

BIANCA E. CARRIERE A. .-
 Les Mémoires associatives en physique nucléaire.-
 Commissariat à l'énergie atomique, Centre d'études
 nucléaires de Saclay (Essonne), 1967.-
 27 cm, 34 p., 9 fig. h.-t.

CEA-R 3394 - BLANCA Ernest, CARRIERE André

LES MEMOIRES ASSOCIATIVES EN PHYSIQUE NUCLEAIRE

Sommaire. - Les expériences de physique nucléaire nécessitent l'emploi de "mémoires" de grandes dimensions. Après avoir montré les inconvénients que présente l'utilisation de telles mémoires, les auteurs exposent les principes des diverses méthodes de programmation qui permettent d'assurer un fonctionnement des mémoires sur le mode associatif donc une réduction de leurs dimensions et un meilleur usage. Ils tentent d'évaluer le format d'une mémoire associative câblée qui, contrairement à celles qui existent actuellement, serait prévue spécialement pour l'expérimentation nucléaire.

1967

43 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-R 3394 - BLANCA Ernest, CARRIERE André

ASSOCIATIVE MEMORIES IN NUCLEAR PHYSICS

Summary. - Experiments in nuclear physics involve the use of large size "memories". After showing the difficulties arising from the use of such memories, the authors give the principles of the various programming methods which make it possible to operate the memories associatively thus benefiting from a reduction in size and better operational conditions. They attempt to estimate the shape and dimensions of an associative memory with cable connections which could be designed specially for nuclear research, contrary to those actually in service.

1967

43 p.

**LES MEMOIRES ASSOCIATIVES
EN PHYSIQUE NUCLEAIRE**

par

Ernest BLANCA , André CARRIERE

Rapport CEA - R 3394

1967

Da

- Rapport CEA-R 3394 -

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Département d'Electronique Générale
Service d'Instrumentation Nucléaire

LES MEMOIRES ASSOCIATIVES EN PHYSIQUE NUCLEAIRE

par

Ernest BLANCA, André CARRIERE

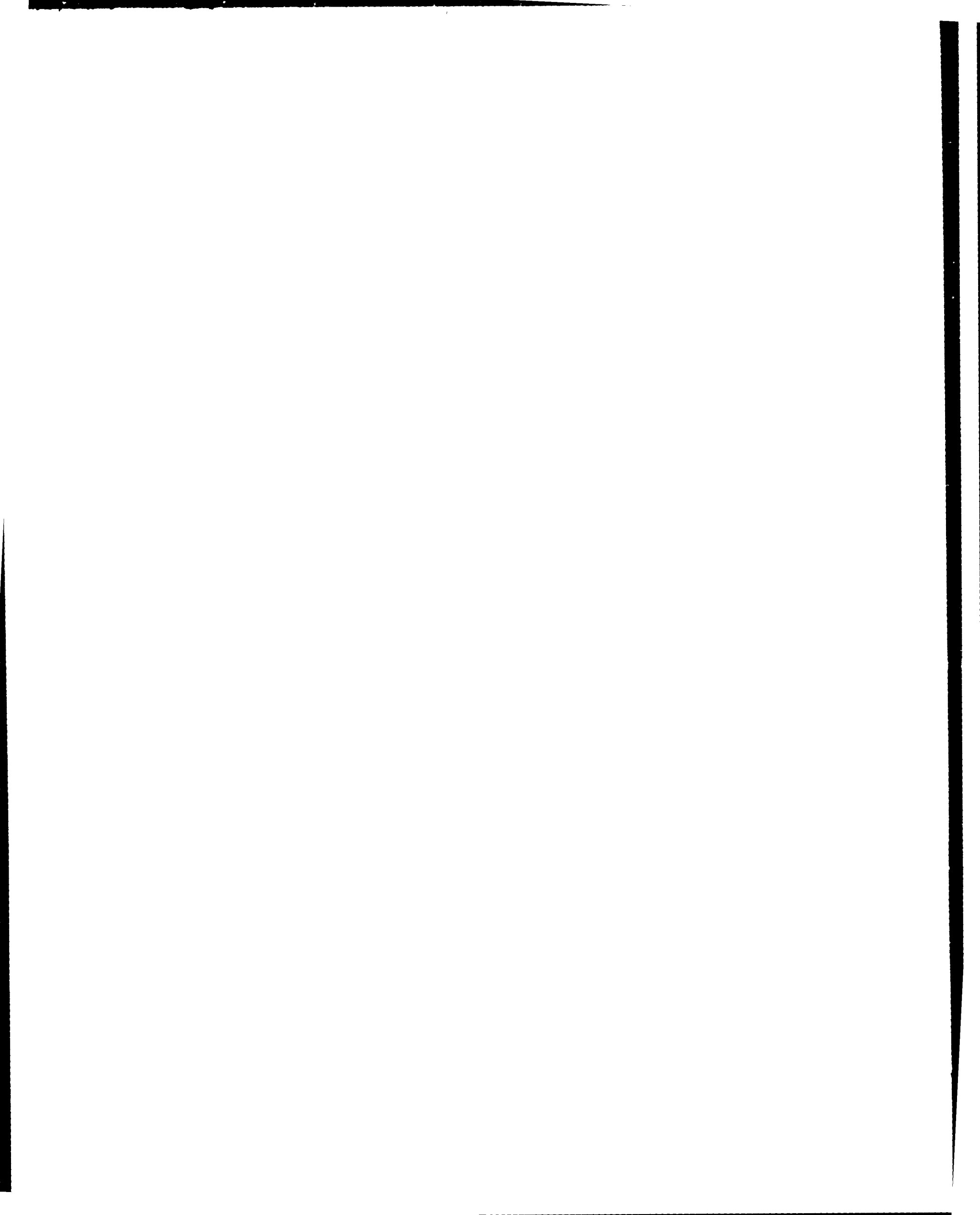
Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VIIème.

The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 31, quai Voltaire, PARIS VIIème.

- Décembre 1967 -

TABLE DES MATIERES

		pages
PREAMBULE	Besoins croissants en mémoires.	1
CHAPITRE I	Inconvénient des mémoires adressables en physique nucléaire. Remède possible.	3
	I. 1 - Quelques données numériques	4
	I. 2 - Mémoire adressable	4
	I. 3 - Remède possible	5
	I. 4 - Premières conclusions	7
CHAPITRE II	Mémoires associatives programmées en physique nucléaire.	9
	II. 1 - Généralités	9
	II. 2 - Exemples de programmation	15
CHAPITRE III	Mémoires associatives câblées.	19
	III. 1 - Généralités	19
	III. 2 - Différentes techniques utilisées dans les mémoires associatives câblées	20
	III. 3 - Conclusion	22
CHAPITRE IV	Mémoire associative câblée. Application à la physique nucléaire.	25
	IV. 1 - Caractéristiques générales	25
	IV. 2 - Analyse bi-paramétrique	26
	IV. 3 - Analyse tri-paramétrique	27
	IV. 4 - Conclusion	28
CHAPITRE V	Conclusion générale.	31
BIBLIOGRAPHIE.		33



P R E A M B U L E.

BESOINS CROISSANTS EN MEMOIRES.

Le développement de l'instrumentation nucléaire, l'accroissement du domaine d'exploration et des mesures ont eu, en particulier, pour conséquence l'amélioration de la résolution en spectroscopie nucléaire. Ceci se traduit par une quantification en valeurs élémentaires plus petites des différents paramètres, c'est-à-dire une augmentation du nombre des canaux.

Ainsi l'intervalle dans lequel un analyseur multicanal fonctionne est subdivisé en mille, voire quatre mille, au lieu de cent; en cent mille plutôt que mille ou quatre mille celui où un analyseur multicanal en temps est utilisé.

Le nombre de "descripteurs" (ensembles des valeurs numériques des paramètres qui caractérisent un point de mesure) envisageable au cours d'une expérience est plus important. Alors que seize mille descripteurs ($128 \times 128 = 16\ 384$) suffisaient pour une simple mesure (γ, γ) , il en faut présentement plus d'un million ($1024 \times 1024 = 1\ 048\ 576$).

L'exploitation des résultats nécessite des mémoires associées aux analyseurs multicanaux dont les dimensions soient suffisantes. Le nombre de mots mémoire doit évoluer comme celui des descripteurs. En pure perte, puisque parmi le million de descripteurs possibles seul un petit nombre, les descripteurs fondamentaux, se présentera ou sera effectivement traité (Chapitre I).

Les mémoires doivent être organisées pour reconnaître et n'enregistrer que les descripteurs fondamentaux. Elles diffèrent des mémoires classiques qui ont pour fonction le stockage à un emplacement donné (l'adresse) de l'information reçue. Aussi appelle-t-on celles-ci des mémoires adressables et celles-là des mémoires associatives ou à contenu adressable. Nombre d'études ont été faites ou sont en cours. Les solutions envisagées sont de deux types :

- utilisation d'un ordinateur pour programmer le fonctionnement d'une mémoire classique qui est généralement celle du ordinateur lui-même (Chapitre II) ;

- réalisation de mémoires associatives câblées (Chapitre III).

A la lumière des expériences menées tant à HARWELL par Messieurs BEST et HOOTON, qu'à BROOKHAVEN par Messieurs SOUČEK et SPINRAD ou encore à SEGRATE par Messieurs DE LOTTO et DOTTI, il est possible d'évaluer les dimensions d'une mémoire associative utilisable en physique nucléaire (Chapitre IV).

