

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN  
DISPOSITIF LOGIQUE FIABLE DE  
PROTECTION - APPLICATION AUX  
RÉACTEURS NUCLÉAIRES -

Proposé par :

M<sup>E</sup> M REZIG

Etudié par :

S.OULD.EL.HADJ  
M.TOUBAL

Dirigé par :

M<sup>E</sup> M .REZIG



PROMOTION : JUIN 1984



## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

### PROJET DE FIN D'ETUDES

#### SUJET

ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN  
DISPOSITIF LOGIQUE FIABLE DE  
PROTECTION - APPLICATION AUX  
RÉACTEURS NUCLÉAIRES -

Proposé par :  
M<sup>r</sup> M. REZIG

Etudié par :  
S. OULD EL HADJ  
M. TOUBAL

Dirigé par :  
M<sup>r</sup> M. REZIG



PROMOTION : JUIN 1984

Je dédie ce travail :

A la mémoire de ma sœur Nouara.

A mes parents

A tous ceux qui me sont chers.

M A L I K A.

Je dédie ce travail :

A la mémoire de ma grand-mère

A mon grand-père

A mes parents

A mes frères et sœurs

A tous ceux que j'aime bien.

S A L I H A.

....-OO R E M E R C I E M E N T S OO-....

Il nous est très agréable, au moment où notre travail prend fin, d'adresser nos remerciements à Monsieur M. BETTAYEB, chef du laboratoire " Instrumentation et Contrôle " d'avoir bien voulu nous accueillir au sein de la division C.D.C.E. du C.E.N.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Monsieur M. HEZIG, notre promoteur, pour sa disponibilité permanente, ses précieux conseils, ainsi que pour son engagement total à l'effet de mener à bien notre travail.

Nos remerciements vont également à Mesdemoiselles A. BOUZIDA et F. HAFID pour l'aide qu'elles nous ont apportée, chaque fois qu'il était nécessaire, ainsi que pour leur encouragements.

Que tous ceux qui ont contribué à la mise en forme de notre polycopié trouvent ici l'expression de nos plus vifs remerciements.

....-06 TABLE § DES MATIERES Co-....

	Page
INTRODUCTION . . . . .	1
I- Fonctionnement d'un Réacteur Nucléaire . . . . .	3
I- 1. Définition . . . . .	4
I- 2. Cinétique des réacteurs nucléaires . . . . .	8
I- 3. Puissance et flux neutronique . . . . .	11
I- 4. Stabilité naturelle d'un réacteur . . . . .	11
II- Sécurité dans le Contrôle d'un Réacteur Nucléaire. . . . .	14
II- 1. Introduction . . . . .	15
II- 2. Paramètres à surveiller . . . . .	15
II- 3. Philosophie de la protection suivant le type de réacteur . . . . .	20
II- 4. Caractéristiques principales d'un système de protection . . . . .	21
III- Présentation du Système de Protection . . . . .	22
III- 1. Définition des ensembles sécurité. . . . .	23
III- 2. Caractéristiques des ensembles de sécurité . . . . .	23
III- 3. Fiabilité des ensembles de sécurité . . . . .	25
III- 4. Redondance . . . . .	26
III- 5. Présentation du modèle de protection . . . . .	30
III- 6. Exigences fonctionnelles de notre système . . . . .	32
IV- Réalisation . . . . .	34
Introduction . . . . .	35
IV- 1. Architecture de notre système . . . . .	35
IV- 2. Test des logiques de déclenchements. . . . .	38
IV- 3. Test du voteur . . . . .	49

IV- 4. Test des chaînes de mesures . . . . .	57
IV- 5. Test des portes ET d'entrée des logiques et du voteur . . . . .	58
IV- 6. Structure et organisation des différentes cartes . . . . .	61
IV- 7. Dispositif de visualisation . . . . .	61
IV- 8. Alimentation . . . . .	62
CONCLUSION . . . . .	63

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE

I N T R O D U C T I O N .

L'exploitation d'un réacteur nucléaire de recherche est liée à un problème fondamental, celui de l'aptitude à contrôler la réaction de fission en chaîne, en satisfaisant aux exigences de sécurité vis à vis des installations, du personnel et de l'environnement.

Même si le réacteur est contrôlé de façon très satisfaisante, on se doit de s'attacher à rendre pratiquement nul tout risque d'accident.

Les dispositifs de sécurité associés aux réacteurs nucléaires de recherche, ont pour mission fondamentale de conserver l'intégrité du combustible nucléaire, à savoir empêcher la fuite des produits de fission très radioactifs vers le milieu extérieur et par conséquent sa contamination.

Ces dispositifs sont conçus de façon à surveiller de manière très sûre un grand nombre de paramètres physiques liés au fonctionnement du réacteur, d'interdire sa montée en puissance si certaines conditions ne sont pas vérifiées et de l'arrêter rapidement si certaines limites sont dépassées.

Le but de notre projet est l'étude et la réalisation d'un dispositif logique fiable pour la protection d'un réacteur de type expérimental.

Les ordres de protection sont :

- Le déverrouillage de barres de commande au démarrage.
- La chute d'urgence de ces mêmes <sup>barres</sup> en cas de dépassements de seuils.

Les valeurs des paramètres sont considérées comme les limites de sécurité fixées de manière à éviter un comportement accidentel du réacteur.

Ces limites s'expriment en valeurs minimales ou maximales ( selon le cas ) à respecter.

La redondance des matériels pour assurer une bonne fiabilité ainsi qu'un fonctionnement sûr est un paramètre prédominant dans l'élaboration d'un

systeme de sécurité relatif à un réacteur nucléaire. Ceci par la mise au point de dispositifs de tests des différents matériels composant ce système de protection.

Notre étude comporte quatre chapitres :

- Le premier décrivant le fonctionnement d'un réacteur nucléaire par la mise en équations de différents paramètres qui le caractérisent tels que la réactivité, la période, le flux neutronique.
- Le second se rapporte à la sécurité dans le contrôle d'un réacteur nucléaire par la mise en évidence des paramètres neutroniques, thermodynamiques, de radioprotection, à surveiller, liés aux types d'accidents qu'ils peuvent engendrer.
- C'est dans le troisième chapitre que nous avons présenté le modèle de protection adopté. Un rappel sur les données de fiabilité, de redondance ayant été nécessaire pour cela.
- Le quatrième chapitre a été consacré à la réalisation de notre dispositif de protection proprement dit, à la description des différents blocs fonctionnels le constituant.

CHAPITRE - I -

FONCTIONNEMENT D'UN REACTEUR NUCLEAIRE.

Nous nous efforcerons dans ce présent chapitre de mettre en relief les différents paramètres conditionnant le fonctionnement d'un réacteur nucléaire.

### I - FONCTIONNEMENT D'UN REACTEUR NUCLEAIRE .

#### I- 1. Définition :

Nous pouvons, d'une manière générale, définir un réacteur nucléaire comme un dispositif destiné à la production d'énergie. Les éléments constitutifs essentiels d'un réacteur nucléaire sont les suivants : ( figure I-1.1. )

- le coeur : constitué d'un matériau combustible tel que l'uranium, le plutonium, le thorium, se présentant le plus souvent sous forme de barreaux ou de plaques, plus rarement sous forme de solutions.
- C'est dans cette partie que s'entretient une réaction de fission en chaîne s'accompagnant d'un grand dégagement de chaleur.
- le modérateur : destiné à réduire la vitesse des neutrons rapides émis lors des fissions.
- un matériau réflecteur : empêchant les neutrons de fuir du coeur.
- des barres de contrôle : permettant le contrôle de la réaction en chaîne.
- un fluide réfrigérant : servant à évacuer vers le milieu extérieur la chaleur produite dans le coeur et à la transmettre par l'intermédiaire d'un échangeur thermique à un circuit secondaire.
- une protection biologique : généralement du béton lourd. Elle est destinée à protéger les personnes, de même que les structures des rayonnements ionisants liés à la réaction en chaîne.

Dans un réacteur, c'est au moyen de réactions nucléaires appropriées que l'énergie nucléaire se transforme en d'autres formes d'énergie.

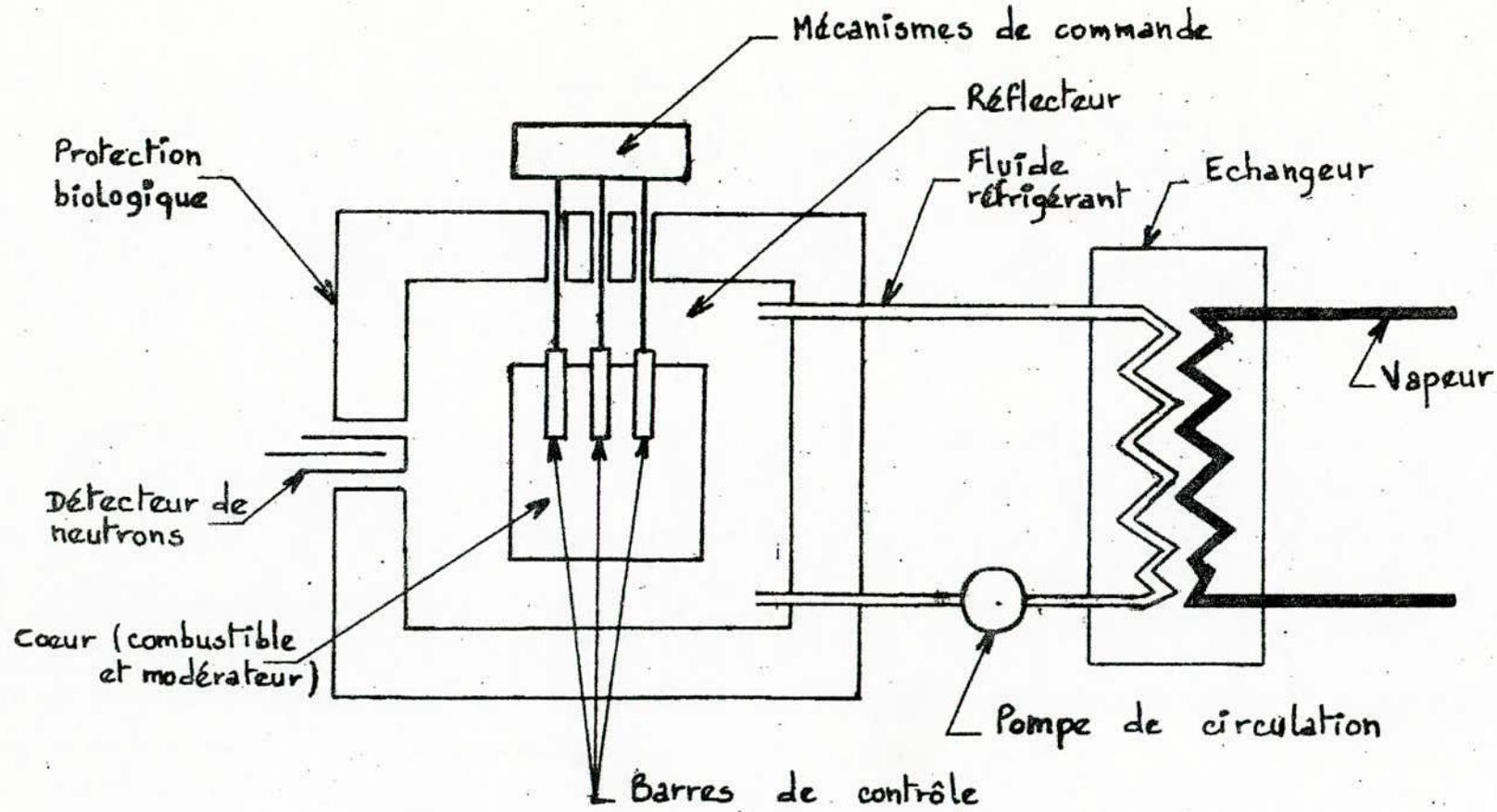


FIG. I.1.1. - SCHÉMA DE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN RÉACTEUR.

