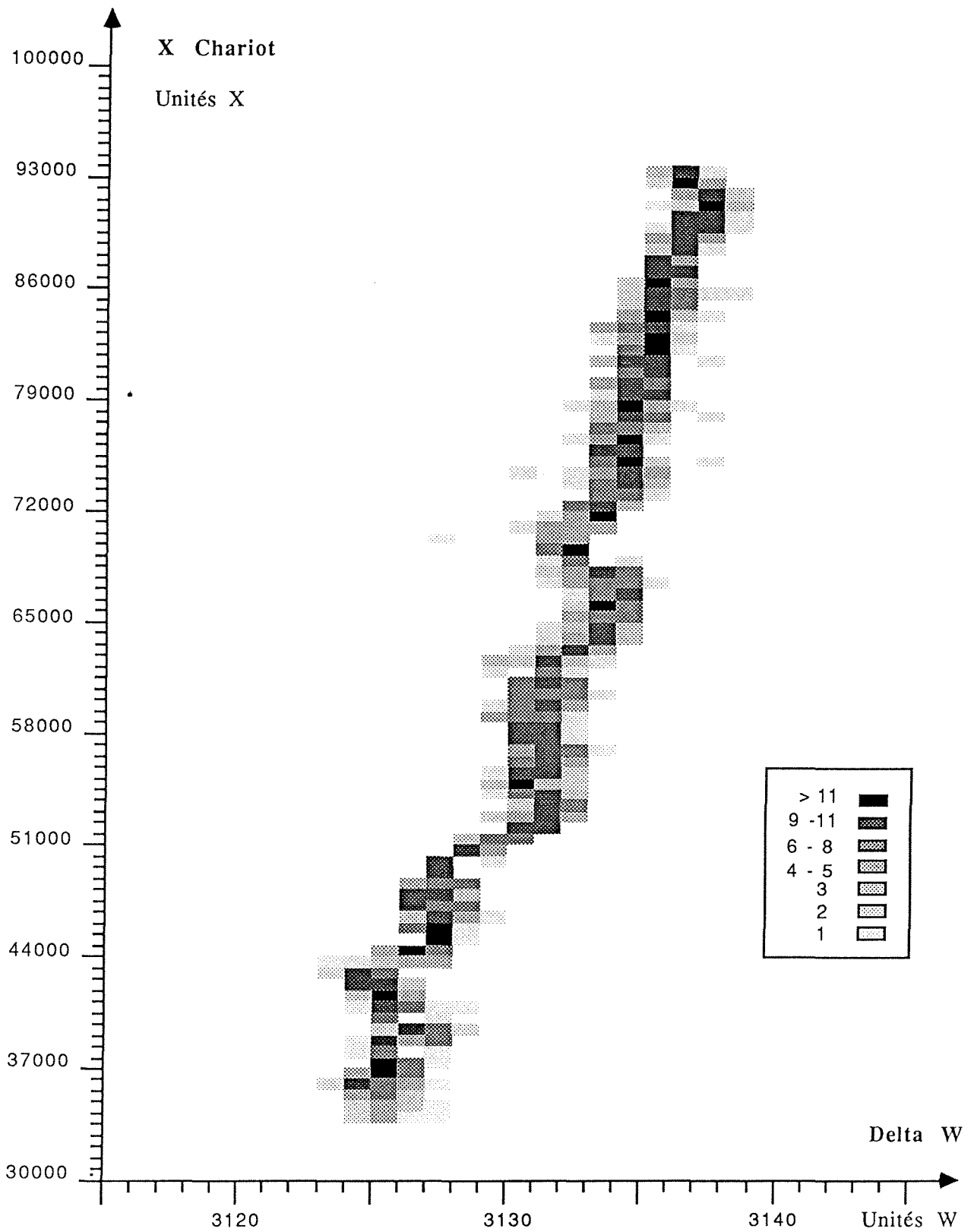


Figure III.52

La figure III.56 visualise les mesures de la mire en X à traits opaques de 25 ± 1 microns sur support transparent de verre. Le zoom de la figure III.57 montre le comportement correct de l'appareil aux intersections. Les rotations de $+$ et $-\pi/4$ de ces mesures (Fig. III.58 et III.60) suivies d'une anamorphose (Fig. III.59 et III.61) permettent de visualiser la linéarité X, W des traits obliques. Les écarts par rapport à une droite sont inférieurs ou égaux à ± 2 unités.

Une analyse plus approfondie nécessite le filtrage de toutes les intersections des traits de la mire et la représentation de l'écart des positions trouvées par rapport aux positions théoriques. Cette étude lourde ne s'est pas justifiée sur la mire. Elle n'a été menée que sur les croix fiducielles des expériences mesurées.

III.5.10.3. Les clichés de mesure

L'étude des mires que nous avons menée est indispensable pour qualifier l'appareil. Elle est toutefois insuffisante pour en déduire le comportement lors de la mesure de traces réelles. Ces traces réelles sont constituées d'images de bulles, représentant un certain profil de densité, un contraste, un grain différent des traits d'une mire. Elles se détachent sur un fond non homogène. Leur alignement est altéré par des turbulences, la coalescence et par les déformations optiques lors de la prise des données.

La largeur des traces, la distance minimum à partir de laquelle on peut distinguer deux traces, leur paramètre d'impact sont des caractéristiques qui sont traitées dans le cadre de l'étude de l'expérience NA27.

On peut toutefois disposer d'indications assez précises sur ces paramètres à partir de l'examen des données brutes de mesures. Cet examen peut porter sur l'analyse de l'image de l'événement sur la console graphique.

Ainsi la figure III.62 visualise les points de mesure d'une trace dont la dispersion est inférieure à 3 unités soit 5 microns. Cette dispersion des images de bulles est essentiellement due au comportement thermodynamique de la chambre à bulle et au grain photographique de la pellicule. La figure III.64 qui constitue une anamorphose de la figure III.63 représente deux traces parallèles du faisceau, distantes de 120 microns. Elles montrent l'influence des turbulences dans la chambre ainsi qu'une déformation géométrique systématique due à l'optique de prise de données.

La figure III.66, qui constitue une anamorphose importante de la zone du vertex de la figure III.65, met en lumière la limite de discrimination entre deux traces. Lorsque les deux traces sont très proches (< 8 microns), il y a coalescence et l'appareil ne trouve plus qu'un seul centre de bulle ce qui engendre un phénomène d' "Y".

Par ailleurs, l'examen de la distribution du ΔW des mesures d'un événement représentatif fournit des informations intéressantes sur le comportement global de l'appareil (Fig. III.67). On note un enrichissement significatif en faibles valeurs de ΔW occasionné

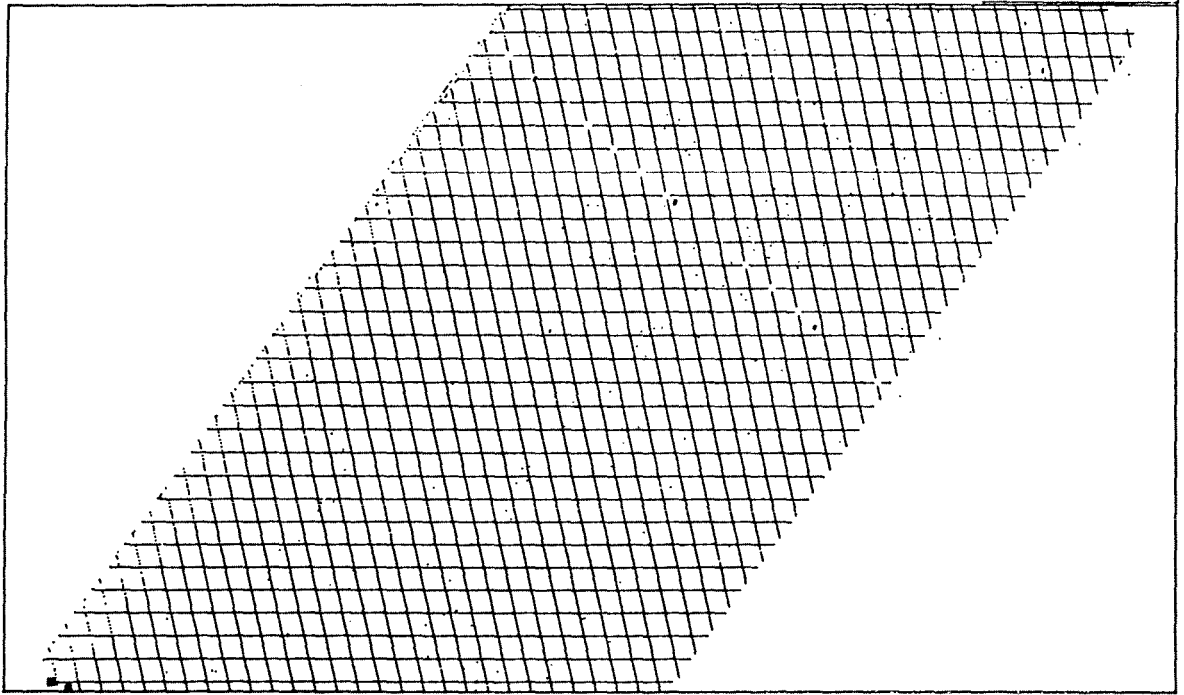


Figure III.60

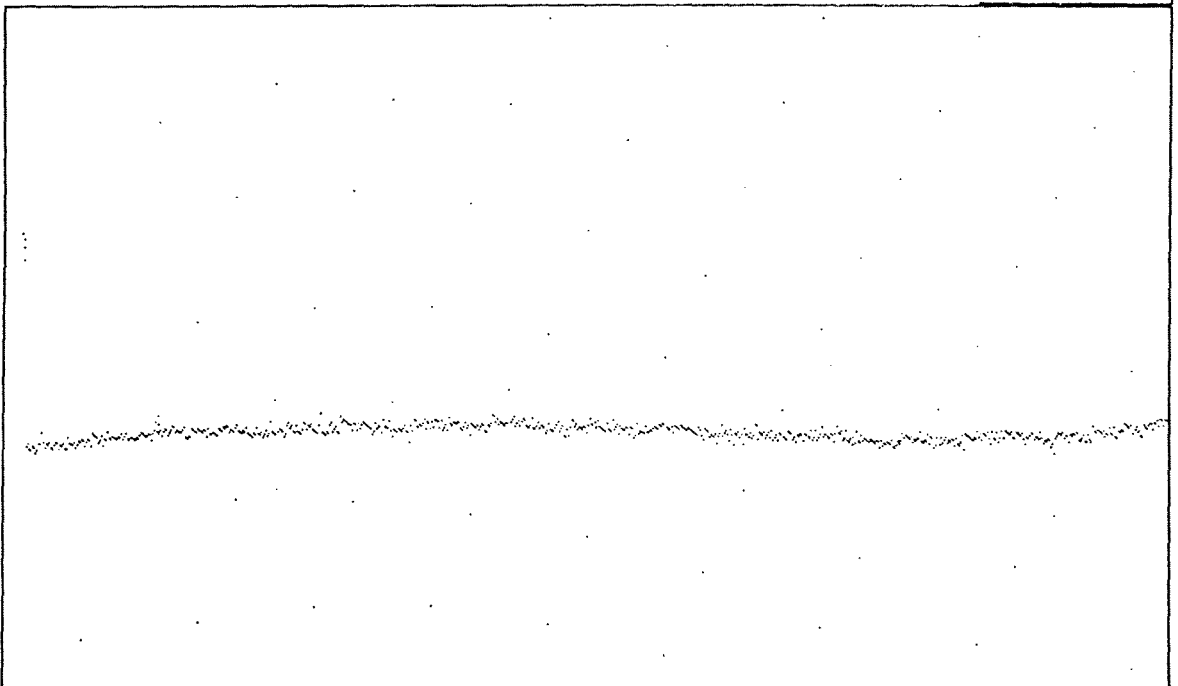


Figure III.61

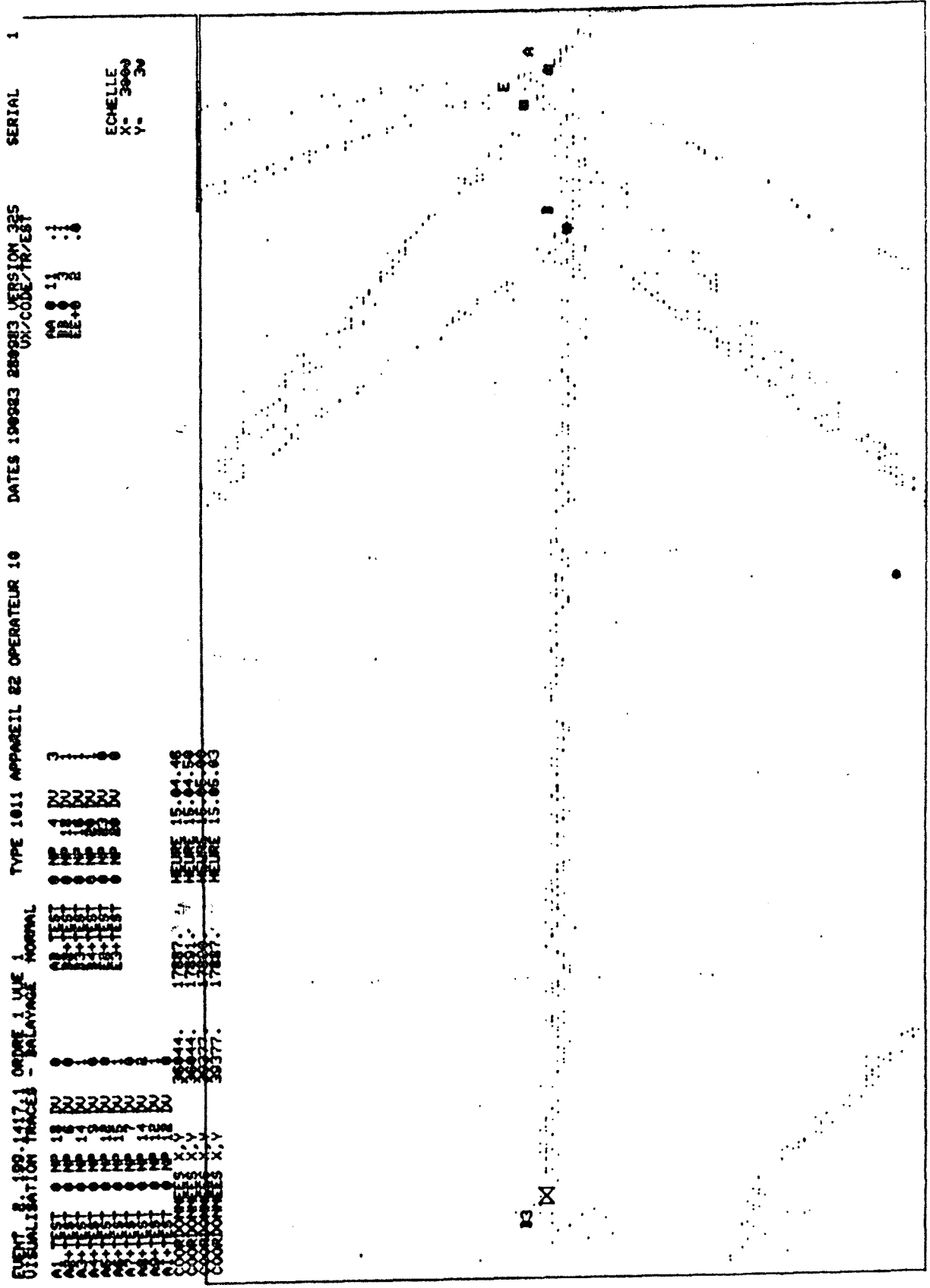


Figure III.62

par l'action du filtrage analogique du signal, superposé à la structure en jet des interactions. Sur cette distribution des ΔW on relève les caractéristiques suivantes :

- 5 unités de distance entre données (~ 8 microns) correspond au taux de détection maximum.
- 60% de ce taux correspond à des données distantes de 3 à 12 unités soit environ 5 à 19 microns.
- Ces valeurs doivent être rapprochées du diamètre des images de bulles mesurées (10 à 16 microns)
- 2 unités de distance (3.2 microns) correspondent encore à un taux de détection de 22%.

Ainsi nous avons la confirmation d'une bonne sensibilité de l'appareil pour un coefficient important de recouvrement des images de bulles. Ceci correspond physiquement au phénomène de coalescence qui se manifeste pour des traces proches notamment dans la zone du vertex et qui limite généralement l'accès aux durées de vie courtes dans les appareils de mesure traditionnels.

EVENT 1. 125.2154.1 ORDRE 1 VUE 1 TYPE 610 APPAREIL 31 OPERATEUR 1 DATES 220382 220382 VERSION 319 SERIAL 3
 BALAYAGE 1 ECHEC TRACES - COMMANDES R Z A D U S T C B H E H P I K X Y O J U L H

TRACE A1	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A2	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A3	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A4	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A5	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A6	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A7	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A8	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A9	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A10	LARS	0	ZEST	0	NET	0

ECHELLE
 X= 8000
 Y= 8000

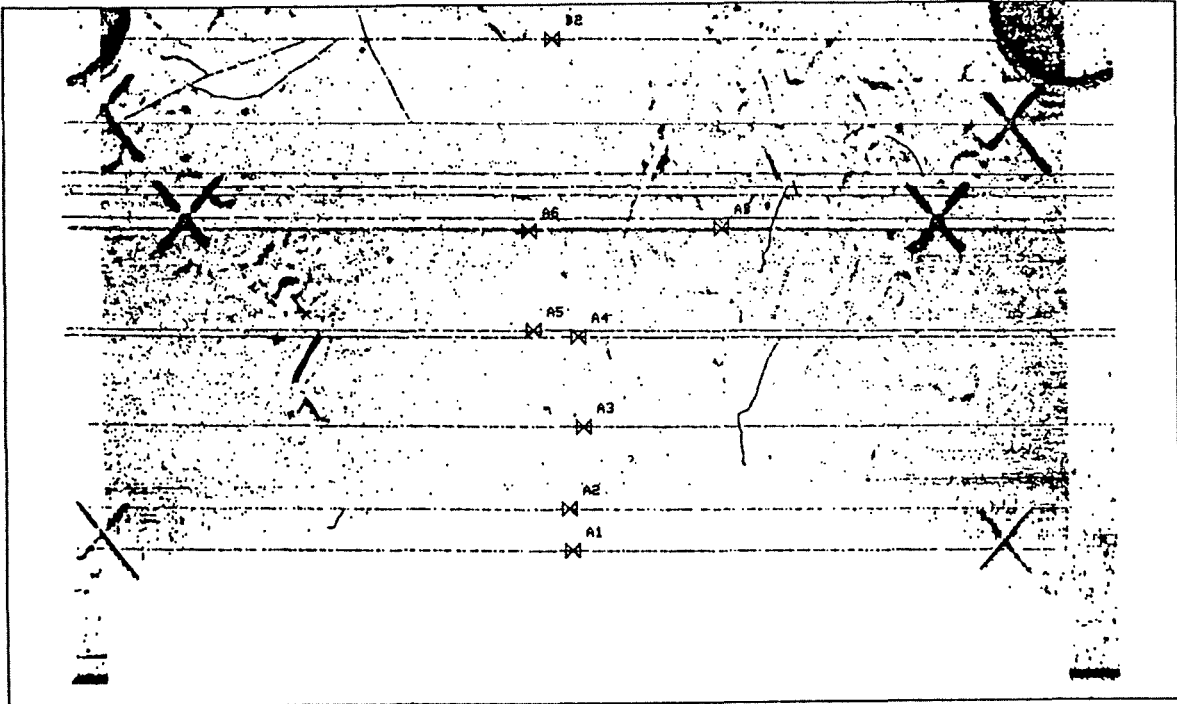


Figure III.63

EVENT 1. 125.2154.1 ORDRE 1 VUE 1 TYPE 610 APPAREIL 31 OPERATEUR 1 DATES 220382 220382 VERSION 319 SERIAL 3
 BALAYAGE 1 ECHEC TRACES - COMMANDES R Z A D U S T C B H E H P I K X Y O J U L H

TRACE A1	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A2	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A3	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A4	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A5	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A6	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A7	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A8	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A9	LARS	0	ZEST	0	NET	0
TRACE A10	LARS	0	ZEST	0	NET	0

ECHELLE
 X= 8000
 Y= 70

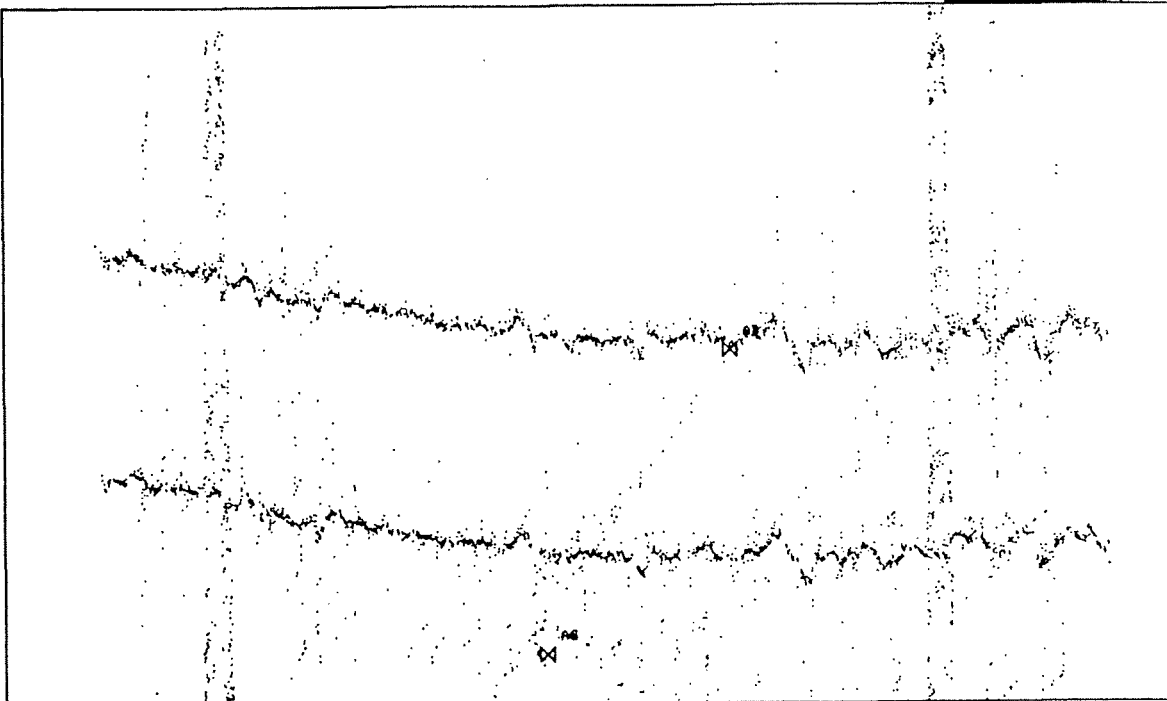


Figure III.64

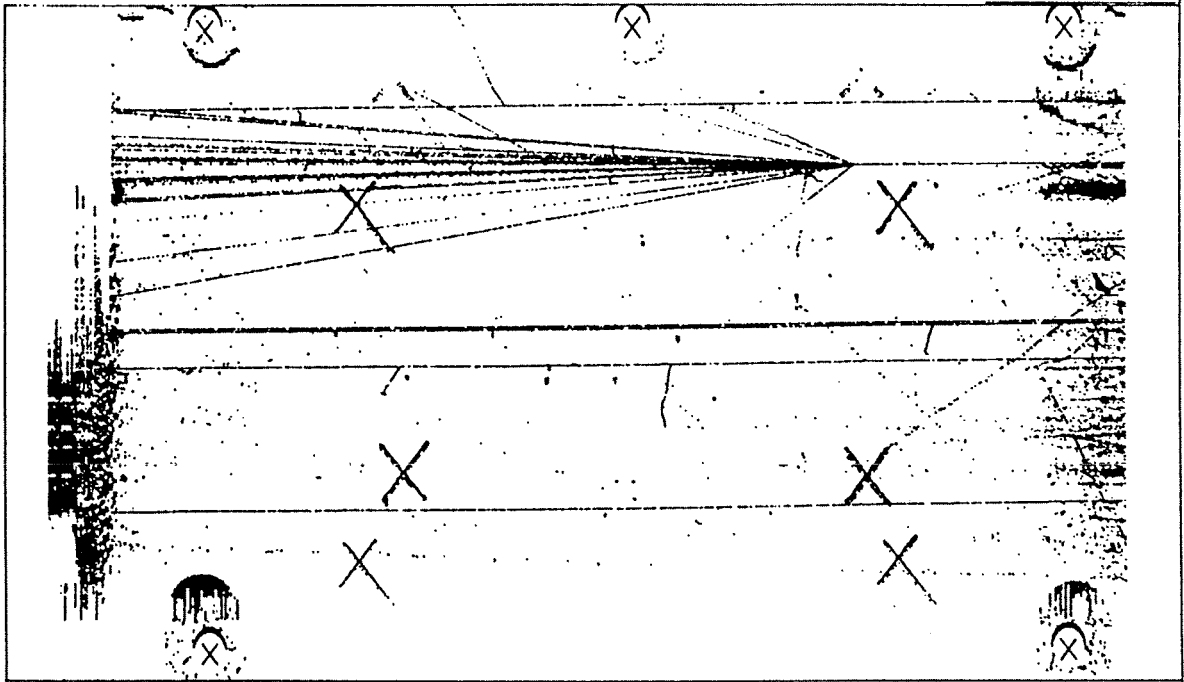


Figure III.65

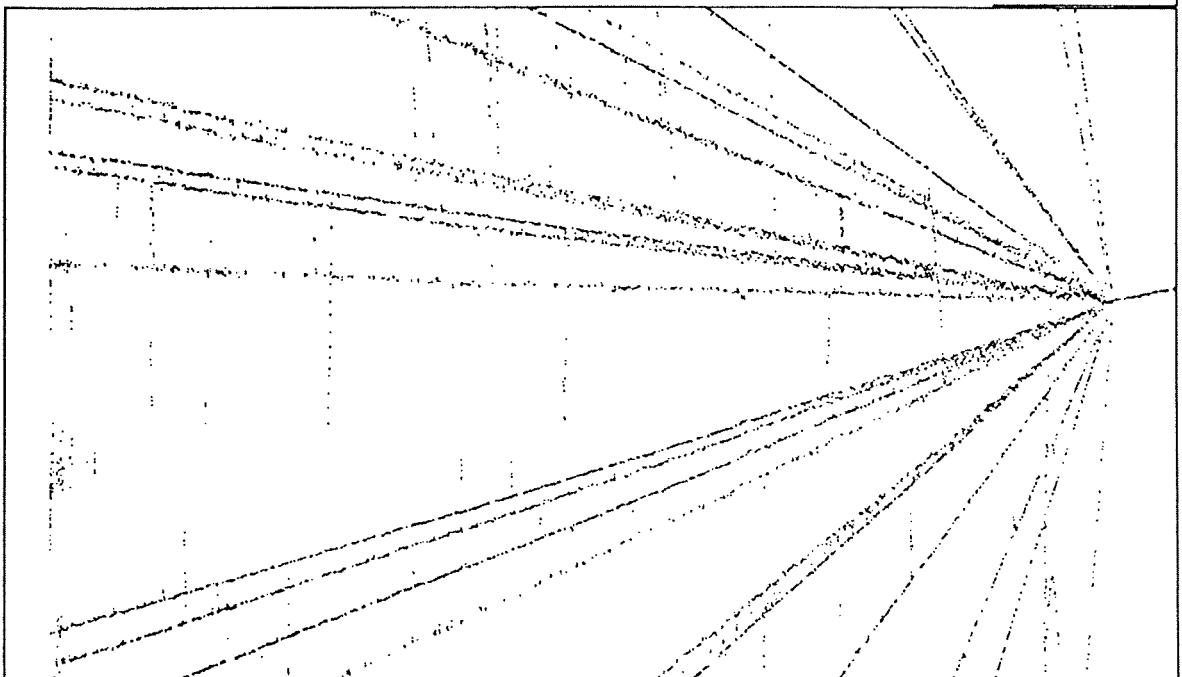


Figure III.66

Distribution des distances entre digitisations successives

Distribution des DeltaW d'un cliché de mesure

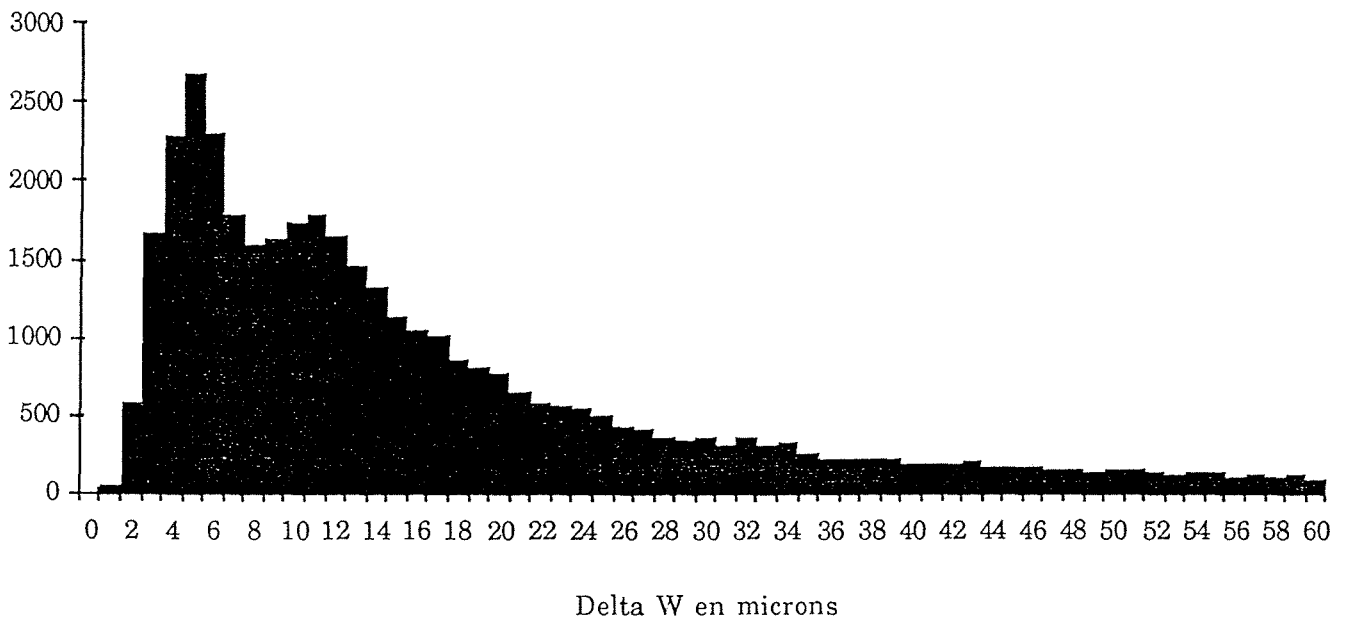


Figure III.67



Photo III.22

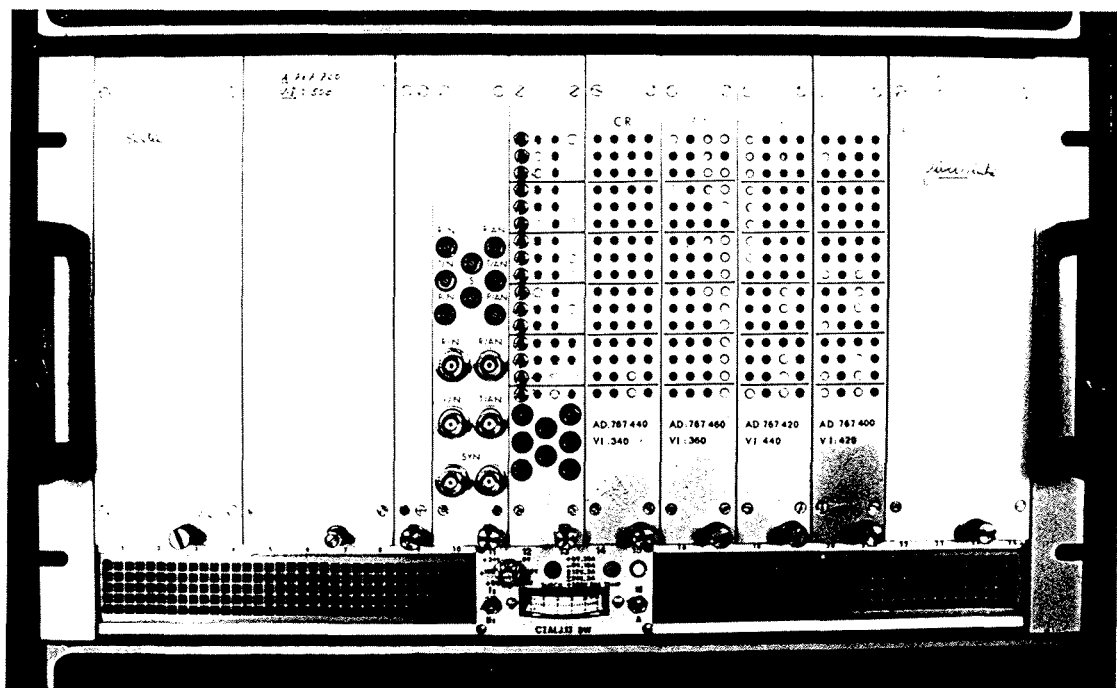


Photo III.23

III.5.11. Les caractéristiques, les résultats

III.5.11.1. Les caractéristiques physiques

- Le spot d'analyse	Valeur	Unité
Vitesse de rotation du disque	1 500	t/mn
Nombre de fibres mobiles	8	
Nombre de fibres fixes	2	
Période d'une ligne de balayage	5	mS
Longueur utile d'une ligne de balayage	50	mm
Longueur totale d'une ligne de balayage	60	mm
Vitesse du spot	12	$\mu/\mu S$
Diamètre du spot sur le film		
. à 1/2 intensité au centre de l'image	< 10	μ
. à 1/2 intensité sur les bords de l'image	11-12	μ
- Les chariots		
Course X	240	mm
Course Y	85	mm
Vitesse maximum	120	mm/s
Vitesse nominale	6	mm/s
Espacement correspondant des lignes de balayage	30	μ
Résolution	2	μ
Durée de balayage d'1 cliché de 120 mm de long	20	s
- Le déplacement		
Diamètre des bobines	150	mm
Longueur du film	150	m
Largeur du film	35,50,70	mm
Vitesse maximum de défilement	4	m/s
Précision d'arrêt	± 500	μ
Nombre de clichés par heure	~ 120	
- L'acquisition W		
Pas de réseau W	25,4	μ
Interpolation par	16	
Résolution correspondante	1,59	μ
Vitesse maximum d'acquisition	240	ns
Distance minimum théorique de 2 points	$\sim 3,2$	μ

III.5.11.2. Les résultats de mesure

Les mesures de la petite mire de précision calibrée nous renseignent sur les caractéristiques ponctuelles de l'appareil.

a - La sensibilité de détection de l'appareil.