CHAPITRE I

INCONVENIENT DES MEMOIRES ADRESSABLES EN PHYSIQUE NUCLEAIRE. REMEDE POSSIBLE.

Examinons le spectre obtenu lors d'une expérience Li-paramétrique. Il a présenté généralement l'allure représentée figure 1 où nous distinguons

- des parties de très faibles populations qui correspondent au "bruit de fond" de la mesure ;

- des pics P isolés ;

- des lignes L de crêtes plus ou moins accidentées.

Le nombre formé par le couple des coordonnées (x_M, y_M) du point M est ce qu'on appelle le descripteur de M. Les "descripteurs fondamentaux" sont les coordonnées (x, y) des points des P et L.

Soit (figure 2a) la partie du spectre pour laquelle la composante x des descripteurs a la même valeur x_n . Parmi les N descripteurs $(x_n y_0, x_n y_1, \dots, x_n y_{N-1})$.

N'_1 se sont présentés au moins p'_1 fois,

N'_2 entre p'_1 et p'_2 fois,

N'_3 moins de p'_2 fois.

Rangeons ces descripteurs selon les valeurs décroissantes de leur fréquence relative de présentation (figure 2b, les ordonnées sont logarithmiques). Ils se répartissent en deux classes :

- l'une avec N_1 éléments de fréquence relative moyenne f_1 ,
- l'autre avec N_2 éléments de fréquence relative moyenne f_2 .

I. 1 - Quelques données numériques.

Partant de données expérimentales préalablement traitées et aimablement communiquées par Madame BIANCHI et Monsieur CORGE, du S. P. N. B. E. , nous avons tracé les courbes donnant le classement des descripteurs dans l'ordre inverse des fréquences relatives. Ces résultats, relatifs à des expériences (n, γ, γ) , donnaient la distribution des descripteurs pour une énergie de neutrons donnée.

Les courbes présentent l'allure générale de la figure 4 où

$$N_1 \approx 4\ 000 \quad f_1 \approx 10^3 \quad F_1 = N_1 f_1 \approx 4 \cdot 10^6$$

$$N_2 \approx 996\ 000 \quad f_2 \approx 1 \quad F_2 = N_2 f_2 \approx 10^6$$

$$\frac{F_2}{F_1} \approx 0,25$$

I. 2 - Mémoire adressable.

La mémoire adressable doit disposer d'autant de registres N que de descripteurs possibles. Le contenu maximum Φ de ces registres doit être proportionnel à la fréquence relative maximum f_M de présentation envisagée. La valeur de Φ dans le cas de numération binaire est choisie telle que

$$\Phi = 2^n \quad n \text{ entier non nul}$$

et

$$\Phi - 1 \geq f_M$$

Le nombre de points mémoire est alors :

$$m = N \log_2 \Phi$$

dont

$$m_u = N_1 \cdot \log_2 \Phi_1 + N_2 \cdot \log_2 \Phi_2$$

sont seuls utilisés.

En considérant les valeurs citées supra (cf. I. 1) :

$$f_M = f_1 \approx 10^3 \quad \Phi = \Phi_1 = 2^{10}$$

$$f_2 \approx 1 \quad \Phi_2 = 2^1$$

$$m = N \cdot \log_2 \Phi = 10^7$$

$$m_u = N_1 \cdot \log_2 \Phi_1 + N_2 \cdot \log_2 \Phi_2 \approx 4 \cdot 10^4 + 10^6 = 1,04 \cdot 10^6$$

11% de la mémoire sont utilisés.

I. 3 - Remède possible.

En supposant les descripteurs indépendants les uns des autres et en assimilant leur distribution à une distribution rectangulaire, Messieurs DOTTI et DE LOTTO [1] ont étudié le comportement d'une mémoire associative. Les descripteurs sont rangés dans les registres libres au fur et à mesure de leur présentation et jusqu'à concurrence de M registres. La présentation d'un descripteur déjà classé provoque simplement l'incrément du nombre "contenu" associé au descripteur.

La courbe jointe (figure 3), extraite du document cité en référence, montre les variations calculées, du rapport $\frac{N_1}{M}$ en fonction de la fraction η de descripteurs fondamentaux qu'il est désirable d'enregistrer pour une valeur

donnée de $\frac{F_2}{F_1} = \frac{N_2 f_2}{N_1 f_1}$

Le nombre M de registres mémoire est fixé à priori. Le nombre $N_1 \eta$ de descripteurs fondamentaux enregistrés dépendra du rapport $\frac{F_2}{F_1}$ entre le nombre d'évènements peu intéressants et celui des évènements fondamentaux.

La dimension du mot mémoire inscrit dans chaque registre est plus importante que pour une mémoire adressable. Le mot mémoire est constitué :

- de la syllabe Sd formée par le numéro de code du descripteur.

Si N est la puissance entière de deux immédiatement supérieure à N_2 plus N_1 , Sd est un nombre de d chiffres binaires ($d = \log_2 N$).

- de la syllabe Sc qui exprime la fréquence relative de présentation du descripteur. Sc a $\log_2 \Phi$ chiffres binaires.

Le nombre de points mémoire est donc :

$$m = M \log_2 (N \cdot \Phi)$$

dont

$$m_u = \eta N_1 \cdot \log_2 (N \cdot \Phi_1) + (M - \eta N_1) \cdot \log_2 (N \cdot \Phi_2)$$

$$= \eta N_1 \cdot \log_2 \frac{\Phi_1}{\Phi_2} + M \log_2 (N \cdot \Phi_2)$$

sont utilisés.

Eu égard aux nombres envisagés plus haut (cf. I.1) :

$$\frac{F_2}{F_1} = 0,25 \frac{N_1}{M} \approx 0,45 \text{ pour } \eta \approx 99,9\%$$

$$M \approx 10^4 \quad \log_2 N = \log_2 2^{20} = 20 \quad \Phi = \Phi_1 = 2^{10} \quad \Phi_2 = 2^4$$

nous pouvons prendre $\eta = 1$ et

$$m = 10^4 \cdot (20 + 10) = 3 \cdot 10^5$$

$$m_u = 4 \cdot 10^3 \cdot 9 + 10^4 (20 + 1) = 2,5 \cdot 10^5$$

83% de la mémoire sont utilisés.

I.4 - Premières conclusions.

Les chiffres avancés ne le sont que pour mieux situer le problème.

La construction de mémoires rapides, adressables, de très grande capacité est difficilement envisageable. D'autre part, elles seraient très mal utilisées et leur emploi serait absurde.

La mémoire à contenu adressable est un moyen idéal de rechercher si un descripteur donné est un descripteur fondamental. Il est donc possible de ne conserver que les descripteurs fondamentaux. Le temps d'accès mis à part et toutes choses égales par ailleurs, le mode d'utilisation des mémoires associatives spécialisées, qui permettent de déterminer les descripteurs fondamentaux et de n'enregistrer que ceux-ci, conduit à des dimensions plus faibles et un meilleur emploi.

Cependant, lorsqu'il est désirable de conserver toutes les informations, la mémoire associative peut être employée en liaison avec des mémoires auxiliaires (tambours magnétiques, bandes magnétiques) dans lesquelles sont consignés les descripteurs rejetés par la première.

CHAPITRE II

MEMOIRES ASSOCIATIVES PROGRAMMEES EN PHYSIQUE NUCLEAIRE.

II. 1 - Généralités [1] [2] [3].

A défaut d'avoir à leur disposition des mémoires associatives, les expérimentateurs se sont servis de calculateurs et ont établi des programmes pour que ceux-ci fonctionnent selon le mode associatif. Celui-ci consiste essentiellement

- en la recherche des descripteurs fondamentaux. Cette recherche est facilitée par le fait qu'au cours d'une collection de données statistiques, les évènements les plus fréquents - donc les descripteurs fondamentaux - ont une plus grande probabilité de se présenter les premiers que les autres.

- en leur recensement. La répartition des descripteurs dans les différents registres mémoire dépend de l'organisation prévue et rend plus aisé leur recensement.

II. 1. 1 - Recherche séquentielle.

Les descripteurs sont rangés dans leur ordre d'arrivée après comparaison avec ceux déjà enregistrés. Si deux descripteurs sont identiques le contenu correspondant est incrémenté ; sinon, le descripteur est inscrit dans le premier registre libre.

Si M est le nombre de registres mémoire, le nombre moyen de recherches nécessaires pour classer un descripteur est $\frac{M}{2}$ lorsque tous les registres sont marqués.

Le temps d'accès est fonction de l'histoire ultérieure du descripteur. Les premiers présentés et les plus fréquents sont classés plus rapidement. On peut uniformiser le temps d'accès mais au prix d'une complication du programme (cf. infra II. I. 3) ou de l'emploi de mémoires tampon dont les dimensions risquent d'être importantes.

Le mot mémoire de rang j est formé de deux syllabes :

- l'une S_d^j caractérise le descripteur D^j et a $d = \log_2 N$ chiffres binaires (N puissance entière de deux immédiatement supérieure au nombre maximum de descripteurs possibles) ;
- l'autre S_c^j la fréquence relative de D_j . S_c^j se compose de $\psi = \log_2 \phi$ chiffres binaires (ϕ puissance entière de deux immédiatement supérieure à la valeur maximum du nombre f_M d'évènements de même nature).

II. 1. 2 - Rangement dans l'ordre inverse des fréquences relatives.

Il s'agit d'une amélioration du cas précédent. En fonctionnement normal la recherche est séquentielle. Périodiquement ou à saturation de la mémoire, les descripteurs enregistrés sont ordonnés selon les fréquences relatives décroissantes.