Les réactions nucléaires ayant lieu dans les réacteurs nucléaires doivent satisfaire aux deux conditions : de se soutenir d'elles-mêmes, et d'être contrôlées. Par réacteurs nucléaires, on désigne alors seulement ceux basés sur les réactions de fission.

I- 1. 1. Fission et Principe de Réaction en Chaîne :

Est appelée réaction de fission une interaction particulière " neutron-noyau ". Ce type de réaction n'est possible que pour certains noyaux de poids atomique très élevé. Ces noyaux dits fissiles après collision de neutrons d'énergie favorable peuvent se fractionner en deux fragments, exceptionnellement en trois, de poids intermédiaire, appelés produits de fission.

Lorsqu'un neutron est absorbé par un noyau d'uranium 235 ( matériau fissile excellent présent dans une proportion de 0,7 % dans l'uranium naturel, le reste étant de l' $^{238}\text{U}$  ), plusieurs neutrons sont émis. Ces neutrons peuvent entraîner la fission d'autres noyaux et la création d'une réaction en chaîne, nécessaire à la production d'énergie à l'échelle macroscopique.

Pour la fission à partir de neutrons thermiques, l'énergie libérée est approximativement de 200 MeV, l'énergie des neutrons thermiques étant de l'ordre de 0,025 eV.

Le schéma simplifié de la réaction neutron-noyau d'uranium naturel est présenté à la figure I- 1. 1.

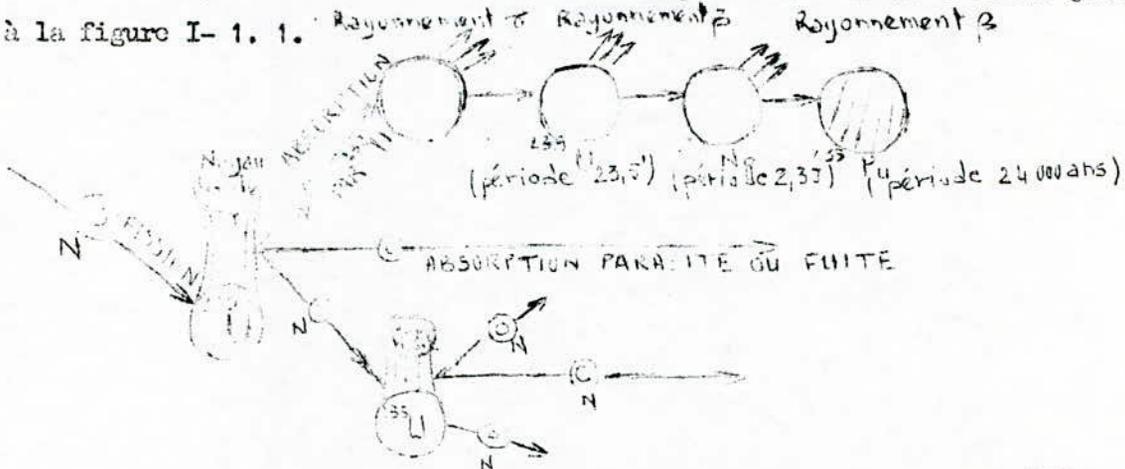


Fig. I- 1. 1. Schéma simplifié de la fission du noyau  $^{235}\text{U}$  et de la conversion  $^{235}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Pu}$ .

I- 1. 1. 1. Condition d'Autoentretien d'une Réaction de Fission en Chaîne - Facteur de Multiplication :

$k_{eff}$  classe les neutrons libérés à chaque fission en neutrons

prompts et retardés. Les neutrons prompts sont émis presque instantanément, dans un temps de l'ordre de  $10^{-14}$  s. Les neutrons retardés, quant à eux, sont émis après la fission avec des retards de plusieurs secondes, même quelques minutes. Ils sont émis lors de la désintégration par radioactivité des fragments de fission instables tels que :  $^{87}\text{Br}$ ,  $^{89-91}\text{Br}$ ,  $^{139}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Sb}$ ,... appelés précurseurs de neutrons. Les neutrons retardés, dont l'importance est secondaire pour le maintien de la réaction en chaîne, jouent un rôle fondamental dans le comportement transitoire du réacteur, et sont déterminants pour sa sécurité de fonctionnement et son contrôle.

Les neutrons retardés sont classés en six groupes distincts émis dans des proportions différentes et dans des intervalles de temps variables.  $\beta$  représente la fraction de tous les neutrons retardés qui se sont créés par une fission;  $\beta_i$  la fraction des neutrons retardés du groupe  $i$ . Il est à noter que les neutrons libérés par fission ont des énergies très élevées. Ils sont appelés " neutrons rapides ". Il est, de ce fait, nécessaire de les ralentir pour l'entretien de la réaction en chaîne, et cela en leur faisant subir des chocs élastiques sur les noyaux d'une substance appropriée appelée modérateur ou ralentisseur telle que l'eau lourde, le graphite, ... Les neutrons émis par fission disparaissent par des processus différents; ils peuvent:

- provoquer une nouvelle fission pour que la réaction en chaîne se soutienne,
- être capturés sans produire de fission,
- s'échapper du réacteur même et être capturés par l'écran biologique qui les entoure.

Un neutron originel engendre trois neutrons prompts au cours d'une fission dont un seul est un neutron utile ( neutron dont la disparition engendre une nouvelle fission ).

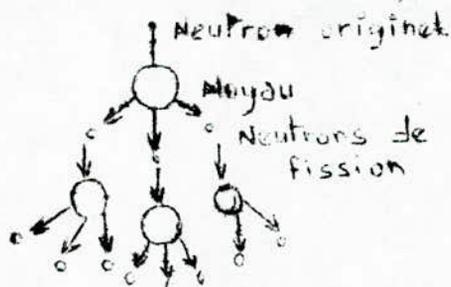
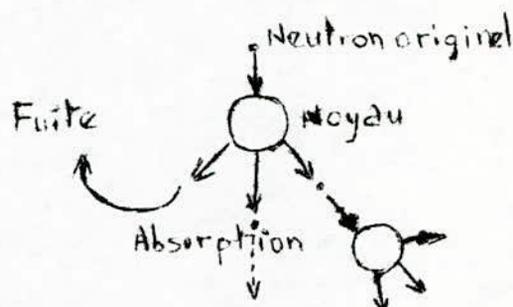


Schéma d'une chaîne ramifiée.



D'où l'introduction de deux paramètres importants :

$\nu$  : le nombre de neutrons engendrés effectivement en moyenne, par fission ( 2,5 )

K : le nombre de neutrons utiles produits en moyenne par fission.

K est appelé facteur de multiplication ou de reproduction. On le définit comme le rapport de neutrons d'une génération, au nombre de neutrons de la génération précédente.

$$K = \frac{\text{nombre de neutrons d'une génération.}}{\text{nombre de neutrons de la génération immédiatement précédente.}}$$

C'est ce facteur qui fixe la possibilité d'autoentretien de la réaction en chaîne

K = 1 : il y a juste suffisamment de neutrons pour maintenir en équilibre la réaction en chaîne. On dit que la criticité a été atteinte.

K > 1 : le nombre de neutron augmente, la réaction en chaîne est dite divergente, le système est dans un état surcritique.

K < 1 : le nombre de neutrons décroît jusqu'à extinction; la réaction en chaîne est convergente, et le système est dit sous-critique.

## I- 2. Cinétique des Réacteurs Nucléaires :

Pour le contrôle des réacteurs nucléaires, il est indispensable de connaître le comportement du nombre de neutrons thermiques dans les réacteurs en fonction de la réactivité.

### I- 2. 1. Réactivité :

L'évolution de la réactivité est un facteur prédominant pour le contrôle du réacteur.

Le terme réactivité tout court est réservé à l'accroissement relatif du nombre de neutrons des deux populations successives.

$$\rho = \frac{K_{\text{eff}} - 1}{K_{\text{eff}}} \quad \text{avec} \quad \delta K = K_{\text{eff}} - 1.$$

$\delta K$  : accroissement en nombre de neutrons de deux populations successives. Ce symbole est aussi appelé " réactivité par excès ".

$K_{\text{eff}}$  : facteur de multiplication effectif dans un milieu fini dans lequel sont prises en compte les fuites de neutrons.

La réactivité est souvent exprimée en unités spéciales telles que le p.c.m. ( pour cent mille ). Comme  $K_{\text{eff}}$  est toujours très voisin de l'unité, on confondra souvent les deux termes  $\delta K$  et  $\rho$ .

I- 2. 2. Période :

Le contrôle d'un réacteur nucléaire nécessite d'une façon générale la mesure du flux neutronique; mais pour le démarrage proprement dit, la connaissance des régimes transitoires est encore plus utile, car elle fournit une indication de tendance et permet de prévoir la valeur du flux à un instant ultérieur; c'est ainsi que se justifie la mesure de la période d'un réacteur. La période d'un réacteur est définie par l'inverse de la dérivée logarithmique du flux neutronique par rapport au temps :

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{n} \frac{dn}{dt}$$

$n$  : grandeur proportionnelle au flux neutronique dans un réacteur.

Lorsque le flux évolue suivant une loi exponentielle,  $n = n_0 e^{xt}$ , on a :

$$\frac{1}{n} \frac{dn}{dt} = x$$

$T_e$  est le temps de multiplication par un facteur  $e = 2,718$ .

On définit également  $T_d$ , comme le temps nécessaire pour que la densité neutronique soit doublée.

$T_d$  est appelé temps de doublement, auquel cas  $n = n_0 2^{t/T_d}$

I- 2. 3. Equations Cinétiques :

Le temps de variation du nombre total des neutrons dans un réacteur est égal au taux de production diminué du taux de perte — .

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n}{\theta} [K(1-\beta) - 1] + \sum_{i=1}^m \lambda_i C_i \quad (1)$$

$K$  : facteur de multiplication dans un milieu ( sans fuite ).

$n$  : nombre de neutrons présents dans un réacteur à un instant  $t$ .

$\theta$  : vie moyenne d'un neutron ( temps qui s'écoule en moyenne entre sa naissance par fission et sa disparition donnant lieu à une nouvelle fission ).

$\sum_{i=1}^m \lambda_i C_i$  : taux de production en neutrons retardés provenant du nombre  $C_i$  de producteurs du groupe  $i$ , dont la constante de désintégration radioactive est  $\lambda_i$ .

$m$  : nombre de groupes de production.