Elle est appréciée en fonction de la dimension géométrique de l'élément d'image à mesurer, à partir du rapport de la RMS à la largeur de l'élément. Ce rapport nous montre la précision de mesure, relative à la largeur de l'élément.

- Ce rapport vaut $2\% \pm 0.05$ pour les éléments de plus de 20 microns,
- Ce rapport vaut $7\% \pm 0.1$ pour les éléments de 10 microns,
- Il grimpe à $20\% \pm 0.5$ pour les éléments de 4 microns.
- Des éléments de taille inférieure peuvent être mesurés au détriment de la précision.

b - La précision de mesure intrinsèque.

Elle est appréciée sur la RMS des mesures statiques des distances de traits parallèles équidistants de 30 microns de large, espacés de 250 microns. On trouve :

- $RMS = 1.2 \pm 0.1$ microns pour l'ensemble des 11 traits,
- $RMS = 0.6 \pm 0.1$ microns pour 2 d'entre eux seulement.

c - La précision de mesure réelle.

Elle est appréciée sur la RMS des mêmes mesures effectuées en dynamique, c'est-à-dire avec déplacement des chariots. Elle nous fournissent le résultat suivant :

- $RMS = 1.1 \pm 0.1$ microns pour l'ensemble des 11 traits, ce qui est cohérent avec les résultats statiques homologues.

d - L'incidence des traits.

L'incidence d'un trait par rapport à la trajectoire du faisceau d'analyse doit être comprise entre 90° et 5° pour que la mesure ne soit pas ambiguë. Pour un trait de 30 microns de large cela correspond à une largeur apparente de 345 microns.

e - La précision de mesure géométrique de l'appareil.

Les caractéristiques géométriques de l'appareil sont étudiées sur les mires de grande dimension comportant un réseau de traits de 25 ± 1 microns parallèles équidistants espacés de 5000 microns. La précision de mesure géométrique est appréciée sur la RMS des mesures dynamiques des distances de traits de cette mire en verre de grande dimension. On trouve :

- RMS = 1.02 ± 0.01 microns pour l'ensemble des mesures L'axe W apporte une contribution plus importante que X à cette valeur, ce qui apparaît logique.

f - Les caractéristiques de mesures réelles utiles.

Elles sont appréciées sur les mesures de mires sur film. La mesure de la copie sur film de la mire précédente fournit le résultat homologue suivant :

- RMS = 2.18 ± 0.02 microns

g - La stabilité à long terme de l'appareil.

Elle est appréciée sur l'évolution de la valeur moyenne et de la RMS des mesures de distances de traits des mires sur film sur une période de 2 ans. On trouve :

$$\langle \Delta W \rangle = 3146.87 \pm 0.01$$

$$RMS = 1.02 \pm 0.01$$

Fluctuation de la distance moyenne des traits : ± 2.6 microns

soit : $\pm 5.10^{-4}$

Fluctuation de RMS : ± 0.22 microns

soit : $\pm 10\%$

h - La dispersion des points de mesure des vraies traces.

Elle est appréciée sur la scrutation des mesures des films d'expériences. Cette dispersion est inférieure à 5 microns sur les films en notre possession.

i - La discrimination de traces proches.

Elle peut être appréciée grâce à une anamorphose importante de la zone du vertex. La limite de discrimination de deux traces proches se situe à 8 microns ce qui correspond à la coalescence des bulles dans la chambre considérée.

L'examen de la distribution des distances de mesures indique de même une baisse de l'efficacité de détection pour les données dont la distance est inférieure à 8 microns.

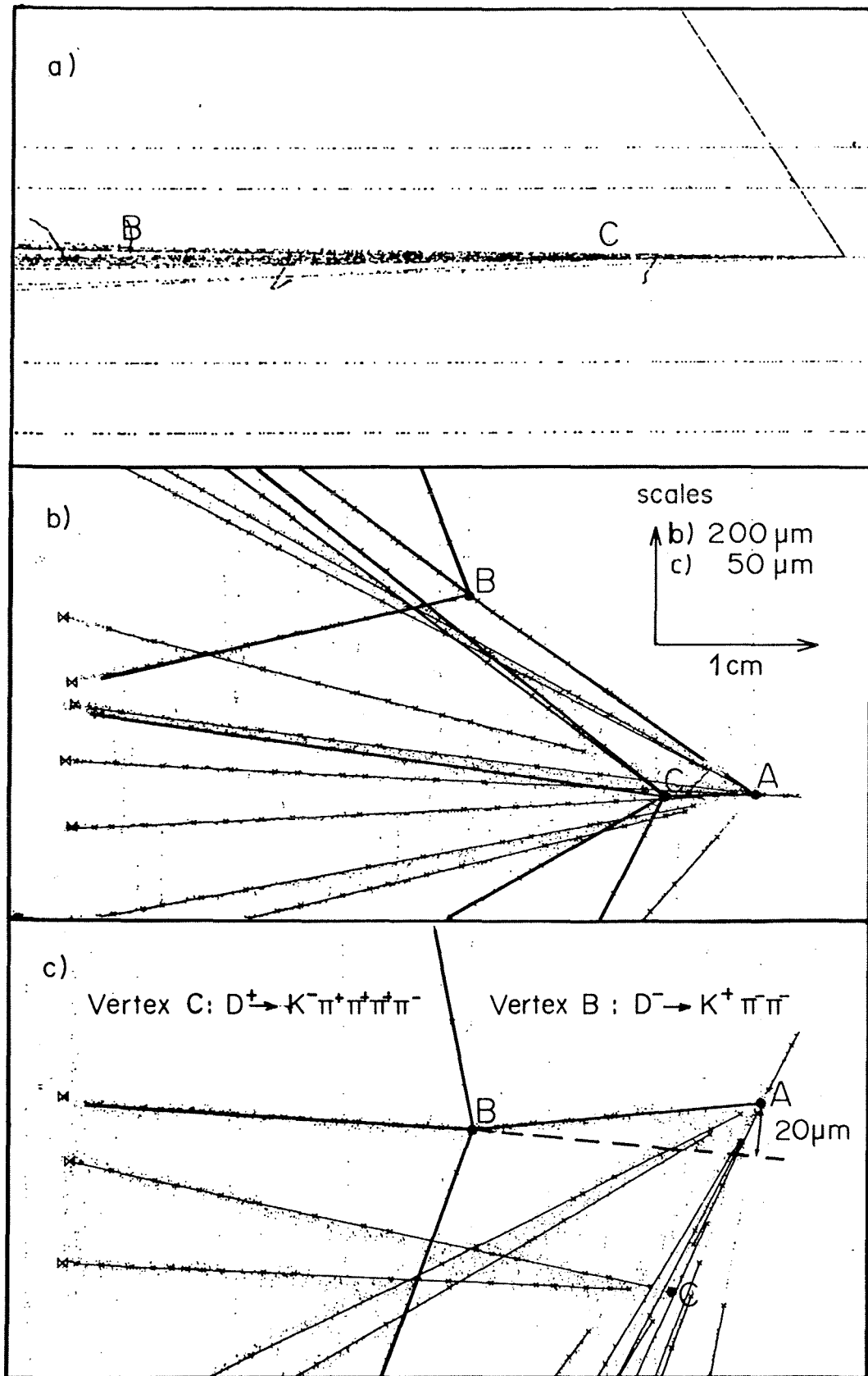


Figure III.68

III.6. L'ANALYSE GRAPHIQUE INTERACTIVE

Les liaisons conversationnelles à haut débit (150 kbits/s) connectent plusieurs consoles graphiques à grand écran à l'ordinateur du Centre de Calcul via le réseau téléphonique (Réf. 3, 9, 41). Elles permettent l'utilisation du HPD au mode interactif, c'est-à-dire, en fait, l'utilisation interactive par le programme RESCUE du programme FILTRE.

Son objectif est multiple. D'une part, il vise à analyser le comportement de FILTRE en fonction des traces filtrées et des traces en échec afin d'optimiser son fonctionnement pour chaque expérience. D'autre part, il permet la récupération des traces en échec. En effet, un taux d'échec variable caractérise tout appareil automatique. Le sauvetage des échecs par RESCUE consiste à associer à FILTRE un opérateur humain dont l'efficacité dans la reconnaissance des formes est actuellement supérieur à celle de l'algorithme programmé.

En fait, dans le cas d'un échec, RESCUE reconvertit les informations numériques correspondant à l'image analysée en informations optiques sur la console de visualisation graphique interactive. L'opérateur peut faire subir à cette image, sous contrôle d'un manche à balai, toutes les transformations graphiques habituelles : Rotation, Translation, Homothétie (Zoom) ainsi que l'Anamorphose. RESCUE superpose à cette image les points de pré mesure et le résultat graphique du traitement de FILTRE (cf. figure recopie d'écran). L'opérateur humain peut ainsi en analyser le fonctionnement et rectifier les erreurs en visant, à l'aide du manche à balai, un point précis de l'écran. Il désigne ainsi à FILTRE, la digitalisation sélectionnée pour indiquer par exemple qu'elle appartient ou n'appartient pas à une trace étudiée. Dans le cas extrême des clichés à haute résolution (NA16, NA27), cela aboutit à la mesure manuelle de l'image mais permet un taux d'échec quasi nul.

L'efficacité de cette scrutation optique des digitalisations a son origine dans le traitement du signal vidéo qui a engendré les digitalisations. Ainsi, le gradient de densité du cliché qui représente la bulle sur la photographie est transformé en une coordonnée matérialisée sur l'écran par un point de dimension nulle. Quelle que soit la transformation graphique utilisée et en particulier dans le cas de l'anamorphose, la dimension et la forme de ce point reste constante. Ceci permet de mettre en évidence des structures d'alignements là, où la même transformation, appliquée au cliché optique, ne présenterait aucune information exploitable.

Pour illustrer cette démarche nous représentons sur la figure III.68a un agrandissement photographique d'un événement typique de la physique du charme. La figure III.68b représente les digitalisations de ce même événement après anamorphose de 50 et traitement. Les traces filtrées sont superposées aux digitalisations et mettent en évidence deux activités secondaires B et C invisibles sur le cliché photographique. La figure III.68c représente le même événement après rotation autour du vertex primaire A et anamorphose encore accentuée (200).

C'est la raison pour laquelle nous avons associé le dépouillement sur écran à la dernière phase de dépouillement des clichés pour des expériences de recherche d'états à très courte

durée de vie. Son efficacité s'est révélée dans l'exploitation des expériences de recherche du charme décrites dans la troisième partie de ce travail.

III.7. L'HOLOGRAPHIE

L'holographie est notamment utilisée en physique des particules pour résoudre le problème de l'enregistrement des informations du détecteur de vertex à haute résolution. Ce détecteur est actuellement constitué d'une chambre à bulles de dimensions réduites, à liquide lourd dans le cas de BIBC ou de HOBC, à liquide léger dans le cas HOLEBC. L'utilisation d'une chambre à streamers a par ailleurs été envisagée également. Le recours à l'holographie consisterait dans ce cas à enregistrer les hologrammes des ondes de choc produites par la formation des streamers ce qui permettrait d'y résoudre à la fois les problèmes de résolution (streamers très fin car au début de sa naissance) et de sensibilité (énergie lumineuse externe).

Quoiqu'il en soit, si le problème de la très haute résolution (< 10 microns) semble maîtrisé au niveau du détecteur, son enregistrement photographique pose de sérieux problèmes localisés aussi bien au niveau optique que photographique.

III.7.1. Les contraintes de l'optique classique

En optique classique, l'image de diffraction d'une source ponctuelle de longueur d'onde λ , à travers un objectif d'ouverture circulaire a et situé à une distance p , est constituée par le disque de diffraction qui est défini en fonction de son rayon r par :

$$I(r) = I_0 \frac{\pi^2 a^4}{4\lambda^2 p^2} \left(\frac{2J_1(\pi r a / \lambda p)}{\pi r a / \lambda p} \right)^2$$

I_0 étant l'énergie par unité de surface recueillie par l'ouverture de l'objectif et J_1 la fonction de Bessel

En prenant $x = \pi r a / \lambda p$ il vient :

$$I(x) = I_0 \pi \left(\frac{a}{2\lambda} \right)^2 \left(\frac{2J_1(x)}{x} \right)^2$$

Son maximum principal correspond à $x = 0$, c'est-à-dire $r = 0$, et sa première racine $I(x) = 0$ correspond à $x = 3,83$. $I(0)/2$ correspond à $x = \pi$.

Le rayon du disque de diffraction qui correspond à la dimension image d'un objet ponctuel, pour un objectif donné, mesure ainsi :

$$x = \pi \frac{r a}{\lambda p} = 3.83 \quad \text{d'où}$$

$$r = 1.22 \lambda \frac{p}{a}$$

Le critère de Rayleigh nous permet de définir la résolution d'un objectif comme la distance de deux objets proches dont le maximum de l'image de diffraction de l'un correspond au minimum de l'autre. Cette distance correspond ainsi par définition à r .

Dans la pratique, on souhaite prendre l'image d'objets volumiques, et donc, la profondeur de champ est un paramètre déterminant dans la résolution utile. La demi-profondeur de champ s'écrit

$$\delta = 2\lambda \left(\frac{p}{a} \right)^2 \rightarrow \frac{p}{a} = \sqrt{\frac{\delta}{2\lambda}}$$

$$r = 0,61 \sqrt{2\delta\lambda}$$

Avec des objets réels et des objectifs réels de distance focale f et donnant une image réduite d'un facteur ρ il vient :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

$$\rho = \frac{p}{q}$$

$$\rightarrow p = f(\rho + 1)$$

$$r = 1,22 \lambda \frac{f}{a} (\rho + 1)$$

$$\delta = 2\pi \left(\frac{f}{a} \right)^2 (\rho + 1)^2$$

En réalité, l'analyse d'un cliché de chambre à bulles par un opérateur ou par un appareil automatique ne répond pas aux postulats précédents. La résolution a été définie à partir du critère de Rayleigh appliqué à l'image de diffraction d'un objet de dimension nulle. Au niveau de la bulle, l'analyse prendra en compte le rayon apparent du cercle défini par la ligne de plus fort gradient de contraste et non pas la ligne de gradient nul. Cette remarque doit de plus être pondérée par la réponse logarithmique du film à l'éclairement. Ainsi les bulles semblent sensiblement plus petites que ne le prévoit la théorie et la profondeur de champ qui s'apprécie de diverses manières, se trouve augmentée d'un facteur pouvant atteindre 2.

En conclusion $r = 0,61 \sqrt{2\delta\lambda}$ devient : $\delta \simeq 2,7 r^2$ en microns pour $\lambda = 0,5\mu$ ce qui donne le tableau des profondeurs de champs théoriques possibles 2δ en fonction de la résolution géométrique r pour des objets de dimension nulle et quel que soit le système optique utilisé.

Résolution (μ)

Profondeur de champ (μ)

$$r = 200$$

$$2 \delta \simeq 2.10^5$$

$$r = 20$$

$$2 \delta \simeq 2.10^3$$

$$r = 2$$

$$2 \delta \simeq 20$$

En tenant compte des remarques précédentes sur le rayon apparent des images de bulles, ces chiffres, imposés par les limites de l'optique classique, constituent une contrainte très sévère pour le domaine physique auquel elles donnent accès. En effet, nous verrons dans la troisième partie de ce travail que la recherche du charme correspond à des durées de vie τ de 10^{-13} seconde ce qui correspond à une distance maximum de $c\tau = 30 \mu$, la beauté nécessitant peut être l'accès à $\tau = 10^{-14}$ seconde ce qui correspond à $c\tau = 3 \mu$ (sans tenir compte des problèmes de section efficace).

Ainsi, si l'on admet que l'accès à la physique $\tau = 10^{-13}$ seconde est assuré avec une résolution spatiale de 20μ , si l'on admet que le rayon apparent d'une bulle correspond à la résolution et si l'on tient compte des facteurs correctifs énumérés précédemment on peut évaluer la profondeur de champ obtenue en optique classique avec un objectif parfait pour des bulles de diamètre d :

$$\begin{aligned} d = 2r = 20 \mu & \quad \text{correspond à } 2\delta = 2 \text{ mm} \\ \text{et } d = 2r = 2 \mu & \quad \text{correspond à } 2\delta = 20 \mu \end{aligned}$$

Bien que les produits de réaction soient fortement piqués vers l'avant dans le système du laboratoire pour ce domaine de recherche (structure de jet), on arrive à perdre de plus en plus d'informations par la profondeur de champ insuffisante quand on cherche à améliorer la résolution en optique classique.

III.7.2. L'enregistrement des hologrammes

L'équation $r = 0,61 \sqrt{2\delta\lambda}$ qui s'écrit aussi

$\delta \simeq 1,3\lambda\left(\frac{r}{\lambda}\right)^2$ et qui impose l'antagonisme résolution profondeur de champ en optique classique devient en lumière cohérente

$\delta \simeq \frac{L}{6}\left(\frac{r}{\lambda}\right)^2$ avec $L =$ longueur de cohérence de la radiation utilisée, qui, pour des lasers, peut représenter plusieurs mètres. La profondeur de champ devient alors quasiment indépendante de la résolution. La résolution r s'écrit comme en optique classique

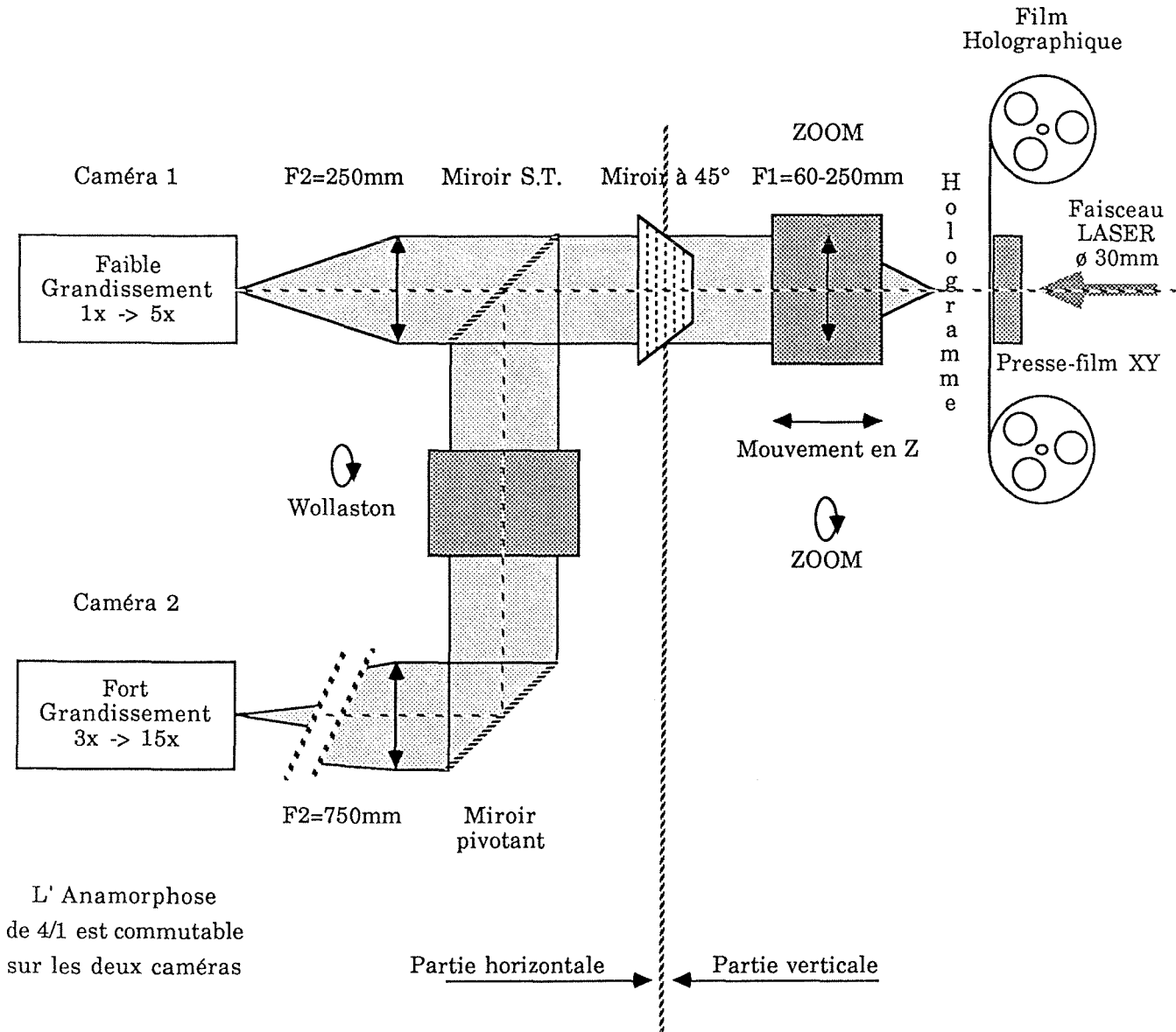
$$r = 1,22\pi \frac{D}{\alpha}$$

mais a représente ici la surface du cliché holographique et non pas l'ouverture de l'objectif. La résolution de l'hologramme est donc essentiellement déterminée par l'angle sous lequel l'objet voit l'hologramme, c'est-à-dire que l'ouverture apparente est constituée par la surface utile du cliché holographique.

Ainsi, l'holographie constitue une voie permettant l'accès aux courtes durées de vie en physique des particules à l'aide de détecteurs visuels. Des expériences comme NA25

LE DEPOUILLEMENT ET LA MESURE DES HOLOGRAMMES

Le schéma optique



L' Anamorphose de 4/1 est commutable sur les deux caméras

Figure III.69

et NA26 ont investigué cette direction au CERN. Deux techniques d'enregistrement des hologrammes ont été testées.

- L'utilisation d'un faisceau de référence en ligne où le faisceau de référence traverse le détecteur et sert simultanément de source à l'objet : les bulles.

- Avec le faisceau de référence externe il est possible d'ajuster l'intensité respective des deux faisceaux et d'obtenir un meilleur contraste. De plus le faisceau de référence n'est pas perturbé par la traversée du milieu de la chambre à bulles.

Par contre, la configuration en ligne est beaucoup plus simple à mettre en oeuvre et les perturbations du faisceau de référence sont dans une certaine mesure compensées par les perturbations homologues de la lumière diffractée par les bulles. De plus, la reconstruction des hologrammes lors de l'analyse nécessite une puissance inférieure en raison de l'enregistrement en champ éclairé. C'est le mode en ligne qui a été retenu pour l'expérience NA25.

III.7.3. La restitution des hologrammes

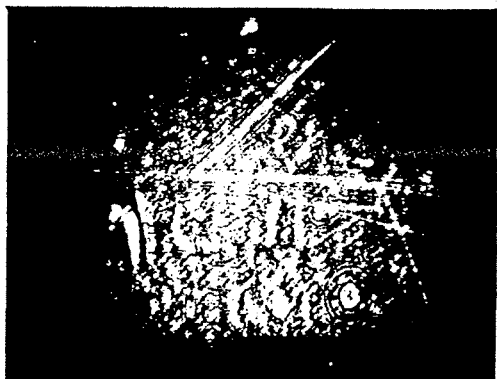
Nous avons développé un prototype d'appareil de dépouillement et de mesure d'hologrammes pour investiguer les problèmes posés par l'analyse des clichés holographiques des chambres à bulles à haute résolution et proposer des solutions. Les équipements existants, conçus pour l'analyse de clichés photographiques, ne conviennent bien entendu pas et ne sont pas transformables pour plusieurs raisons. Le remplacement de la source de lumière par une source cohérente pose de réels problèmes mais surtout le déplacement et la mesure de la 3^{ème} dimension n'est pas prévue sur les équipements existants. De plus, la topologie des événements à analyser avec désintégrations à courte durée de vie superposées à une structure de jet, milite pour le développement de moyens d'analyses spécifiques.

Pour restituer un hologramme il suffit en principe d'exposer le cliché holographique au même faisceau de lumière cohérente que celui ayant servi à l'enregistrement. On peut alors scruter directement l'image virtuelle en relief à travers le cliché ou intercepter l'image réelle au moyen d'un écran. En restituant ainsi l'hologramme, les images auront la même dimension que l'objet ce qui pose le problème de la scrutation de bulles de quelques microns à l'oeil nu. Divers moyens optiques permettent d'agrandir l'image mais se posent alors les problèmes du speckle et de la couleur associés à la lumière cohérente, très fatigants pour la vue, le problème de la puissance lumineuse à fournir ainsi que celui de la profondeur de champ nécessaire.