Le temps d'accès est plus court pour les descripteurs les plus fréquents. Le temps moyen de recherche est plus court que précédemment. La charge du calculateur est énormément accrue, mais il est possible d'interrompre ce rangement au bout d'un certain temps (cf. II. 2. 1). ;

II. 1. 3 - Répartition en listes.

La répartition en listes est une variante du fonctionnement en recherche séquentielle dans lequel un effort est fait pour uniformiser le temps de recherche. Une liste de sous-mémoires à l'intérieur desquelles la recherche est séquentielle est créée. La répartition des descripteurs dans les sous-mémoires se fait d'après les chiffres binaires les moins significatifs des descripteurs.

L'inconvénient majeur est que certaines sous-mémoires risquent d'être saturées alors que d'autres sont inégalement occupées (cas des lignes de crêtes de la figure 1). Un remède consiste à permettre l'accès de plus d'une sous-mémoires aux éléments homologues d'une liste lorsque la première sous-mémoire est saturée.

II. 1. 4 - Arborescences à tronc unique.

Le diagramme représentatif (figure 5) de la répartition des descripteurs dans une telle mémoire présente des excroissances (ou arborescences) à partir de "noeuds" eux-mêmes issus d'un noeud originel ou "tronc".

La genèse d'une telle configuration est simple. Le premier descripteur présenté D_0 est noté par le registre R_0 ainsi que la valeur f_0 de sa fréquence relative (après la première présentation $f_0 = 1$), R_0 constitue le tronc. Le second descripteur D_x est, à son arrivée, comparé à D_0 :

- si $D_x = D_0$, on incrémente la valeur de f_0 ;
- si $D_x > D_0$, on classe D_x dans le premier registre à gauche de R_0 par exemple. Ce registre R_1 inscrit alors $D_1 = D_x$ et f_1

- si $D_x < D_o$, il est classé dans R_2 premier registre à droite de R_o et on note (D_2, f_2) .

Soit maintenant l'arrivée d'un descripteur D_y . Il est comparé à D_o :

- $D_y = D_o$, incrémentation de f_o ;

- $D_y > D_o$, D_y est comparé à D_1 , inscrit dans le premier registre à gauche de R_o et un fonctionnement identique à la comparaison D_y, D_o se produit ;

- $D_y < D_o$, on compare D_y avec D_2 enregistré par R_2 , premier registre à droite de R_o ...

L'opération se répète jusqu'à ce qu'il se présente un registre R_j qui soit libre ou dont le descripteur D_j soit égal à D_y . Dans tous les cas, le nombre f_j est incrémenté d'une unité.

Si aucune identité n'intervient et qu'il n'yait pas de registre disponible, D_y est soit rejeté soit transféré vers une mémoire auxiliaire.

Le nombre de recherches indispensables pour classer un descripteur est en moyenne de $\frac{1}{2} \log_2 M$ où M est le nombre de registres mémoire affectés au stockage des évènements.

Le temps d'accès est fonction de l'histoire antérieure du descripteur.

Le mot mémoire de rang j est constitué de quatre syllabes :

- S_d^j qui caractérise le descripteur D_j et a d chiffres binaires ;

- S_c^j nombre de ψ chiffres binaires qui exprime la fréquence relative de présentation de D_j ;

- S_A^g nombre de $\log_2 M$ chiffres binaires qui indique l'adresse du premier registre immédiatement à gauche ;

- S_A^d de même dimensions que S_A^g donne l'adresse du premier registre immédiatement à droite.

II. 1. 5 - Arborescences à plusieurs troncs.

L'occupation des noeuds d'une arborescence à tronc unique ne se fait pas toujours symétriquement au tronc, le temps d'accès dépend de l'ordre d'arrivée des descripteurs. Pour y remédier, on peut créer des arborescences indépendantes à partir de troncs en nombre supérieur à un. Chaque tronc est défini par les chiffres binaires les moins significatifs du nombre qui exprime les descripteurs.

La mémoire est mieux utilisée.

Le temps d'accès est réduit. Le nombre de recherches est lié au nombre de troncs et au nombre de noeuds par arborescence.

Les dimensions de la syllabe S_d^j sont plus faibles, la composition du mot mémoire reste cependant la même que pour l'arborescence à tronc unique.

II. 1. 6 - Transcodage des descripteurs.

Il consiste à numéroter les descripteurs pour en obtenir des adresses mémoire de façon que pour une distribution statistique des descripteurs une distribution uniforme des adresses soit obtenue.

La mémoire est partagée en "augets" entre lesquels les descripteurs sont répartis. Le nombre de descripteurs affectés à un auget est supérieur au nombre de registres de celui-ci.

A condition de répartir les descripteurs sur l'ensemble des augets cela ne présente aucun inconvénient.

Pour une transformation convenable, tout se passe comme si les descripteurs étaient répartis aléatoirement.

Une des transformations possibles consiste à choisir les descripteurs en fonction des chiffres binaires de poids les plus faibles.

Dans une autre, le nombre D_j , représentatif du descripteur j , est exprimé dans un système de base p . L'adresse mémoire est déterminée par la valeur de $D_{j(p)}$ modulo q où q est un nombre premier avec p . Les poids les moins significatifs servent aux affectations des augets.

II. 1.7 - Comparaison entre quelques dispositifs.

Monsieur HOOTON [2] de l'UKAERE d'Harwell a dressé le tableau de comparaison ci-après à l'occasion d'une expérience nécessitant un million de descripteurs ($2^{20} = 1\ 048\ 576$) dont seuls quatre mille ($2^{12} = 4\ 096$) étaient mémorisés. La fréquence relative maximum est de soixante cinq mille ($2^{16} = 65\ 535$) événements par canal et pour la durée de la collection. Les temps d'accès moyen sont exprimés en unités arbitraires.

	Temps d'accès moyen	Dimensions du mot mémoire				Total
		S_d^j	S_c^j	S_A^g	S_A^d	
Recherche séquentielle	2 000	20	16	0	0	36
Listes (64 listes)	31,3	14	16	0	0	30
Tronc unique	10	20	16	12	12	60
64 troncs	4,1	14	16	12	12	54

II. 2 - Exemples de programmation.

II. 2.1 - Répartition en listes avec réarrangement et transcodage des descripteurs [4].

Monsieur BEST, de l'UKAERE d'Harwell également, a utilisé un ordinateur du type PDP8 (4096 mots mémoire de 12 chiffres binaires chacun).

L'organisation associative est un compromis entre le groupement par listes avec réarrangement dans l'ordre inverse des fréquences relatives et le transcodage des descripteurs [4].

Soit une expérience bi-paramétrique (X,Y) dans laquelle X et Y sont représentés par des nombres binaires de dix chiffres. Le descripteur D_j est figuré par un nombre (x_j, y_j) agencé de façon à grouper :

- les quatre chiffres les moins significatifs pour obtenir l'adresse du canal C_j ;
- les douze chiffres les plus significatifs qui forment le "descripteur de zone" Z_j ;
- les quatre chiffres restant G_j (figure 6).

A la présentation d'un descripteur D_k , on en extrait G_k et on le transcode pour obtenir l'adresse du groupe k où doit être enregistré D_k . Z_k est alors comparé au premier descripteur Z_k^0 , déjà classé, du groupe k (Si Z_k est le premier, il sera noté Z_k^0) :

- si $Z_k = Z_k^0$, on lit dans le registre adjacent à R_k^0 , contenant Z_k^0 , l'adresse du premier des registres réservés au comptage des descripteurs ayant Z_k^0 comme descripteur de zone. On provoque l'incréméntation du C_k ième de ces registres.

- si $Z_k \neq Z_k^0$, on compare Z_k au second descripteur de zone Z_k^1 du groupe k. Le cycle se répète jusqu'à trouver soit un registre R_k^x où Z_k sera inscrit comme Z_k^x et à qui on allouera une adresse de début de registres de comptage et le nombre de ces registres prévus, soit l'indication de fin de groupe auquel cas D_k est rejeté.

L'enregistrement d'un nouveau descripteur ne se produit que si le nombre de descripteurs différents pris en compte est inférieur à 128.

Pour chaque descripteur de zone, il est prévu seize ($2^4 = 16$) canaux. Le nombre de groupes est lui-même de seize ($2^4 = 16$) et à chaque groupe sont alloués seize ($2^4 = 16$) descripteurs de zones. Sur les deux cent cinquante six ($16 \times 16 = 256$) descripteurs de zone possibles, la mémoire n'en enregistre que la moitié (128).

Le nombre de descripteurs pris en compte est de
 $16 \times 128 = 2\ 048$.

La répartition des mots mémoire (figure 7) montre que le contenu de chaque canal est de quatre mille ($2^{12} = 4\ 096$).

Dans une première phase de l'expérience, lorsque le comptage est encore faible, 1 024 mots mémoire sont réservés par programme pour un réarrangement des descripteurs dans l'ordre inverse des fréquences relatives. On réduit ainsi les pertes de descripteurs fondamentaux. Au bout d'un certain temps, cette partie de la mémoire sert pour pallier les débordements et le nombre d'évènements maximum par canal est porté à deux cent mille ($2^{18} = 262\ 144$).

Nous remarquerons que pour enregistrer deux mille descripteurs (2 048) parmi un million (1 048 576) de descripteurs possibles, sur quarante neuf mille (49 152) points mémoire :

- 32 768, soit 75%, sont réservés au comptage ;
- 6 144, soit 12,5%, servent au programme de recherche et d'exploitation proprement dit ;
- 7 680, soit 15,6%, sont immobilisés pour la programmation complète.