Si, après un fonctionnement en régime stable ( $K = 1$ ,  $K = 0$ ), nous modifions brusquement la réactivité, la solution de l'équation ( 1 ) devient :

$$\frac{n}{n_0} = \frac{\delta K}{\delta K - \beta} e^{\frac{\delta K - \beta}{\theta} t} + \frac{\beta}{\beta - \delta K} \quad \delta K = K - 1$$

On veille donc toujours, en pratique, à ce que la réactivité positive soit

notablement inférieure à  $\beta$ .

Pour  $K$  constant, les solutions des équations cinétiques :

$$\begin{cases} \frac{dm}{dt} = \frac{\rho}{\theta} [K(1-\beta) - 1] + \sum_{i=1}^m \lambda_i C_i \\ \frac{dC_i}{dt} = K \frac{\rho}{\theta} \beta_i - \lambda_i C_i \end{cases}$$

sont de la forme

$$m(t) = \sum_{j=0}^{j=m} A_j e^{\omega_j t} \quad C_i(t) = \sum_{j=0}^{j=m} C_{ij} e^{\omega_j t} \quad (a)$$

La résolution de ces deux équations conduit à :

$$\rho = \frac{\theta \omega_j}{1 + \theta \omega_j} + \frac{1}{1 + \theta \omega_j} \sum_{i=0}^{i=m} \frac{\beta_i \omega_j}{\omega_j + \lambda_i}$$

Cette équation est celle de **NORDHEIM**. Elle représente la définition mathématique de la réactivité.

sur la figure I- 2. 3. (a), la courbe représentative de  $\rho$  en fonction de  $\omega_j$  a été tracée dans le cas où  $m = 6$ .

Dans le cas du saut de réactivité, lorsqu'on envisage par exemple 6 groupes de neutrons retardés, l'équation (a) permet d'écrire

$$m(t) = A_0 e^{\omega_0 t} + A_1 e^{\omega_1 t} + \dots + A_6 e^{\omega_6 t}$$

Dans le cas où  $\beta > 0$  et  $\omega_0 > 0$  et alors au bout d'un certain temps, l'évolution de la puissance peut s'écrire :

$$m = A_0 e^{\omega_0 t}$$

si on pose  $\omega_0 = \frac{1}{T_0}$ ,  $T_0$  est appelée période stable. C'est cette période qui apparaît seule au bout d'un certain temps après extinction des périodes transitoires

Lorsqu'on ne tient compte que de la période stable, l'équation de **NORDHEIM** s'écrit alors :

$$\rho = \frac{\theta}{KT_0} + \sum_{i=1}^m \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T_0}$$

I- 2. 3. 1. **Criticalité Prompte :**

Les termes  $A_1 e^{t\omega_1}$ ,  $A_2 e^{t\omega_2}$ , ...,  $A_n e^{t\omega_n}$  interviennent de façon importante pendant les premiers instants qui suivent le saut de réactivité, même si au bout d'un temps suffisamment long, il est légitime de négliger les termes transitoires.

Cette première phase de l'évolution est complexe. Lorsque le saut de réactivité est très important, le réacteur peut devenir critique avec les seuls neutrons prompts. Ce phénomène est désigné par " prompt jump ".

La figure I- 2. 3.  $\lambda$ . (b) illustre le phénomène de prompt jump.

On peut considérer l'état critique prompt comme un état stationnaire limité pour lequel  $\beta = \beta$  -

Le réacteur devient prompt critique lorsque sa réactivité est égale au pourcentage de neutrons retardés.

Pour un réacteur thermique utilisant la fission de  $1,^{235}\text{U}$ , la réactivité limite est donc environ :  $\beta = 750$  p.c.m.

### I- 3. Puissance et Flux Neutronique :

Dans un but de contrôle et de sécurité, il est indispensable de faire la mesure de la puissance neutronique du réacteur, c'est-à-dire de déterminer la population de neutrons.

#### I- 3. 1. Puissance Neutronique :

La fission d'un atome d' $^{235}\text{U}$  libère en moyenne une énergie de 200 MeV ou de  $3,2 \cdot 10^{-11}$  J.

La fission de tous les noyaux des atomes contenus dans 1 g. d' $^{235}\text{U}$  en 24 h. correspond à une puissance libérée de  $0,97 \cdot 10^6$  watts soit 1 MW. Cette puissance est appelée puissance neutronique. Elle est proportionnelle au nombre de fissions donc au nombre de neutrons  $n$  présents dans le coeur du réacteur.

#### I- 3. 2. Flux Neutronique :

Le flux neutronique rend compte de l'évolution des fissions dans un réacteur.

On le définit par le produit de la densité neutronique  $n$  par la vitesse des neutrons  $v$  :  $\Phi = nv$ .

L'unité de flux de neutrons est le neutron -  $\text{cm}^{-2} - \text{s}^{-1}$  -.

### I- 4. Stabilité Naturelle d'un Réacteur :

Certains effets liés au fonctionnement d'un réacteur ont tendance à réduire la réactivité et donc à faire diminuer la puissance. Ce sont ~~une~~ des effets stabilisants et donc sécurisants.

Il s'agit principalement des effets de température et des effets de poisons. Ces facteurs tendent à "aplatir" le flux et aussi l'usure du combustible.

#### I- 4. 1. Effet Thermique :

Lors de l'élévation de la température à l'intérieur du coeur, l'échauffement du combustible intervient d'abord agissant par effet Doppler, c'est-à-dire variation des raies de résonance qui se traduit par une augmentation de la capture dans les résonances de  $1,^{238}\text{U}$ . Il se produit alors une diminution essentiellement due à une diminution du facteur antitrappe  $p$  ( probabilité pour que le neutron échappe à la trappe de  $1,^{238}\text{U}$  pendant son ralentissement ).

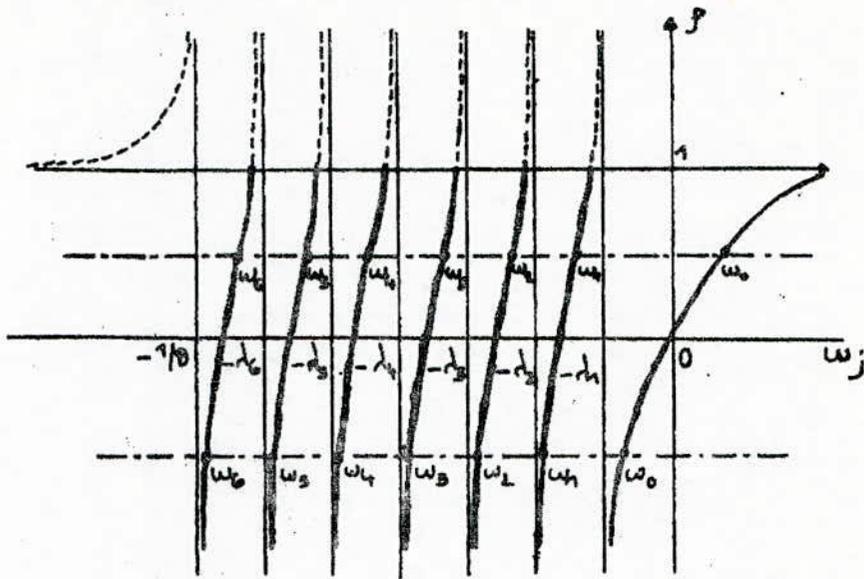


FIG. I.2.3 (a) - Courbe  $\rho = \frac{\beta \omega_j}{1 + \beta \omega_j} + \frac{1}{1 + \beta \omega_j} \sum \frac{\beta_i \omega_j}{\omega_j + \lambda_i}$

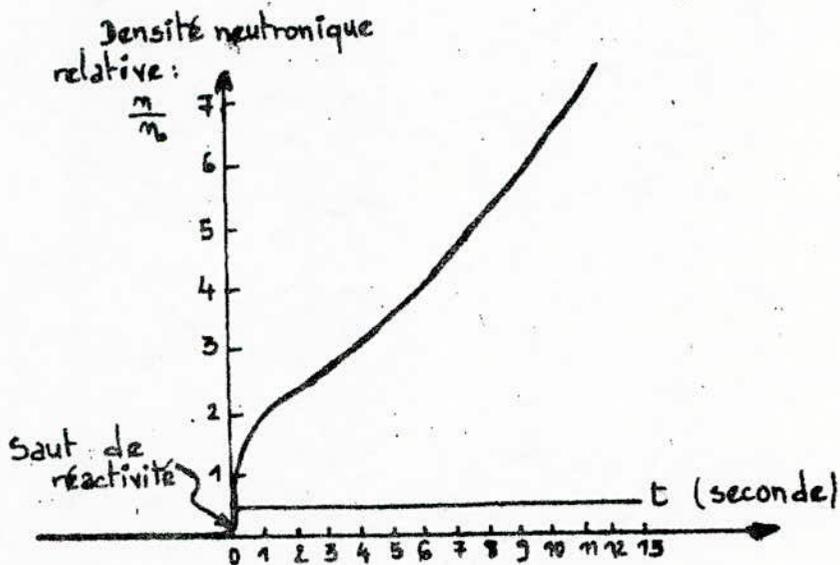


FIG. I.2.3. (b) - Phénomène de "prompt jump" -

On désigne cette diminution de réactivité par le coefficient  $\alpha_0 = \left( \frac{d\rho}{dT} \right)_0$ . Ce coefficient est de l'ordre de quelques p.c.m. par °C. Il est assez peu marqué pour l'uranium très enrichi.

Après chauffage du combustible, celui du modérateur intervient, qui entraîne une diminution de la réactivité en augmentant la probabilité de fuites par allongement des libres parcours moyens d'absorption et de diffusion d'une part et entraînant d'autre part un accroissement de forme géométrique par dilatation du réseau entier. Cette diminution de réactivité est caractérisée par un coefficient de température relatif au modérateur que l'on représente par  $\alpha_m = \left( \frac{d\rho}{dT} \right)_m$ .  $\alpha_m$  est souvent supérieur à  $\alpha_0$  et varie beaucoup plus avec la température.

#### I- 4. 2. Effet de Poisons :

Les poisons sont des produits de fission qui possèdent de fortes sections efficaces d'absorption pour les neutrons thermiques. Les principaux sont le  $^{135}\text{Xe}$  et le  $^{149}\text{Sm}$ . Le schéma de formation du  $^{135}\text{Xe}$  et du  $^{149}\text{Sm}$  est indiqué sur la figure I- 4. 2. (c).

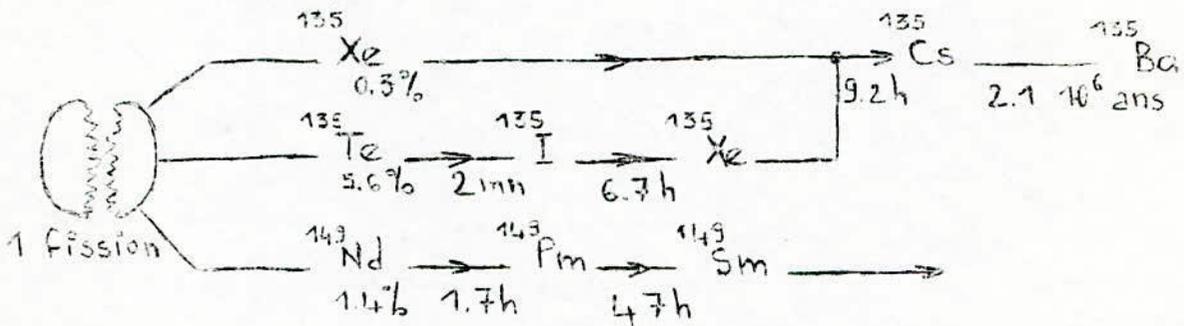


Figure I- 4. 2. (c)

Schémas de Formation du Xénon et du Samarium.