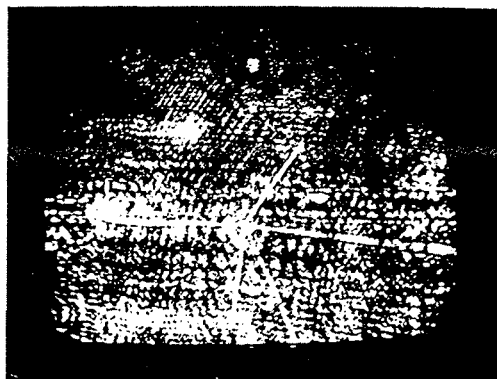
L'utilisation des techniques de scrutation par l'intermédiaire d'un système vidéo élimine beaucoup de ces problèmes. Le speckle disparaît par intégration dans le temps, le spectre lumineux incident est indifférent et la sensibilité élevée des caméras permet d'utiliser une source de faible puissance. L'examen de l'hologramme peut, dans ce cas, se faire très simplement en déplaçant la cible du vidicon qui équipe la caméra vidéo (sans objectif) à l'intérieur de l'image réelle de l'hologramme. Le champ visualisé par un capteur

LE ZOOM OPTIQUE

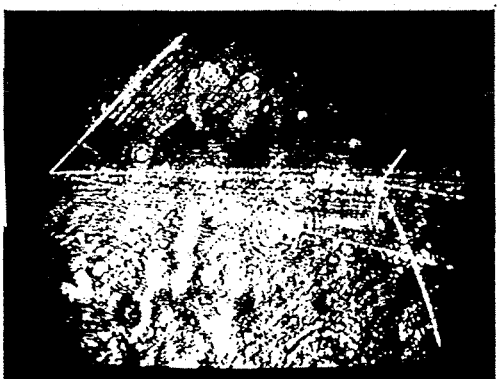
0.8x



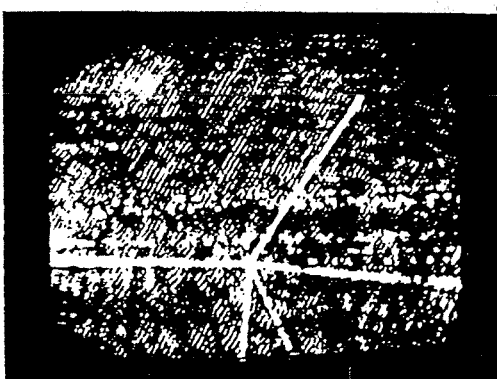
4.0x



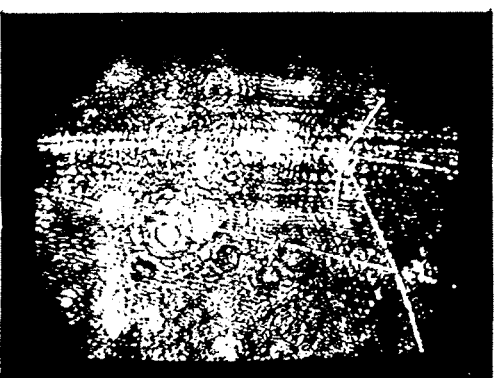
1.3x



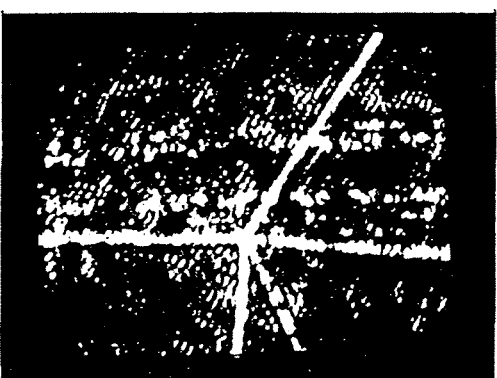
6.4x



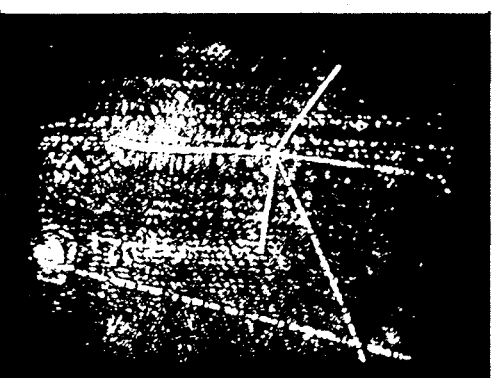
2.0x



10.0x



4.0x



20.0x



CAMERA 1

CAMERA 2

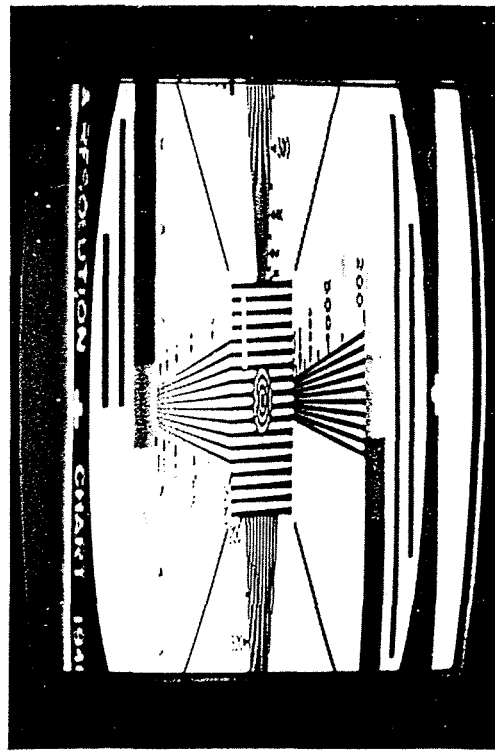
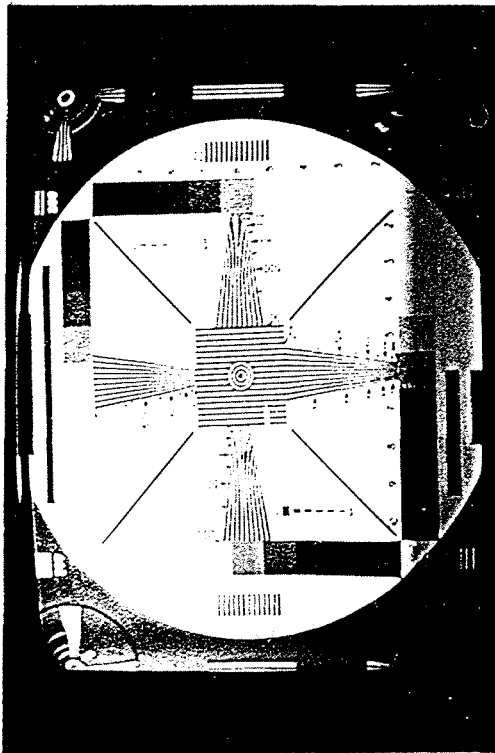
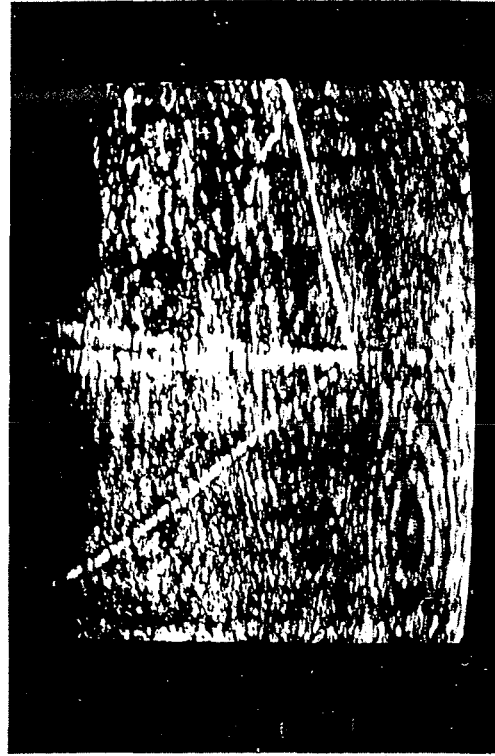
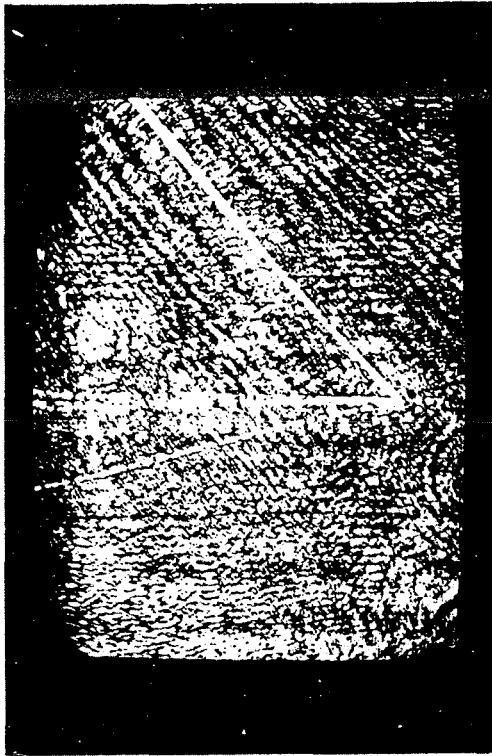
d'image de 1 pouce correspond à une surface maximum de 12 x 16 mm, le grandissement électronique de 20 environ étant égal au rapport de la dimension de l'écran sur celle de la cible du capteur. Cette formule pose toutefois le problème de la résolution, limitée en vidéo, qui doit être contournée par un choix judicieux du grandissement optique. Cette limitation de la résolution géométrique se situe au premier ordre au niveau de la cible du capteur optique, un vidicon généralement. Environ 600 à 800 lignes discrètes sont discernables au centre d'un vidicon ce qui correspond à une résolution géométrique de 20 à 25 microns dans chaque direction. Si on veut scruter des images de bulles de 5 microns (avec un grandissement holographique unitaire) un grandissement optique linéaire de 4 fois doit être assuré par un système optique ce qui limite le champ utile à $12/4 \times 16/4 = 3 \times 4$ mm. Ainsi un grandissement optique modeste (< 4) permet la localisation de structures macroscopiques mais entraîne une perte de résolution. Un grandissement optique important (≥ 4) offre une résolution optimale mais rend difficile, la localisation d'une information en raison de la limitation du champ. Un déplacement en X, Y et Z est indispensable pour la scrutation du volume de l'hologramme (X et Y dans un plan conjugué parallèle au plan du cliché, Z perpendiculaire).

Un autre problème important est constitué par la profondeur de champ associée à la mesure de Z. Une grande profondeur de champ autorise une scrutation immédiate d'une part importante du volume de l'hologramme mais risque de rendre confuse l'image résultant de la superposition des plans. Elle risque également d'entraîner une contamination de l'image réelle par l'image virtuelle. Elle interdit enfin la localisation en Z. Par contre, une faible profondeur de champ qui visualise une tranche mince de l'hologramme permet un bon repérage en Z. Toutefois, la scrutation méthodique de l'hologramme impose un examen séquentiel de toutes les tranches. Ainsi, la maîtrise de la profondeur de champ passe, elle aussi, par l'utilisation de systèmes optiques entre l'hologramme et la caméra.

Dans cette réalisation du prototype de cet appareil d'analyse d'hologrammes, nous mettons en oeuvre plusieurs caméras vidéo. Nous leur avons appliqué un certain nombre de modifications afin d'améliorer leurs performances : amélioration de la résolution par augmentation de la surface utile de la cible, ajustage des circuits de contrôle automatique de gain CAG en vue de répondre aux très grandes variations lumineuses incidentes (> 1000) dues à la technique d'holographie en ligne, anamorphose électronique commutable, d'un rapport 4, en vue d'ouvrir l'angle des traces et mettre en évidence les activités secondaires par accentuation des déviations angulaires.

Dans le même ordre d'idées, nous avons testé plusieurs solutions visant à optimiser l'antimonie profondeur de champ-repérage en Z. Elles mettent en oeuvre plusieurs caméras vidéo monochromes synchrones dont les signaux sont acheminés vers les entrées de chrominance d'un même moniteur couleur. Lorsque les deux caméras présentent un angle stéréoscopique, leurs images sur l'écran, respectivement rouge et bleu par exemple, ne seront superposées que pour le plan Z correspondant à leur point de convergence. Ce dispositif permet une profondeur de champ relativement satisfaisante avec une bonne résolution en Z. Un autre problème concerne la difficulté à évaluer si une information floue que l'on souhaite examiner se trouve en avant ou en arrière du plan de focalisation

L'ANAMORPHOSE COMMUTABLE DE RAPPORT 4/1



Grandissement optique : $5\times$

1/1 champs de : 2.4×3.2 mm dans l'espace

4/1 champs de : 4×1.4 mm dans l'espace

courant. Le dispositif précédent répond partiellement à ce problème mais l'utilisation de 2 ou 3 caméras coaxiales visant des tranches successives de l'hologramme est possible. Ainsi, le plan vert est focalisé sur la tranche médiane par exemple, le plan rouge étant en avant et le plan bleu en arrière. Testé dans son principe, ce dispositif n'a toutefois pas été utilisé pratiquement. Il doit être considéré comme une option possible si les difficultés se présentent concrètement.

Par ailleurs, la détection des activités secondaires est primordiale pour l'analyse physique. Dans ce but, nous avons mis en oeuvre des dispositifs spécifiques pour la faciliter. En effet, une telle activité est signée par une faible déviation angulaire de la trace. Or, les circuits de balayage des caméras vidéo (à tube image électronique) ainsi que les circuits de déflexion des moniteurs ont une linéarité de quelques pour-cent seulement. Ainsi une ligne droite n'est vue parfaitement droite que si elle est parallèle à l'un des deux balayages orthogonaux ligne ou trame c'est-à-dire verticale ou horizontale. aussi avons nous équipé une des caméras de l'appareil d'un prisme de Wollaston permettant par rotation d'amener la trace dans la position désirée. L'anamorphose commutable dont les caméras ont été pourvues ne prend sa vraie signification qu'à travers cette rotation. Une autre technique de mise en évidence d'activités secondaires consiste à balayer, une trace suspecte le long de sa trajectoire selon une droite. Lorsque ce balayage est assez rapide, la chaîne vidéo intègre et fait disparaître le bruit de fond, les traces parasites et la structure de bulles. Seule subsiste une ligne immobile si la trace est droite et un déplacement si celle-ci présente une déviation. Cette idée développée par Sergio NATALI de Bari (Italie) sur une base mécanique a été implémentée sur notre prototype à partir d'une base optique. Ainsi l'événement subit d'abord une rotation autour de son vertex primaire à l'aide d'un prisme de Wollaston, la trace à analyser est ainsi orientée convenablement et balayée optiquement à l'aide d'un miroir pivotant selon une droite.

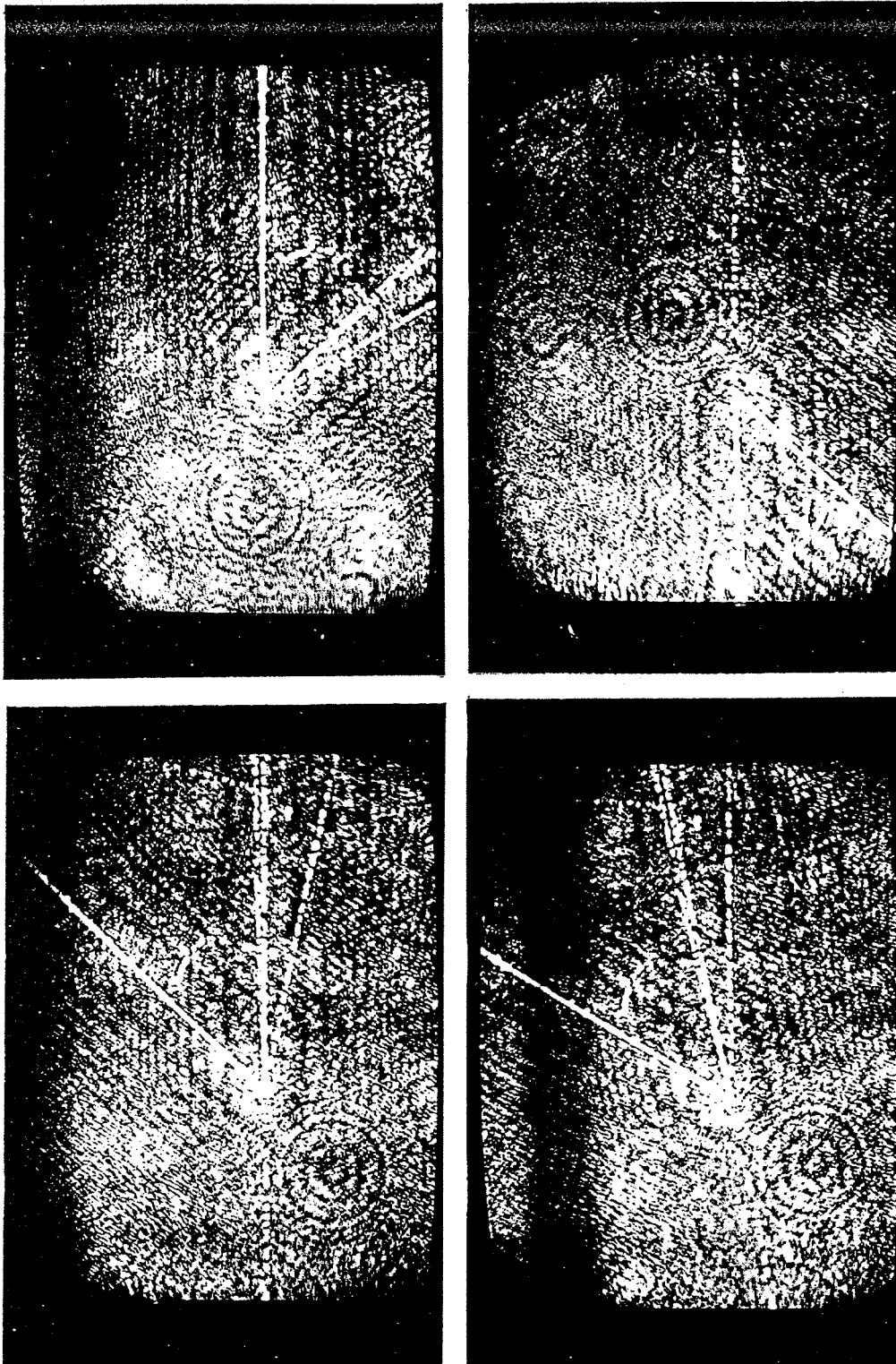
Une dernière technique de détection de faibles déviations angulaires a été proposée. Elle consiste à superposer sur un même écran, dans deux couleurs différentes les images de deux caméras coaxiales, focalisées dans le même plan mais avec des grossissements très différents. La caméra à grand angle fournit alors une image très fine de la direction générale de la trace qui se superpose à l'image très agrandie de la direction locale de la trace fournie par la caméra à champ faible. Les deux images apparaissent coaxiales si la trace est droite. Dans le cas contraire une déviation se manifeste.

Chacune de ces techniques peut être considérée comme complémentaire des autres. Elles ont été imaginées et développées en fonction du domaine de recherche visé.

III.7.4. - La réalisation

Dans la réalisation de notre prototype d'appareil d'analyse d'hologrammes, nous avons opté pour la visualisation des images au moyen d'écrans et de caméras vidéo. La contrainte de résolution nous impose ainsi une commande de déplacement en X, Y et Z par rapport à l'hologramme et ceci aussi bien pour la fonction de mesure que pour le dépouillement. Le déplacement en X et Y est un problème classique, résolu généralement par translation du

LA ROTATION D'UN EVENEMENT AUTOUR DE SON VERTEX
AU MOYEN D'UN WOLLASTON



Grandissement optique : $5\times$
Champs : 2.4×3.2 mm

presse-film dans un plan horizontal. Le mouvement en Z, perpendiculaire aux précédents a alors lieu dans la direction verticale et nécessite le déplacement de masses importantes (caméras ou presse-film). Cette contrainte peut être contournée soit par la translation d'un dièdre réfléchissant qui modifie la longueur du chemin optique, soit par la translation d'un objectif dont l'image est rejetée à l'infini. Tout le système optique associé aux caméras ainsi que ces dernières reste alors fixe. Nous avons retenu cette formule qui, par déplacement du plan focal objet, autorise la scrutation du volume de l'hologramme jusqu'au plan du film et quelle que soit la focale utilisée (Fig. III.62). Cette dernière possibilité nous semble importante dans la mesure où elle permet la lecture d'informations enregistrées sur le film en optique classique (numéro de photo, de film, croix etc...)

Elle permet également la scrutation d'hologrammes proches du plan du film ou traversant celui-ci. Elle permet enfin la scrutation de films conventionnels et la manipulation de leurs images à l'aide des outils de détection d'activités secondaires décrits plus haut.

Le choix judicieux du grandissement optique a été résolu par l'utilisation d'un objectif ZOOM de haute qualité, associé à deux grandissements fixes simultanés. L'objectif ZOOM forme à l'infini, l'image de l'hologramme correspondant au plan focal objet. Une lame semi-réfléchissante aiguille cette image vers le système optique des deux caméras. Le grandissement relatif des deux écrans associés correspond au rapport $F2/F'2$ de leurs focales et la plage de grandissement totale est égale au produit $F2/F'2$ par le rapport de ZOOM. Nous utilisons un objectif ZOOM de focale $F1 = 50$ à 250 mm et d'ouverture numérique $0,027$ à $0,115$. Sa commande de ZOOM est électrique ainsi que sa translation. Un codeur rotatif permet un repérage en Z.

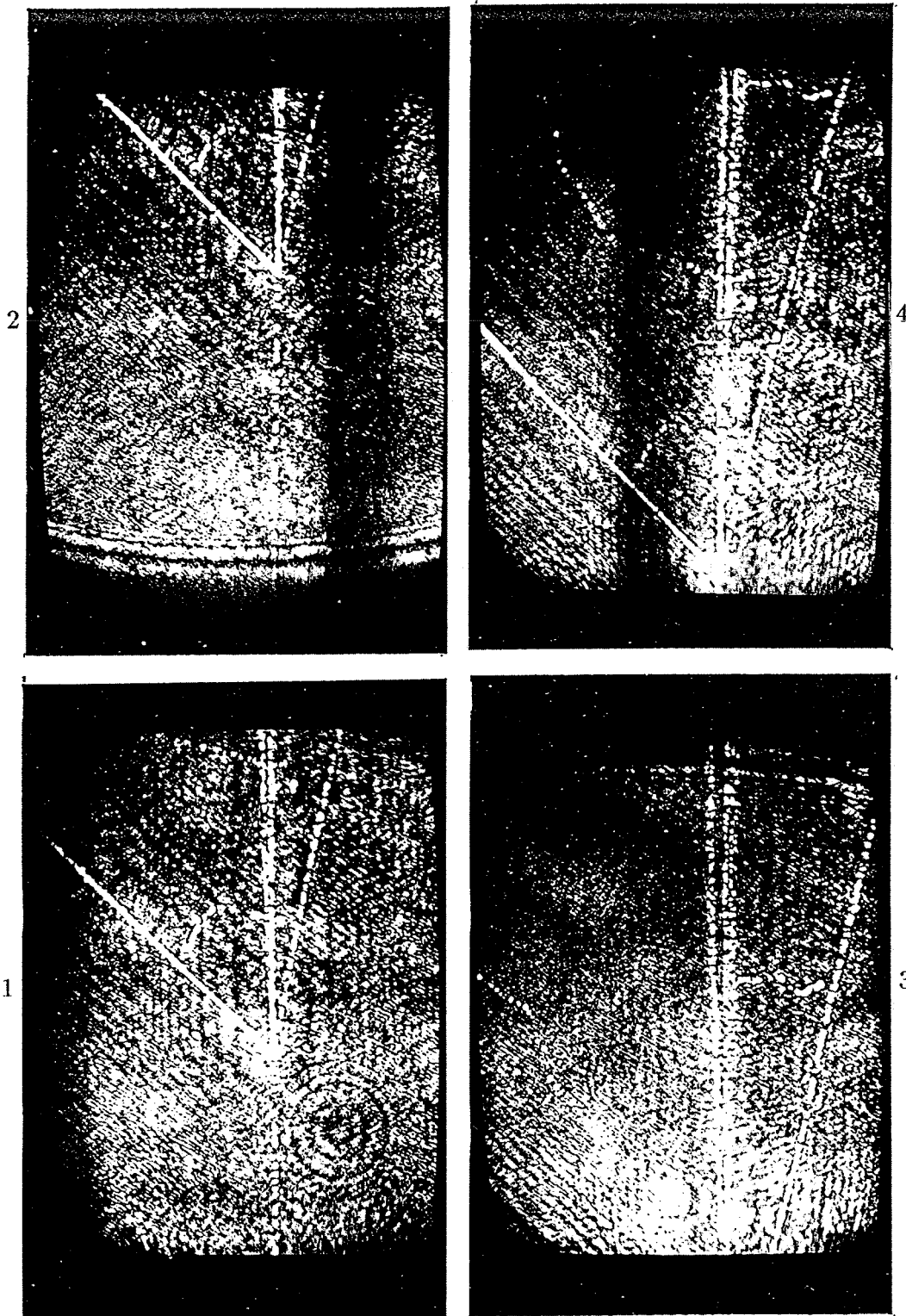
Les optiques des deux caméras ont des distances focales respectivement de $F2 = 250$ mm et $F'2 = 750$ mm. Le grandissement optique final sera ainsi

- pour la première caméra : $F2/F1 = 1$ à 5 x et
- pour la seconde caméra : $F'2/F1 = 3$ à 15 x ce qui permet un recouvrement des deux plages de variation.

Une des caméras est pourvue du prisme de Wollaston commandé par un axe électrique ainsi que du miroir de balayage pivotant.

Ce schéma optique permet une grande plage de variation des grandissements avec l'utilisation d'un seul objectif ZOOM de grande qualité. Il minimise l'importance de l'équipage mobile. Il permet un filtrage optique de l'information au moyen d'un masque placé dans le plan de Fourier. Dans la mesure où ce plan de Fourier se déplace avec la variation focale il faudrait un déplacement concomitant du masque. Nous préférons lui affecter un emplacement fixe. Il ne sera ainsi actif que pour les grandissements correspondants à cette position sur les deux caméras. Ce filtrage optique dont le masque est constitué d'une fine lame rotative est très efficace et améliore sensiblement l'aspect des images. Il nécessite toutefois une puissance lumineuse plus intense en raison de l'énergie absorbée.

LA TRANSLATION A L'AIDE D'UN MIROIR PIVOTANT



Grandissement optique : $5\times$
Champs : 2.4×3.2 mm

Cette source lumineuse est constituée par un Laser de 5mW équipé d'un télescope. Ce télescope comprend une première lentille convergente de $F = 6,1$ mm qui, associée à un diaphragme de 15 microns, assure le filtrage spatial du rayonnement. Une seconde lentille de $F = 140$ mm restitue un faisceau parallèle d'ondes quasi-planes de 30 mm de diamètre. Cette dimension, relativement faible comparée à la taille du cliché (50 x 100 mm) procure une densité lumineuse satisfaisante à partir d'un laser de faible puissance. Elle est suffisante pour les hologrammes en ligne pour lesquels l'information est très localisée.

Le presse-film agit par aspiration pour éviter au support toute contrainte. De même, l'approvisionnement du presse-film à partir des bobines de film est assuré par puits à vide. Le presse-film est porté par deux chariots orthogonaux horizontaux X et Y qui assurent son déplacement. Leur commande est électrique par l'intermédiaire de vis à billes. Ils peuvent être équipés de codeurs linéaires à 2 microns.

Les caméras sont équipées de vidicon de un pouce à commande automatique de gain dans un rapport de 1000:1. La cible a une sensibilité nominale de 2 Lux et sa résolution est de 750 points au centre. Le balayage à 625 lignes est entrelacé dans un rapport 2:1. Le sens gauche-droit et haut-bas est commutable de même que l'anamorphose de rapport 4:1.

Ce prototype remplit actuellement son rôle de banc de test. Une exploitation intensive nécessiterait toutefois des développements complémentaires au niveau optique (Laser à Argon de puissance supérieure) comme au niveau du contrôle de processus, de l'acquisition et du traitement du signal vidéo.

SECONDE PARTIE

L'EXPERIENCE $\bar{p}d$ à 4,72 GeV/c

I. LE TRAITEMENT DE L'EXPERIENCE $\bar{p}d$ A 4,72 GeV/c

I.1. LA PRISE DES DONNEES

I.2. LE DEPOUILLEMENT

I.3. LA MESURE DES EVENEMENTS

I.3.1. Les mesures sur les IEPs

I.3.2. Les mesures sur le HPD

I.4. LA RECONSTRUCTION GEOMETRIQUE LES CALIBRATIONS, LES TITRES

I.4.1. Les différents types d'erreurs

I.4.2. La normalisation des images

I.4.3. Le titre FILTRE

I.4.4. Les titres de géométrie

I.4.4.1. Le fichier de mesure des croix

I.4.4.2. La "photo moyenne" par vue

I.4.4.3. La fusion des vues

I.4.4.4. La paramétrisation des distorsions : titre HYDRA

I.4.4.5. Les distributions de distances résiduelles : erreurs externes

I.4.5. Les titres de cinématique

I.4.5.1. La qualité de mesure des traces

I.4.5.2. La distribution du carré de la masse manquante

I.4.5.3. La comparaison des données des IEPs et du HPD

I.5. LES AMBIGUITES D'AJUSTEMENT

I.6. LA CREATION DE LA BANDE RESUME

Dans le domaine de la physique des hautes énergies, un axe de recherche important actuellement s'active à la mise en évidence et la définition des nombres quantiques porteurs du "charme" et de la "beauté". La structure d'analyse développée dans notre laboratoire, qui met notamment en oeuvre l'appareil automatique de mesures HPD, et le système graphique interactif à hautes performances RESCUE, a contribué de manière efficace à cette recherche. De fait, notre participation aux collaborations internationales très larges regroupées autour des expériences NA16 et NA27 au CERN, a mis en évidence une sensibilité particulière de ces équipements par rapport aux autres laboratoires.

Chronologiquement toutefois, c'est une expérience antérieure plus "classique" qui a permis la qualification et la certification de nos équipements. La suite de ce travail présente le traitement de cette expérience qui concerne l'étude des interactions anti-protons - deutérium à 4,72 GeV/c d'impulsion incidente, menée sur les clichés de la chambre à bulles de deux mètres du CERN. L'intérêt de cette étude se situe à deux niveaux.

Le phénomène d'interaction forte entre hadrons n'est pas parfaitement compris et expliqué à ce jour. Plusieurs modèles essaient d'expliquer le phénomène d'interaction forte entre hadrons. Toutefois, aucun n'est capable de décrire parfaitement toutes les caractéristiques des réactions observées expérimentalement. Parmi celles-ci, les réactions induites par les anti-protons présentent un intérêt original dans la mesure où les réactions anti-protons - nucléon peuvent donner lieu au phénomène d'annihilation. L'utilisation d'une cible de deutérium pour l'étude des interactions anti-proton - neutron présente l'avantage de permettre l'étude de l'impact des anti-protons sur les neutrons quasi-libres du noyau de deutérium. Toutefois, cette étude présente des difficultés lors de l'extraction des données sur ces interactions $\bar{p}n$ ce qui explique la carence relative en données expérimentales.

Au niveau technique ensuite, l'intérêt de cette expérience réside dans le fait qu'un lot important de données a été traité par la chaîne d'analyse traditionnelle, à base d'équipements manuels bien rodés, alors que l'autre moitié des données a suivi la chaîne d'analyse qui s'articule autour de l'appareil automatique. Ainsi, une comparaison des résultats obtenus à partir d'une même expérience à travers deux chaînes d'analyses différentes est possible ce qui permet de tester le fonctionnement du HPD, de le calibrer et de le certifier.

Le premier chapitre décrit le traitement des données de l'expérience selon la procédure évoquée en première partie. L'accent y est mis sur la calibration des équipements et le contrôle de la qualité des résultats.

Après détermination des sections efficace totale, section efficace par événement, section efficace topologique $\bar{p}d$ et $\bar{p}n$ et des multiplicités chargées $\bar{p}n$, non décrits dans ce document, le second chapitre concerne l'analyse du canal d'annihilation $\bar{p}d \rightarrow p_s \pi^+ 2\pi^- \pi^0$. On y décrit l'échantillonnage des données, la section efficace d'annihilation est calculée et les résonances à deux et trois corps étudiées.

I. LE TRAITEMENT DE L'EXPERIENCE $\bar{p}d$ à 4,72 GeV/c

1.1. LA PRISE DES DONNEES

L'expérience a été réalisée au CERN à l'aide de la chambre à bulles de deux mètres, remplie de deutérium. Les 800 000 photographies obtenues ont été partagées en deux lots égaux. 400 000 photographies ont été attribuées à Neuchatel (films A et B) et 400 000 à Strasbourg (films C et D). Les 400 000 photographies dont nous disposons à Strasbourg ont été réalisées avec des anti-protons incidents à quatre valeurs d'impulsions différentes. On dispose de :

128 000 photographies à 4.72 GeV/c

120 000 photographies à 4.25 GeV/c

96 000 photographies à 3.75 GeV/c

40 000 photographies à 3 GeV/c

Chaque photographie comporte trois vues sur trois films différents, pris sous trois angles différents pour la reconstruction géométrique.