II. 2. 2 - Arborescences à plusieurs troncs.

Monsieur SOUČEK, de l'Institut Ruder Boskovic de Zagreb, a réalisé plusieurs expériences $\sqrt{57}/\sqrt{67}/\sqrt{77}$ lors de son séjour à Brookhaven. Le calculateur utilisé, du type SDS 910, a huit mille (8 192) mots mémoire de vingt quatre (24) chiffres binaires chacun.

Le programme prévu assure une exploitation en arborescences à plusieurs troncs. Le nombre de descripteurs possibles est de un million ($2^{20} = 1\ 048\ 576$), au maximum ; le nombre maximum de descripteurs acceptés est de quatre mille ($2^{12} = 4\ 096$).

Les chiffres binaires des paramètres sont groupés selon leurs poids significatifs :

- les moins importants servent d'adresse de groupe G et de tronc T ;
- les plus importants servent de descripteurs enregistrés et sont notés à chaque noeud.

On crée ainsi des groupes d'arborescences à plusieurs troncs. Par un choix judicieux des groupements de chiffres, on peut disposer les spectres par groupes.

Si l'organisation en arborescence

- réduit les temps d'accès et de recherche,
- permet une meilleure utilisation de l'espace réservé au stockage,

elle ne permet pas une visualisation de bonne facture, ni une extraction rapide des informations. La cause principale en est la configuration du mot mémoire. Lors de la visualisation, il est intéressant de s'affranchir des indications d'adresses gauche et droite et de grouper les informations homologues. Dans ce but, le programme calculateur prévoit deux types de listes ; l'une pour l'acquisition, l'autre pour la visualisation. Le passage de l'une à l'autre se fait par programme.

Parmi les expériences faites avec ce type de mémoire programmée citons :

- spectre γ, γ du $B_i^{207} = 1\ 024$ descripteurs parmi 65 536 (256 x 256) descripteurs possibles. Le nombre maximum d'évènements par canal était de 800.

- le même spectre mais avec quatre fois plus de descripteurs possibles (512 x 512 = 262 144), le nombre de descripteurs mémorisés ne dépassait pas quatre mille.

- expérience $L_1^6 + H_e^3 \rightarrow p + \alpha + \alpha$ réalisée auprès d'un accélérateur Van de Graaf. Sur les seize mille descripteurs possibles (128 x 128 = 16 384) mille seulement étaient enregistrés.

D'une façon générale 80% de la mémoire calculateur est disponible pour l'enregistrement des informations expérimentales.

CHAPITRE III

MEMOIRES ASSOCIATIVES CABLEES.

III.1 - Généralités.

On distingue

- les mémoires totalement associatives à contenu adressable.

Le descripteur constitue tout ou partie du mot mémoire. Les chiffres non utilisés sont masqués lors de la recherche.

- les mémoires partiellement associatives. Seuls certains chiffres du mot mémoire entrent dans la composition du descripteur.

Les opérations logiques ou arithmétiques imposées par le fonctionnement de la mémoire dépendent de sa destination. Elles peuvent être :

- soit une recherche d'identité ou de non identité entre deux nombres ;
- soit une comparaison avec indication de supériorité, d'infériorité ou d'égalité ;
- soit une recherche d'appartenance à un intervalle ;
- soit une recherche d'un nombre immédiatement supérieur ou inférieur à un nombre donné ; etc...

Le processus de recherche d'un descripteur dépend essentiellement de la destination de la mémoire. Généralement il existe deux méthodes de recherche :

- la recherche mot par mot est équivalente à la recherche séquentielle envisagée pour les mémoires associatives programmées. Chaque mot

enregistré est exploré systématiquement et chronologiquement jusqu'au moment où est trouvé soit un registre disponible soit un registre dans lequel est inscrit le mot cherché. Si M est le nombre de mots mémoire, il faut en moyenne $\frac{M}{2}$ recherches par descripteur enregistré.

- la recherche poids par poids. Les poids de même importance du nombre cherché et des nombres inscrits en mémoire sont comparés simultanément. Si n est le nombre de chiffres binaires par mot, il faut n recherches en moyenne pour chaque descripteur présenté.

Notons que pour des applications particulières (ex. physique nucléaire) rien ne s'oppose à l'organisation des mémoires câblées pour obtenir des fonctionnements analogues à ceux des mémoires programmées.

III. 2 - Techniques utilisées dans les mémoires associatives câblées [8]

Nous tenons à faire remarquer que :

a) les applications des mémoires associatives câblées envisagées jusqu'à présent concernaient les problèmes de "dictionnaire", de gestion ou de calcul. D'où la confusion qui est souvent faite entre les mémoires associatives et les mémoires à très fortes capacités ;

b) les caractéristiques d'une mémoire dépendent essentiellement de ses dimensions et de son organisation. En l'absence de renseignements détaillés, il est difficile d'estimer les temps d'opérations, seuls les temps de cycle mémoire sont comparables.

c) à notre connaissance, il n'existe pas de mémoire associative câblée de capacité réduite et destinée spécialement à des applications en expérimentation nucléaire.

III. 2. 1 - Supraconductivité [8]/[9]/[10].

Les mémoires supraconductives ont des temps de cycles mémoires très courts, dix à vingt nanosecondes. Mais eu égard au coût des installations cryogéniques qu'elles nécessitent, elles ne sont intéressantes que si le nombre de points mémoire est élevé. Des capacités de dix à cent millions (10^7 à 10^8) de points mémoire sont envisageables et conduiraient à des prix de revient raisonnables.

I. B. M. et R. C. A. entre autres ont de telles mémoires en étude.

III. 2. 2 - Tores magnétiques [8]/[11]/[12]/[13]/[14].

La conception et l'organisation de mémoires associatives à tores magnétiques diffèrent fondamentalement de celles des mémoires adressables classiques de même technologie.

Actuellement, il est possible d'envisager de telles mémoires à plusieurs millions de mots mémoire avec un cycle mémoire de durée voisine de cent (100) nanosecondes.

Le prix du point mémoire est évalué entre 0,50 et 1,25 F pour une mémoire de un million (10^6) de points.

Parmi les travaux effectués citons ceux de Messieurs Mc DERMID et PETERSEN de la Société I. B. M. et ceux de Messieurs LUSSIER et SCHNEIDER.

III. 2. 3 - Films magnétiques minces [8]/[15].

Les performances sont voisines de celles des mémoires à tores magnétiques.

Une mémoire réalisée à l'aide d'éléments BICORE de la Société UNIVAC laisse prévoir des temps d'accès et de recherche totale égaux à cent (100) nanosecondes.

III. 2. 4 - Transfluxors /8/.

De par leur conception, les transfluxors se prêtent aisément à la réalisation de fonctions logiques mais leurs temps de fonctionnement sont relativement grands :

- temps d'écriture $\approx 3\mu s$.
- temps de lecture et de recherche = $10\mu s$.

En utilisant des tores à multiples ouvertures, les chercheurs de la Société GOODYEAR ont pu réaliser les opérations de lecture et de comparaison en des temps de $2,5\mu s$, et les opérations d'écriture en $5\mu s$.

III. 2. 5 - Diodes tunnel /8/.

Les mémoires à diodes tunnel ont des cycles mémoire variant entre dix (10) et cent (100) nanosecondes mais leur prix de revient est élevé.

Pour une mémoire d'un million (10^6) de points, le prix de revient est compris entre 25 et 50 F par point mémoire.

III. 3 - Conclusion.

Le fonctionnement d'une mémoire selon le mode associatif implique un organe de mémorisation et un programme convenable. Il est donc normal de retrouver les différentes techniques employées pour la fabrication des mémoires adressables mais adaptées aux besoins.

L'effet mémoire est une fonction logique, aussi est-elle utilisée

- soit directement, le programme de recherche est obtenu par un élément externe à la mémoire proprement dite, qui est généralement agencé pour être du type à lecture non destructive ;

- soit pour obtenir des "cellules associatives".

Le choix de la technique est basé sur deux critères principaux :

- la rapidité,
- la densité d'information.

CHAPITRE IV

MEMOIRE ASSOCIATIVE CABLEE APPLICATION A LA PHYSIQUE NUCLEAIRE.

Envisageant une application à la physique nucléaire, nous nous proposons de montrer que la mémoire associative câblée, doit être un organe spécialisé :

- capable de reconnaître rapidement si un descripteur est fondamental ;
- apte à classer les descripteurs selon l'ordre inverse de leurs fréquences relatives.

Les fréquences relatives des descripteurs retenus sont enregistrées par une mémoire adressable classique qui peut-être celle d'un ordinateur. Les ordinateurs modernes réalisent très facilement l'incrémentation d'un registre mémoire.

Les descripteurs rejetés sont soit perdus soit enregistrés dans une mémoire externe.

IV.1 - Caractéristiques générales.

Dans tous les cas et pour fixer les idées, nous envisagerons :

- une quantification en mille ($2^{10} = 1024$) intervalles élémentaires pour chaque paramètre ;
- une valeur supérieure de cent mille ($2^{17} = 131\ 071$) pour la

valeur de f_M (valeur maximum de la fréquence relative de présentation) lorsque la fréquence relative d'acquisition est de dix mille évènements par seconde, ordre de grandeur habituellement considéré :

IV. 2 - Analyse bi-paramétrique.

Dans le cas le plus défavorable, la projection sur le plan (x,y) d'un spectre, du type représenté figure 1, fait apparaître un nombre de lignes de crêtes (figure 8).