Les poisons ont tendance à arrêter la réaction de fission en chaîne. Ils interviennent sur le facteur de multiplication  $K$  par modification du facteur thermique  $f$  ( défini par le rapport du nombre de neutrons thermiques absorbés dans le combustible au nombre total de neutrons thermiques absorbés dans les matériaux qui constituent le cœur du réacteur ).

En effet, l'existence de ces poisons va diminuer une partie de neutrons thermiques qui, normalement, devrait être absorbée par le combustible.

CHAPITRE - II -

SECURITE DANS LE CONTROLE D'UN REACTEUR NUCLEAIRE.

## II - SECURITE DANS LE CONTROLE D'UN REACTEUR NUCLEAIRE.

### II- 1. Introduction :

Les risques d'accidents nucléaires sérieux pouvant entraîner la rupture des gaines entourant les barreaux combustibles, la combustion de ces derniers dans le fluide qui les entoure, la dispersion alors d'oxydes empoisonnés par le plutonium et les produits de fission dans l'installation justifient l'attention qu'il est nécessaire de porter aux problèmes de contrôle et de sécurité des installations atomiques. Les études de sécurité doivent s'attacher à rendre alors pratiquement nul tout risque d'accident.

L'exploitation d'un réacteur sous-entend un certain nombre de mesures et de commandes. La nature des mesures et leur nombre dépendent essentiellement, tant de la constitution que de l'importance ou la destination du réacteur.

### II- 2. Paramètres à Surveiller :

Ils sont généralement classés en trois groupes :

- les paramètres neutroniques : réactivité, période, puissance, détection des ruptures de gaines.
- les mesures non nucléaires ( paramètres ); mesures thermodynamiques et physico-chimiques : température, débit, pression; niveau pH et conductivité de l'eau éventuellement.
- les paramètres de santé : rayonnements  $\beta$  et  $\gamma$ , neutrons rapides et thermiques, activité des gaz, des poussières,...

#### II- 2. 1. Les Paramètres Neutroniques :

##### II- 2. 1. 1. Réactivité, Période, Puissance :

Il n'est pas possible d'agir directement sur le niveau de puissance proportionnelle au flux de neutrons, mais seulement sur la réactivité, laquelle est proportionnelle à la dérivée par rapport au temps du niveau de puissance. C'est cette propriété qui est responsable de ce que les changements d'allure sont souvent exponentiels.

Par suite des modifications intrinsèques de la réactivité au cours du temps, et pour réaliser des modifications de puissance désirées, il est nécessaire de prévoir des moyens qui permettent de modifier la réactivité à volonté : c'est le rôle du réglage.

Par ailleurs, des moyens d'intervention rapide sont prévus pour pallier les incidents éventuels; ce sont les dispositifs de sécurité.

Le réglage de la réactivité s'obtient en modifiant le bilan neutronique, généralement par l'introduction ou le retrait d'une matière absorbant les neutrons : ces éléments ont souvent la forme de barres cylindriques, et seront désignées par le terme de barres de contrôle ( ou barres de commande ). Le contrôle comprend deux fonctions distinctes :

a./ La fonction de réglage dont le but est de compenser les variations de réactivité de la pile au cours du temps, et permettre le changement de puissance.

b./ La fonction de sécurité qui consiste à pouvoir arrêter la pile aussi rapidement que possible en cas de danger et d'incidents graves.

1°. réglage grossier, chargé de compenser les effets de dérive de réactivité sur de longues périodes, et de permettre le démarrage de la pile en compensant les effets de température et d'empoisonnement.

2°. réglage fin ou pilotage; qui est le maintien de la puissance à un palier désiré en compensant des variations, même rapides, de réactivité, mais de faible amplitude.

Rappelons qu'un réacteur subit, au cours de son existence, des modifications de ses diverses caractéristiques. De telles modifications résultent:

- de l'empoisonnement dû à certains des produits de fission,
- de l'épuisement du matériau fissile,
- de l'élévation de température des parties essentielles du réacteur,
- de la présence temporaire au sein du réacteur de dispositifs expérimentaux.

Ces diverses actions se traduisent toutes, en général, par une décroissance de la réactivité du réacteur.

A cause de ces variations de réactivité, il est nécessaire de disposer d'une masse de combustible nucléaire supérieure à celle strictement nécessaire pour rendre le réacteur critique. Un réacteur à pleine charge dispose donc d'une réserve de réactivité lorsqu'elles surviennent,  
pour compenser les variations de réactivité

L'estimation de la réserve de réactivité conditionne d'ailleurs les moyens de contrôle à prévoir, en particulier : barres de pilotage, compensation, et de sécurité. Il est fondamental du point de vue sûreté que ces barres, une fois enfoncées dans le cœur, rendent le réacteur sous-critique.

Il faut donc que la réactivité négative ou antiréactivité liée

aux barres de contrôle soit supérieure à la réserve de réactivité.

Il est d'ailleurs nécessaire de prévoir un excédent de réactivité négative, non seulement pour se prémunir des incertitudes de calcul, mais pour pouvoir aussi arrêter le fonctionnement de la réaction en chaîne suffisamment vite en cas de besoin.

La réserve de réactivité peut représenter 300 p.c.m. pour un petit réacteur de recherche, alors qu'elle atteint jusqu'à 20 000 p.c.m. pour un réacteur à haut flux de neutrons et à uranium enrichi.

#### II- 2. 1. 2. Rupture de Gaine :

Les barreaux d'uranium utilisés dans les piles sont toujours entourés d'une gaine dont le rôle principal est d'assurer l'étanchéité entre l'uranium et le fluide de refroidissement.

Cette étanchéité est nécessaire pour deux raisons :

- éviter que des produits de fission ne s'échappent dans le fluide de refroidissement,
- protéger l'uranium des actions chimiques dues au contact direct avec le fluide.

Les conséquences d'une rupture de gaine sont toujours graves si celle-ci n'a pas été détectée suffisamment tôt.

#### . Pour l'exploitation de la pile :

- si la fissure de la gaine est importante, le barreau se déforme, et on peut éprouver des difficultés à le sortir du canal dans lequel circule le fluide de refroidissement.
- à la sortie de ce barreau, il faudra prendre des précautions spéciales pour éviter de répandre dans le canal ou mettre en suspension dans l'air l'oxyde d'uranium en poudre qui peut s'échapper par la déchirure. Cet oxyde contient en plus ou moins grande quantité de plutonium selon le temps de marche de la pile, et d'importantes quantités de produits de fission.

#### . Pour la santé :

Le Danger de Rupture de Gaine ( D.R.G. ) entraîne un rejet dans l'atmosphère d'une forte quantité de gaz et de fragment de fission ainsi qu'une petite quantité d'oxyde d'uranium.

Il faudra donc de ce fait prendre des mesures de protection sérieuses.

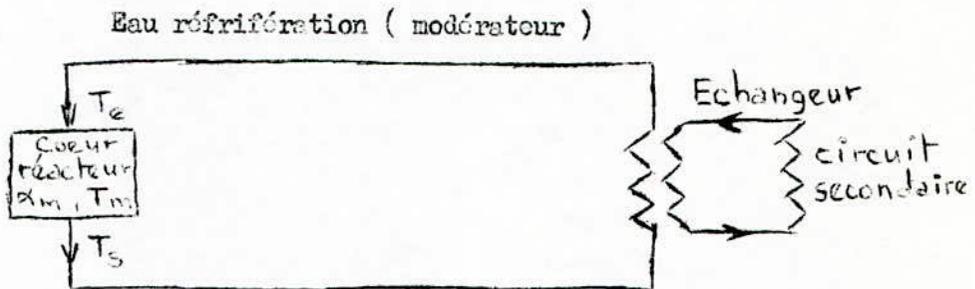
II- 2. 2. Paramètres Thermodynamiques :

Au cours du démarrage, les mesures essentielles à effectuer sont celles de la puissance du réacteur et de sa période ( qui est fonction de la vitesse de variation du niveau d'énergie ).

Lorsqu'on approche du fonctionnement à pleine puissance et que l'on travaille dans ces conditions, les mesures de température, de circulation du milieu de refroidissement et de la puissance thermique deviennent très importantes.

II- 2. 2. 1. Mesure de Température :

Soit un réacteur à uranium enrichi, modéré à l'eau légère qui sert en même temps de réfrigérant.



Soient  $T_e$  et  $T_s$  les températures du réfrigérant à l'entrée et à la sortie du réacteur.

Si  $Q$  est le débit massique de l'eau de réfrigération et  $C$  sa chaleur massique, à la puissance  $P_o$ , on a :

$$P_o = Q \cdot C ( T_s - T_e )$$

A puissance constante, l'écart de température  $T = T_s - T_e$  est constant, mais ceci n'empêche pas dans le cas où apparaît un défaut de refroidissement au niveau du circuit secondaire, une élévation anormale de la température d'entrée  $T_e$  et donc de  $T_s$ . Le dépassement de température admissibles peut avoir pour conséquence la fusion des crayons combustibles et la contamination de l'environnement par les produits de fission.

Une surveillance stricte est donc nécessaire à ce niveau.

II- 2. 2. 2. Mesures de Débit :

Une diminution du débit du fluide réfrigérant aura pour effet de faire augmenter l'écart entre la température d'entrée et celle de sortie du réacteur. Souvent cette diminution de débit signalé un défaut au niveau de la pompe de réfrigération et prévient d'un arrêt total de cette pompe; arrêt qui entrainerait une absence de réfrigération du coeur du réacteur et donc sa fusion s'il n'a pas été arrêté à temps.

La mesure de débit nécessite donc une étroite surveillance.

#### II- 2. 2. 3. Mesures de Pression :

Certaines installations nucléaires fonctionnent à des températures d'eau de réfrigération très élevées ( $> 300$  °C); elles nécessitent donc des pressions de fonctionnement très importantes ( $> 150$  bars). Les installations qui sont conçues pour contenir ces pressions ont été éprouvées à des pressions légèrement supérieures aux pressions nominales.

Il faut donc s'assurer au fonctionnement normal qu'à aucun moment il n'y a eu dépassement de seuils de pression admissibles.

#### II- 2. 3. Paramètres de Radioprotection :

Il est nécessaire de prendre conscience de la nature et de l'étendue des problèmes qui se posent dans le domaine de la protection radiologique.

Les deux modalités essentielles d'atteinte de l'organisme sont: l'irradiation à distance à partir de sources externes principalement émettrices de rayonnements  $\gamma$  ou de neutrons et de la contamination radioactive.

Sur le plan de la radioactivité, il sera nécessaire de pouvoir déterminer : la nature d'un rayonnement, son énergie, les conditions géométriques ou autres d'irradiation éventuelle, ou bien préciser le radioélément et la forme chimique sous laquelle il se trouve dans le cas d'un risque de contamination cutanée ou interne.