Dans la suite de cette étude, nous nous intéressons exclusivement aux 128 000 photographies prises avec des anti-protons à 4.72 GeV/c. Nous leur avons fait suivre la chaîne d'analyse décrite dans la première partie.

1.2. LE DEPOUILLEMENT

Il consiste à sélectionner et repérer les topologies des interactions ainsi que des indications nécessaires à la détermination des sections efficaces et à la mesure ultérieure. Les renseignements -numéro de film, photo, d'ordre, topologie, date- permettent d'identifier l'événement. D'autres renseignements -trace trop courte, interaction secondaire proche, trace incidente confuse- constituent les critères de "non-mesurabilité" qui déterminent un lot d'événements spécifiques. Ces événements ne sont pas mis en mesure, mais ils sont pris en compte dans le calcul des sections efficaces (non développé dans ce document). Ces indications sont traitées par un système informatique qui stocke ces informations sur une bande magnétique "Data Summary Tape" dite DST de dépouillement.

Les événements à une ou deux branches sortantes visibles n'ont pas été relevés en raison de la difficulté d'extraire les sections efficaces topologiques pour ce type d'événements. Ils occasionnent une faible efficacité de dépouillement et entraînent des difficultés pour l'extraction des événements $\bar{p}n$ avec proton spectateur en raison de la présence de

réaction de dissociation $\bar{p}d \rightarrow \bar{p}pn$ pour laquelle le modèle d'approximation d'impulsion ne convient pas.

Deux modes de dépouillement ont été appliqués à notre lot de films pour des raisons chronologiques. Le dépouillement rapide, effectué sur l'ensemble du lot, soit 164 bobines de film comportant 128 000 photographies, a fourni 15 136 interactions à quatre branches visibles dont une s'arrête dans la chambre à bulles, les 400 STOP. Le dépouillement complet qui consiste à relever toutes les interactions de topologie supérieure à deux a été effectué sur 22 bobines de films comportant 17 346 photos. 19 817 événements de toutes topologies ont été relevés afin de déterminer la section efficace topologique. Ils se répartissent de la manière suivante :

Nombre de branches	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nombre d'évènements	7 183	4 503	4 477	2 034	1 081	453	51	34	1
Proportion en %	36,2	22,7	22,6	10,3	5,5	2,3	0,3	0,2	<0,1

I.3. LA MESURE DES EVENEMENTS

Les événements sélectionnés au dépouillement ont été mesurés sur deux types d'appareils différents. Les appareils de mesure semi-automatiques IEP et l'appareil automatique de mesure HPD.

I.3.1. Les mesures sur les IEPs

Les mesures du IEP 1 et du IEP 3 ont été traitées séparément afin de vérifier que l'identité de l'appareil de mesure n'introduit aucun biais.

Cette vérification ayant été faite, nous avons mélangé les lots des deux IEPs lors de l'étape finale de création d'une DST par canal.

La mesure proprement dite sur un appareil de ce type consiste pour un opérateur à sélectionner successivement, sur chacune des 3 vues d'une interaction, un certain nombre de points dont il définit les coordonnées. Dans la première phase de la mesure, ces points correspondent au centre des croix fiducielles présentes sur chaque vue afin de définir le système de référence. Ensuite, ces points correspondent à l'axe de l'image de chaque trace d'une interaction. Le nombre de points définis sur chaque trace est variable en fonction de la courbure et de la longueur de chaque trace. Il constitue un compromis entre la vitesse de mesure, inversement proportionnelle au nombre de points, et la qualité de la mesure, proportionnelle au nombre de points.

Nous nous sommes fixés 7 points de mesure par trace sauf dans le cas de traces très courtes. Ces points de mesure sur les traces, correspondent aux points "résumés" dans le cas de la mesure avec le HPD.

I.3.2. Les mesures sur le HPD

La mesure sur l'appareil HPD se déroule automatiquement. Elle a été décrite dans la première partie. En résumé, l'appareil dispose en entrée de données optiques brutes, le film, et d'une bande magnétique de commande (MIST) comportant divers paramètres et directives : nature du film (traces claires sur fond sombre ou l'inverse), type de l'expérience, numéro de photo à mesurer, position d'un éventuel masque, type, nombre et position des balayages, informations sur l'historique du traitement antérieur. L'appareil recherche le cliché à mesurer, le positionne dans le presse-film, vérifie le numéro du cliché, et balaie le cliché systématiquement sous forme d'une trame de lignes parallèles constituées par la trajectoire du spot lumineux. Il définit les coordonnées numériques des points correspondant à l'intersection du spot avec une information supposée du cliché : branche de croix fiducielle, trace. L'ensemble des coordonnées des points d'une image, correspondant aux intersections entre la trame d'analyse et les traces et croix de la photographie est simultanément stocké sur la bande magnétique de sortie (FILTRE) pour le traitement ultérieur, et reconverti en signaux analogiques X, Y, Z de commande d'un dispositif de visualisation graphique de contrôle.

Les données brutes de l'image sont reprises par le programme de filtrage FILTRE qui détermine les coordonnées des centres des croix fiducielles et définit dans le plan du cliché un certain nombre de points résumés sur l'image de chaque trace de l'interaction.

On obtient en sortie de FILTRE des données de mesure de même structure que celles issues des IEPS. Elles peuvent donc suivre la même chaîne sous réserve que les paramètres de corrections (TITRES) liés à l'appareil leur soient associés.

I.4. LA RECONSTRUCTION GEOMETRIQUE, LES CALIBRATIONS, LES TITRES

Elle vise à reconstituer la géométrie du phénomène physique c'est-à-dire à définir l'équation des trajectoires des particules dans l'espace du détecteur à partir des informations sur les trajectoires planes mesurées sur les clichés photographiques des trois vues.

Or, ce phénomène physique subit un certain nombre de transformations à travers le support photographique jusqu'à sa définition numérique, chacune de ces transformations introduisant sa part d'erreurs, ce qui entraîne une altération notable de l'information.

Cette dégradation de l'information prend deux formes :

- les distorsions géométriques
- la dégradation du rapport signal utile sur bruit.

La calibration et le contrôle du processus en temps réel essaient de maîtriser le premier phénomène alors que la conception des circuits de transformation et de traitement des signaux décrits en première partie essaie de maîtriser le second. Nous étudions dans la suite la calibration des mesures.

1.4.1. Les différents types d'erreurs

Il y en a un très grand nombre. On peut les localiser à tous les niveaux :

- dans la chambre à bulle elle-même : inhomogénéités, convection, anisothermie du milieu,
- dans l'ensemble optique qui transfère l'image de la chambre aux films photographiques,
- dans les contraintes mécaniques que subit le film à la prise de vue,
- dans les contraintes mécaniques que subit le film durant son stockage : tension due à l'enroulement, variable avec le diamètre de la spire sur la bobine, contraintes dues aux variations thermiques et hygrométriques,
- dans la qualité variable du film le long de l'expérience : gélatine, développement, éclairage, etc...,
- dans les contraintes mécaniques que subit le film lors de sa mesure,
- dans l'ensemble optique du système de mesure,
- dans la conception du système de mesure : dilatations mécaniques anisotropes, fluctuations lumineuses, usure, résolution finie, etc...,
- dans l'efficacité finie des programmes de filtrage et de reconstruction géométrique.

Il est difficile de maîtriser parfaitement ces phénomènes. Aussi, la meilleure solution consiste-t-elle à photographier en même temps et sur la même image, les traces des particules et un ensemble de croix fixes liées géométriquement à la chambre et uniformément réparties dans le volume de la chambre si possible. Dans la pratique, ces croix sont gravées sur les faces intérieures et extérieures de la chambre. Cet ensemble de croix fixes appelées marques fiducielles, dont la position absolue est parfaitement connue, définit un système absolu de référence lié à la chambre.

Toute altération de la mesure altère en principe de la même manière la mesure des croix et la mesure des traces.

Lors de la mesure de la photographie, on identifie les images des marques fiducielles et on cherche à définir la transformation qui fait correspondre le système de référence mesuré au système de référence de la chambre.

1.4.2. La normalisation des images

Disposant d'un système de référence absolu lié au phénomène physique, il devient possible de normaliser les différentes étapes du traitement de l'image.

En mesurant la photographie avec un instrument "parfait" on peut normaliser la prise de vue.

En mesurant une grille ou une mosaïque de croix "parfaite" à l'aide de l'instrument de mesure réel, on peut normaliser la mesure.

C'est la procédure classique. Elle vise à normaliser chaque étape. Elle permet de localiser rapidement la dérive d'un paramètre. Par contre, les erreurs qui subsistent après chaque normalisation s'ajoutent.

Nous avons adopté une technique différente. Pour ne pas ajouter les erreurs de normalisation et aussi parce que nous ne disposons ni d'instrument de mesure "parfait" ni de mire de référence "parfaite", nous définissons une transformation unique pour l'ensemble "prise de données - mémorisation - mesure". Nous ne considérons à cet effet que l'espace chambre et l'espace mesure. Les paramètres de cette transformation font partie de ce que nous appelons TITRE. Dans la suite nous décrivons la procédure suivie pour définir ces paramètres.

I.4.3. Le titre FILTRE

Le Titre d'une expérience est constitué par un ensemble de constantes invariantes le long d'une expérience et définissant la transformation de "l'espace mesure" à "l'espace chambre".

Pour définir le référentiel de mesure dans le cas du HPD, il faut d'abord localiser les marques fiducielles dans les données de mesure du cliché. Il faut ensuite "filtrer" chaque croix pour en définir les coordonnées précises du centre dans le référentiel de mesure.

On commence par définir les coordonnées approximatives des centres de croix dans les différentes vues en visualisant les données brutes de mesure de quelques clichés sur un dispositif de visualisation graphique : imprimante (RUNF), traceur de courbe (BENSON), visualisation graphique à écran cathodique (RESCUE).

Cette visualisation graphique des croix de quelques clichés nous permet d'effectuer un classement de l'ordre de recherche des croix en fonction de leur qualité visuelle. On recherche en premier lieu une belle croix visible sur toutes les vues, non masquée par le faisceau, grande, bien contrastée, sans risque de confusion. Les croix moins belles sont recherchées à la fin quand le référentiel est déjà bien connu.

Le procédé de filtrage des croix est le même que celui utilisé lors du filtrage d'exploitation (programme FILTRE). Toutefois, dans cette première phase de définition du TITRE FILTRE on augmente toutes les tolérances de recherches des croix, en particulier la taille des fenêtres et les tolérances sur les angles des branches des croix (Version RUNF de FILTRE).

On sélectionne ensuite un lot résumé de clichés représentatifs de l'ensemble des clichés de l'expérience à mesurer. Dans notre cas, nous avons choisi 20 clichés, sur 3 vues, soit environ 60 clichés. On mesure et on filtre toutes les croix visibles de ce lot. Ces mesures

nous permettent, par itération (version RUNF de FILTRE), d'affiner la position moyenne et les angles des branches des différentes croix. On poursuit l'itération c'est-à-dire le calcul des nouvelles positions et angles des branches des croix à partir des nouvelles valeurs filtrées ayant été trouvées grâce aux anciennes valeurs et on arrête l'opération lorsque les valeurs sont stables et le nombre de croix trouvées maximum. Ceci nous définit un ensemble de paramètres de filtrage moyens des croix dans les différentes vues, fixant les fenêtres de recherche des croix et l'angle de leurs branches dans le système de l'appareil de mesure tout au long de l'expérience : c'est le "TITRE FILTRE". On pose ainsi le postulat que les dérives et fluctuations apparaissant au long de l'expérience soient faibles vis-à-vis de la dimension des fenêtres des croix. Ceci se vérifie dans la pratique.

I.4.4. Les titres de géométrie

La chaîne de programmes de traitement d'événements a été développée au C.E.R.N.. Elle utilise au maximum les possibilités du système HYDRA qui a été conçu dans le but de faciliter le traitement des événements en physique des particules. Cette chaîne comporte entre autres le programme GEOM de reconstruction des événements dans l'espace à partir des vues stéréoscopiques planes. Elle comporte également le programme KINE d'ajustement cinématique qui, à partir des différentes hypothèses de réactions et des lois de cinématique, établit les probabilités d'identification des particules observées dans les différentes hypothèses et le degré d'ionisation qu'elles entraînent.

Les principaux paramètres et constantes caractérisant les conditions propres à notre expérience sont fournis à travers un titre que nous appelons "TITRE HYDRA". Pour l'élaboration de ce titre, un processus et un ensemble d'outils informatiques a été développé dans notre Groupe.

I.4.4.1. Le fichier de mesure des croix

Un ensemble de programmes permet de gérer les fichiers contenant les coordonnées filtrées de toutes les croix mesurées sur l'ensemble d'un lot résumé de clichés représentatifs. L'expérience qui nous concerne comporte 110 000 photographies à Strasbourg. Nous avons décidé de sélectionner environ 800 clichés sur les trois vues utilisées, soit 2400 clichés répartis régulièrement sur l'ensemble des films traités. Sur chacun de ces 2400 clichés nous avons cherché à filtrer toutes les croix bien visibles sur les trois vues, soit 28 croix dans notre cas qui concerne la chambre à bulles de 2 m du C.E.R.N.. Ceci représente donc la mesure de 2400 x 28, soit plus de 60 000 images de croix, qui sont stockées sur un fichier CROIXPAM à fin de traitement. Ce fichier a une structure de "PAM-FILE", ce qui en permet la manipulation aisée à l'aide des programmes de la famille "PATCHY".

Ces croix qui définissent le référentiel de la chambre sont en fait gravées sur trois plans parallèles : le fond de la chambre (plan 3) qui comporte les croix 41 à 49, l'arrière de la face avant (plan 2) qui comporte les croix 21 à 35 et l'avant de la face avant (plan 1) qui comporte les croix 11 à 16. Le plan 2 est le plan en contact avec le milieu de la chambre le plus proche des caméras. Il est choisi comme plan de référence et abondamment pourvu

de croix. Les croix des trois plans étant vues à travers des milieux différents sont traitées séparément.

I.4.4.2. La "photo moyenne" par vue

Un autre ensemble de programmes définit, à partir du fichier CROIXPAM de coordonnées précédent, une "photo moyenne" pour chaque vue. Cette photo moyenne est obtenue en traitant les données du fichier de travail CROIXPAM à l'aide de PATCHY et de PYTHON par un processus itératif. La version "Photo Moyenne" de PYTHON calcule la position mesurée moyenne de chaque croix dans chaque vue à partir du premier cliché. Les croix qui s'écartent de plus de 10 écarts quadratiques moyens sont éliminées à l'aide de PATCHY et une nouvelle position moyenne est calculée par PYTHON. On arrête les itérations quand on a convergé vers une situation stable comportant uniquement de bons candidats de croix. Les clichés dont les croix visibles ne sont pas disponibles pour une raison ou une autre sont également éliminées pour éviter de biaiser l'échantillon. L'ensemble des coordonnées moyennes de ces bons candidats de croix constitue la photo moyenne de référence provisoire.

Les croix dont l'écart quadratique moyen par rapport à cette photo moyenne dépasse 4 unités sont éliminées dans une nouvelle séquence itérative qui nous fournit une nouvelle photo moyenne de référence affinée. La visualisation par histogrammes des écarts quadratiques moyen et maximum nous permet de suivre l'évolution de l'affinage de cette photo moyenne.

Finalement la séquence itérative a été répétée avec un seuil de $\chi^2 = 3$. Elle nous fournit une photo moyenne pour chaque vue qui sera utilisée pour calculer le TITRE.

I.4.4.3. La fusion des vues

Elle regroupe les trois vues des clichés constitués à partir du système PYTHON et représentant en fait l'image du même objet au même moment. Les clichés ont été mesurés par films de vues 1, puis 2, puis 3 et doivent être regroupés par triplet pour la reconstruction géométrique qui sera effectuée par le programme PYTHON proprement dit.

I.4.4.4. La paramétrisation des distorsions : titre HYDRA

Le programme PYTHON, développé au C.E.R.N., est chargé d'élaborer le TITRE de géométrie à partir des paramètres optiques de la chambre fournis par le constructeur d'une part, et de la photo moyenne des trois vues, définie plus haut, d'autre part.

Le constructeur de la chambre fournit pour chaque période de prise de donnée, la position réelle des croix dans la chambre, mesurée avec une très grande précision à l'aide d'un télescope. Il fournit également les caractéristiques de tous les milieux traversés depuis l'objet jusqu'à l'image sur le film : géométrie et indice de réfraction de chaque milieu ainsi que les facteurs correctifs à utiliser en fonction de la température de la chambre. Le

programme PYTHON détermine alors les coefficients de la transformation non linéaire qui corrige les distorsions dues aux lentilles de l'objectif et à l'inclinaison du film. Les valeurs corrigées sont obtenues à partir des mesures faites sur le film par la transformation à 9 paramètres suivante, nommée HARRY :

$$x' = x + a_1x^2 + a_2xy + a_3y^2 + a_4x^2y + a_5xr^2$$

$$y' = y + a_6y^2 + a_7xy + a_8x^2 + a_9xy^2 + a_5yr^2$$

$$r^2 = x^2 + y^2$$

Les coefficients a_i sont déterminés par PYTHON en minimisant la somme des distances entre les points de coordonnées (x', y') résultant de cette transformation et les points obtenus en projetant à l'aide d'une optique parfaite les marques de la chambre sur le plan du film.

Le programme PYTHON fournit également de nombreuses informations sur la qualité des mesures et des transformations utilisées.

I.4.4.5. Les distributions de distances résiduelles : erreurs externes

La précision des mesures est caractérisée par la distribution de quantités appelées généralement distances résiduelles. Pour les marques fiducielles, les distances résiduelles sont déterminées en projetant les marques reconstruites dans l'espace de la chambre sur les 3 vues du film et en calculant la distance entre le point projeté et le point mesuré. Ces distributions sont représentées sur la figure I.1 pour le HPD et I.2 pour le IEP.

Leur pic et leur variance sont résumés dans le Tableau I.1.

Pour les traces, les distances résiduelles sont calculées à partir de la projection de la trajectoire hélicoïdale de chaque trace et des points de mesure sur chaque vue.

I.4.5. Les titres de cinématique

Les 8 026 événements mesurés sur IEPs et 9 116 sur HPD fournissent sur la bande HYDRA de sortie de GEOM et KINE, 6 565 événements des IEPs et 6 566 événements du HPD. Les erreurs ΔV_m sur les valeurs mesurées V_m des variables se répercutent sur les valeurs ajustées V_a correspondant à la convergence des itérations d'ajustement par une erreur ΔV_a appelée erreur d'ajustement. Cette erreur caractérise la précision avec laquelle un point d'une trace de la chambre peut être mesuré sur le film. Cette erreur est caractéristique de la mesure et dépend de l'appareil et du soin de l'opérateur pour

Résiduelles des mesures de marques fiducielles

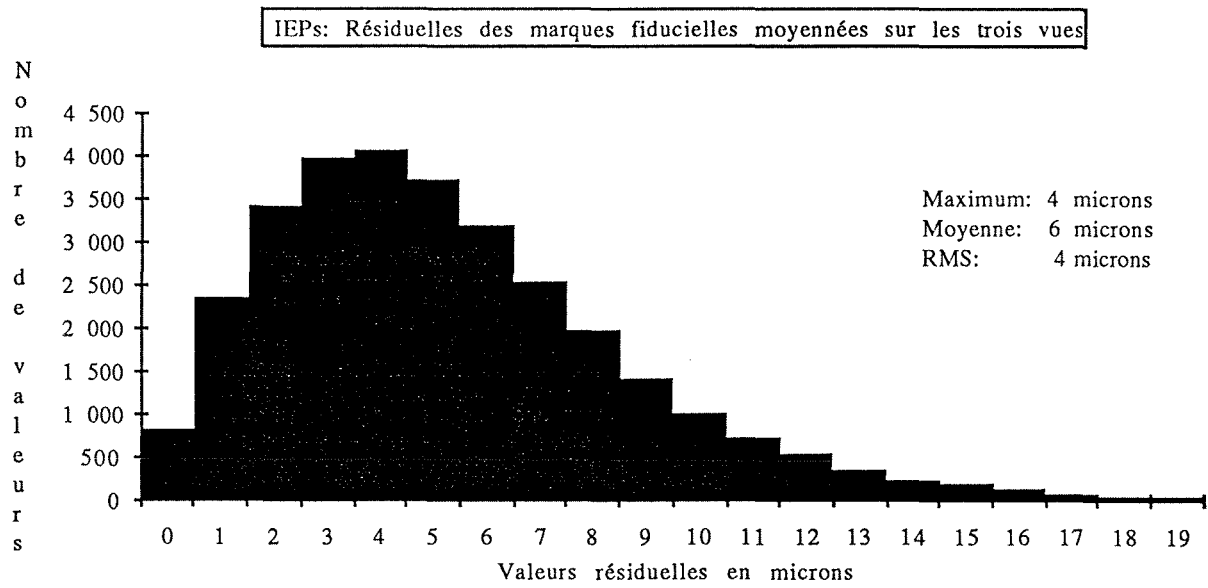


Figure I.2

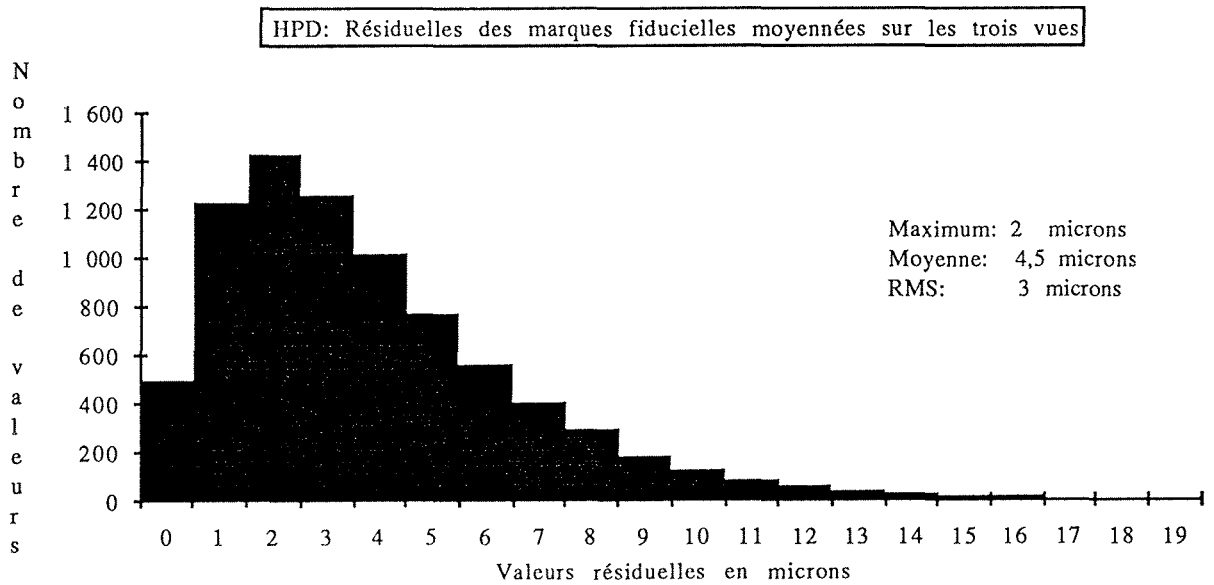


Figure I.1

Résiduelles des mesures de traces

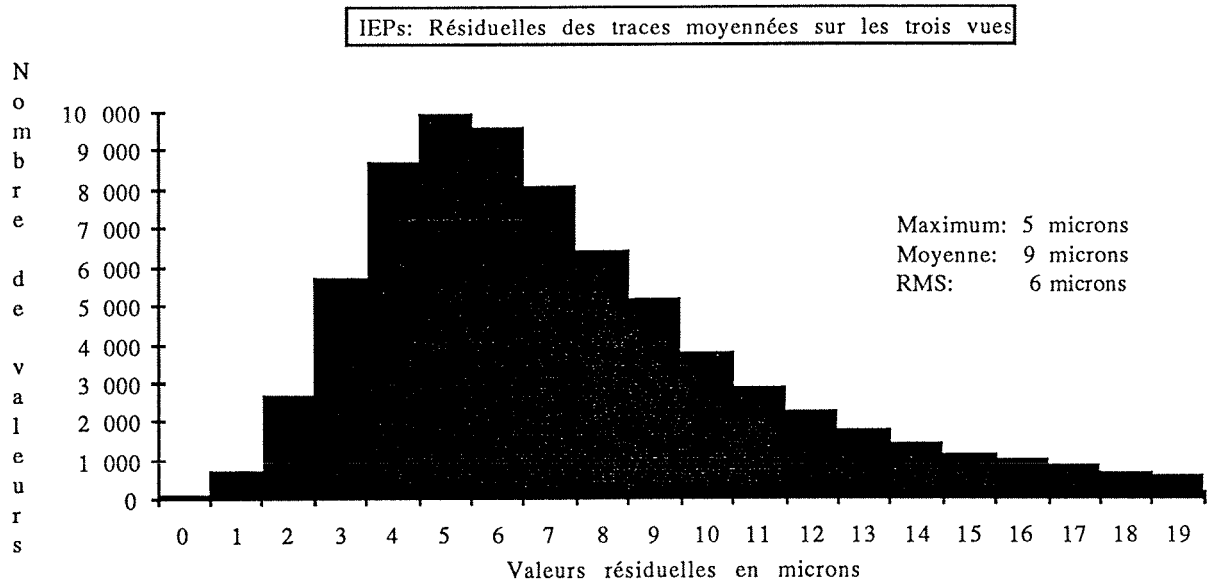


Figure I.4

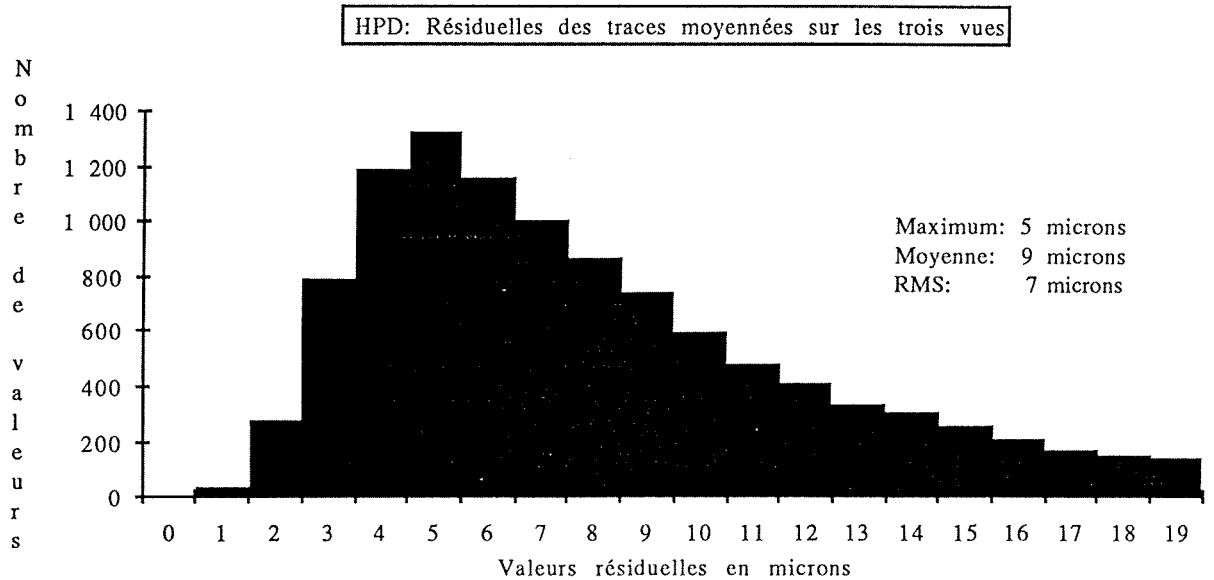


Figure I.3

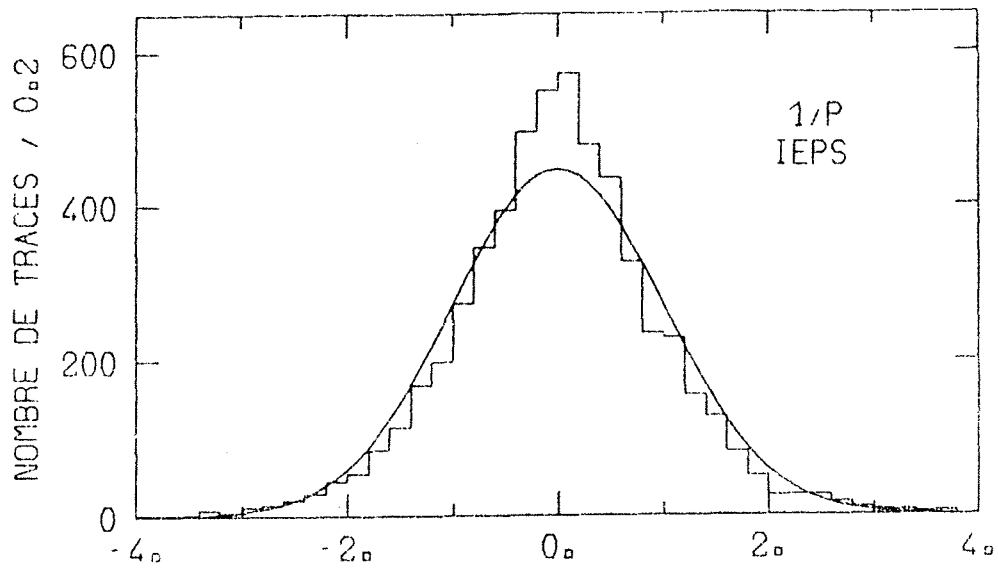


Figure I.5

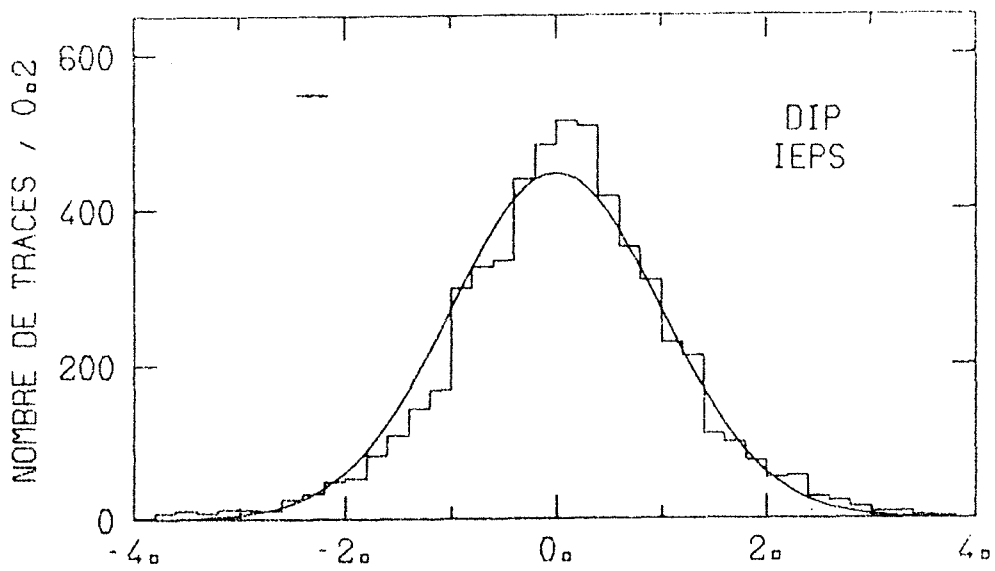


Figure I.6

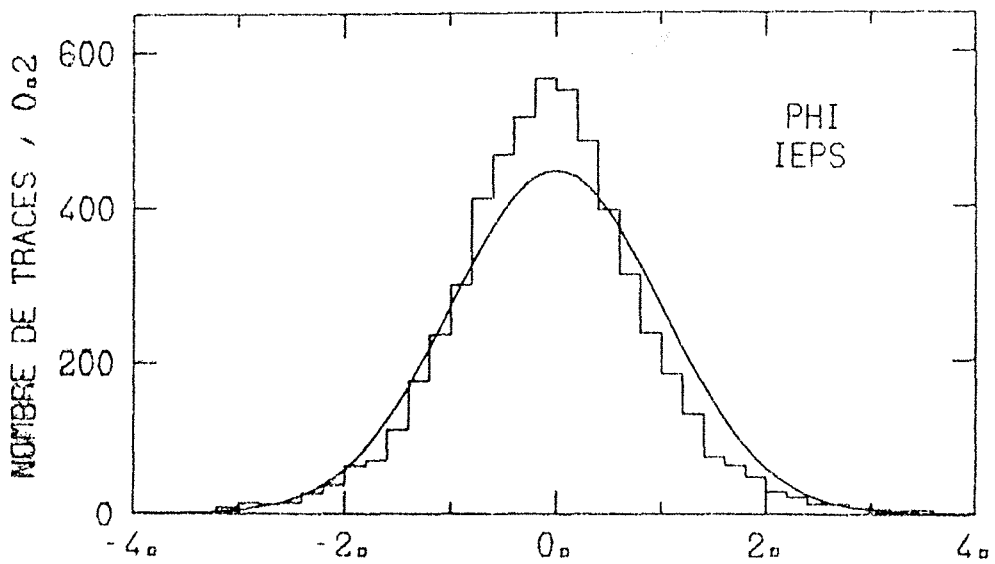


Figure I.7

les appareils manuels, elle dépend de l'appareil et des titres dans le cas de l'appareil automatique. Elle peut être évaluée en examinant la probabilité de reconstruction des événements 4C. On ajuste la valeur de cette erreur (TMEASR) de manière à obtenir une distribution de probabilités des événements 4C plate. On utilise cette valeur dans la géométrie et la cinématique et on vérifie sa cohérence en examinant les distributions des "pull" quantités et des MMS.