Découpons le plan (x,y) en soixante quatre zones de largeur constante ($\frac{1024}{64} = 16 = 2^4$ canaux) le long de l'axe des x. Chacune de ces zones présente une configuration analogue à celle de la figure 2a (obtenue à partir du spectre figure 1).

Le nombre maximum de pics est l . En fixant à huit canaux ($2^3 = 8$) la largeur maximum utile d'un pic, le nombre de descripteurs fondamentaux, ou considérés comme tels, est

$$N_1 = 8 \times 1024 \times l = 8192 \cdot l$$

en prenant pour l la valeur quatre,

$$N_1 = 32768 = 32 \text{ k}$$

$$N_2 = 1048576 - 32768 = 1015808 \approx 10^6$$

Remarque :

En prenant un nombre de zones plus faible, nous serions obligés d'augmenter la largeur utile des pics.

Nous pouvons raisonnablement poser :

$$\begin{array}{lll} f_1 = 10^5 & \phi_1 = 17 & F_1 = 32,768 \cdot 10^8 \\ f_2 = 10^3 & \phi_2 = 10 & F_2 = 10^9 \end{array}$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{1}{3,2} = 3 \cdot 10^{-1}$$

En prenant $\frac{F_2}{F_1} = 0,25$ $\eta = 99,9\%$, la courbe de la figure 3 donne :

$$\frac{N_1}{M} \approx 0,45$$

c'est-à-dire $M \approx 71 \text{ k}$

La mémoire associative doit donc avoir soixante et onze kilo-mots (1 k = 1024 mots) de

$$\phi_1 + d = 17 + 20 = 37 \text{ chiffres binaires, soit un peu plus d'un million (1 212 416) de points mémoire.}$$

La mémoire adressable équivalente doit avoir un million de registres de dix sept chiffres binaires chacun, soit plus de dix sept millions (17 825 792) de points mémoire.

Durée de l'expérience.

Le nombre d'évènements présentés est de l'ordre de quatre milliards (4 292 608 000), ce qui nécessite environ cent vingt heures d'enregistrement.

IV. 3 - Analyse tri-paramétrique.

Les spectres, résultats d'analyses tri-paramétriques, se présentent (figure 9a) sous la forme de tubes de densité maximum en nombre t.

Considérons un découpage en soixante quatre zones, de seize canaux chacune, le long de l'axe des x. Dans chacune de ces zones, la projection sur le plan (y,z) montre des sections de tubes que nous pouvons inscrire dans un carré de huit canaux de côté par exemple. Le nombre maximum de section est t, et