Un centre d'études nucléaires constitue dans son ensemble une zone contrôlée; zone dans laquelle on travaille sous radiations de façon régulière ou permanente et dans laquelle doit s'exercer un contrôle régulier des risques. Ce contrôle doit comporter :

- 1°/ la mesure régulière des rayonnements, ainsi que de la contamination radioactive des locaux,
- 2°/ la mesure régulière et systématique de l'irradiation et de la contamination du personnel,
- 3°/ l'examen médical et régulier et systématique du personnel.

#### II- 2. 4. Autres Paramètres :

##### - Alimentation électrique du réacteur :

La défaillance du réseau d'alimentation électrique d'un réacteur provoque généralement son arrêt par chute de barres et sécurité. Dans un réacteur de puissance notamment, les phénomènes consécutifs à l'arrêt peuvent être particulièrement graves si l'absence d'énergie électrique entraîne également l'arrêt

du système de refroidissement.

De ce fait, si le refroidissement après l'arrêt est insuffisant, l'évolution de la température peut être rapide et atteindre une valeur critique pour les matériaux constitutifs et particulièrement pour les barres de combustible.

Outre ce cas critique, d'autres considérations donnent un caractère prioritaire au maintien de l'alimentation électrique.

1°/ Remise en route rapide du réacteur après un défaut passager, pour éviter que la durée d'arrêt soit aggravée par l'empoisonnement.

2°/ Maintien des mesures pour continuer d'être renseignés, entre autre choses, sur les causes de l'arrêt et sur l'évolution des phénomènes consécutifs.

Il s'ensuit que les installations électrotechniques d'alimentation doivent faire preuve de souplesse pour répondre aux besoins de sécurité et d'exploitation rationnelle du réacteur.

### II- 3. Philosophie de la Protection Suivant de Type de Réacteur :

La première conception de la philosophie de la sécurité consiste à arrêter la pile pour la protéger, quel que soit l'incident et sa gravité : mesure nucléaire anormale, panne d'appareils de mesure, radioactivité anormale, etc....

La deuxième conception de la philosophie de la sécurité est d'éviter l'arrêt de la pile pour toute panne ou incident non nucléaire, et de disposer d'une protection intrinsèque sur tous les éléments de l'installation. Au fur et à mesure du développement de l'industrie nucléaire, on s'éloigne de la première conception pour se rapprocher de plus en plus de la seconde.

\* cas des réacteurs expérimentaux de faible puissance : la protection de ce type de réacteur doit permettre en premier lieu l'arrêt du réacteur chaque fois qu'il y a un défaut ou une panne dans son fonctionnement ou celui de ses auxiliaires.

\* Cas des réacteur expérimentaux de moyenne puissance pour ce type de réacteur, un certain nombre de considérations empêchent les arrêts répétitifs et fréquents :

- .l'amortissement du coût d'installation,
- .la diminution du nombre des opérations de démarrage rendus délicates à cause de l'évolution de l'empoisonnement,
- .la considération tendant à éviter les contraintes thermiques dues aux arrêts rapides,
- .la non - perturbation des expériences.

Pour ce type de réacteur, il s'agira donc d'éviter les arrêts intempestifs dus à de fausses manoeuvres ou à des défauts de l'électronique.

#### II- 4. Caractéristiques Principales d'un Système de Protection :

Le système de protection aura trois fonctions principales :

- 1°/ Le système doit pouvoir assurer l'arrêt d'urgence du réacteur par une désexcitation rapide des bobines d'embrayage du système d'entraînement des barres de contrôle dans le cas de dépassements de seuils admissibles.  
Ces seuils sont fixés au niveau des chaînes de mesures. Le système reçoit à partir de ces chaînes les signaux de dépassements de seuils.  
ex. : signaux de flux, signaux de période.
- 2°/ Le système doit permettre le verrouillage de la commande des barres de contrôle si la procédure de manoeuvre du réacteur n'est pas conforme aux consignes de sécurité, ou si des anomalies sont signalées à différents niveaux du réacteur ou de ses commandes.  
ex. : seuil de puissance atteint, pompe arrêtée, indication chaîne anormalement faible.
- 3°/ La protection doit agir d'une manière très sûre, en minimisant les actions intempestives; pour cela, le système doit tester automatiquement tous les organes intervenant dans la protection, y compris lui-même, c'est-à-dire :
  - les chaînes de mesure utilisées pour la protection,
  - les circuits de traitement du système,
  - les actionneurs.

CHAPITRE - III -.

PRESENTATION DU SYSTEME DE PROTECTION.

### III - PRESENTATION DU SYSTEME DE PROTECTION.

#### III- 1. Définition des Ensembles de Sécurité :

Un ensemble de sécurité est représenté par le diagramme fonctionnel de la figure III-1.

Le système de protection comprend essentiellement les équipements suivants :

- Les équipements de détection des paramètres à surveiller, émettant le plus souvent des signaux électriques proportionnels aux grandeurs physiques, neutroniques ou thermodynamiques : flux neutronique, température, débit, etc...

Pour les grandeurs neutroniques, ce sont principalement des chambres d'ionisation, des chambres à fission ou des compteurs.

Pour les grandeurs thermodynamiques, ce sont par exemple les thermocouples, les débitmètres, les compteurs de pression, etc...

Ces détecteurs délivrent le plus souvent des signaux électriques qu'il est nécessaire d'amplifier au moyen d'amplificateurs. Ces derniers sont suivis de bascules ou systèmes à seuil ( déclencheurs par exemple ) qui effectuent la comparaison d'une grandeur électrique à une autre grandeur réglée ou préréglée appelée seuil. Selon le sens de l'écart relatif, les déclencheurs emettent un " un logique " ou un " zéro logique ".

- Un ensemble de commutation ou ensemble logique dans lequel les signaux de sortie des bascules sont combinés. Les signaux provenant de cet ensemble agissent sur des commandes ou des mécanismes afin d'élaborer les ordres certaines actions correctrices destinées à élaborer les ordres de démarrage ou d'arrêt.

A L'entrée du bloc de commutation ou ensemble logique intervient le bloc des verrouillages empêchant l'exécution de certaines manoeuvres pouvant affecter la sécurité du réacteur sauf dans le cas où toutes les conditions prescrites sont remplies.

#### III- 2. Caractéristiques des Ensembles de Sécurité :

Les paramètres qui permettent de comparer entre eux plusieurs ensembles de sécurité susceptibles d'être installés sur un réacteur sont :

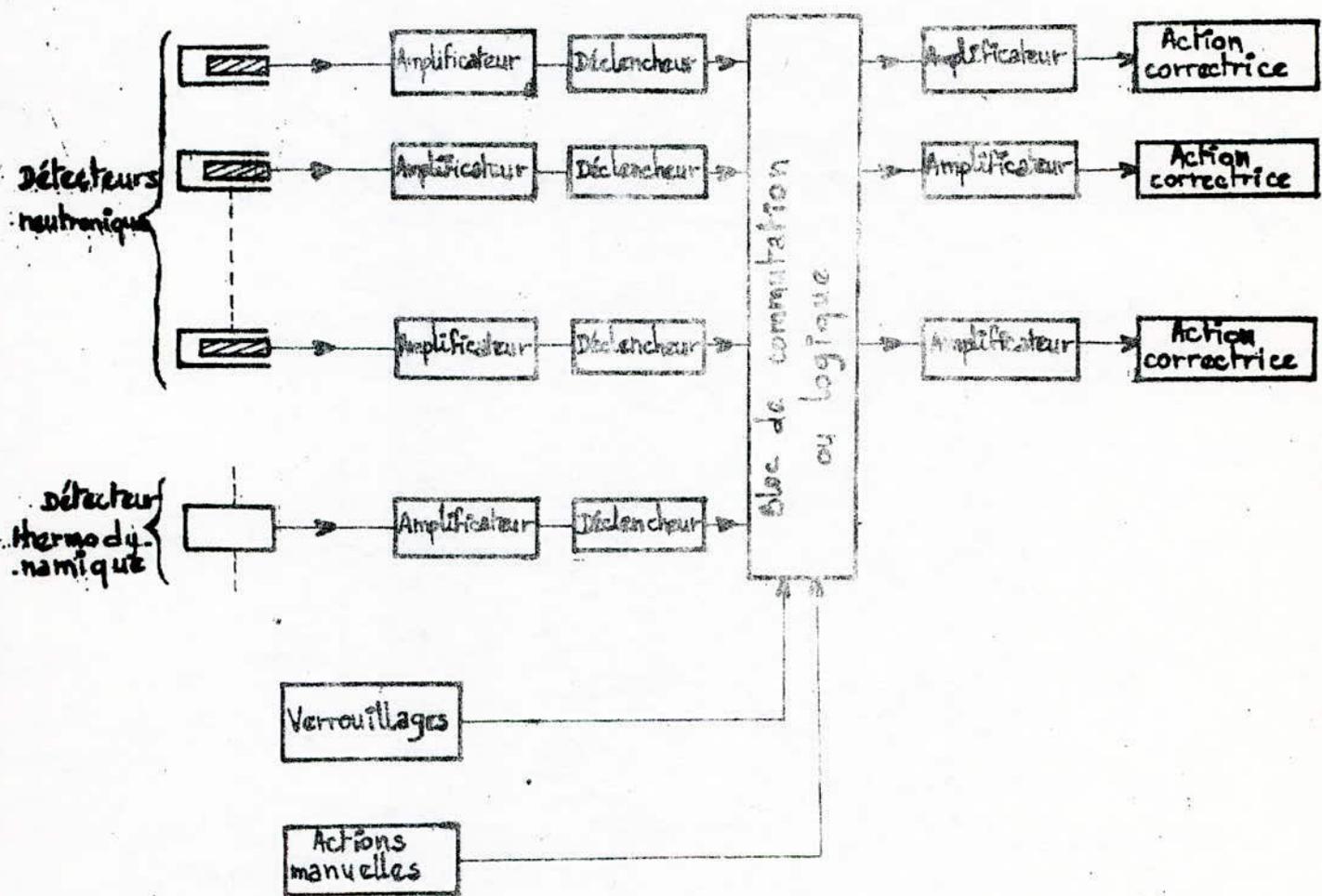


FIG. III.1 - Schéma de principe d'un ensemble de sécurité pour réacteur nucléaire -

la vitesse de réponse, le fonctionnement sûr, le taux de fausses manoeuvres ou d'arrêts inutiles qu'ils entraînent.

### III- 2. 1. Vitesse de Réponse ou Constante de Temps :

Elle est essentiellement fonction du temps qui s'écoule depuis la détection du défaut jusqu'au moment où le fonctionnement du réacteur est rétabli.

### III- 2. 2. Fonctionnement Sûr :

Les ensembles de sécurité doivent être de fonctionnement très sûr : c'est-à-dire qu'ils doivent toujours opérer lorsque cela est nécessaire et leurs pannes doivent autant que possible se faire dans le sens de la sécurité. Il faut d'autre part que le risque pour le réacteur de se trouver sans protection soit très faible.

### III- 2. 3. Taux d'Arrêts Inutiles :

Le nombre d'arrêts inutiles entraînés par les pannes des ensembles de sécurité doit être le plus faible possible.

Est appelée panne tout incident localisé modifiant le fonctionnement normal des circuits. Elle est dite " sûre ", si elle transmet une action de sécurité ( ordre de chute des barres ) et " non sûre " si elle peut s'opposer au cheminement normal d'une éventuelle action de sécurité.