1.4.5.1. La qualité de mesure des traces

Elle peut être évaluée à l'aide d'une quantité Q appelée "Pull" qui est associée à chaque trace d'un événement ayant satisfait un ajustement cinématique. Cette quantité représente l'écart entre la valeur mesurée V_m et ajustée V_a d'une variable, normalisée à l'erreur sur cette différence.

$$Q = \frac{V_m - V_a}{\sqrt{(\Delta V_m)^2 - (\Delta V_a)^2}}$$

Au niveau de la cinématique, nous avons calculé cette quantité à partir des variables considérées : $1/P$, DIP et PHI . Lorsqu'aucune erreur systématique de mesure n'est perceptible, les distributions de Q suivent une gaussienne pour les variables ci-dessus. Nous représentons ces distributions de Q calculées pour les traces sortantes des interactions ajustées selon une hypothèse à quatre contraintes. Elles ont été normalisées au nombre de traces. Un bon accord avec la distribution de GAUSS confirme une bonne maîtrise des erreurs d'ajustements cinématiques aussi bien dans le cas des IEPs que dans celui du HPD (figures I.5, I.6, I.7).

Les hypothèses à quatre contraintes retenues pour cette étude concernent les réactions suivantes :



1.4.5.2. La distribution du carré de la masse manquante

Elle donne un bon élément d'appréciation de la qualité des mesures dans le cas des hypothèses à quatre contraintes. Elle est définie par :

$$MM^2 = (E_i - E_f)^2 - (\vec{p}_i - \vec{p}_f)^2$$

LA DISTRIBUTION DU CARRE DE LA MASSE MANQUANTE
DES EVENEMENTS A 4 CONTRAINTES

MMS des événements 4C mesurés aux IEPs

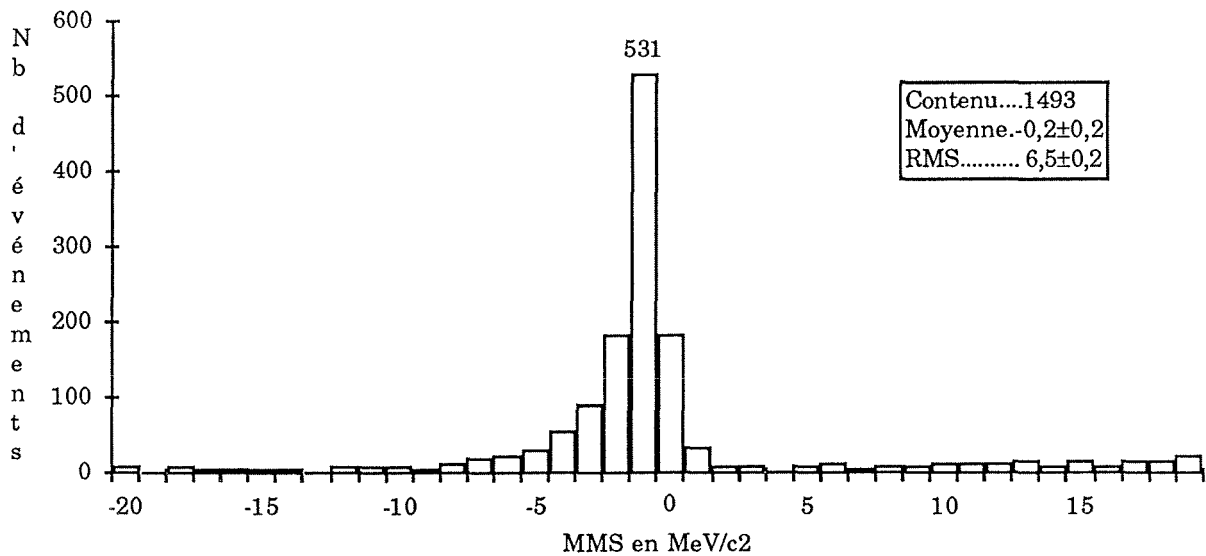


Figure I.8

MMS des événements 4C mesurés au HPD

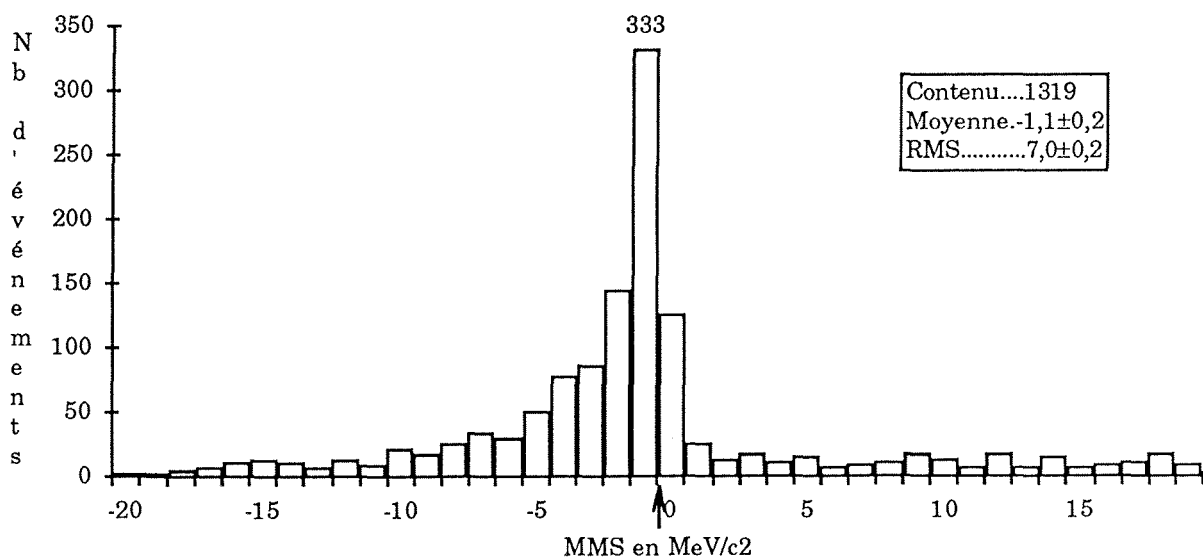


Figure I.9

E_i, E_f représentant respectivement l'énergie totale dans l'état initial et final, et \vec{p}_i, \vec{p}_f l'impulsion totale initiale et finale. Les distributions de MM^2 des événements 4C sont respectivement représentées sur les figures I.8 et I.9 pour les IEPs et le HPD.

Leur caractéristique peut se résumer dans le tableau suivant.

	Nombre d'événements	Valeur moyenne (MeV/c ²) ²	Ecart quadratique moyen (MeV/c ²) ²
HPD	1634	2.19	16.84
IEPs	1796	4.09	15.44

Tableau I.1

I.4.5.3. La comparaison des données des IEPs et du HPD

La comparaison des données effectuées en I.4.5.1. et en I.4.5.2., ainsi que les comparaisons des distances résiduelles de traces et de crois ne met aucune anomalie flagrante en évidence entre les lots d'événements IEPs et HPD. Aussi les avons nous mélangés dans la suite bien que leur origine puisse être connue à tout niveau du traitement.

I.5. LES AMBIGUITES D'AJUSTEMENT

Le programme de cinématique fournit pour chaque interaction un grand nombre d'indications permettant d'apprécier ses conclusions.

Il sélectionne une des hypothèses de réactions qu'on lui propose. Il retient plusieurs hypothèses ambiguës lorsqu'il n'a pas pu trancher avec certitude. Il indique tous les paramètres mesurés ou calculés des traces et fournit pour chaque hypothèse l'ionisation correspondante de chaque trace. La comparaison de l'ionisation calculée avec l'ionisation réelle du cliché permet au physicien de lever un certain nombre d'ambiguïtés.

Les interactions impossibles à ajuster avec une des hypothèses de réaction proposées correspondent à des réactions non étudiées appelées "NO FITS".

Tableau I.2

Type	Réaction $\bar{p}d \rightarrow$	Hyp.	Uniques	Amb.	Total Uniques	Self Amb.	Amb.																																																																																																						
4C p_s	$p_s \bar{p} \bar{p} \pi^-$ $p_s p \pi^- \bar{p}$	1	696	46	1 414	16	67																																																																																																						
		2	718	53				1C π^0	$p_s \bar{p} \bar{p} \pi^- \pi^0$ $p_s p \pi^- \bar{p} \pi^0$	101	437	95	895	25	171	102	458	126	4C Coh.	$d\pi^+ \bar{p}\pi^-$ $\pi^+ d\bar{p}\pi^-$ $\pi^+ d\pi^- \bar{p}$ $d\pi^+ \pi^- \bar{p}$	3	1	86	12	1	443	4	2	143	5	5	86	6	4	130	1C Coh.	$d\pi^+ \bar{p}\pi^- \pi^0$ $\pi^+ d\bar{p}\pi^- \pi^0$ $\pi^+ d\pi^- \bar{p}\pi^0$ $d\pi^+ \pi^- \bar{p}\pi^0$	103	13	47	49	1	196	104	14	48	105	11	51	106	11	51	1C n	$p_s \pi^+ \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \pi^- \bar{p}n$ $p_s \pi^+ \pi^- \bar{p}n$	107	355	250	1 820	82	942	108	511	271	109	538	308	110	416	277	1C \bar{n}	$p_s p \pi^- \pi^- \bar{n}$	111	432	135	432		135	4C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^-$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^-$	12	6	3	11		6	13	5	3	1C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^- \pi^0$	112	210	151	458		271	113	248	120	1C Coh. \bar{n}	$d\pi^+ \pi^- \pi^- \bar{n}$ $\pi^+ d\pi^- \pi^- \bar{n}$	114	23	1	39		3	115	16
1C π^0	$p_s \bar{p} \bar{p} \pi^- \pi^0$ $p_s p \pi^- \bar{p} \pi^0$	101	437	95	895	25	171																																																																																																						
		102	458	126				4C Coh.	$d\pi^+ \bar{p}\pi^-$ $\pi^+ d\bar{p}\pi^-$ $\pi^+ d\pi^- \bar{p}$ $d\pi^+ \pi^- \bar{p}$	3	1	86	12	1	443	4	2	143			5	5	86				6	4	130	1C Coh.	$d\pi^+ \bar{p}\pi^- \pi^0$ $\pi^+ d\bar{p}\pi^- \pi^0$ $\pi^+ d\pi^- \bar{p}\pi^0$ $d\pi^+ \pi^- \bar{p}\pi^0$	103	13	47	49			1	196	104				14	48	105	11	51	106	11	51	1C n			$p_s \pi^+ \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \pi^- \bar{p}n$ $p_s \pi^+ \pi^- \bar{p}n$	107	355				250	1 820	82	942	108	511	271	109	538	308	110	416	277	1C \bar{n}	$p_s p \pi^- \pi^- \bar{n}$	111	432	135	432		135	4C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^-$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^-$	12	6	3	11		6	13	5	3	1C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^- \pi^0$	112	210	151	458		271	113	248	120	1C Coh. \bar{n}	$d\pi^+ \pi^- \pi^- \bar{n}$ $\pi^+ d\pi^- \pi^- \bar{n}$	114	23	1	39
4C Coh.	$d\pi^+ \bar{p}\pi^-$ $\pi^+ d\bar{p}\pi^-$ $\pi^+ d\pi^- \bar{p}$ $d\pi^+ \pi^- \bar{p}$	3	1	86	12	1	443																																																																																																						
		4	2	143																																																																																																									
		5	5	86																																																																																																									
		6	4	130				1C Coh.	$d\pi^+ \bar{p}\pi^- \pi^0$ $\pi^+ d\bar{p}\pi^- \pi^0$ $\pi^+ d\pi^- \bar{p}\pi^0$ $d\pi^+ \pi^- \bar{p}\pi^0$	103	13	47	49	1	196	104	14	48	105	11	51	106	11	51	1C n	$p_s \pi^+ \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \pi^- \bar{p}n$ $p_s \pi^+ \pi^- \bar{p}n$	107	355	250	1 820	82	942	108	511	271	109	538	308	110	416	277	1C \bar{n}	$p_s p \pi^- \pi^- \bar{n}$	111	432	135	432		135	4C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^-$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^-$	12	6	3	11		6	13	5	3	1C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^- \pi^0$	112	210	151	458		271	113	248	120	1C Coh. \bar{n}	$d\pi^+ \pi^- \pi^- \bar{n}$ $\pi^+ d\pi^- \pi^- \bar{n}$	114	23	1	39		3	115	16	2																											
1C Coh.	$d\pi^+ \bar{p}\pi^- \pi^0$ $\pi^+ d\bar{p}\pi^- \pi^0$ $\pi^+ d\pi^- \bar{p}\pi^0$ $d\pi^+ \pi^- \bar{p}\pi^0$	103	13	47	49	1	196																																																																																																						
		104	14	48																																																																																																									
		105	11	51																																																																																																									
		106	11	51				1C n	$p_s \pi^+ \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \pi^- \bar{p}n$ $p_s \pi^+ \pi^- \bar{p}n$	107	355	250	1 820	82	942	108	511	271	109	538	308	110	416	277	1C \bar{n}	$p_s p \pi^- \pi^- \bar{n}$	111	432	135	432		135	4C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^-$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^-$	12	6	3	11		6	13	5	3	1C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^- \pi^0$	112	210	151	458		271	113	248	120	1C Coh. \bar{n}	$d\pi^+ \pi^- \pi^- \bar{n}$ $\pi^+ d\pi^- \pi^- \bar{n}$	114	23	1	39		3	115	16	2																																												
1C n	$p_s \pi^+ \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \bar{p}\pi^- n$ $\pi^+ p_s \pi^- \bar{p}n$ $p_s \pi^+ \pi^- \bar{p}n$	107	355	250	1 820	82	942																																																																																																						
		108	511	271																																																																																																									
		109	538	308																																																																																																									
		110	416	277				1C \bar{n}	$p_s p \pi^- \pi^- \bar{n}$	111	432	135	432		135	4C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^-$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^-$	12	6	3	11		6	13	5	3	1C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^- \pi^0$	112	210	151	458		271	113	248	120	1C Coh. \bar{n}	$d\pi^+ \pi^- \pi^- \bar{n}$ $\pi^+ d\pi^- \pi^- \bar{n}$	114	23	1	39		3	115	16	2																																																													
1C \bar{n}	$p_s p \pi^- \pi^- \bar{n}$	111	432	135	432		135																																																																																																						
4C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^-$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^-$	12	6	3	11		6																																																																																																						
		13	5	3				1C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^- \pi^0$	112	210	151	458		271	113	248	120	1C Coh. \bar{n}	$d\pi^+ \pi^- \pi^- \bar{n}$ $\pi^+ d\pi^- \pi^- \bar{n}$	114	23	1	39		3	115	16	2																																																																																
1C Annih.	$p_s \pi^+ \pi^- \pi^- \pi^0$ $\pi^+ p_s \pi^- \pi^- \pi^0$	112	210	151	458		271																																																																																																						
		113	248	120				1C Coh. \bar{n}	$d\pi^+ \pi^- \pi^- \bar{n}$ $\pi^+ d\pi^- \pi^- \bar{n}$	114	23	1	39		3	115	16	2																																																																																											
1C Coh. \bar{n}	$d\pi^+ \pi^- \pi^- \bar{n}$ $\pi^+ d\pi^- \pi^- \bar{n}$	114	23	1	39		3																																																																																																						
		115	16	2																																																																																																									

NOMBRE D'EVENEMENTS UNIQUES ET AMBIGUS PAR CANAL

I.6. LA CREATION DE LA BANDE RESUME

A partir de la bande de sortie de cinématique (HYDRA LIBRARY) et des hypothèses retenues lors de la phase d'ionisation, le programme SLICE élabore une bande résumé de données : la DST (Data Summary Tape). Cette DST ne comporte que des interactions ayant satisfait une au moins des hypothèses de réaction proposées. Elle contient en tout 7 726 événements dont 3 824 en provenance de mesures IEPs et 3 902 de mesures HPD. Ces événements se répartissent entre les différentes hypothèses comme indiqué sur le tableau I.2.

II. LA REACTION $\bar{p}d \rightarrow p_s \pi^+ 2\pi^- \pi^0$

II.1. L'ECHANTILLONNAGE

II.1.1. Les hypothèses de réactions ambiguës

II.1.2. La probabilité

II.1.3. Les contraintes d'ajustement

II.1.4. Les distributions angulaires

II.2. LA SECTION EFFICACE D'ANNIHILATION

II.3. LES RESONANCES

II.3.1. La production de résonance à trois corps

II.3.2. La production de résonance à deux corps chargés

II.3.3. La production de résonance à deux corps dont un neutre

II.3.4. Le caractère périphérique des résonances

II. LA REACTION $\bar{p}d \rightarrow p_s \pi^+ 2\pi^- \pi^0$

Un des intérêts essentiels de l'utilisation d'antiparticules incidentes réside dans l'étude du phénomène d'annihilation. Si l'annihilation $\bar{p}p$ a été largement étudiée avec les cibles d'hydrogène, nous nous intéressons ici à l'annihilation $\bar{p}n$ d'accès plus ardu.

La réaction d'annihilation à quatre contraintes:

$$\bar{p}n \rightarrow \pi^+ 2\pi^-$$

n'est identifiée sans ambiguïté dans notre expérience que dans 15 interactions ce qui interdit toute statistique précise.

Par contre, la réaction d'annihilation à une contrainte

$$\bar{p}n \rightarrow \pi^+ 2\pi^- \pi^0$$

a lieu sans ambiguïté dans 580 interactions. Elle est ambiguë avec une autre réaction dans 377 cas. Il n'y a pas d'auto-ambiguïté.

II.1. L'ECHANTILLONNAGE

Il consiste à définir à partir de notre lot d'interactions, un échantillon de l'hypothèse du canal que nous étudions plus particulièrement. Cette opération présente deux phases essentielles: la répartition des interactions qui satisfont à plusieurs hypothèses d'ajustement ambiguës et l'épuration de l'échantillon au moyen de diverses coupures.

II.1.1. Les hypothèses de réactions ambiguës

Parmi les 377 cas d'ambiguïté, 334 interactions sont ambiguës avec un canal 1C, alors que 43 le sont avec un canal 4C. L'étude antérieure du canal 1C π^0 ($p_s p\bar{p} \pi^- \pi^0$) non présentée ici avait retenu 5 de ces interactions ambiguës, alors que l'étude antérieure du canal 4C p_s en avait retenu 27. Il reste donc 345 événements ambigus qui s'ajoutent aux 580 événements uniques de notre canal d'annihilation avant tri et avant coupure.

Le tri des ambiguïtés est effectué de la manière suivante: parmi les 329 interactions ambiguës avec un autre canal 1C, nous retenons l'hypothèse d'annihilation 1C si celle-ci est associée à la meilleure probabilité. Nous ne retenons pour le canal d'annihilation 1C que les 3 interactions ambiguës qui ont été clairement rejetées lors de l'étude du canal 4C p_s . Il subsiste après ce tri et avant coupures 85 événements antérieurement ambigus avec un autre canal 1C, 3 événements antérieurement ambigus avec un canal 4C et 580 événements uniques, soit un total de 668 événements dans le canal d'annihilation 1C.

II.1.2. La probabilité

L'expression de la probabilité fournie lors de l'ajustement cinématique de l'interaction représente la qualité de l'ajustement obtenu, pondéré par le nombre de degrés de liberté de la réaction et affecté de la fonction de probabilité. Si aucun biais n'est introduit, la distribution de cette probabilité doit être plate. En fait, elle révèle, pour les événements uniques, un pic aux faibles valeurs qui reflète des contraintes appliquées lors de l'ajustement. Pour pallier le biais qui se manifeste dans ce pic, nous effectuons une coupure des probabilités inférieures à 5%. Il reste 566 événements après cette opération sur les événements uniques.

II.1.3. Les contraintes d'ajustement

L'ajustement à une contrainte de la réaction d'annihilation détermine une dispersion du carré de la masse manquante du π^0 . Nous limitons cette dispersion grâce à une coupure telle que

$$-0,38 < MMS(\pi^0) < 0,4$$

De même pour ce qui concerne l'erreur sur cette valeur, nous ne retenons que les valeurs telles que

$$DMMS < 0,9$$

pour éliminer les valeurs douteuses. Après ces deux coupures effectuées sur l'ensemble du lot de 566 événements, il nous reste 413 événements.

II.1.4. Les distributions angulaires

Les symétries du système $\bar{p}n$ permettent d'attendre des distributions angulaires symétriques pour tous les pions dans le système de centre de masse. En réalité, la distribution dans le centre de masse du $Cos^*(\pi^0)$ présente un pic vers l'arrière associé à une accumulation de π^- vers l'avant. Cet effet peut être attribué à une contamination par la réaction 4C: $\bar{p}p \rightarrow \bar{K}K + n\pi$, qui est ajustée comme la réaction 1C d'annihilation. Dans ce cas, le π^0 ajusté correspond à l'effet observé, ainsi que le montre la génération de Monte-Carlo.

L'épuration statistique de cette contamination a été faite à partir de l'observation du diagramme de $Cos^*(\pi^0)$ en fonction du moment transverse du π^0 : $P_T(\pi^0)$. On observe, en effet, une accumulation significative de 36 événements dans la région définie dans le centre de masse par

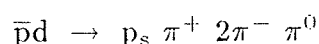
$$\begin{aligned} P_T(\pi^0) &< 0,20 \\ Cos^*(\pi^0) &< 0,95 \end{aligned}$$

alors que l'aire symétrique en $Cos^*(\pi^0)$ ne contient que 8 événements. En éliminant cette accumulation à l'aide de la coupure ci-dessus, il nous reste un lot épuré de 377 événements ne présentant plus de dissymétrie significative en $Cos^*(\pi^0)$, $Cos^*(\pi^-)$ et $Cos^*(\pi^+)$.

Nous considérons ainsi que le canal $\bar{p}d \rightarrow p_s\pi^+2\pi^-\pi^0$ contient 377 événements.

II.2. LA SECTION EFFICACE D'ANNIHILATION 1C

La section efficace de la réaction à quatre branches



est calculée à l'aide du produit de la section efficace par événement avec le nombre vrai d'événements du canal soit

$$\sigma = \sigma_e \times N_{\text{canal}} \times \alpha$$

* avec $\sigma_e = \frac{\sigma t}{N_i} \frac{1}{1 - e^{-\frac{\sigma t}{B} L}}$ = section efficace par événement déterminée pour le même lot d'événements que celui ayant servi à extraire les événements du canal. Sur 164 bobines de films mesurées on trouve après normalisation

$$N_i = 1\,158\,409,3 \text{ traces incidentes} \\ \rightarrow \sigma_e = 0,258 \pm 0,004 \mu\text{b}$$

* N_{canal} = nombre d'événements relevés dans le canal considéré = 377

* α = facteur correctif pour évaluer le nombre vrai d'événements dans le canal à partir du nombre relevé.

$$\alpha = \alpha_{\text{FID}} \times \alpha_{\text{E.S}} \times \alpha_{\text{CUT P.S}} \times \alpha_{\text{H}} \times \alpha_{\text{AZIM}} \times \alpha_{\text{PERTES}} \quad \text{avec}$$

α_{FID} = Facteur correctif de volume fiduciel correspondant aux événements mesurés dont le vertex se révèle être hors du volume fiduciel en Z:

$$-50 \text{ cm} \leq Z_{\text{VERTEX}} < +50 \text{ cm} \\ \alpha_{\text{FID}} = \frac{377-35}{377} = 0,907 \pm 0$$

$\alpha_{\text{E.S}}$ = Facteur correctif de l'efficacité de dépouillement = $1,282 \pm 0,010$

$\alpha_{\text{CUT P.S}}$ = Facteur correctif du nombre d'événements relevés en raison de l'existence d'événements relevés en dessous du seuil de 100 MeV

$$\alpha_{\text{CUT P.S}} = \frac{377-45}{377} = 0,881 \pm 0,016$$

α_{H} = Facteur correctif de Hulthen dû à l'invisibilité des Ps dont l'impulsion est inférieure à 100 MeV

$$\alpha_{\text{H}} = 3,688 \pm 0$$

α_{AZIM} = Facteur correctif de la baisse d'efficacité de détection du Ps dans la direction du faisceau au voisinage des impulsions de 100 MeV. Il est évalué sur l'histogramme des cosinus horizontaux à:

$$\alpha_{AZIM} = \frac{[(377-45)-15] \times \frac{20}{18}}{(377-45)}$$

$$\alpha_{AZIM} = 1,063 \pm 0,005$$

α_{PERTES} = Facteur correctif de la perte d'événements du canal dans le lot des événements non mesurables (NM) et dans celui à remesurer (R). Il correspond globalement à:

$$\alpha_{PERTES} = \frac{\text{TOTAL BONS}}{\text{TOTAL BONS} - (\text{R} + \text{NM})} = \frac{\text{MIS EN MESURE} - (\text{MAUVAIS} + \text{HORS FAISCEAU})}{\text{AJUSTES} + \text{NONAJUSTES}}$$

$$= \frac{13188 - 548}{5997 + 3883} = \frac{12640}{9880}$$

$$\alpha_{PERTES} = 1,280 \pm 0$$

$$\rightarrow \alpha = \alpha_{FID} \times \alpha_{E.S} \times \alpha_{CUT P.S} \times \alpha_H \times \alpha_{AZIM} \times \alpha_{PERTES} = 5,141$$

$$\rightarrow \sigma_{CANAL} = \sigma_e \times N_{CANAL} \times \alpha = 0,258 \times 377 \times 5,141$$

$$\sigma_{CANAL} = 0,50 \pm 0,06 \text{ mb}$$

Distribution des masses effectives à 3π

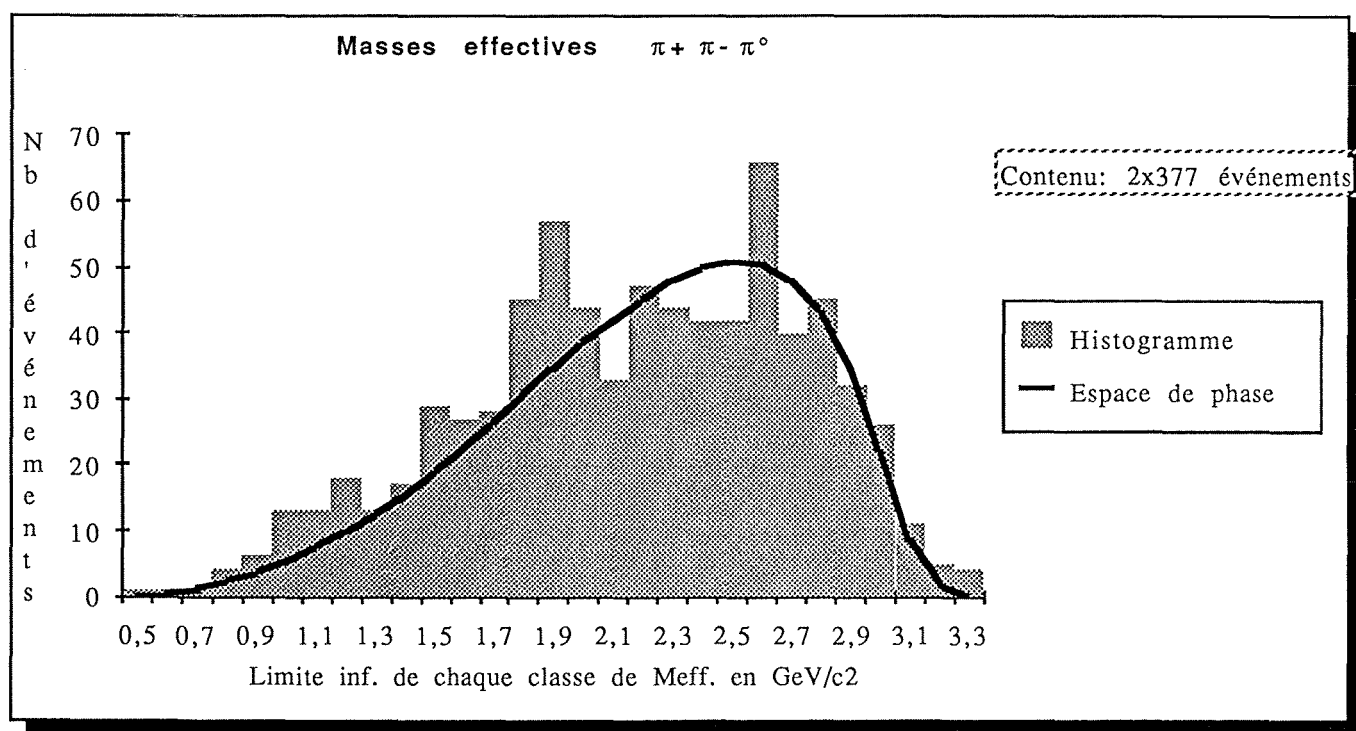


Figure II.1

II.3. LES RESONANCES

L'étude de la production exclusive de résonances dans la réaction d'annihilation $\bar{p}n \rightarrow \pi^+ 2\pi^- \pi^0$ a été menée sur les 377 événements échantillonnés du canal. Elle porte sur les spectres de masse effective à trois corps et à deux corps.