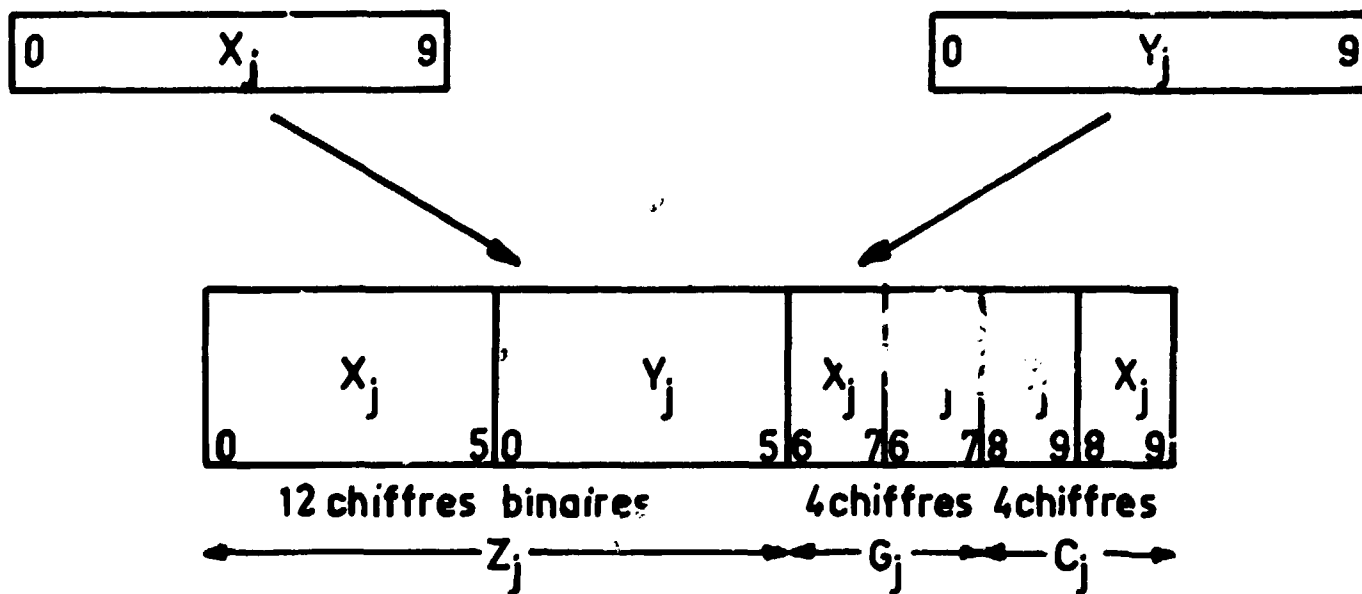


FIG.6

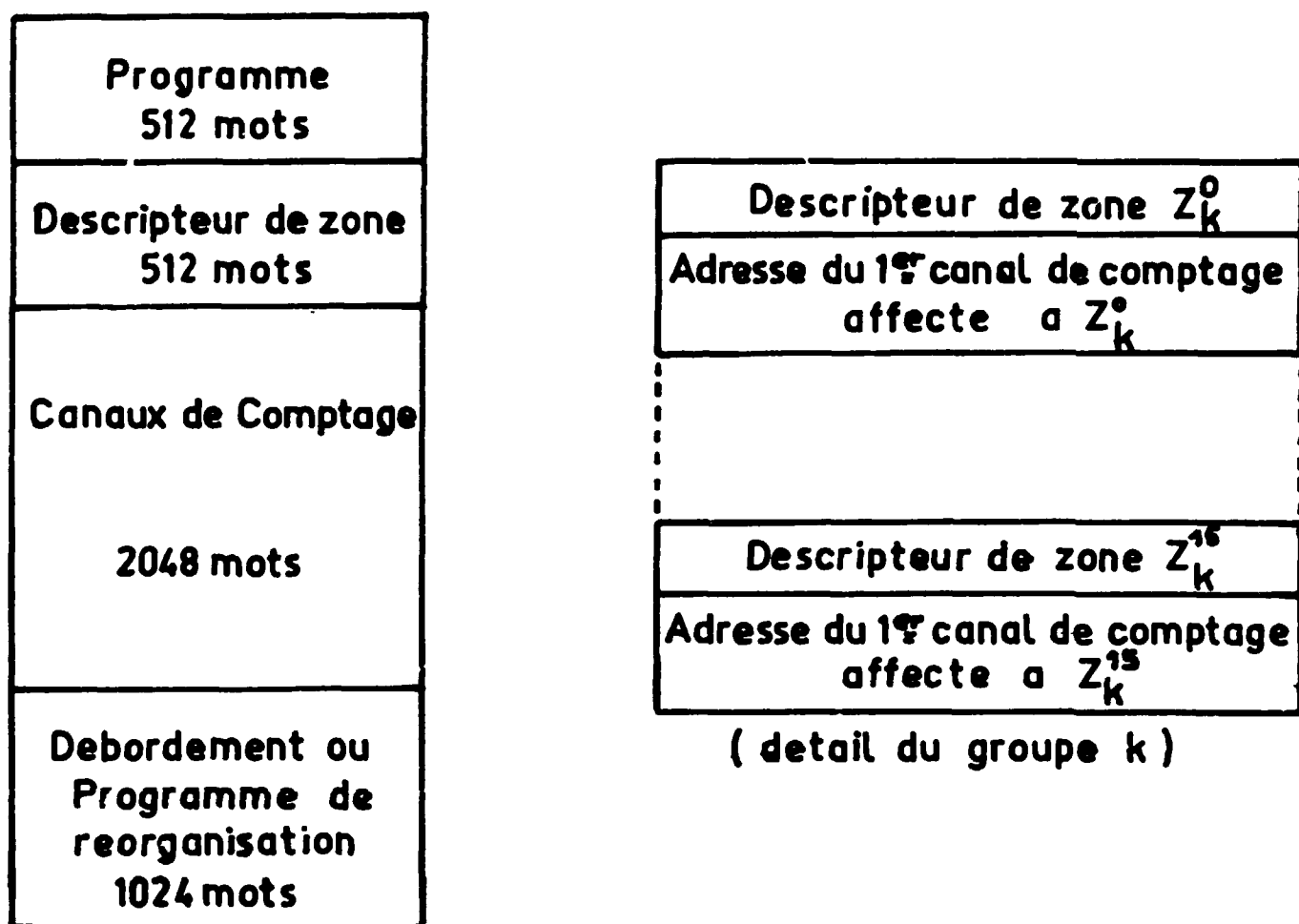


FIG 7

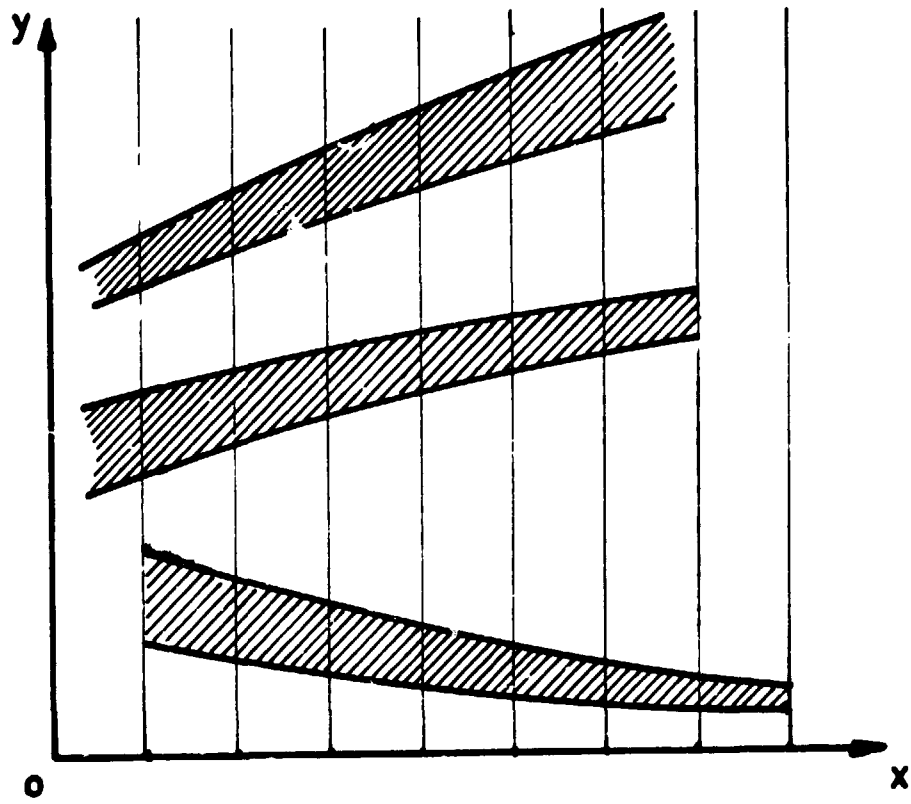
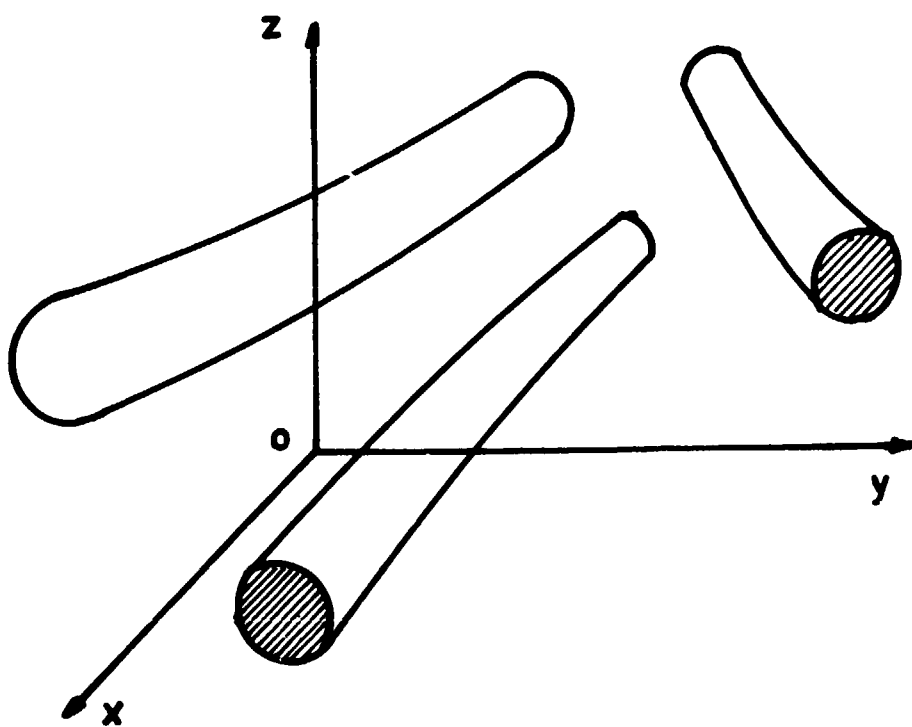
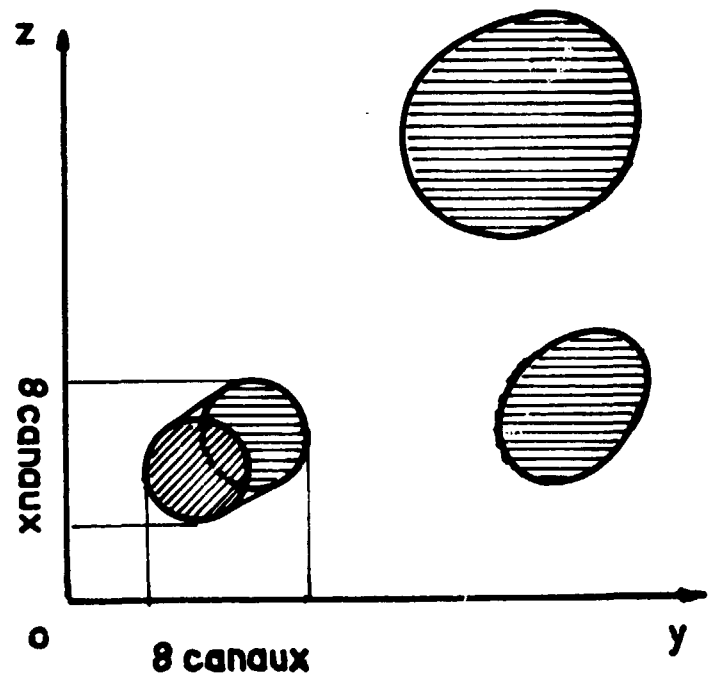


FIG 8



(a)



(b)

FIG 9

$$N_1 = t \times 8 \times 8 \times 1024 = 65\,536\,t$$

en prenant $t = 4$

$$N_1 = 256\,k$$

$$N_2 \approx 10^6\,k$$

Si

$$f_1 = 10^5, \quad f_2 = 10^2$$

$$F_1 \approx 2,6 \cdot 10^{10}$$

$$F_2 \approx 10^{11}$$

$$\frac{F_2}{F_1} \approx \frac{100}{26} \approx 4$$

nous déduisons de la courbe figure 3 pour $\eta = 99,9\%$,

$$\frac{N_1}{M} \approx 4 \cdot 10^{-2}$$

c'est-à-dire $M = 6\,400\,k$

La mémoire associative doit avoir six mille quatre cents kilo mots de quarante sept ($\bar{\phi}_1 + d = 17 + 30$) chiffres binaires dont seulement deux cent cinquante six mots contiendraient les descripteurs fondamentaux.

La mémoire adressable, elle, doit avoir un milliard de mots de dix sept chiffres binaires.

IV. 4. - Conclusion.

Les besoins exprimés ci-dessus sont à envisager dans un avenir relativement proche.

L'examen de la courbe figure 3 nous montre - et les deux exemples pris plus haut (V. 2 et IV. 3) nous le font voir - que pour certaines expériences, où le nombre d'évènements utiles est faible par rapport aux évènements

inintéressants, même une mémoire associative risque d'être fort mal utilisée. Mais elle le sera beaucoup moins qu'une mémoire adressable.

Les mémoires associatives programmées, actuellement en exploitation (cf. III. 2. 1 et III. 2. 2.), ne sont qu'un palliatif et ne sont utilisables que pour des configurations de spectres relativement simples.

Il faut que la mémoire associative soit capable de déterminer rapidement les descripteurs fondamentaux. Pour ce faire, elle doit nécessairement pouvoir ranger les descripteurs selon les fréquences relatives décroissantes. Les descripteurs fondamentaux une fois connus, elle servira uniquement à rechercher leur présentation, leur recensement étant confié à une mémoire classique.

Les principes mis en oeuvre pour les mémoires programmées sont utilisables pour la conception des mémoires câblées. A caractéristiques égales, le nombre de "points mémoire associatifs" sera nettement différent selon qu'il s'agira d'une mémoire associative câblée réalisée ex abrupto ou d'une mémoire associative câblée dont l'organisation tient compte des simplifications qu'entraînent ces principes.

CHAPITRE V

CONCLUSION GENERALE

Les mémoires associatives câblées étant inexistantes commercialement, les expérimentateurs n'ont utilisé jusqu'à présent que des mémoires associatives programmées.

Nous pensons que :

- ceci n'est qu'un palliatif. Eu égard au nombre de mots mémoire réservé pour le programme et aux informations complémentaires (par exemple: localisation des autres mots de la liste) qui doivent être inscrites avec le descripteur, l'exploitation des mémoires programmées risque d'être lourde

- pour avoir des éléments de comparaison valable, une mémoire câblée de dimensions équivalentes aux mémoires programmées actuelles (c'est-à-dire quatre mille mots) doit être réalisée. Son étude et son exploitation doivent permettre de déterminer si cette solution est intéressante.

- une mémoire associative câblée allègerait les fonctions du calculateur et lui assurerait une meilleure efficacité. Elle permettrait d'accroître la fréquence d'acquisition des données et trouverait d'autres applications dans le domaine de l'expérimentation nucléaire (classement de descripteurs quelconques, recherche de descripteurs présélectionnés, conditionnement recherche de formes, visualisation, ...). Mais à la condition de la considérer comme un organe spécialisé chargé de rechercher les descripteurs fondamentaux, ce qui impose le classement par ordre inverse des fréquences relatives de présentation. Le recensement des descripteurs peut-être fait par une mémoire annexe.