Le fonctionnement sûr et le taux d'arrêts inutiles des ensembles de sécurité sont étroitement associés à leur fiabilité.

### III- 3. Fiabilité des Ensembles de Sécurité :

C'est la probabilité pour un système d'accomplir correctement la fonction demandée pendant une période de temps spécifiée et dans des conditions de fonctionnement déterminées.

Cette fiabilité est liée aux pannes des matériels. En général, pour les matériels électroniques, l'allure du nombre de pannes en fonction de la durée de fonctionnement se présente comme indiquée sur la figure III- 3.

Les pannes en début de la mise en service sont plus nombreuses et souvent inévitables : transport, montage, mise en route, erreurs de câblage, manque d'études initiales; ensuite les pannes dites normales apparaissent, ce sont celles qui caractérisent la " fiabilité du matériel ". Ensuite le nombre de pannes augmente en général, dû à l'usure du matériel.

Il apparaît expérimentalement que la fiabilité ou probabilité de bon fonctionnement ou de survie du matériel obéit à la loi de distribution

exponentielle  $e^{-\lambda t}$  où  $\lambda$  : taux de défaillance du matériel exprimé en général en ‰ pour 1000 heures de fonctionnement,

$1/\lambda$  : est désigné par MTBF : moyenne du temps de bon fonctionnement.

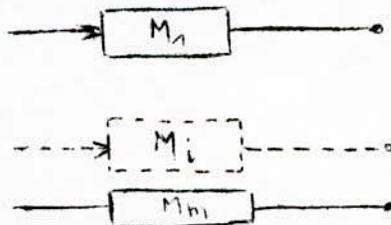
### III- 4. Redondance :

La fiabilité d'un équipement ou d'un matériel est liée en grande partie à celle de ses composants. L'objectif fixé est de réaliser un ensemble de bonne fiabilité avec des composants de fiabilité moyenne.

Lorsqu'on veut que la fonction qu'on attend d'un matériel soit effectuée avec une certaine probabilité dans un temps donné et lorsque le MTBF de ce matériel est incompatible avec la probabilité recherchée, il est nécessaire de recourir à la redondance c'est-à-dire à l'utilisation de plusieurs matériels en parallèle pour réaliser la fonction. Exemple : une mesure triplée de flux, une mesure triplée de température, etc...

La redondance augmente la fiabilité, en diminuant les chances de pannes simultanées de tous les matériels. Il est indispensable qu'aucune corrélation de fonctionnement n'existe entre les matériels ( par exemple : pas d'alimentation commune ) pour pouvoir évaluer la fiabilité ou la probabilité de bon fonctionnement de la fonction qu'ils ont à réaliser.

#### III- 4. 1. Cas d'un Système Redondant à m Matériels :



Dans le cas de m matériels ou équipements en parallèle dont chacun a un MTBF de  $1/\lambda$ , la fonction n'est plus assurée lorsque tous les équipements sont simultanément en panne, la probabilité qu'il en soit ainsi au bout du temps t est  $(1 - e^{-\lambda t})^m$  et la fiabilité des m matériels ou plutôt de la fonction à réaliser est :

$$f = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^m$$

Sur la figure III- 4. 1. les résultats du calcul de la fiabilité en fonction du temps sont indiquées ( fiabilité relative à plusieurs matériels en // ).

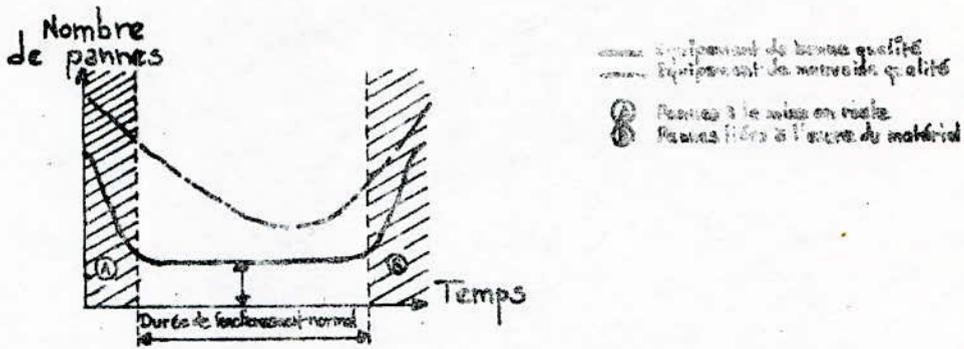


FIG III. 3 - Nombre de pannes d'un appareil électronique en fonction du temps de fonctionnement.

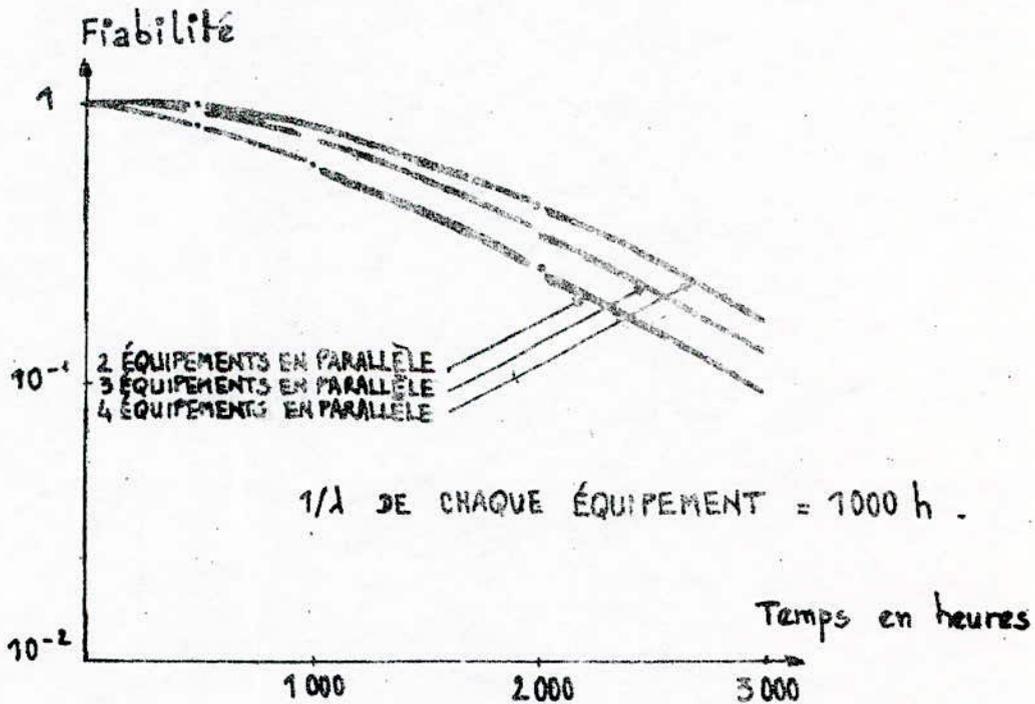
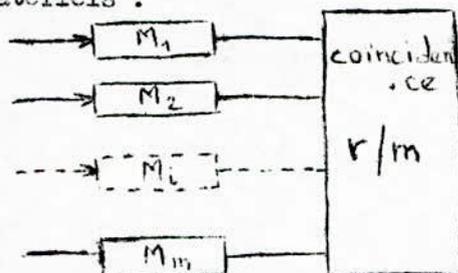


FIG III. 4.1 - Fiabilité de plusieurs matériels ou équipements électroniques fonctionnant en parallèle.

III- 4. 2. Cas d'un Système Redondant de  $r$  Matériels fonctionnant en Coïncidence sur  $m$  Matériels :



Dans le cas où l'on fait intervenir la coïncidence dans le fonctionnement de  $r$  matériels parmi  $m$  en parallèle pour réaliser la fonction recherchée, on dispose alors d'un système du type  $r/m$ .

Pour que la fonction attribuée au système  $r/m$  soit remplie, il est nécessaire et suffisant qu'au moins  $r$  matériels parmi les  $m$  soient en état de bon fonctionnement.

La fiabilité d'un tel système est donnée par :

$$F = \sum_{k=0}^{m-r} C_m^k [1 - e^{-\lambda t}]^k [e^{-\lambda t}]^{m-k}$$

$C_m^k$  : nombre de combinaisons de  $m$  objets pris  $k$  à  $k$ .

Sur la figure III- 4.2. les résultats de calcul de la fiabilité en fonction du temps sont indiqués.

En conclusion des 2 courbes, nous pouvons conclure que si la redondance fait augmenter la fiabilité, la coïncidence des voies le fait diminuer.

III- 4. 3. Influence des Tests sur la Fiabilité :

La redondance n'améliore la fiabilité que si elle est accompagnée d'une maintenance préventive c'est-à-dire de tests de vérification périodiques.

La détection des défauts dont l'évolution à long terme peut engendrer des accidents, est très intéressante pour augmenter la sécurité et la disponibilité des centrales nucléaires, dans la mesure où cette détection peut le plus souvent permettre l'élimination des défauts sans arrêter l'installation. Les méthodes de tests s'appliquent surtout aux équipements électroniques, électrotechniques et électromécaniques.

Les critères qu'il est souhaitable d'imposer à ces méthodes de tests du point de vue sécurité sont les suivants :

- 1° - Le test doit permettre de vérifier le fonctionnement de tout l'équipement testé en simulant un régime d'incident.
- 2° - Il ne doit pas compromettre la redondance des équipements lorsqu'elle existe, mais au contraire rendre compte des pannes.