II.3.1. La production de résonance à trois corps

La distribution à trois corps ($\pi^+ \pi^- \pi^0$) ne manifeste pas d'écarts sensibles vis-à-vis de l'espace de phase correspondant normalisé aux valeurs expérimentales (Fig.II.1).

II.3.2. La production de résonance à deux corps chargés

La distribution des masses effectives de deux corps chargés ($\pi^+ \pi^-$), manifeste deux signaux significatifs correspondant respectivement à la production de ρ_0 (770) et de f_0 (1270). Nous avons effectué un ajustement des données expérimentales à l'aide d'un mélange incohérent d'espace de phase généré par Monte-Carlo et de deux fonctions de Breit-Wigner selon une relation de la forme:

$$F = A\phi + B_1 BW_1 (E_1 \Gamma_1) + B_2 BW_2 (E_2 \Gamma_2) \quad \text{où}$$

A, B₁ et B₂ sont les constantes de normalisation,

ϕ l'espace de phase

BW₁, BW₂ des fonctions de Breit-Wigner dont

E₁, E₂ représente la valeur centrale

Γ_1 Γ_2 les largeurs

Le meilleur ajustement a été obtenu avec les valeurs des tables:

MeV/c ²	ρ_0	f_0
M	769	1273
Γ	150	180

L'espace de phase et la courbe ainsi ajustée sont représentés sur la figure II.2. On peut ainsi déterminer la section efficace de résonance à partir du nombre de résonances par événement et de la section efficace du canal. Le nombre de résonances par événement s'exprime en fonction du nombre x d'événements appartenant à la réaction, du nombre c de combinaisons et du nombre N d'événements de la distribution par la relation

Distributions des masses effectives de $\pi^+\pi^-$

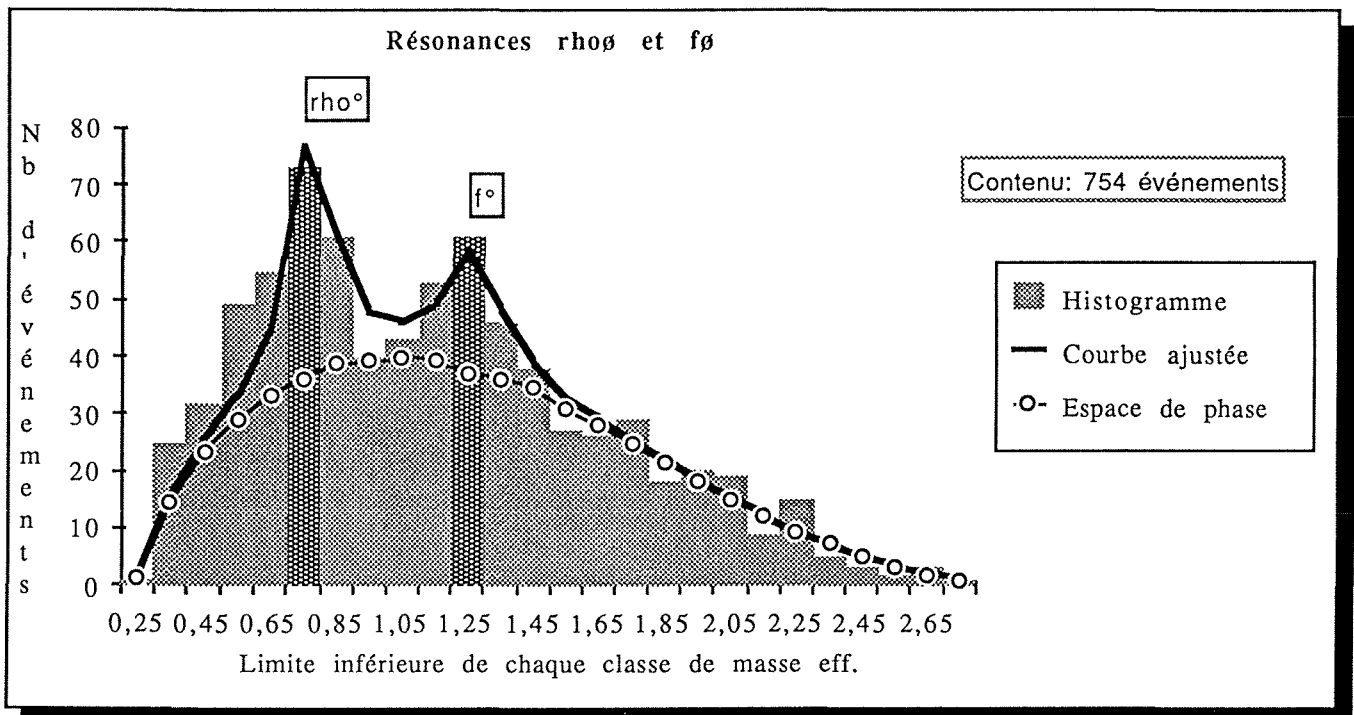


Figure II.2

$$R = \frac{xc}{N}$$

d'où

$$R_{\rho_0} = .239$$

$$R_{f_0} = .154$$

l'évaluation des erreurs doit tenir compte de la corrélation entre x et N. On trouve

$$\Delta R = \sqrt{\frac{x(N+x)}{N^3}}$$

d'où

$$\Delta R_{\rho_0} = .013$$

$$\Delta R_{f_0} = .010$$

Ainsi

$$\begin{aligned} R_{\rho_0} &= .239 \pm .013 \\ R_{f_0} &= .154 \pm .010 \end{aligned}$$

La section efficace de production de résonance $\sigma_R = R \times \sigma_c$ vaut pour ρ^0 et f^0 en mb

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho^0} &= .120 \pm .022 \\ \sigma_{f^0} &= .077 \pm .015 \end{aligned}$$

II.3.3. La production de résonance à deux corps dont un neutre

Le spectre de masses effectives de combinaisons $\pi^+ \pi^0, \pi_{(1)}^- \pi^0, \pi_{(2)}^- \pi^0$ présente un signal très net correspondant à la production de $\rho^\pm(770)$. On note également une bosse dans la région du T. En effectuant comme précédemment l'ajustement du spectre des masses effectives on trouve

Distribution des masses effectives de $\pi^+\pi^0, \pi^-\pi^0, \pi^-\pi^+$

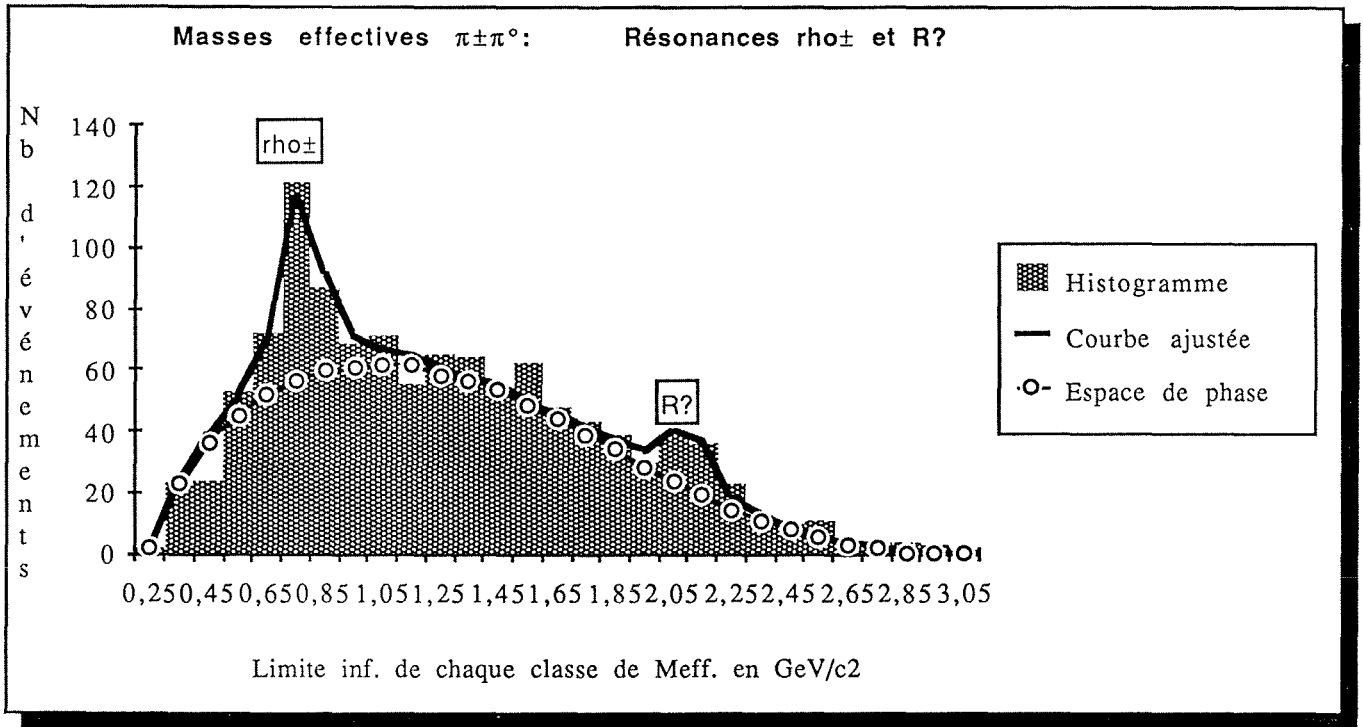


Figure II.3

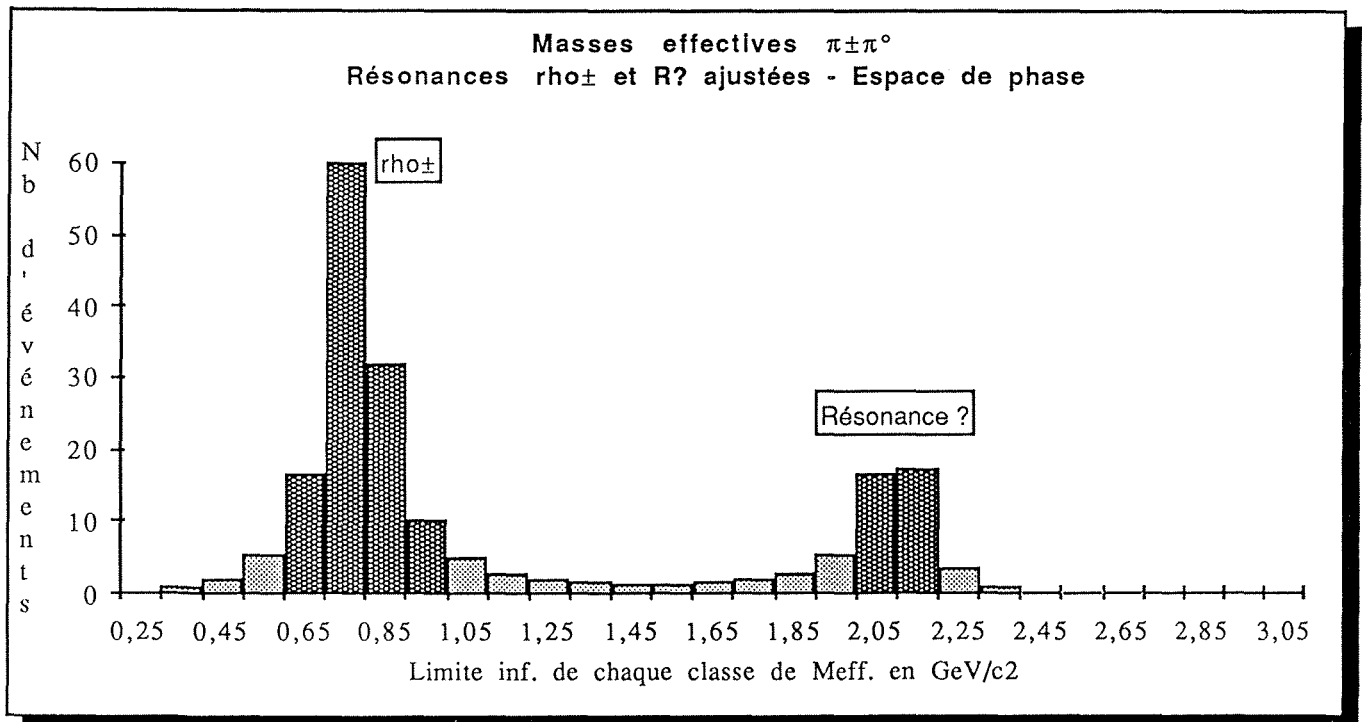


Figure II.4

MeV/c ²	ρ^\pm	(?)
M	769	2132 \pm 22
Γ	150	132 \pm 88

L'espace de phase et la courbe ajustée sont représentés figure II.3. Les nombres de résonances par événement sont.

$$R_{\rho^\pm} = .328 \pm .011$$

$$R_{?} = .128 \pm .007$$

Ce qui donne les sections efficaces de production de résonances suivantes en mb.

$$\sigma_{R\rho^\pm} = .164 \pm .025$$

$$\sigma_{R?} = .064 \pm .012$$

L'accumulation observée à 2132 MeV est nettement plus marquée dans la distribution $\pi^+ \pi^0$ que dans la distribution $(\pi_{(1)}^- \pi^0, \pi_{(2)}^- \pi^0)$ en raison d'un fond plus faible dû à l'unicité de la combinaison. Si l'on croit à un signal compris entre 4 et 5 déviations standards, on peut l'attribuer à la production du P (2150) anciennement appelé T₁ (2190) (Réf.). Cette résonance, observée en formation dans le canal S dans les sections efficaces totales $\bar{N}N$ (Réf.) a été également observée par l'analyse en ondes partielles simultanée des canaux d'annihilation en deux pions: $\bar{p}n \rightarrow \pi^+ 2\pi^+ \pi^0$ constitue sa première observation dans un canal exclusif d'annihilation. Toutefois, la statistique disponible ne permet pas de conclure avec certitude.

Le caractère périphérique des résonances

La distribution du $\cos \theta^*$ c'est-à-dire de la résultante des combinaisons dans le système du centre de masse, manifeste l'aspect périphérique de la production.

Dans la bande du ρ , on note une dépression marquée aux faibles valeurs de $\cos \theta^*$ beaucoup plus marqué que la totalité de la distribution. La contribution de l'espace de phase au périphérique de la résonance peut être évaluée à l'aide de la grandeur:

$$A = \frac{P-E}{P+E}$$

où P représente la population correspondant aux $|\cos\theta^*| \geq .5$ et E la population des $|\cos\theta^*| < .5$. On trouve ainsi pour la distribution $(\pi^+ \pi^0, \pi_{(1)}^- \pi^0, \pi_{(2)}^- \pi^0)$

$A_\rho = .44$: dans la bande du ρ $A_f = .27$: à l'extérieur de cette bande $A_T = .32$: sur l'ensemble du spectre

La production du ρ manifeste un caractère nettement périphérique. Le $\cos\theta^*$ du signal à $M = 2132$ MeV est plat par contre ce qui n'est pas surprenant en raison de l'impulsion faible de la combinaison $(\pi \pi)$ par rapport au fond.

IV. CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

Les comparaisons effectuées dans le premier chapitre entre le lot d'évènements mesurés aux IEPs et au HPD ne présentent aucune différence significative sur les critères de comparaison retenus. On peut donc dire que la mesure sur le HPD, beaucoup plus rapide que sur les IEPs, assure toutefois une qualité au moins équivalente ce qui permet de mélanger les mesures de ces provenances différentes.

Dans le second chapitre, nous avons mis en évidence un certain nombre de résonances. Dans la distribution des masses effectives de deux corps chargés, le ρ^0 et le f^0 présentent un signal très clair. Dans la distribution de deux corps dont un neutre, le ρ^\pm est clairement identifié, alors qu'un signal à $2132 \pm 2\text{MeV}/c^2$, compris entre 4 et 5 déviations standard, n'a pas pu être attribué explicitement à une résonance connue.

Cette étude, qui vise l'analyse comparative des données d'une expérience depuis la mesure jusqu'à l'analyse physique des résultats, nous a permis de certifier le HPD pour l'exploitation. Des développements ultérieurs en améliorent encore le fonctionnement.

TROISIEME PARTIE

L'ANALYSE DES DONNEES A HAUTE RESOLUTION
DU SPECTROMETRE EHS

I. LE SPECTROMETRE EHS

I.1. LES TECHNIQUES DE DETECTION

I.1.1. La détection des particules chargées

I.1.2. La détection des particules neutres

I.2. LA CONSTITUTION DU SPECTROMETRE

I.2.1. Le détecteur de vertex

I.2.2. Le spectromètre

I.2.3. La mesure de l'impulsion

I.2.4. L'identification

I.2.5. La détection des neutres

I.3. LA MESURE DE L'IMPULSION

I.3.1. Les chambres à fils proportionnelles

I.3.2. Les chambres à dérive

I.3.3. La chambre inclinée PIC

I.4. L'IDENTIFICATION

I.4.1. SAD

I.4.2. ISIS

I.4.3. F.C.

I.4.4. TRD

I.5. LA DETECTION DES NEUTRES

I.5.1. IGD

I.5.2. FGD

I.5.3. INC

I.5.4. FNC

I.6. LE DECLENCHEMENT

I.7. L'EQUIPEMENT INFORMATIQUE EN LIGNE

I.8. L'EVOLUTION DU SPECTROMETRE

II. LA CHAMBRE A BULLES

III. L'ANALYSE ET LE TRAITEMENT DES CLICHES

III.1. L'EFFICACITE DE DETECTION AU DEPOUILLEMENT

III.2. LES PHASES DU DEPOUILLEMENT

III.3. LA MESURE INTERACTIVE

III.4. LA REMESURE DES EVENEMENTS CANDIDATS CHARMES

III.5. LES RESULTATS TOPOLOGIQUES

III.6. LA SENSIBILITE DE DETECTION DU HPD

Dans la seconde partie de ce travail, nous nous étions attachés à certifier la structure d'analyse articulée autour du HPD, à travers l'étude d'une expérience classique à haute statistique $\bar{p}d$ à 4,72 GEV. Nous avons mis en évidence le débit, la fiabilité et la précision de cette structure de mesure. Nous avons élaboré les titres de filtrage et de géométrie et montré le fonctionnement automatique du HPD et de Filtre, aussi bien pour les topologies faibles et moyennes (2-15) que pour les traces courtes (protons spectateurs et deutons de recul).

Dans cette troisième partie, nous nous proposons d'examiner plus particulièrement les caractéristiques de précision et de résolution de notre structure d'analyse à travers l'exploitation de données fournies par le Spectromètre Hybride Européen E.H.S. du CERN.

I. LE SPECTROMETRE E.H.S.

Ce spectromètre a permis l'étude de la production et de la désintégration de particules charmées dès 1980 dans le cadre des expériences NA16 et NA27 du CERN. A cet effet, des détecteurs électroniques de toute nature, identifiant et caractérisant les particules à haute énergie (1-400 GeV), ont été associés à un détecteur de vertex constitué d'une chambre à bulles à haute résolution et à cyclage rapide. Cette dernière permet la mise en évidence de désintégrations à très courte durée de vie (10^{-12} à 10^{-13} secondes) et donc très proches du vertex primaire. Ses performances, associées à l'analyse de ses clichés ont été déterminantes pour les résultats de cette recherche.

I.1. LES TECHNIQUES DE DETECTION.

En physique des hautes énergies la collision entre la particule incidente et la cible engendre un spectre de particules élémentaires, hadrons chargés et neutres de différentes masses, leptons et photons. Pour les étudier, il est nécessaire de les localiser et de les identifier par leur charge, leur quadrivecteur impulsion énergie et leur type.

I.1.1. La détection des particules chargées.

La détection et l'observation des particules chargées sont assurées par l'intermédiaire de leur interaction électromagnétique avec la matière.

- La localisation dans l'espace est assurée par la mesure d'un certain nombre de points le long de leur trajectoire.

- La charge et l'impulsion sont obtenues par la déviation de leur trajectoire dans un champ magnétique.

- La masse peut être déduite de la mesure simultanée de l'impulsion et de la vitesse.

I.1.2. La détection des particules neutres.

Pour les particules neutres au contraire, la détection est assurée indirectement par la mesure des particules chargées issues de leur dégradation. Cette dégradation des hadrons neutres résulte de leur interaction forte avec la matière. La gerbe hadronique ainsi créée est traitée par calorimétrie.

Les photons sont détectés par l'intermédiaire des particules chargées qu'engendre leur interaction électromagnétique avec la matière du détecteur. L'effet dominant, étant la matérialisation avec créations de paires, le traitement revient à de la calorimétrie électromagnétique.

Dans tous les cas, une bonne granularité des détecteurs est souhaitable en raison de la multiplicité moyenne élevée des réactions à haute énergie.

I.2. CONSTITUTION DU SPECTROMETRE EHS.

La construction du spectromètre EHS a été proposée en 1974 pour permettre l'étude exclusive détaillée des interactions fortes et de leurs désintégrations associées dans le domaine de quelques centaines de GeV/c incidents. Il a été conçu pour offrir une bonne acceptation géométrique et permettre une identification de toutes les particules. A cet effet, une grande variété de détecteurs a été mise en oeuvre progressivement. Ils se répartissent sur une longueur de 45 mètres.

On y distingue deux parties essentielles: le détecteur de vertex et le spectromètre proprement dit (Figure)

I.2.1. - Le détecteur de vertex.

Pour les expériences classiques (NA22, NA23) ce détecteur de vertex est constitué par la chambre à bulles à cyclage rapide RCBC. Pour les expériences à haute résolution qui nous concernent plus particulièrement (NA16, NA27), il est constitué par la chambre à bulles à haute résolution LEBC puis chronologiquement HOLEBC. Ces chambres permettent une localisation précise du vertex et offrent une acceptation de 4π pour la détermination de la topologie chargée et l'appréciation de l'ionisation non relativiste ($\beta \gamma \leq 1.5$). La taille réduite du volume fiduciel, l'énergie élevée des particules et l'absence de champs magnétiques interdit toutefois la détermination de la charge et de l'impulsion des particules. Ce rôle est dévolu aux autres détecteurs du spectromètre, en aval de la chambre à bulles, après action d'un champ magnétique.

I.2.2. Le spectromètre.

Le spectromètre proprement dit a été subdivisé en deux bras de leviers en cascade, précédés chacun par un aimant d'analyse. Cette formule a été adoptée pour offrir un compromis optimum entre l'acceptation géométrique et la résolution spatiale. Les différents détecteurs se répartissent le long des deux bras de levier en fonction de leurs spécificités.

Les détecteurs du premier bras de levier sont situés derrière le détecteur de vertex, entre le premier aimant d'analyse M1 et le second aimant M2. L'acceptation géométrique de ce premier bras de levier est essentiellement déterminée par l'entrefer de M1.

Le second bras de levier regroupe les détecteurs situés à l'arrière de l'aimant M2. Il permet une analyse fine des particules très énergétiques associées à la structure du jet. Son acceptation géométrique recouvre l'ouverture centrale de l'IGD, de l'INC et de M2.

Au long des deux bras de levier, les différents détecteurs remplissent essentiellement les fonctions suivantes :

I.2.3. La mesure de l'impulsion.

Elle est assurée par des chambres à fils, des chambres à dérive et ISIS.

I.2.4. L'identification des particules chargées.

Elle est assurée par ISIS, les deux détecteurs Cerenkov SAD et FC et le détecteur à radiation de transition TRD.

I.2.5. La détection des neutres.

Elle est assurée pour les hadrons par les calorimètres INC et FNC et pour les photons par les détecteurs de gamma IGD et FGD.

I.3. LA MESURE DE L'IMPULSION

Elle est essentiellement assurée par les chambres à fils et les chambres à dérive.

I.3.1. Les chambres à fils.

Elles sont utilisées sur le faisceau incident (U1 et U3) et dans la zone proche du premier aimant d'analyse en raison de la présence d'un champ de fuite relativement important (W2). U1 et U3 de $26 \times 36 \text{ cm}^2$ de surface sont constituées de 5 plans de coordonnées. Elles sont placées respectivement à 35 m et 2 m en amont de la chambre à bulles. W2 est une grande chambre de $1,20 \times 2,15 \text{ m}^2$ de surface placée en aval de la chambre à bulles à 1,7 cm de son centre. Elle est constituée de 7 plans de fils sensibles et son rôle consiste à associer les traces de la chambre à bulles avec celles localisées dans les chambres à dérive situées en aval.

I.3.2. Les chambres à dérive.

Elles sont au nombre de 6. D1, D2 et D3 ont une surface utile de $4,25 \times 2,10 \text{ m}^2$ et sont donc affectées au premier bras de levier. D4, D5 et D6 de dimension plus réduite, $1,3 \times 2 \text{ m}^2$ sont en principe affectées au second bras de levier. Chaque chambre comporte 4 plans de coordonnées dont les fils sensibles présentent un angle approximatif de $+ 16,7^\circ$, $+ 5,7^\circ$, $- 5,7^\circ$, $- 16,7^\circ$ par rapport à l'horizontale. Ces valeurs correspondent à la configuration Butterfly qui vise à minimiser les ambiguïtés de reconstruction.

I.3.4. La chambre inclinée PIC.

Elle est située à 3,70 m en aval de la chambre à bulles. Il s'agit d'une chambre à fils proportionnelle inclinée de $28,6^\circ$ par rapport à la direction moyenne des traces, et dont on mesure le temps de dérive. Cette disposition permet en principe la mesure dans 5 plans adjacents des particules horizontales ce qui procure une bonne résolution spatiale (100

microns) une mesure approximative de l'angle des traces ($\pm 1,5^\circ$) et une discrimination entre traces proches jusqu'à 300 microns.

I.4. L'IDENTIFICATION.

I.4.1. SAD.

Il s'agit d'un détecteur Cerenkov à aérogel de silicates. Il assure la première identification des particules chargées de faible impulsion. Il est situé à 3 m de la chambre à bulles (figure), derrière le premier aimant d'analyse, ce qui impose d'ailleurs un blindage magnétique conséquent.

Comme tout détecteur Cerenko il exploite la radiation ultraviolette émise par la particule de vitesse $\beta = v/c$ lorsque $\beta > 1/n$, n étant l'indice du milieu. Dans le cas de SAD le radiateur d'aérogel a un indice $n = 1.03$ ce qui procure un seuil de sensibilité $\beta_\gamma = 4$ qui correspond au minimum d'ionisation, la chambre à bulles exploitant la caractéristique non relativiste de l'ionisation alors que ISIS, qui suit, exploite la caractéristique relativiste. L'originalité de ce détecteur est constituée par l'aérogel dont l'indice est important par rapport à sa densité. Ses 18 cellules assurent une acceptation géométrique de $2.9 \times 1.15 \text{ m}^2$ à 3 mètres de la chambre à bulles. Une ouverture centrale de 80 cm permet le passage des particules de moment $\geq 5 \text{ GeV}/c$.

I.4.2. ISIS.

Situé comme SAD dans le premier bras de levier il suit celui-ci et assure une localisation et une identification complémentaire des particules chargées dans le domaine d'impulsions plus élevées. ISIS constitue une grande chambre à dérive dont le volume fiduciel représente plus de 36 m^3 . Ce volume actif est constitué de deux espaces de drift de 2 m, au-dessus et au-dessous du plan de fils. Un champ électrique de 1 kV/cm environ y est appliqué. La trajectoire des particules y est mesurée sous forme de coordonnées X (le long du faisceau) et Y (vertical). X représente un numéro de fils (parmi 320) et Y la durée du drift. la coordonnée Z (horizontale perpendiculaire au faisceau) n'est pas mesurée.

Cette identification est assurée en échantillonnant la montée relativiste de l'ionisation que les particules rapides engendrent dans le volume sensible.

I.4.3. F.C.

Ce détecteur Cerenkov avant, remplit dans le second bras de levier, un rôle symétrique à SAD dans le premier mais dans un domaine de vitesse plus élevé. Aussi l'indice correspondant du radiateur doit être plus faible ce qui explique le recours à un milieu gazeux dont la température permet d'ajuster seuils et sensibilité. Conçu pour fonctionner jusqu'à 300° C il est utilisé à des températures sensiblement moins élevées. Une matrice de 14 miroirs recueille la lumière émise.

I.4.4 TRD.

Le détecteur à radiation de transmission situé comme FC dans le second bras de levier suit celui-ci. Il permet la mesure de la vitesse des particules chargées les plus énergétiques (≥ 100 GeV). Pour $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2} \geq 1000$, la radiation de transition, émise lors de la traversée de l'interface entre deux milieux diélectriques différents (mylar/air, fibre de carbone/air) devient significative. L'intensité de la lumière émise est fonction de l'énergie $E = m_0\gamma$ de la particule et croît avec celle-ci, alors que la réponse des autres détecteurs devient uniforme dans cette gamme d'énergie. Contrairement aux détecteurs Cerenkov dont la lumière, essentiellement ultraviolette, est recueillie par des photo-multiplicateurs, la lumière du TRD, essentiellement dans le spectre X, est détectée par des chambres proportionnelles au Xénon. Une pile de 20 cellules de détection (interface + chambre au Xénon) superposées compose le TRD.

1.5. LA DETECTION DES NEUTRES.

La majorité des interactions inélastiques en haute énergie comportent des particules secondaires neutres. Or la physique exclusive impose une reconstruction aussi complète que possible de l'interaction ce qui impose une bonne identification des particules neutres comme des particules chargées et avec une granularité comparable. Cela permet également d'étendre la physique des 4C aux particules neutres.

I.5.1 IGD.

Le détecteur de gamma intermédiaire est situé dans le premier bras de levier. Il est constitué d'un calorimètre électromagnétique à verre au plomb qui est destiné à l'identification des π^0 en détectant la gerbe électromagnétique des gammas de désintégration des π^0 d'énergie jusqu'à 20 GeV. Une ouverture centrale permet aux particules rapides d'atteindre le second bras de levier.

I.5.2. FGD.

Le détecteur de gammas avant, de conception légèrement différente, joue dans le second bras de levier, un rôle symétrique à l'IGD pour l'identification des π^0 d'énergie élevée.

I.5.3. INC.