- BIBLIOGRAPHIE -

- [1] DE LOTTO I. , DOTTI D. (CISE - Milan)
"Statistical behaviour of content addressable memories in nuclear physics experiments". Energia Nucl. 12 (1965).
- [2] HOOTON I.N. (UKAE-Harwell)
"Associative storage for nuclear physics"
Automatic acquisition and reduction of nuclear data.
EANDC - Karlsruhe - 1964.
- [3] SOUČEK Branko (Institut Ruder Bošković - Zagreb)
"List retrieval for computer associative analyzers".
Rapport BNL 10 043.
- [4] BEST G.C. (UKAERE - Harwell)
"A programmed associative multichannel analyser".
Rapport AERE-R-5270 - Août 1966.
- [5] SOUČEK Branko (Zagreb)
"Stored program computer as an associative radiation analyzer".
The Review of Scientific Instruments, Vol. 36, n° 6, 750-753,
Juin 1965.
- [6] SOUČEK Branko (Zagreb)
"Direct recording megachannel analyzer associative programming of a small computer".
Nuclear Instruments and Methods, Vol. 36, n° 2, 181-191,
Octobre 1965.
- [7] SOUČEK Branko (Zagreb), SPINRAD R. J. (Brookhaven National Laboratory)
"Megachannel analyzers".
IEEE Transactions Nuclear Science - NS13, n° 1, 183-191 (1966).
- [8] HANLON A.G. (National Cash Register Company - Hawthorne)
"Content adressable and associative memory systems.. A survey".
IEEE Transactions on Electronic Computers - EC15, n° 4,
509-521 (Août 1966).

Une importante bibliographie accompagne cette étude.

- [9] AHRONS R. W. (RCA Laboratories, Princeton)
"Superconductive associative memories"
RCA Review - Vol. 24, 325-354 (Septembre 1963).
- [10] SEEBER R. R. , LINDQUIST A. B. (I. B. M.)
"Associative memory with ordered retrieval"
IBM Journal, Vol. 6, n° 1, 126-136 (Janvier 1962).
- [11] Mc DERMID W. L. , PETERSEN H. E. (I. B. M.)
"A magnetic associative memory system".
IBM Journal, Vol. 5, n° 1, 59-62 (Janvier 1961).
- [12] KISEDA J. R. , PETERSEN H. E. , SEELBACH W. C. , TEIG M. (IBM)
"A magnetic associative memory".
IBM Journal Vol. 5, n° 4, 106-121 (Avril 1961).
- [13] YAOHAN CHU
"A destructive readout associative memory".
IEEE Transactions Electronic Computers - EC14, n° 4,
600-605 (Août 1965).
- [14] LUSSIER R. R. , SCHNEIDER R. P.
"All magnetic content addressed memory".
Electronic Industrial, Vol. 22, 92-98 (Mars 1963).
- [15] RAFFEL J. I. , CROWTHER T. S. (M. I. T. LEXINGTON)
"A proposal for an associative memory using magnetic films"
IEEE Transactions on Electronic Computers. EC13-611 (Octobre 1964).

Manuscrit reçu le 13 octobre 1967

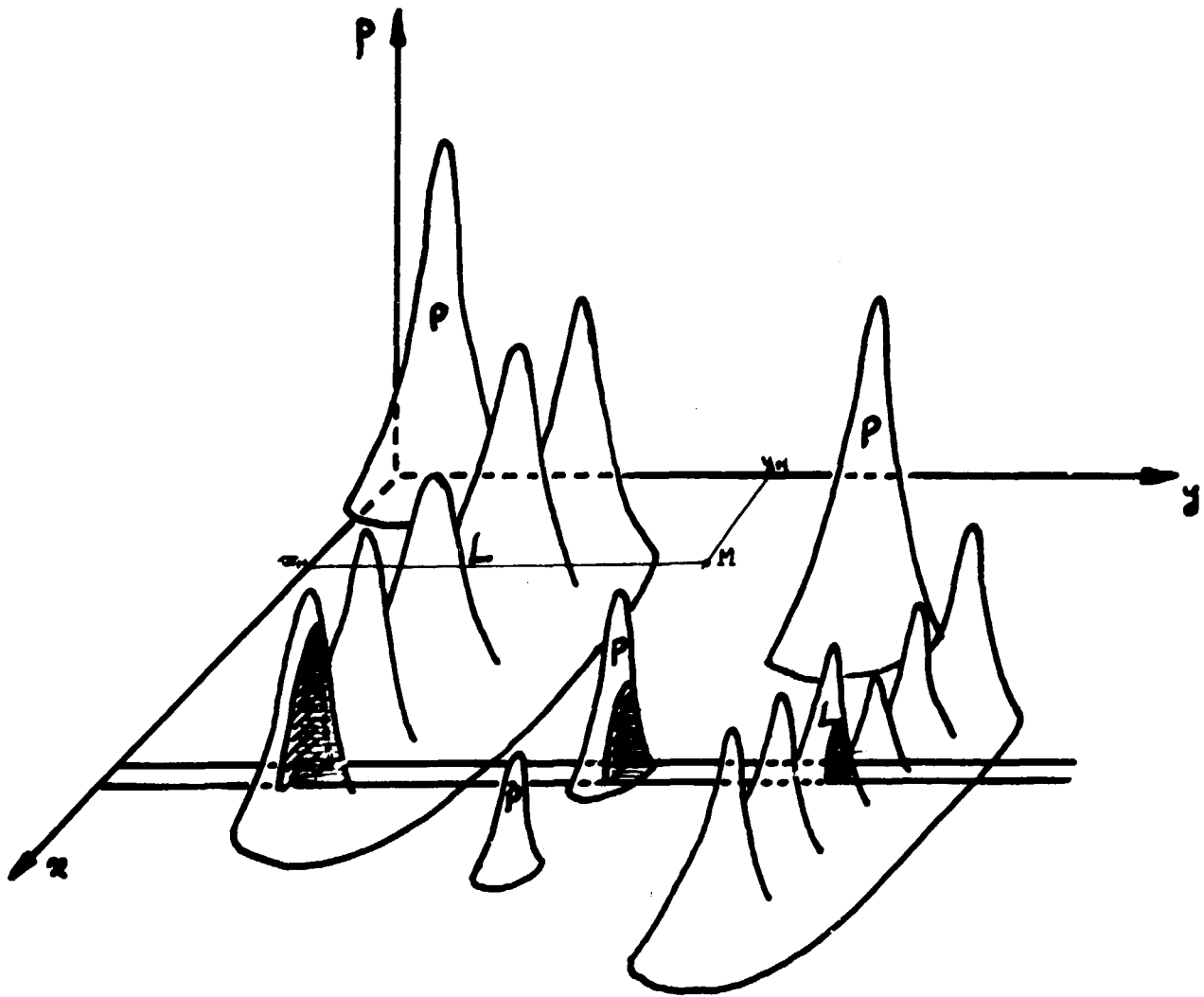
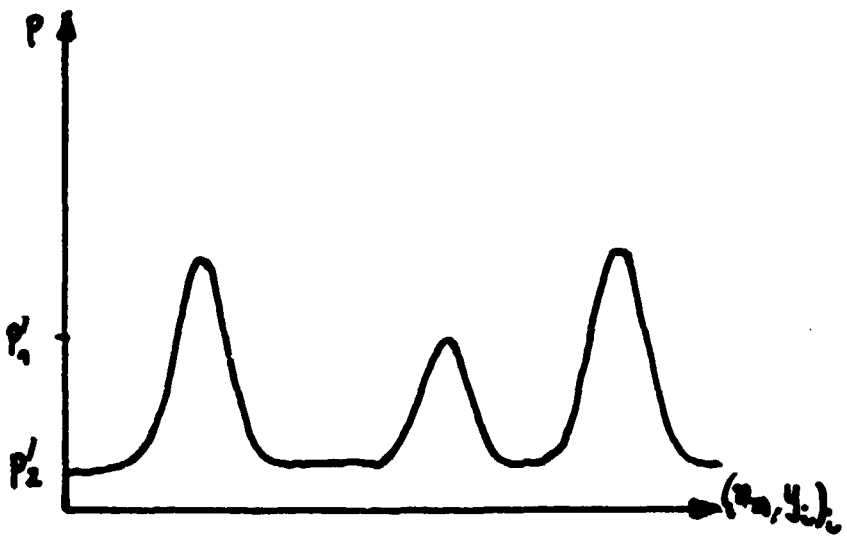
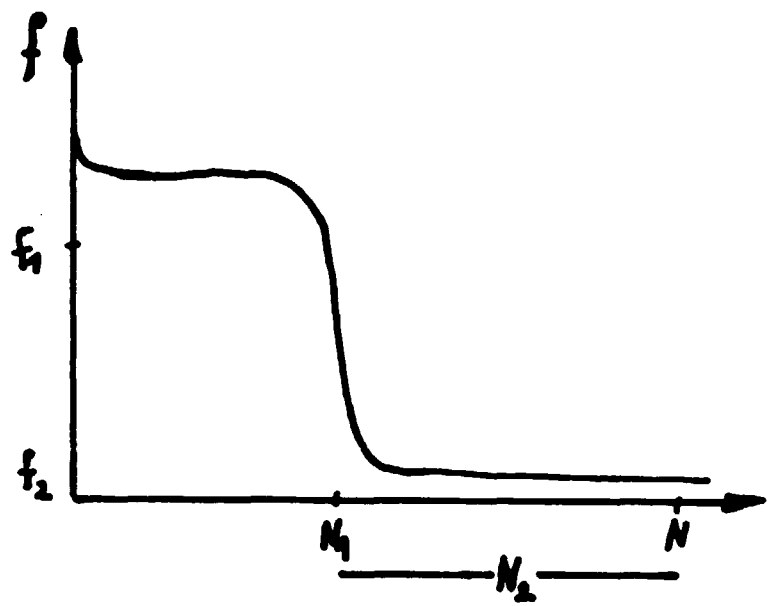