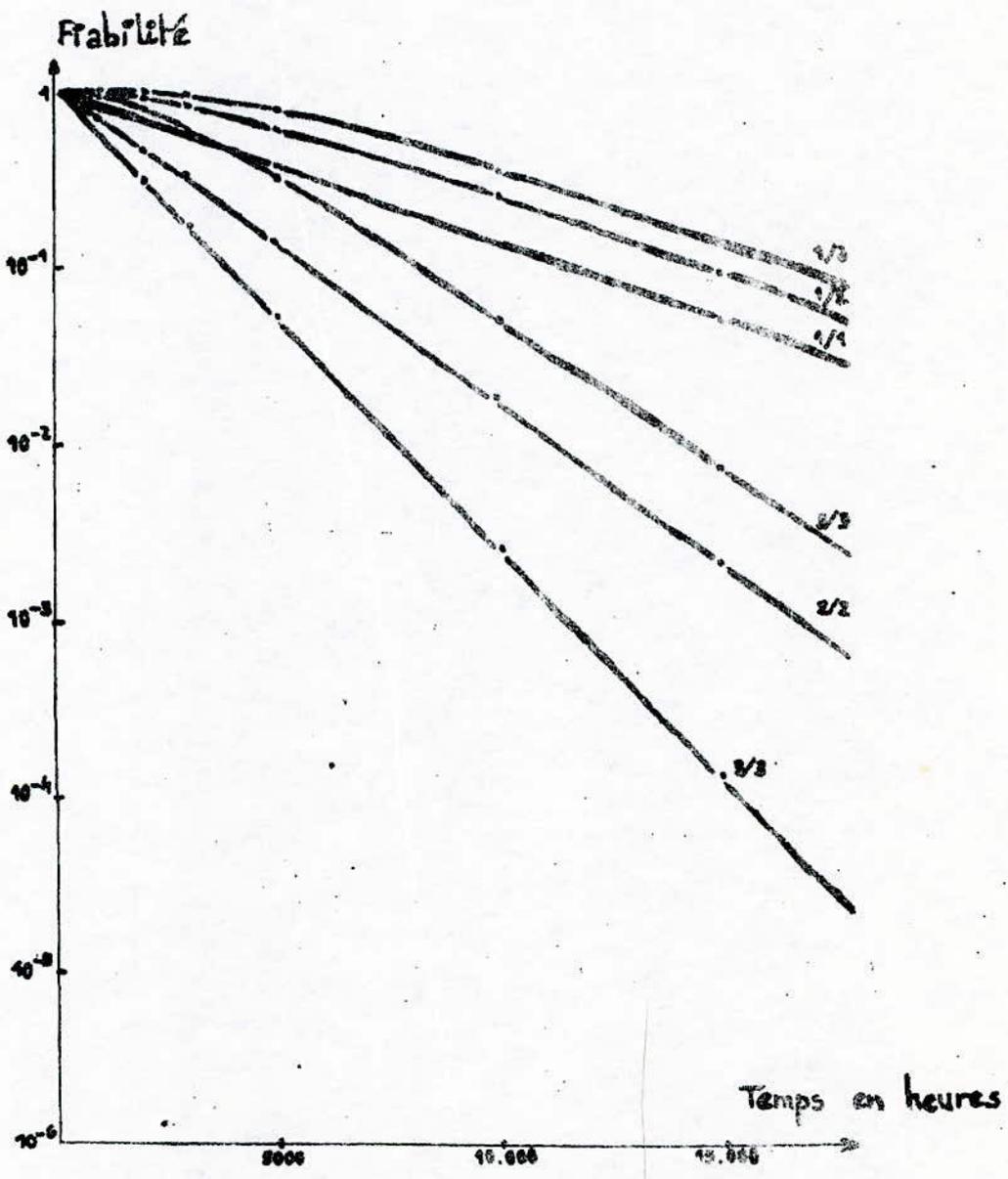


FIG III.4.2 - Fiabilité des systèmes 1/1, 1/2, 1/3, 2/2, 2/3, 3/3 -

3° - Sa fréquence doit être fonction de la fiabilité des équipements.  
Par ailleurs, le signal de test ne doit pas interférer sur le signal de mesure.

#### III- 4. 4. Comparaison des Différentes Redondances :

Nous pouvons établir un rapport de comparaison des deux redondances parallèles du type  $1/2$  et  $2/3$  les plus fréquemment utilisées dans les dispositifs de sécurité des réacteurs.

La redondance  $1/2$  introduit une probabilité de pannes inférieure à celle de redondance  $2/3$ .

Toutefois, si l'on utilise un système de protection avec deux matériels, on peut vérifier qu'à chaque instant tous les deux donnent le même résultat.

En cas d'une discordance détectée par un dispositif supplémentaire ( circuit de coïncidence ET ou OU ), il n'est pas facile et dans certains cas impossible de détecter quel est le matériel qui fonctionne mal.. Un matériel étant en défaut, le système présente une mauvaise sécurité qui ne semble pas acceptable.

En effet, la probabilité pour que le deuxième tombe aussi en panne pendant la réparation ou le remplacement du premier n'est pas négligeable. Le système de protection serait alors incapable de remplir son rôle. Avec une redondance  $2/3$  ( ou  $2/4$  ), on améliore la comportement du système et sa disponibilité vis-à-vis d'une dégradation d'un de ses éléments.

#### III- 5. Présentation du Modèle de Protection Adopté :

L'importance et le genre d'appareillage que nécessite un réacteur sont soumis à son type. Ainsi, pour un réacteur de recherche il faut surtout des instruments de mesure nucléaire; en revanche pour les réacteurs de puissance, il faut des équipements pour la mesure des températures, débits, pressions, etc...,

Nous nous sommes intéressés quant à nous à un réacteur du type expérimental dont le système de protection comprend les équipements suivants :

##### III- 5. 1. Les Chaînes de Mesures Nucléaires :

- Une chaîne à fission ou chaîne de démarrage fonctionnant en impulsion: cette chaîne permet la mesure de la puissance à bas niveau, ainsi que la période liée au temps de doublement de cette même puissance. Elle est destinée à surveiller un état de divergence dont la rapidité conduirait à l'accident dit de démarrage.
- Des chaînes logarithmiques : ou chaînes de puissance fonctionnant en

courant destinées à surveiller l'évolution de la puissance ainsi que sa période après le démarrage.

- Des chaînes de sécurité ou chaînes linéaires : elles commandent l'arrêt rapide par chute des barres de sécurité en cas de dépassement d'un seuil maximum de puissance.

III- 5. 2. Ensemble Logique :

Il est constitué de deux blocs logiques :

- l'un destiné à commander l'autorisation de montée des barres ( déverrouillage ) dans le cas où les conditions de démarrage sont remplies,
- l'autre destiné à commander la chute des barres au cas où les dépassements de seuils liés aux sécurités période sont indiquées par les chaînes Impulsion et logarithmiques; les chaînes de sécurité indiquent des dépassements de seuil au liés aux sécurités niveau ( dépassement de puissance maximale ).

III- 5. 3. Circuit de Coïncidence ou Voteur :

Appelé organe de décision car habilité seul à fournir les ordres de protection.

Notre maquette d'étude permet de traiter quinze niveaux logiques correspondant au modèle de protection de réacteur de la figure III- 5. Dans ce modèle, la configuration des chaînes de mesures s'inspire de celles utilisées pour la protection des réacteurs haut flux. Les chaînes de mesures logarithmiques du flux et les chaînes de sécurité ont été disposées en redondance triple.

Les niveaux logiques issus des déclencheurs permettant une action de sécurité c'est-à-dire un verrouillage ou une chute des barres correspondent au niveau logique " zéro ", ceci pour rendre sûres des pannes telles que perte de connexion entre le déclencheur et le dispositif logique.

La logique de verrouillage traite :

- les signaux de déclenchement niveau minimum et maximum par une chaîne impulsion destinée à la mesure du flux au démarrage.
- les signaux de déclenchement niveau minimum par trois chaînes logarithmiques redondantes.
- un signal de fermeture de la porte hall.
- un signal de permission de déverrouillage manuel.

Une fois que le déverrouillage des barres est permis par l'opérateur ( action manuelle ), les conditions à remplir sont les suivantes :

- une indication suffisante sur la chaîne à fission ( seuil minimum de puissance ).

- une indication au dessous du seuil maximum sur la chaîne à fission ( seuil maximum de puissance ). Cette interdiction est inhibée automatiquement dès qu'il y a une indication de puissance suffisante sur les trois chaînes logarithmiques ( seuil minimum de puissance ).

La logique de chute de barres traite, en plus des signaux de déverrouillage, les signaux suivants :

- le signal de déclenchement période par la chaîne à impulsion, signal inhibé par une indication minimale des trois chaînes logarithmiques.
- les signaux de déclenchement période des trois chaînes de sécurité disposées en redondance 2/3.
- les signaux de déclenchement niveau maximum des trois chaînes de sécurité disposées en redondance 2/3.
- un signal de déclenchement chute manuel.

### III- 6. Exigences Fonctionnelles de notre Système :

- 1°/ Le système de protection doit assurer un maximum de sécurité en même temps qu'un maximum de disponibilité,
- 2°/ Il doit, en cas de défaillance unique, permettre la réparation ou le remplacement du matériel defectueux sans interruption du fonctionnement du réacteur et sans dégradation de la sécurité,
- 3°/ Il devra être possible d'accéder à l'un des ensembles logiques de protection et aux ensembles de mesures et de surveillance qui leur sont associés sans qu'il ne soit nécessaire d'accéder aux autres ensembles logiques de protection et à l'équipement qui leur est associé.

Lorsque les ensembles logiques sont groupés pour obtenir une redondance, les groupes et les ensembles qui leur sont associés devront être indépendants les uns des autres.

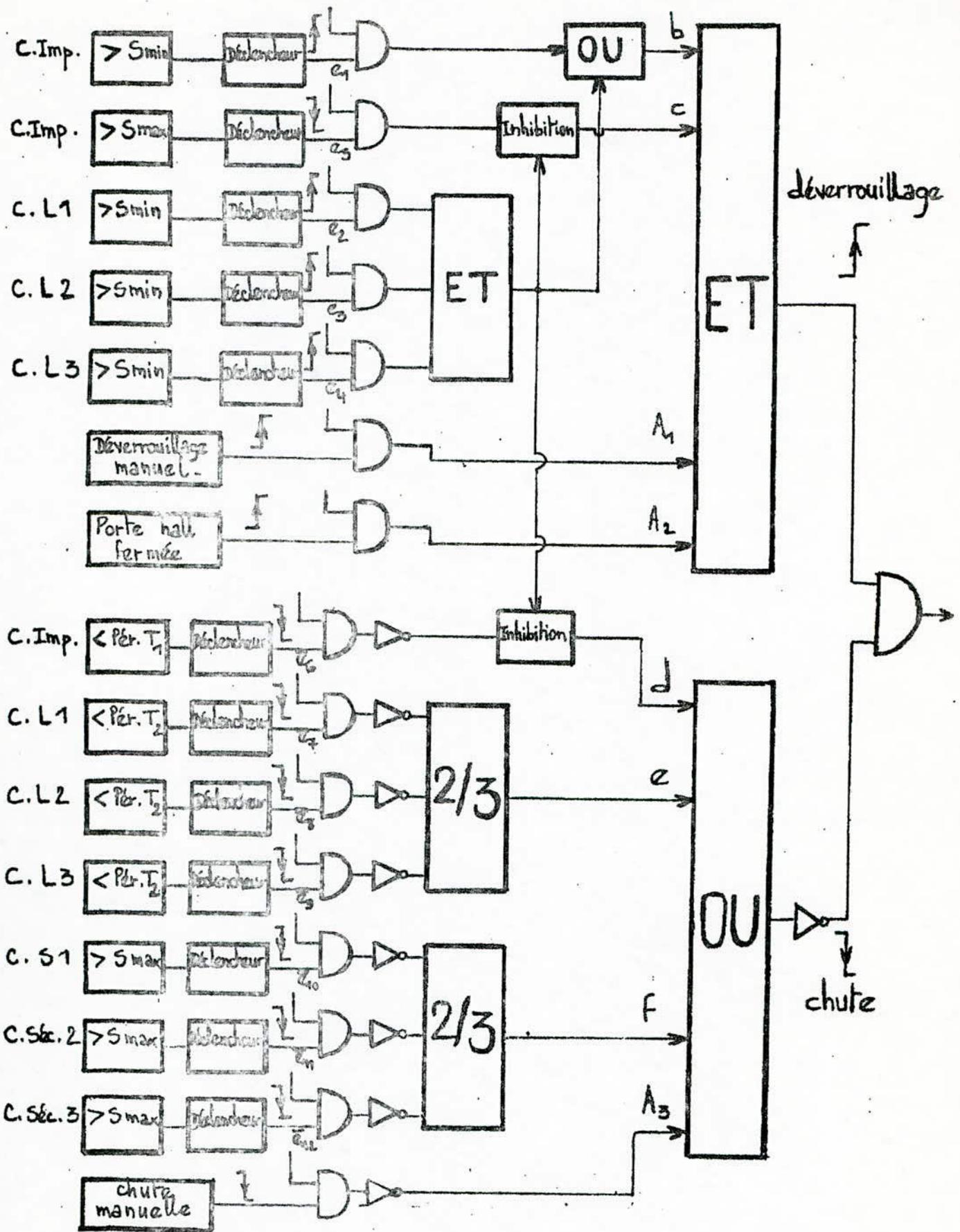


FIG. III. 5. - MODÈLE DE PROTECTION -

CHAPITRE IV

REALISATION.