Le calorimètre intermédiaire de neutres vise l'identification des hadrons neutres (K^0 et neutrons) à partir des gerbes hadroniques qu'ils engendrent dans le détecteur. Il est situé dans le premier bras de levier, dans l'ombre de IGD. Une ouverture centrale permet le passage des particules rapides vers le second bras de levier.

I.5.4. FNC.

Le calorimètre avant de neutres joue dans le second bras de levier, un rôle symétrique à l'INC pour les hadrons neutres correspondant à l'acceptance du second bras de levier.

I.6. LE DECLENCHEMENT.

Le déclenchement de l'expérience vise, dans la mesure du possible, la prise des données des seules interactions étudiées. La décision de la prise des données est prise à différents niveaux. On distingue essentiellement deux niveaux. Un niveau rapide ($100 \mu\text{s}$) correspond à la mise en coïncidence d'informations des compteurs à scintillation permettant de détecter une interaction. Un niveau lent ($10 \mu\text{s}$) prend également en compte les informations d'autres détecteurs traitées par l'algorithme d'un micro-ordinateur.

Son taux de déclenchement est situé entre 1 et 2 % ce qui mène à une section efficace de 20 mb environ. En fait, les taux de déclenchement sont essentiellement limités par les temps morts des caméras et l'acquisition des données des détecteurs. On arrive ainsi à un taux d'acquisition approximatif de 10 photos par cycle d'accélérateur de 22 secondes ce qui correspond à un flux de particules incidentes de $1600 \times 60 = 10^5$.

I.7. L'EQUIPEMENT INFORMATIQUE EN LIGNE.

Un équipement informatique constitué de mini ordinateurs et de micro ordinateurs frontaux assure le contrôle et la commande des éléments des différents détecteurs ainsi que l'acquisition et la surveillance des données de mesure. Un miniordinateur NORD 100 est plus particulièrement chargé de l'acquisition des données de mesure alors qu'un NORD 10 plus modeste s'occupe des contrôles et des sécurités. Les microprocesseurs assurent une fonction frontale. L'interface avec les détecteurs est assuré par un système CAMAC multi-branche. Le système d'exploitation multi-tâches multiutilisateurs des miniordinateurs implémente le concept de mémoire virtuelle.

I.8. L'EVOLUTION DU SPECTROMETRE.

L'ensemble des détecteurs mis en oeuvre dans EHS vise ainsi à couvrir un champ aussi large que possible d'impulsion, d'énergie et d'acceptance géométrique pour les particules secondaires chargées et neutres.

Tous ces détecteurs ont été mis en oeuvre progressivement et en 1980, l'expérience NA16, visant une première étude des particules charmées, dispose d'une part significative du spectromètre : chambres à fils, chambres à dérive, ISIS 1, les détecteurs de gamma et la chambre à bulles LEBC (Lexan European Bubble Chamber).

L'évolution constante de ce spectromètre s'est poursuivi dans NA27 où sa configuration est proche de ce qui est décrit.

II. LA CHAMBRE A BULLES.

Le spectromètre EHS utilise une chambre à bulles à haute résolution pour la détection du vertex jusqu'en 1986 (Réf. 35). Cette chambre à bulles LEBC est constituée d'un corps cylindrique de 20 cm de diamètre et de 4 cm d'épaisseur intérieure. Le volume sensible

est constitué de 1,1 litre d'hydrogène liquide dont la détente est assurée par la flexibilité du fond de la chambre constituant une membrane de 5 mm d'épaisseur. Cette dernière est pourvue d'un revêtement intérieur de Scotchlite permettant la prise des clichés en champ éclairé à travers une fenêtre avant de 25 mm d'épaisseur. Le corps de la chambre est usiné d'une seule pièce dans un bloc de LEXAN, polycarbonate thermoplastique dont le comportement cryogénique est satisfaisant. Ceci permet d'obtenir une chambre "propre" dont l'ébullition parasite est minimale. Sa fréquence maximum de fonctionnement voisine 50 Hz mais son exploitation est assurée à 30 Hz, la fréquence maximum des caméras et la lecture des données étant de toutes manières limitée à 15 Hz. Un miroir semi-transparent projette dans la chambre, l'éclair de 30 μ s d'un flash de 30 J.

Cette chambre a connu plusieurs évolutions successives. Pour l'expérience préliminaire NA13 il s'agissait uniquement d'une analyse du dépouillement. Une seule caméra était disponible et aucune marque fiducielle utilisable n'apparaissait. Aussi aucune reconstruction géométrique ou analyse quantitative n'était possible. Seule l'analyse topologique et la recherche de désintégrations secondaires à courte durée de vie ont été assurées et la faisabilité d'une chambre à bulles à haute résolution démontrée. Un diamètre de bulle de 40 à 50 microns a été obtenu avec une densité de 70/cm, le rapport de réduction chambre/film étant fixé à 2,4.

Dans la suite, l'évolution a essentiellement visé une analyse quantitative aussi précise que possible c'est-à-dire bonne référence spatiale et bonne résolution.

L'expérience NA16 a ainsi disposé de deux caméras permettant la reconstruction spatiale à partir de leur angle stéréoscopique de 17° et d'un ensemble de marques de référence liées à la chambre et aux caméras. Le diamètre des bulles est de 42 ± 6 microns et la densité de l'ordre de 80/cm. Le rapport de réduction optique est de 3,23.

L'expérience NA27, qui assure le prolongement de cet axe de recherche du charme, a inauguré une nouvelle version plus performante de la chambre, HOLEBC, dont la structure a été modifiée (piston dans le bras de la chambre, éclairage par transparence au moyen d'un Laser face aux caméras à travers une seconde fenêtre) pour permettre son utilisation holographique en lumière cohérente aussi bien qu'en optique classique. Dans le cadre NA27 cette chambre est utilisée en optique classique. Elle dispose de deux vues dont le grandissement voisin de l'unité, a permis de réduire encore le diamètre des bulles, 12 à 20 microns pour une densité de 70 à 100/cm et un contraste nettement amélioré. 8 marques fiducielles sont disponibles dans la chambre, 5 sont associées aux caméras.

La recherche d'un diamètre minimum des bulles, dictée par la durée de désintégrations des états charmés est limitée par des facteurs de différente nature. Des limites sont imposées par la chambre elle-même (densité des bulles, turbulences et régime thermodynamique), par l'optique des caméras par le film et par le système d'analyse dont disposent les laboratoires. Dans la suite, nous nous proposons de nous focaliser sur l'analyse de ces clichés à haute résolution au moyen des équipements que nous avons développés.

DEFINITION DES TERMES UTILISES

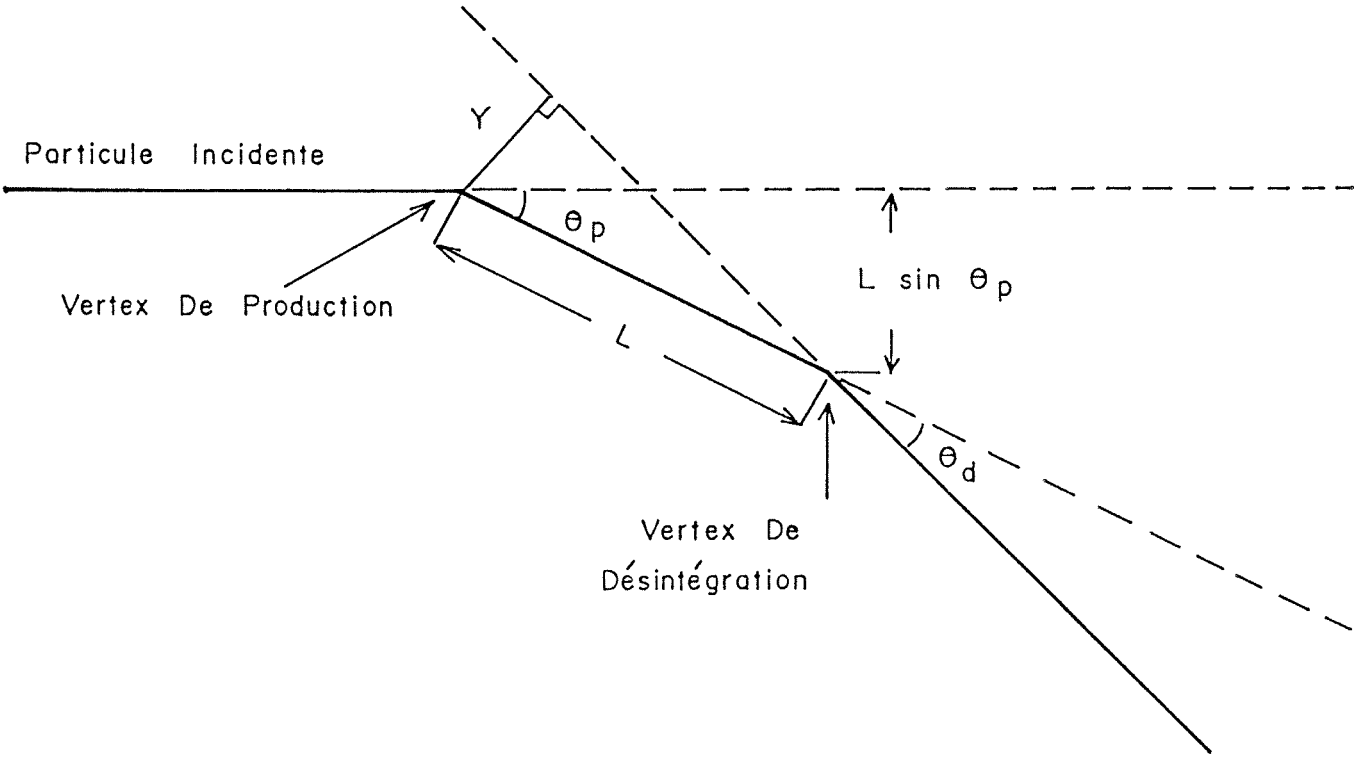


Figure III.1

III. L'ANALYSE ET LE TRAITEMENT DES CLICHES

Dans les expériences NA13, NA16, NA27 π^- et NA27p la section efficace de détection du signal charme étant directement corrélée à la dimension apparente des bulles sur le cliché, les laboratoires de la collaboration ont eu à analyser et à traiter des interactions dont les bulles atteignent une douzaine de microns de diamètre sur le film.

La collaboration NA13 a essentiellement constitué un test de faisabilité dans lequel notre laboratoire n'était pas impliqué. Les clichés de cette expérience dont nous disposons nous ont toutefois permis de préparer l'expérience NA16. Ils fournissent des données relatives au diamètre des bulles et aux paramètres de dépouillement. Ils ont également permis de mettre en oeuvre les améliorations du HPD pour l'adapter à ce nouveau type de clichés.

La collaboration NA16 qui regroupe 17 laboratoires, a produit 350 000 photos avec un faisceau incident de π^- à 360 GeV/c, et 500000 photos avec un faisceau incident de protons à 360 GeV/c, soit un total de 850 000 photos sur deux vues, 299 100 interactions sur hydrogène ont été relevées dans le lot traité, soit une proportion de 40%. 77 événements charme comportant 60 charmes identifiés ont été localisés. Le lot attribué à Strasbourg représente 75 000 photos soit 9% de l'ensemble. 14 charmes représentant 23% de l'ensemble y ont été relevés, analysés et traités par la chaîne d'analyse décrite.

L'expérience NA27 a produit 3,5 millions de photographies qui ont été analysées par les 23 laboratoires de la collaboration. La première période qui correspond au faisceau de π^- incidents à 360 GeV/c a fourni un million de photos comportant 265 000 interactions hydrogène dont sont issus 276 événements candidats charmés. Son traitement s'est achevé à Strasbourg en Mars 1984. La seconde période correspond au faisceau de protons incidents à 400 GeV/c. Elle a produit 2,5 millions de photos comportant 900 000 interactions hydrogène dont sont issus 720 événements candidats charmés. Son traitement vient de s'achever.

Pour NA16 comme pour NA27, l'ensemble des événements candidats charmés de la collaboration a subi un retraitement sur le HPD à Strasbourg. Les résultats marquants, correspondant aux spécificités de notre chaîne d'analyse, sont présentés dans la suite.

Nous examinerons successivement :

- les critères de "discernabilité" d'une désintégration à courte durée de vie en fonction du diamètre apparent des images de bulles, pour évaluer la section efficace de dépouillement.

- les améliorations apportées à notre chaîne d'analyse et en particulier le traitement du signal du HPD visant à extraire du cliché l'information de premier niveau ont été traités dans la première partie de ce travail. Les résultats obtenus sont par contre présentés ici.

- la séquence du traitement des clichés qui vise essentiellement trois objectifs :

- . l'analyse topologique avec mise en évidence d'activités secondaires non visibles sur table,
- . la mesure proprement dite,
- . la remesure des événements candidats charmes de la collaboration
 - la contribution de notre système d'analyse aux résultats de la collaboration, à la lumière des remesures des événements déjà analysés dans d'autres laboratoires.

III.1. L'EFFICACITE DE DETECTION AU DEPOUILLEMENT

La qualité du dépouillement qui constitue la première phase de l'analyse des clichés est directement conditionnée par le critère de "discernabilité" d'une désintégration à courte durée de vie. En appelant m la masse d'une particule produite à un angle Θ_p et à une impulsion p , on peut établir la relation entre le parcours L et la durée de vie τ :

$$L = \beta \gamma c \tau \quad \text{avec } \beta \approx 1 \text{ donne}$$

$$L = \frac{p c \tau}{m} = \frac{p_T c \tau}{m \sin \Theta_p} \quad \text{avec } \langle p_T \rangle = 0.860$$

$$\text{et } m = 1.86$$

Or l'impulsion transverse $p_T \leq m$ d'où :

$$L \sin \Theta_p \leq c \tau < 300 \mu$$

$$\text{pour } \tau < 10^{-12} \text{s}$$

Cette valeur représente l'écart transverse du vertex de désintégration par rapport à la particule incidente. Aussi ce vertex sera-t-il généralement situé dans le cône avant des traces secondaires du vertex primaire et donc difficilement visible.

Un moyen de localiser le vertex de désintégration d'une particule charmée consiste à localiser une trace dont le paramètre d'impact est suffisant pour être observé. Ce paramètre qui représente la distance entre la trace de désintégration et le vertex de production est défini par la cinématique de la désintégration et peut s'écrire en fonction de l'angle Θ_D de désintégration :

$$y = L \sin \Theta_D = \frac{p c \tau}{m} \sin \Theta_D$$

or $\sin \Theta_D = \frac{p_T}{p}$ pour la particule de désintégration d'où :

$$y = \frac{p \tau}{m} \left(\frac{p_T}{p} \right)_D \quad \text{avec } p_T \approx 1 \text{ GeV}/c$$

il vient

$$y \approx L \Theta_D \approx C \tau$$

Ainsi les traces de désintégration d'une particule charmée de durée de vie 10^{-13} s présenteront un paramètre d'impact maximum de 30 microns. Si on admet comme critère de discernabilité d'une telle trace, un paramètre d'impact correspondant à un diamètre de bulles, cela nous impose un diamètre de bulles de 30 microns maximum.

A partir de ces critères, des simulations par Monte-Carlo permettent de tracer les courbes d'efficacité de détection et d'efficacité d'identification en fonction du diamètre des bulles et de la durée de vie de l'état charmé (Ref 28). En réalité, l'expérience a montré que les diamètres des bulles considérés doivent être affectés d'un facteur de correction en raison, entre autres, du faible contraste des images des bulles et du grain photographique (NA13 et NA16). On obtient ainsi les valeurs du tableau III.1.

TABLEAU DES EFFICACITES DE DETECTION EN %
en fonction du diamètre des bulles
et de la durée de désintégration τ

τ \ \varnothing Bulles		HOLEBC		LEBC	
		10 μ	20 μ	30 μ	50 μ
	10^{-13} s	40	10	~0	~0
τ $F^{\pm} \lambda_c^{\pm}$	2.10^{-13} s	60	40	25	10
τ D^0	4.10^{-13} s	80	60	40	30
τ D^{\pm}	8.10^{-13} s	100	80	60	50
	10^{-12} s	100	90	75	60

Tableau III.1.

Il apparaît à la lumière de ces réflexions, que la sensibilité de la détection et de l'analyse du paramètre d'impact détermine la sensibilité de l'analyse d'états charmés. Nous allons étudier dans la suite cette sensibilité pour notre structure d'analyse.

III.2. LES PHASES DU DEPOUILLEMENT

La structure d'analyse traditionnelle distingue clairement l'analyse topologique, effectuée sur des tables de projection lors du dépouillement, de l'analyse quantitative effectuée à la mesure.

Dans le cadre des expériences NA16 et NA27, les critères topologiques de signature du charme se trouvent sévèrement biaisés par l'impossibilité de distinguer sur table les faibles paramètres d'impact des traces issues en réalité du vertex de désintégration par rapport au vertex de production. Aussi notre laboratoire a-t-il été amené à assurer deux phases de dépouillement :

- le dépouillement traditionnel SCAN1 et SCAN2, identique à celui effectué dans les autres laboratoires, vise à retenir les événements candidats charme dont une activité secondaire au moins, située dans la "charm scan box", est repérée par une branche présentant un paramètre d'impact visible ou un saut de l'ionisation. Une prédiction sur la position transverse de la particule incidente ayant interagit est fournie par les chambres à fils situées en amont de l'expérience. Dans NA27, la "charm scan box" est constituée par un rectangle de 4 mm de largeur sur le film centré sur la trace incidente, et de longueur celle de la chambre. Ce critère qui a été défini à l'aide de simulations par Monte-Carlo, permet de réduire le fond de particules étranges sans affecter l'échantillon de particules charmées dont le paramètre d'impact s'est révélé être toujours inférieur à 800 microns. L'efficacité du double dépouillement est comprise entre 90 et 98% en fonction de la topologie. L'efficacité globale de détection d'un charme sur l'ensemble de la chaîne Dépouillements1-2-3-Mesure-Remesure est de $95 \pm 5\%$ pour les topologies V4 et C3 et de $90 \pm 5\%$ pour les topologies V2.

- le dépouillement SCAN3 consiste, dans notre laboratoire, à systématiquement prémesurer et digitiser au HPD, tous les événements, sélectionnés dans la phase précédente. Lors de la scrutation, l'opérateur dispose ainsi simultanément de l'image optique à deux grandissements de la table de projection, et de l'image de la console de visualisation graphique de RESCUE qui représente les digitisations du HPD auxquelles on fait subir toutes les transformations habituelles, zooms, rotations et surtout l'anamorphose. Il est alors possible de faire une analyse topologique précise et de mettre en évidence des activités secondaires invisibles autrement.

Ces résultats sont atteints grâce à la sensibilité de ce système, permettant la mise en évidence de paramètres d'impacts très faibles (7 microns). Pour ce faire, ce système tire simultanément partie de la précision des digitisations du HPD, de leur résolution, du traitement du signal qui épure l'information, des possibilités de manipulations graphiques de RESCUE et des facultés d'analyse visuelles de l'opérateur. Ce dernier peut labeller les traces et y fixer des points de repère afin de faciliter la phase de mesure.

Il résulte de cette phase d'analyse une liste d'événements standards dont les digitisations, les prémesures, les labels et les points de repère sont acheminés vers la phase de mesure.

III.3. LA MESURE INTERACTIVE

La phase de mesure proprement dite vise à réaliser le filtrage des traces de l'événement à l'aide de la console de visualisation graphique de RESCUE, sous le contrôle interactif

de l'opérateur. Lorsque le filtrage automatique est impossible (ce qui est généralement le cas dans ces expériences charme), l'opérateur peut sélectionner des points mesurés comme étant représentatifs de la trace selon des critères visuels d'alignement. En réalité, pour les expériences NA16 et NA27, cet alignement est apprécié en superposant optiquement à chaque trace, un cercle passant par trois de ses points de mesures. Les points de mesure retenus correspondent à la superposition du meilleur cercle possible. Il s'agit d'un fit global à l'oeil. Cette phase de la mesure fournit les coordonnées des points résumés des traces. Elle peut s'enchaîner directement, voir même s'imbriquer avec la phase de dépouillement précédente SCAN3.

L'analyse de la qualité des mesures est effectuée sur les distributions des mesures de traces. Ces distributions représentent en microns respectivement la RMS de toutes les traces des événements charmes (Fig.III.1), le paramètre d'impact des traces primaires par rapport au vertex primaire (Y trace prim./ v_x prim. Fig.III.2), le paramètre d'impact des traces secondaires par rapport au vertex secondaire (Y trace sec./ v_x sec. Fig.III.3), le paramètre d'impact des traces secondaires par rapport au vertex primaire (Y trace sec./ v_x prim. Fig.III.4), le paramètre d'impact maximum de la désintégration sur les deux vues, qui fournit en fait la distribution de discernabilité (Y max v_x sec. Fig.III.5), et, pour chaque trace, le paramètre d'impact de la vue où il est le plus important (Y max trace Fig.III.6). Ces résultats sont résumés dans le tableau III.2.

La sensibilité de détection de la chaîne d'analyse centrée sur le hpd apparaît clairement sur les résultats des mesures présentés et se résume ainsi :

- La distribution de la RMS des points résumés des traces présente une valeur moyenne de 0,66 microns avec une RMS de 0,76 microns (*Résiduelles de 1,8 microns à Vezelay avec une technique de filtrage "classique"*).

- La RMS de la distribution des paramètres d'impacts des traces par rapport à leur vertex respectif vaut en moyenne -0,08 microns pour les traces primaires et -0,02 microns pour les traces secondaires, l'écart entre les deux grandeurs provenant notamment du soin particulier attaché à la mesure des traces secondaires.