FIG 1



(a)



(b)

FIG 2

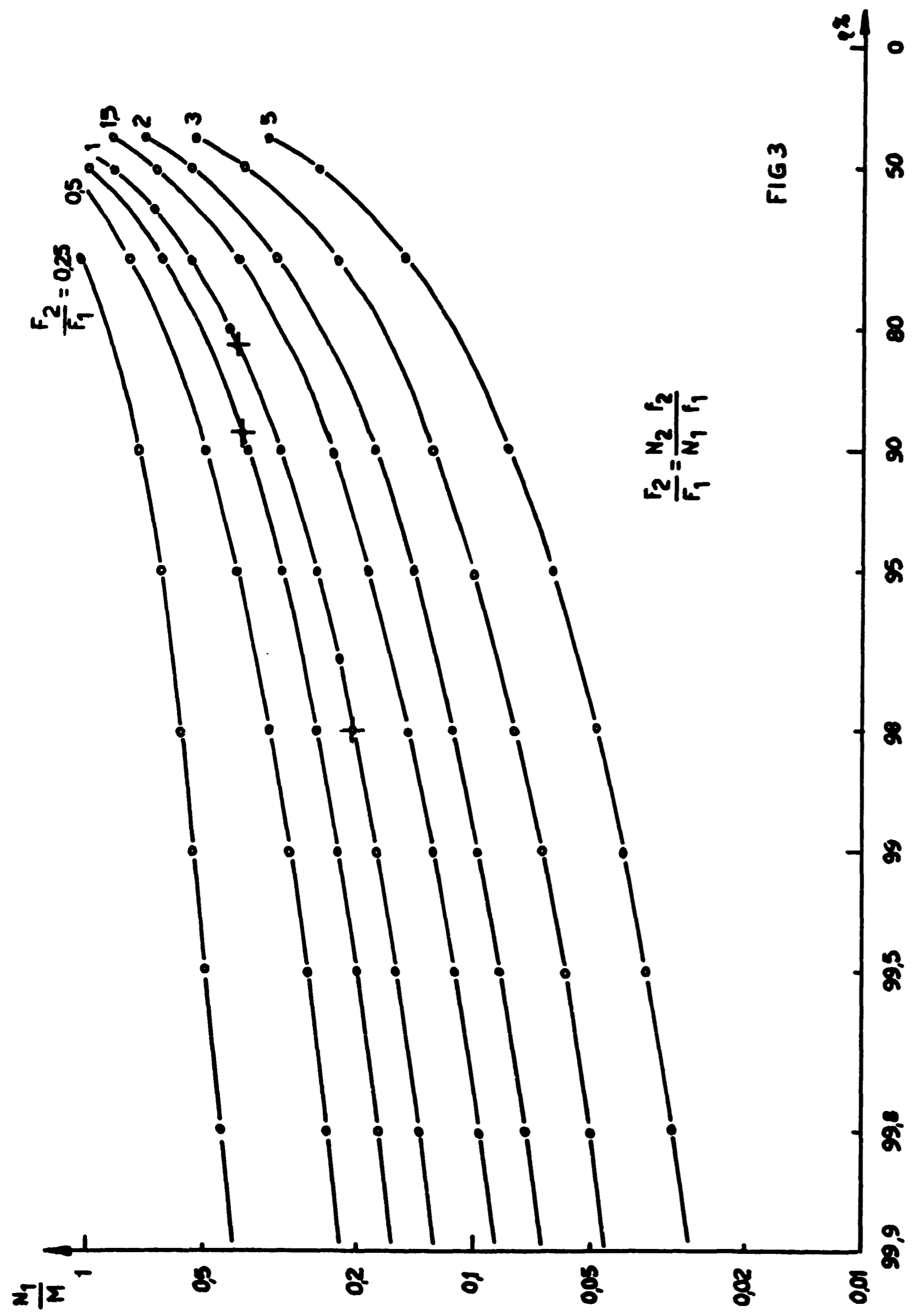


FIG 3

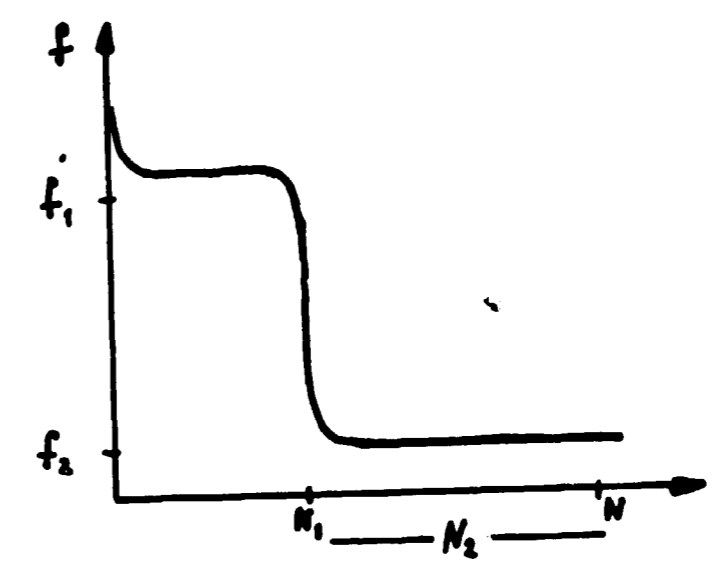


FIG 4

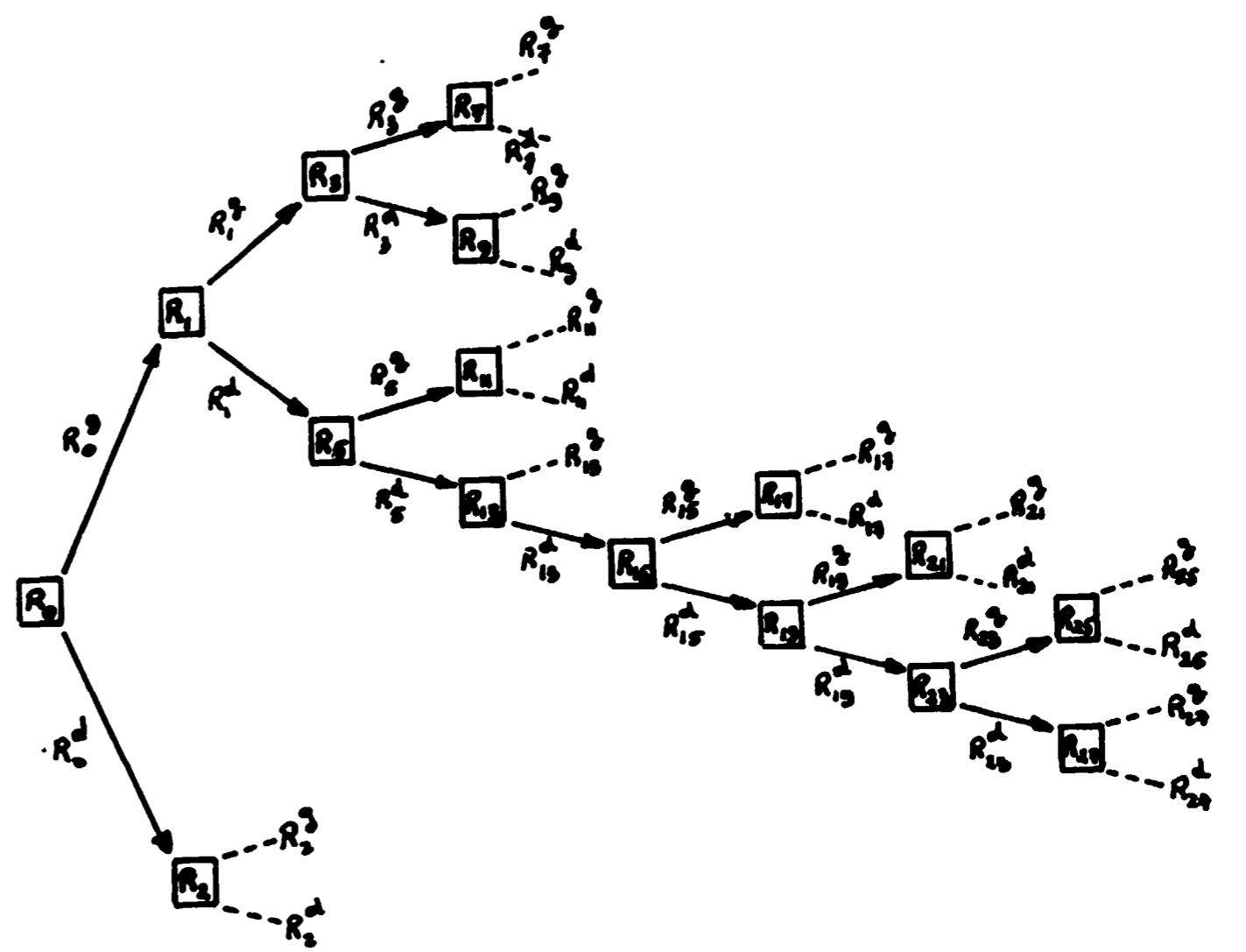


FIG 5

FIN