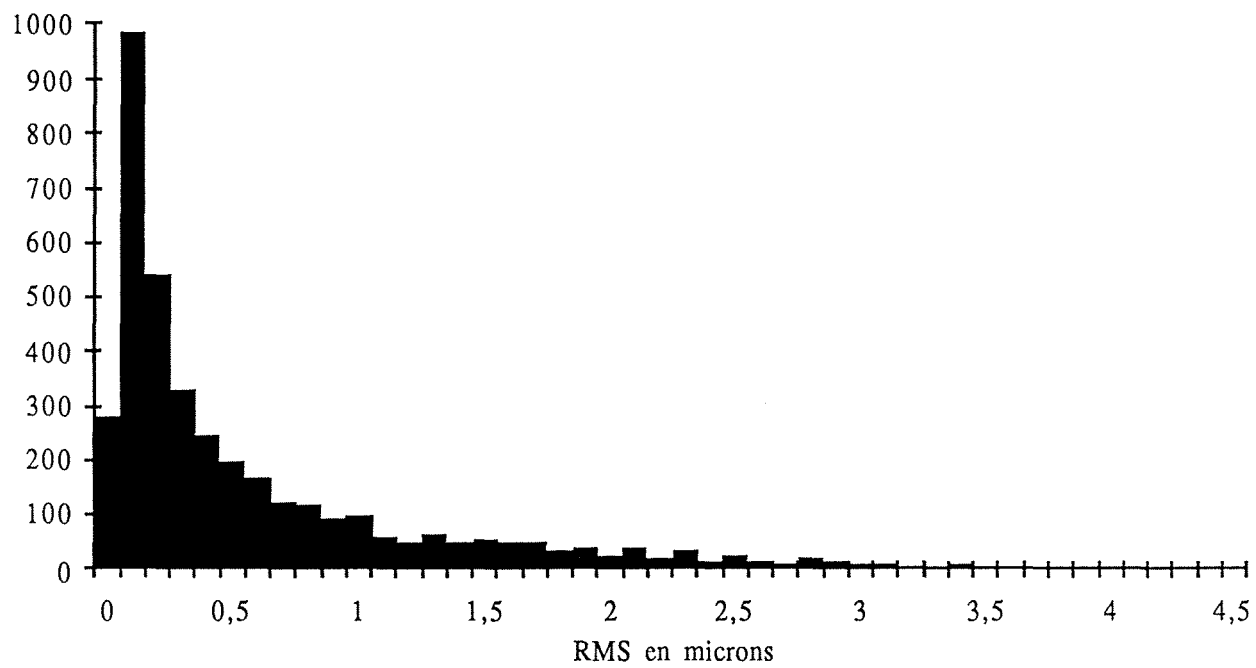


Figure III.1

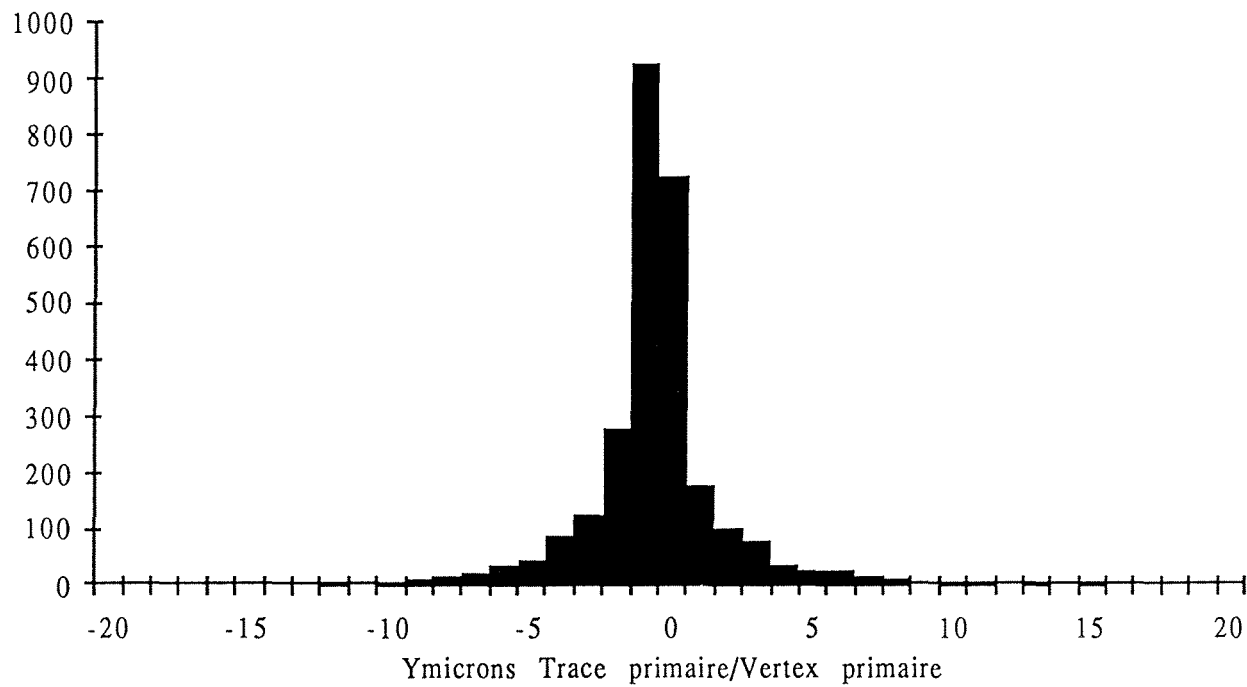


Figure III.2

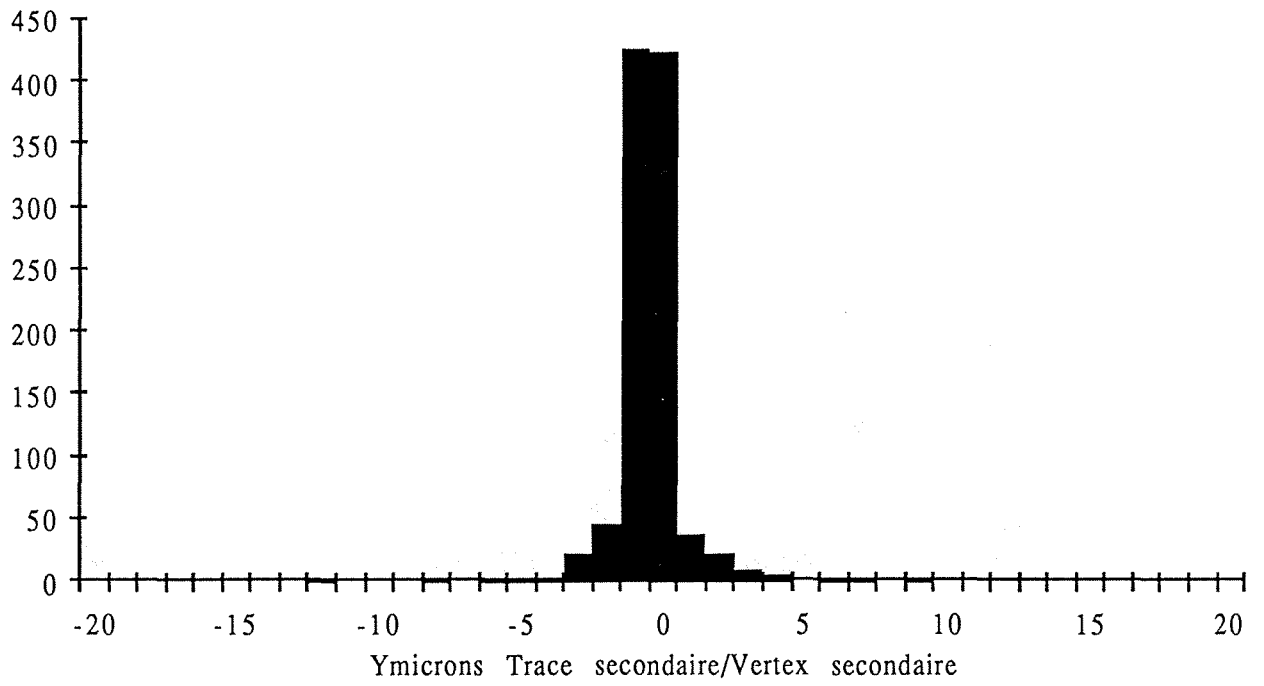


Figure III.3

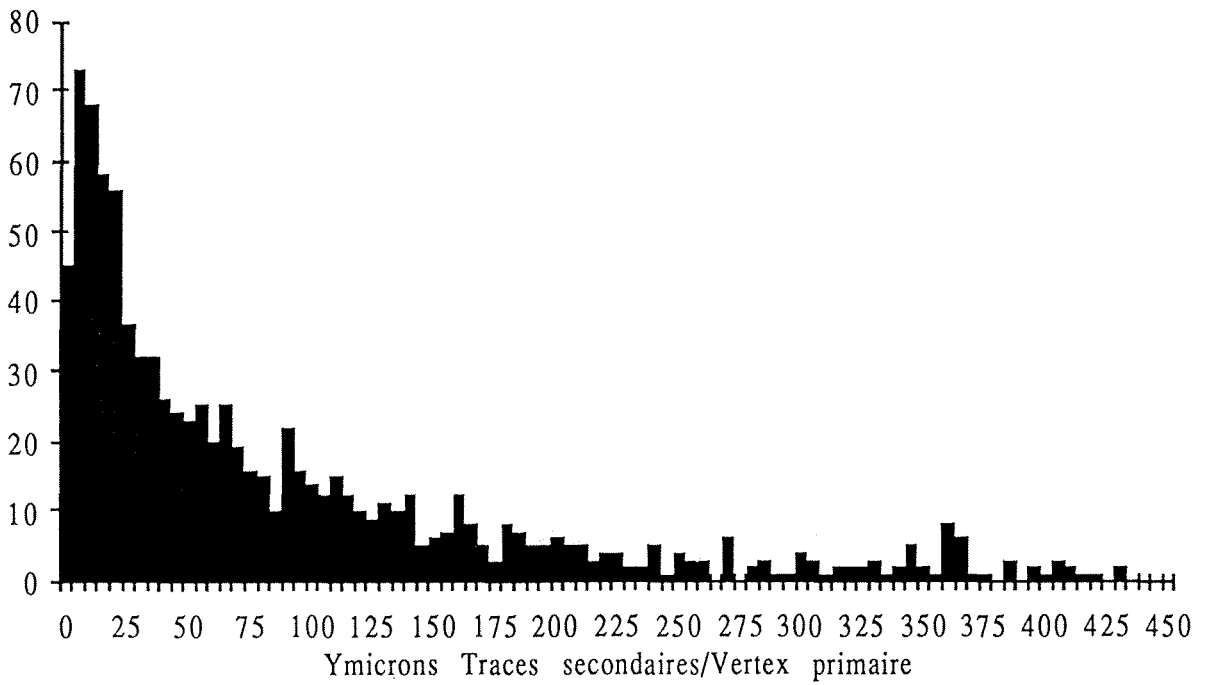


Figure III.4

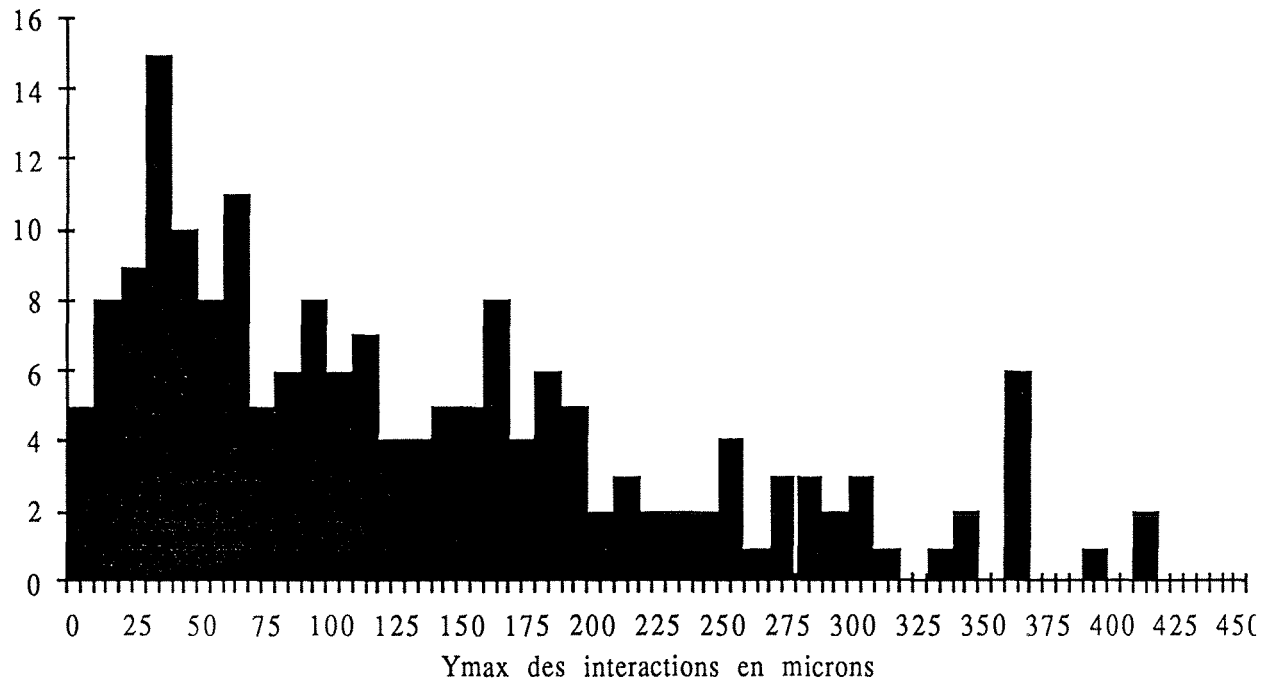


Figure III.5

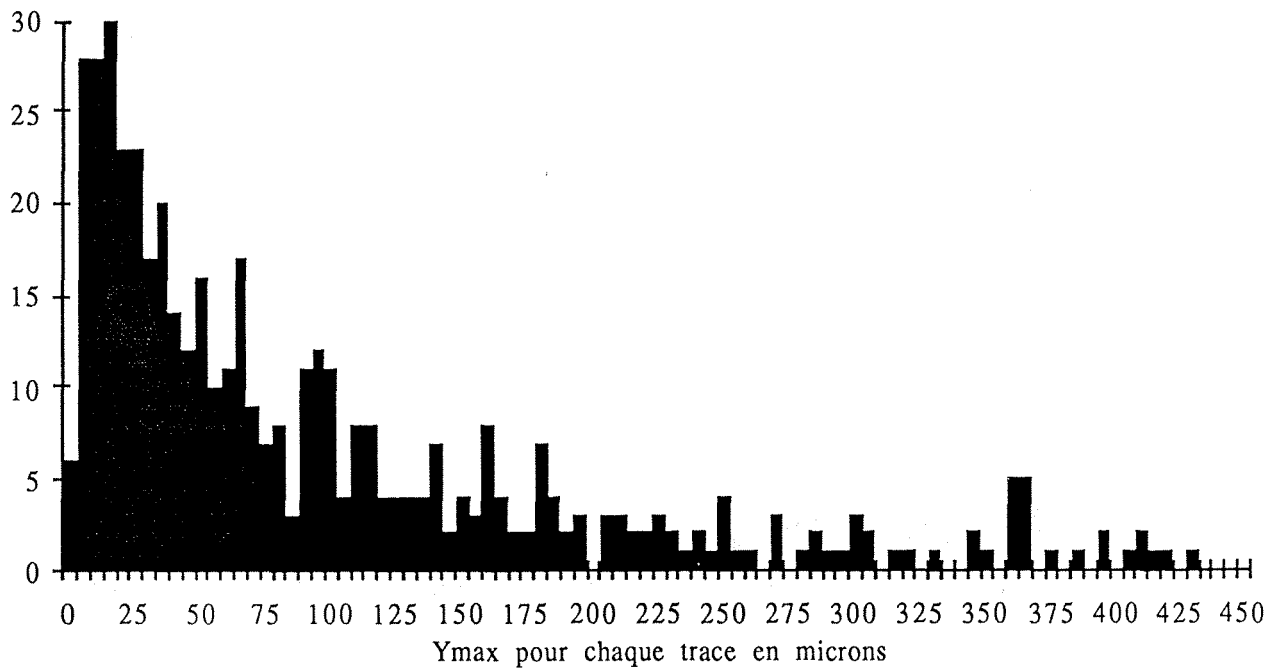


Figure III.6

PARAMETRES DE MESURES DES TRACES
 Evénements Charmes de NA16 et NA27
 Les grandeurs entre parenthèses proviennent des données de NA16.

Vue 1 \vee Vue 2	Valeur Moyenne	RMS
RMS traces	0,66 (2,09)	0,76 (1,83)
Y trace prim/vx prim	-0,08 (0,32)	2,78 (1,52)
Y trace sec/vx sec	-0,02	1,31
Y trace sec/vx prim	92	101
Y max vx sec	137	108
Y max trace	101	105

Tableau III.2

III.4. LA REMESURE DES EVENEMENTS CANDIDATS CHARME

Les performances obtenues par le système de mesure que nous avons développé ont conduit la collaboration NA16 puis NA27 à demander à notre laboratoire d'effectuer la remesure finale et l'analyse de l'ensemble des événements candidats charmés de la collaboration qui ont été traités dans les laboratoires respectifs. Cette démarche vise une homogénéisation des données à l'aide du système reconnu comme le plus performant de la collaboration (Réf. 30). Ces événements sont acheminés à strasbourg pour y être remesurés au HPD s'ils satisfont à une des conditions suivantes :

- être situés dans la "charm box", définie comme un cylindre dans l'espace centré sur la trace incidente, de rayon 1 mm pour les topologies C1 et V2 et 2mm pour les autres topologies.

- présenter un C1 ou V2 dont une des traces de désintégration possède un moment transverse supérieur à 250 MeV/c par rapport à la ligne de vol de la particule incidente afin d'éliminer les étranges.

LES CHANGEMENTS D'HYPOTHESE REALISES DANS NA27 GRACE AU HPD

Période pi-

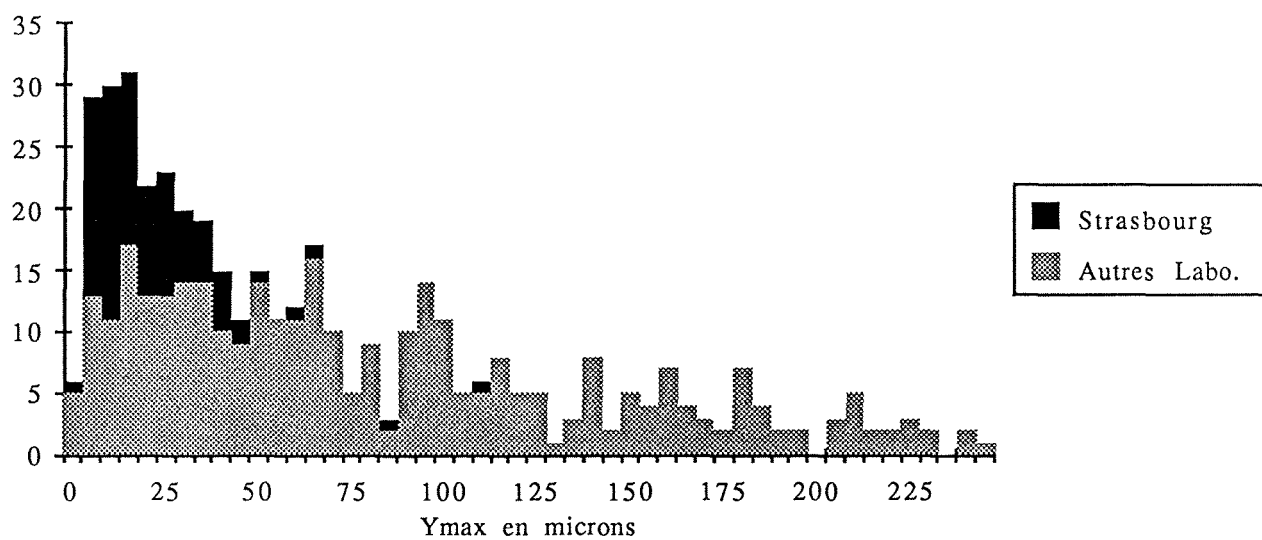


Figure III.7

Périodes protons

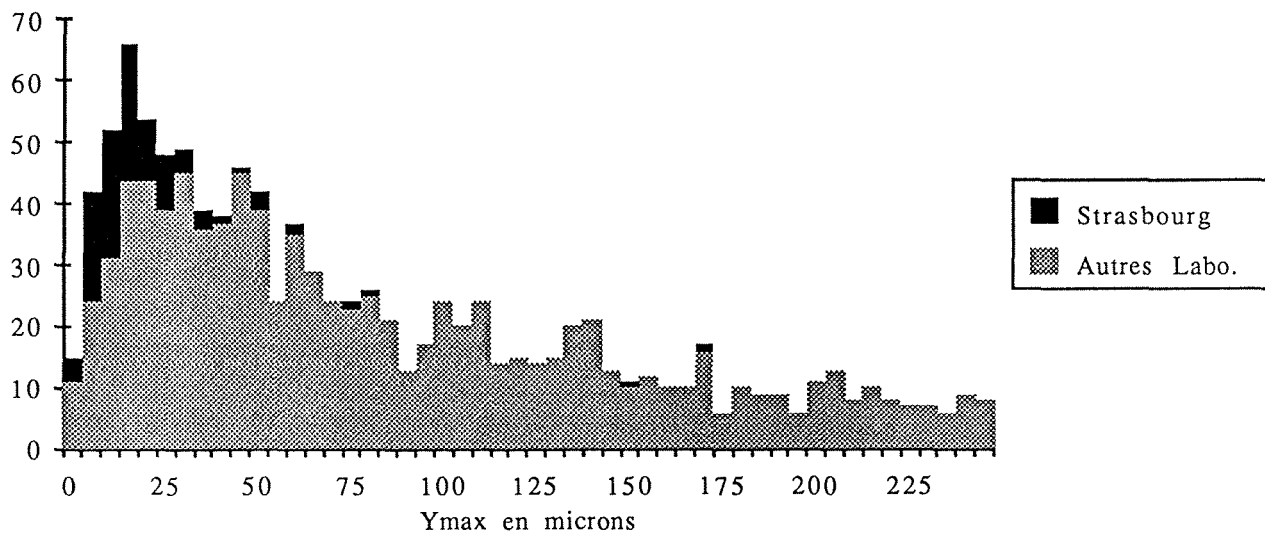


Figure III.8

Périodes pi- et protons

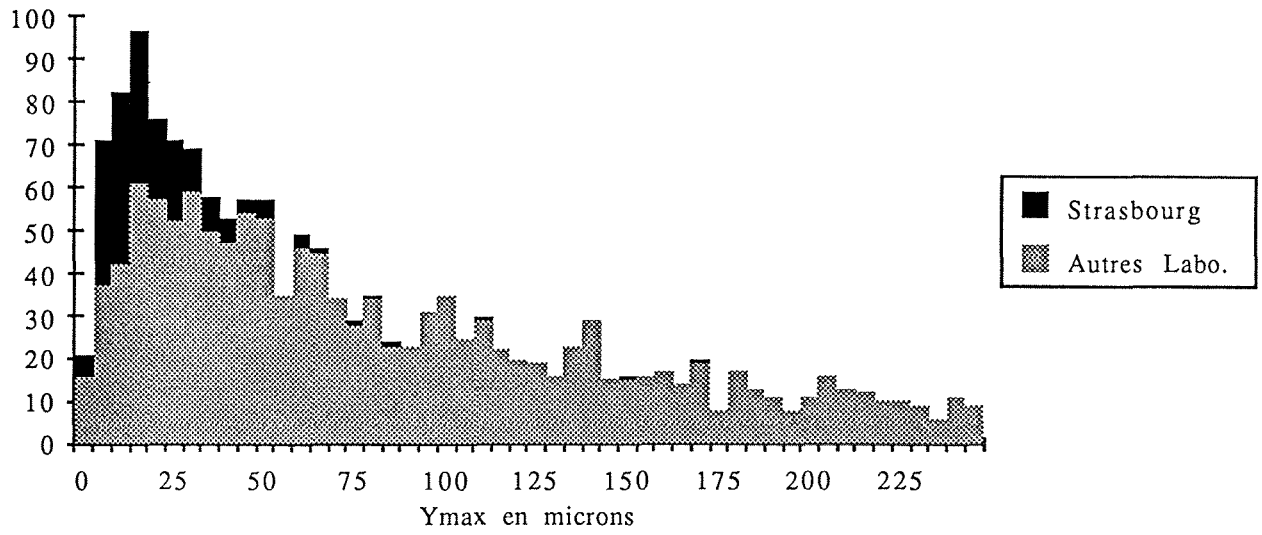


Figure III.9

PARAMETRES D'IMPACT "Y" DES EVENEMENTS CHARMES
 Valeur maximum de Y_{vue1} et Y_{vue2} pour chaque trace secondaire

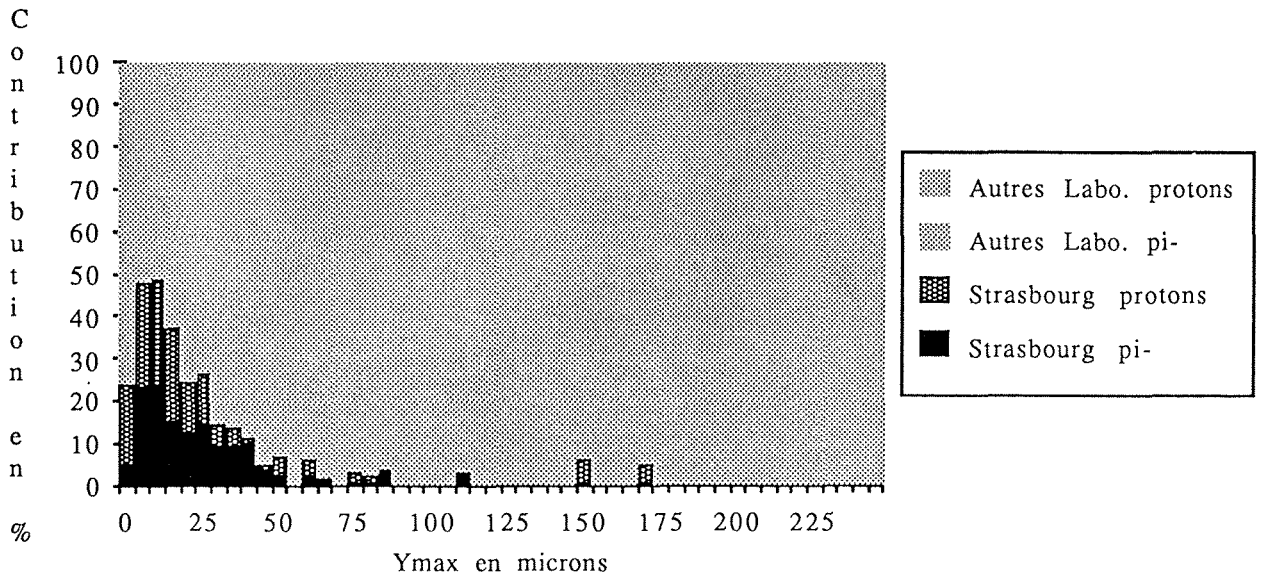


Figure III.10

- présenter une topologie charme c'est à dire C3, C5, V4 ou V6.
- présenter une topologie confuse c'est-à-dire un vertex secondaire confus.

Cette opération se solde par un pourcentage significatif de modifications (de l'ordre de 50%), portant notamment sur la topologie et la mise en évidence d'une seconde activité lorsqu'une première a déjà été détectée.

III.5. LES RESULTATS TOPOLOGIQUES

Les résultats statistiques de cette opération de remesure sont concrétisés par les changements de topologie proposés à la collaboration. Ils représentent la contribution de notre chaîne d'analyse dans les collaborations NA16 et NA27. Les résultats sont détaillés dans le tableau III.3 suivant.

Bilan de la remesure des événements de la collaboration NA27

	Période π^-	Période p	Total
Nombre d'événements à traiter	276	720	996
Nombre d'événements Charme	127	344	471
Proportion de Charmes	46%	48%	47%
Nb de topologies modifiées	60	108	168
Proportion de topologies modifiées	47%	31%	36%
Nb d'activités ajoutées/trouvées	30	38	68
Proportion d'activités ajoutées	24%	11%	14%

Tableau III.3

Il est important de constater que plus de 50% des événements reçus des autres laboratoires ont dû être rejetés comme n'étant pas des charmes. Ces événements, pour

leur grande majorité, avaient été retenus comme candidats charmes. Quelques événements confus ou douteux ont été ajoutés à fin de diagnostique.

Pour la période π^- , parmi les 46% d'événements retenus, 47% des topologies ont été modifiées suite à notre intervention, la moitié de ces modifications concernent des activités que les autres laboratoires n'ont pas pu déceler.

Pour la période protons, parmi les 48% d'événements retenus, les chiffres tombent à 31% de modifications parmi lesquelles un tiers des activités n'ont pas été décelées par les autres laboratoires. Cela correspond, pour cette période, à un filtrage préliminaire des événements destinés à la remesure sur le HPD par l'appareil de mesure ERASME du CERN.

III.6. LA SENSIBILITE DE DETECTION DU HPD

La sensibilité de détection de la chaîne d'analyse centrée sur le HPD apparaît clairement sur les résultats des mesures.

- Les distributions des paramètres d'impacts Y_{\max} des traces secondaires par rapport au vertex primaire des événements charmes (Figures III.7, III.8, III.9 et III.10) présentent les caractéristiques suivantes :

- aucune perte d'information n'apparaît pour $Y_{\max} > 50$ microns (*déviations de 2° sur la table*) pour l'ensemble des laboratoires.

- aucune perte n'apparaît à Strasbourg pour $y_{\max} > 15$ microns.

- pour $7 \text{ microns} < Y_{\max} < 15 \text{ microns}$, les pertes d'information qui apparaissent sur les mesures des autres laboratoires peuvent être compensées à l'aide de nos équipements. Toutefois, les événements traités par les autres laboratoires dont tous les paramètres sont inférieurs à 50 microns sont définitivement perdus dans la mesure où ils ne sont pas détectés et ne nous parviennent donc pas.

- la valeur de 7 microns qui constitue la limite de notre intervention (Figure III.10) permet de voir des déviations angulaires de $0,5^\circ$. Cette limite ne correspond pas manifestement à la limite de l'appareil. Elle correspond essentiellement à la limite des informations présentes sur le film.

LE SPECTROMETRE E.H.S.

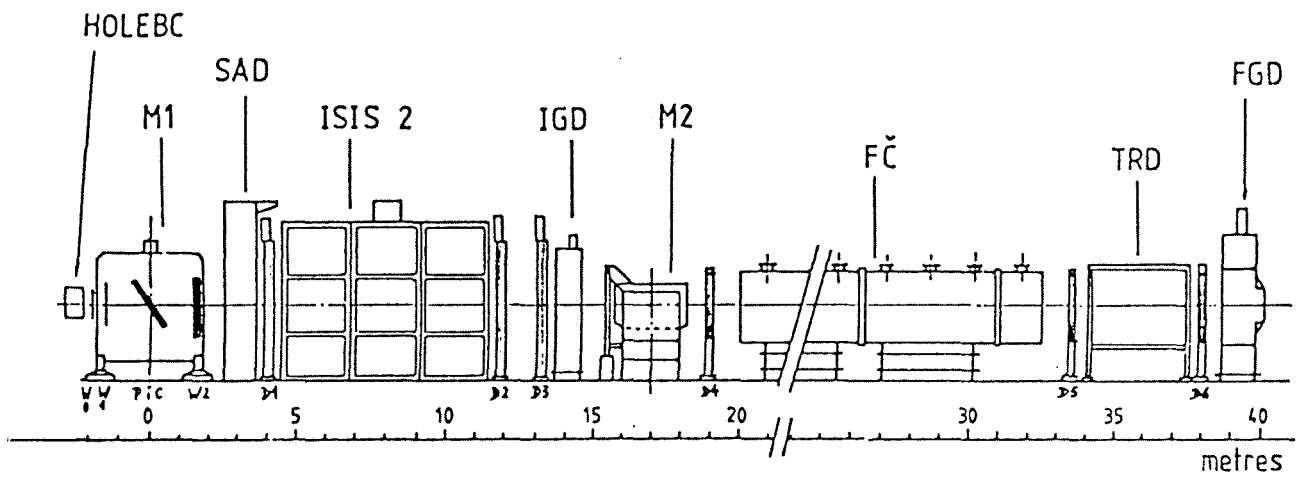


Figure III.11

CONCLUSION

Le travail décrit dans la première partie de ce document vise la réalisation et la mise en œuvre d'un système d'équipements qui constitue la chaîne d'analyse, de dépouillement, de mesure et d'exploitation de clichés photographiques et holographiques. Ces clichés représentent l'image des interactions de la physique des particules dans les détecteurs visuels.

Les équipements d'analyse s'articulent autour d'un appareil de mesure automatique de clichés, le HPD. Pour approvisionner le HPD, trois appareils de pré mesure à double grandissement ont été réalisés et mis en ligne sur ordinateur. Plusieurs équipements de dépouillement, en ligne également, assurent un premier filtrage des clichés à mesurer. Quatre appareils de mesures manuels ont été automatisés et mis en ligne pour épauler l'appareil automatique au début de son exploitation.

Le traitement des données de mesures de l'appareil automatique a été largement automatisé et le filtrage automatique des événements à basse énergie ($< 50 \text{ GeV}/c$) et à faible multiplicité ($< 6-8$) procure un taux de succès satisfaisant ($> 90\%$). Par contre, la mesure d'événements à haute énergie, donc à haute multiplicité et présentant un jet très serré est particulièrement délicate et rend le filtrage automatique très difficile. L'interactivité graphique de la mesure a été assurée par un développement original, la liaison à 150kbits/s des terminaux graphiques à haute résolution avec le Centre de Calcul. Elle permet, avec l'aide de zooms, d'anamorphoses et de rotations, d'interagir avec le filtrage ou de se substituer à lui. Symétriquement, un des ordinateurs de contrôle de processus a été connecté au Centre de Calcul du Campus par une liaison synchrone rapide pour permettre l'exploitation des données en mode batch à partir du site.

L'équipement de dépouillement et de mesure holographique a été essentiellement développé pour des expériences tests comme NA25.

Une dizaine d'expériences diverses ont été traitées au moyen de cette chaîne d'analyse. Elles concernent essentiellement des études antiproton-deutérium à diverses énergies (de 4 à 360 GeV/c) dans les chambres à bulles du CERN à Genève, de DUBNA en URSS et du Laboratoire FERMI de Chicago aux USA. L'expérience p^-d à 4,72 GeV/c qui est traitée dans la seconde partie de ce document est caractéristique des expériences à haute statistique où le facteur déterminant est la vitesse de mesure. Le bilan quantitatif peut se résumer ainsi:

- 200 000 clichés ont été mesurés à des débits maximum de
- 100 clichés par heure
- 1000 clichés par jour
- 10 000 clichés par mois
- 54 000 clichés par an

Les expériences nécessitant une haute résolution ont également été traitées au moyen de cette chaîne d'analyse. En particulier NA16 et NA27 concernent la recherche de particules charmées dans les interactions π^-p et $p-p$ à 360 GeV/c et 400 GeV/c dans la chambre à bulles à haute résolution LEBC. Les résultats obtenus portent notamment sur les sections efficaces de production et les durées de vie des D^0 , AD^0 , D^+ , D^- . La troisième partie de ce document rend compte de ces résultats en termes de précision et de résolution et situe notre contribution dans le cadre de la collaboration internationale impliquée dans ces expériences: les performances de la chaîne d'analyse réalisée ont attribué à Strasbourg un rôle essentiel dans la collaboration NA27 de 25 laboratoires. Le bilan qualitatif peut se résumer à l'appréciation de trois paramètres:

- 1,6 μ de RMS sur la distribution des mesures d'une mire de précision.
- 1,8 μ de RMS sur la distribution des mesures de vraies traces sur film.
- 7 μ de sensibilité en paramètre d'impact des traces de NA27.

Remerciements

Le travail consigné dans ce document n'aurait pas pu être mené à terme sans l'aide de plusieurs personnes auxquelles je tiens à exprimer ma reconnaissance.

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur P.Chevallier de m'avoir permis, comme directeur du Centre de Recherches Nucléaires, d'entreprendre ce travail.

Je remercie cordialement Monsieur H.Braun d'avoir accepté la responsabilité de cette thèse.

Je remercie particulièrement Monsieur le Professeur R.Armbruster d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur L.Montanet du CERN qui a toujours manifesté un grand intérêt pour ce travail, qui m'a souvent fait bénéficier de ses conseils, et qui a accepté d'être membre de ce jury.

Je remercie sincèrement Monsieur le Professeur G.Monsonogo et Monsieur le Professeur P.L.Wendel d'avoir accepté d'être membres du jury.

Je porte une reconnaissance particulière à Monsieur A.Michalon avec qui la synergie a été permanente et qui a joué un rôle déterminant dans ce projet. De même, je tiens à souligner l'aide importante que Madame M.E.Michalon m'a apporté, en particulier lors de l'analyse physique des expériences.

Le Directeur du Centre de Recherches Nucléaires, Monsieur R.Seltz m'a soutenu dans ma démarche et le Directeur de la Division des Hautes Energies, Monsieur J.L.Riester m'a apporté un soutien décisif dans la phase finale de ce travail. D'une manière plus générale, je remercie les physiciens de la division avec lesquels j'ai eu des discussions très enrichissantes.

Je tiens également à mettre en lumière l'aide sans failles dont j'ai bénéficié tout au long de la construction et de la mise au point des équipements de la part de l'équipe technique et notamment de Messieurs R.Baumann, R.Knaebel, C.Muller, G.Rech et D.Stadelmann.

L'ensemble de l'équipe de Madame E.Jegham a assuré la conduite et l'exploitation des équipements décrits dans ce travail et Madame A.Tissier a bien voulu assurer la gestion de l'expérience p̄d. Mesdames G.Castagna, E.Gimenez, E.Lange, G.Mathis, et A.Tissier ont par ailleurs assuré la saisie et la mise en page de ce document.

Merci à toutes et à tous.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) J.R. LUTZ
— La mesure automatique de clichés à haute résolution
— *CRN 81-01 2.4.2*,
- 2) J.R. LUTZ, A.MICHALON
— LEBC High precision measurements at Strasbourg
— *CRN-HE 80-9*,
- 3) J.R.LUTZ, A.MICHALON
— Installation d'un système graphique interactif. Application à la récupération des échecs des événements mesurés sur HPD (RESCUE).
— *CRN 80-01 2.4.2*,
- 4) P.V.C.HOUGH AND B.W.POWELL
— A Method for Faster Analysis of Bubble Chamber Photographs.
— *IL NUOVO CIMENTO Vol. XVIII, N.6*,
- 5) M.BENOT, B.W.EVERSHED, R.MESSERLI, B.W.POWELL
— The HPD Mark 2 flying-spot digitizer at CERN
— *CERN 68-4*,
- 6) F.ETIENNE, J.R. LUTZ, A.MICHALON
— La production du HPD et des appareils de prémesure en 1978
— *CRN-HE 79-8*,
- 7) F.ETIENNE, J.R. LUTZ, A.MICHALON
— La production du HPD et des appareils de prémesure en 1977
— *CRN-HE 78-7*,
- 8) F.ETIENNE, J.R. LUTZ, G.MAURER, A.MICHALON, R.STRUB
— Analyse de la qualité des premiers résultats HPD par rapport aux mesures IEP
— *CRN-HE 75*,
- 9) J.R. LUTZ
— Les transmissions de données à grande vitesse à travers le réseau téléphonique du Centre de Recherches Nucléaires.
— *CRN 81-01 2.4.1*,
- 10) R. BAUMANN, R. KNAEBEL, J.R. LUTZ
— Développement d'équipements de dépouillement et de prémesure à deux grands sements.

- Proceedings of the Symposium on Anti-Nucleon interactions Liblice - Prague
- *CERN Yellow Report (1974) 74-18,*

XX - DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION
— PDP 11/45 Processor Handbook 1974

YY - DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION
— PDP 11 Periferal and Interfacing Handbook 1974

ZZ - REFERENCE PATCHY - CERN