## INTRODUCTION :

Nous nous proposons dans ce dernier chapitre de décrire les modalités de réalisation de la maquette portant sur le modèle de protection proprement dit de même que tous les tests s'y rapportant.

Nous avons jugé utile dans un premier temps de donner le chronogramme d'un cycle de test. ( figure IV ).

Nous avons fixé à 10 s. la durée du cycle de test de tout le système comprenant :

- le test des logiques,
- le test des chaînes de sécurité.

Pour la réalisation de notre modèle de protection, nous avons utilisé des circuits intégrés de technologie C - MOS, ceux-ci pouvant être alimentés entre +3 et +15 V.

Les circuits intégrés fabriqués à base de technologie C - MOS sont intéressants du fait de leur faible consommation.

Néanmoins, pour les temporisations de 10 s., nous nous sommes vues obligées d'utiliser des monostables de technologie T.T.L. utilisant une alimentation de 5 V.

Les problèmes de transition C - MOS / T.T.L. nous contraignent à utiliser une alimentation de 5 V, de même que d'intercaler des portes inverseuses si la sortie C - MOS doit attaquer plusieurs entrées T.T.L.

### IV- 1. Architecture de notre Système :

Notre système comprend : ( figure IV- 1. )

- 3 blocs logiques redondants,
- 1 circuit de coincidence ou voteur, circuit qui transmet l'ordre de chute des barres ou leur verrouillage quand deux ordres logiques au moins concordent,

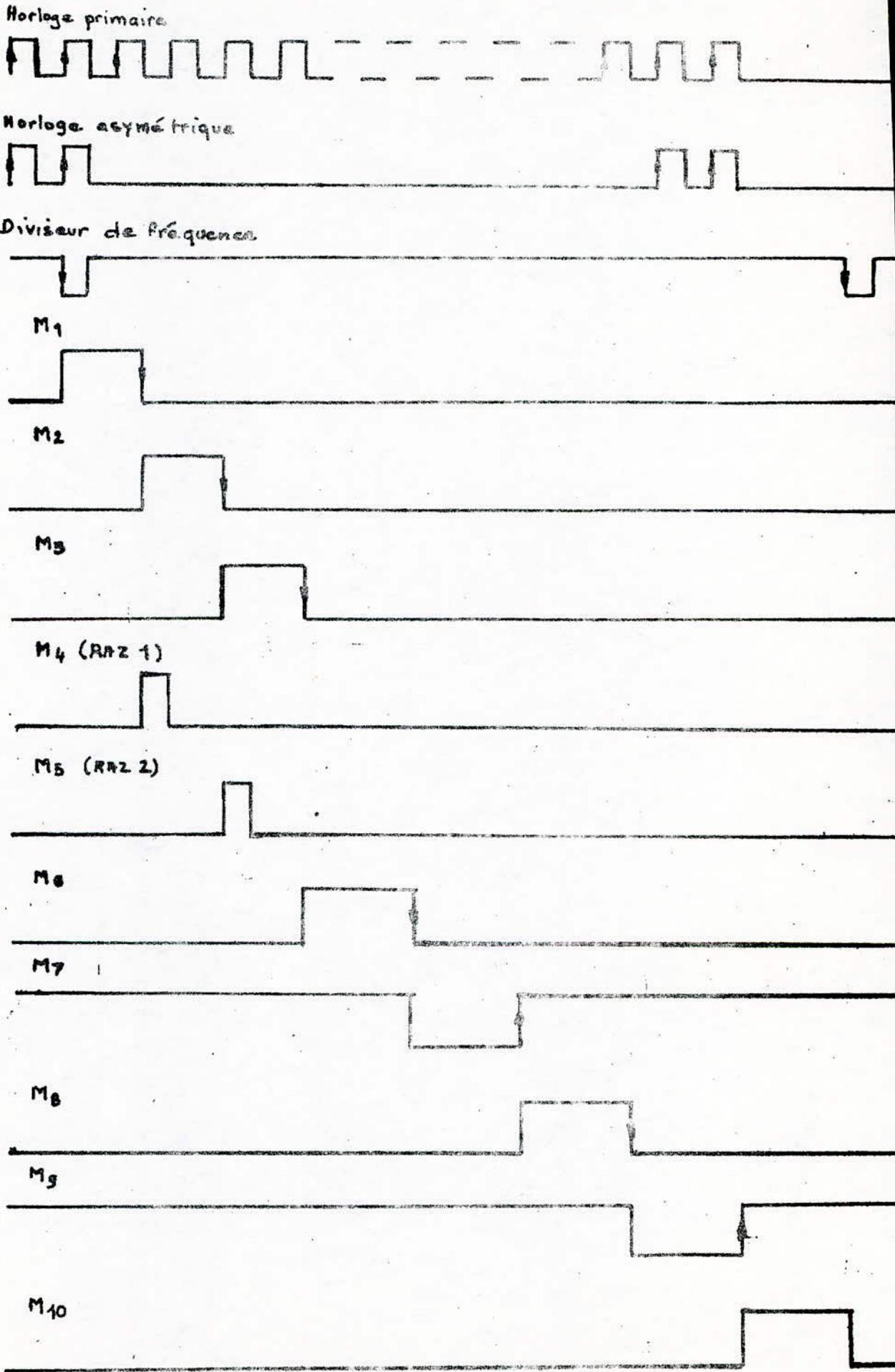


Fig. 5 - Chronogramme de test.

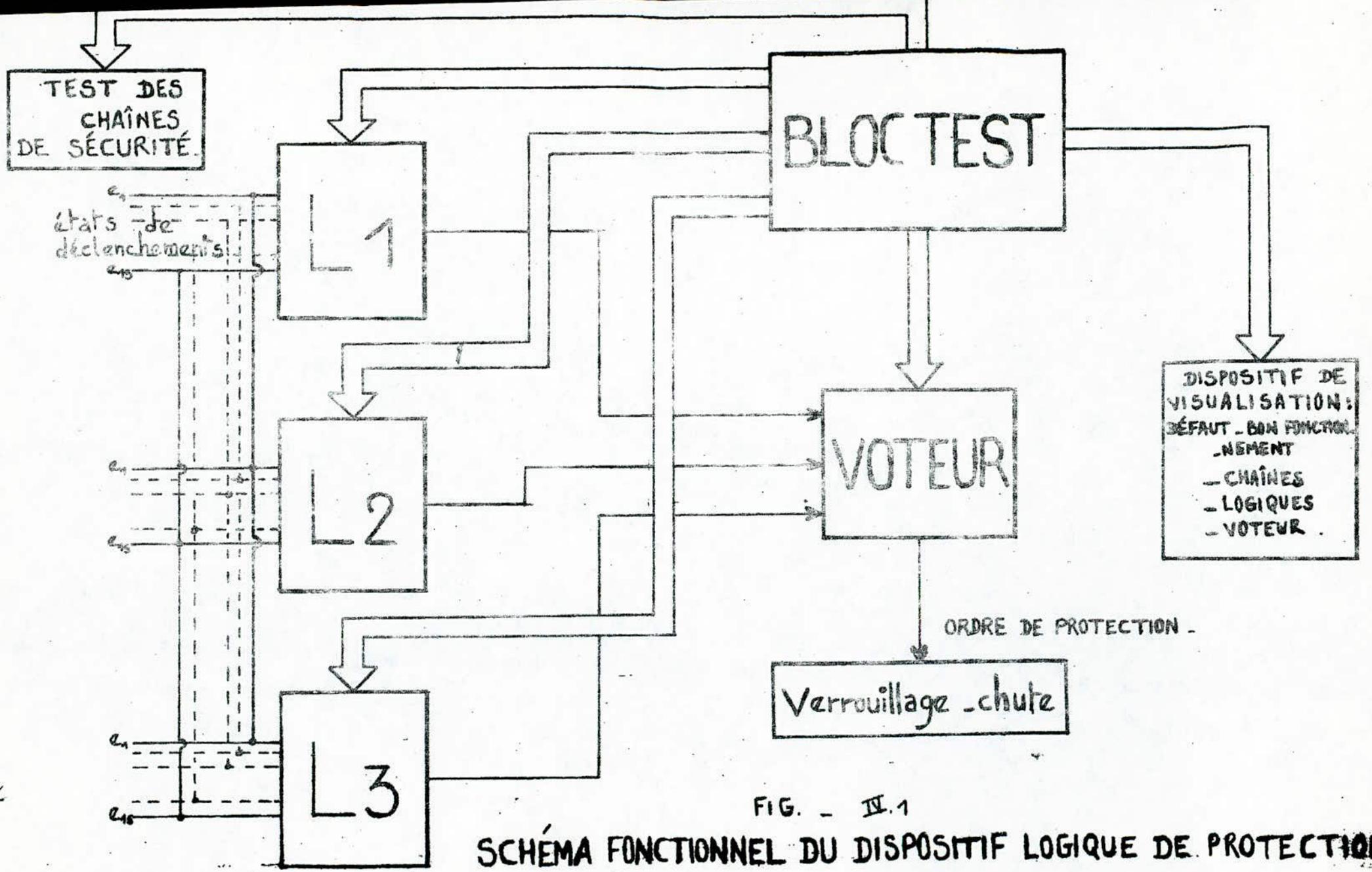


FIG. - IV.1

SCHEMA FONCTIONNEL DU DISPOSITIF LOGIQUE DE PROTECTION

- 1 bloc de test pour le contrôle des logiques, du voteur et des trois chaînes de sécurité, simulées au niveau de la maquette sous forme de circuit de circuits simples RC du premier ordre.  
Ce bloc génère trois signaux de test, sans empêcher une possible action de sécurité.

- 1 dispositif de signalisation de défauts ou de bon fonctionnement.

#### IV- 2. TEST DES LOGIQUES DE DECLENCHEMENTS :

Sur la figure IV- 2. est représenté le schéma de test des logiques. Un circuit logique combinatoire peut être testé entièrement en présentant toutes les combinaisons possibles aux différentes entrées et en vérifiant que la sortie correspond à la valeur théorique prévue.

Soient  $e_1$  et  $e_5$  : le signal de déclenchement niveau minimum ( respectivement maximum ) provenant de la chaîne impulsion.

$e_6$  : Le signal de déclenchement période provenant des trois chaînes logarithmiques redondantes.

$e_7, e_8, e_9$  : les signaux de déclenchement période provenant des trois chaînes logarithmiques redondantes. impuls

$e_{10}, e_{11}, e_{12}$  : les signaux de déclenchement niveau maximum provenant des trois chaînes de sécurité redondantes.

$A_1, A_2$  : Les deux actions " tout ou rien " relative au déverrouillage.

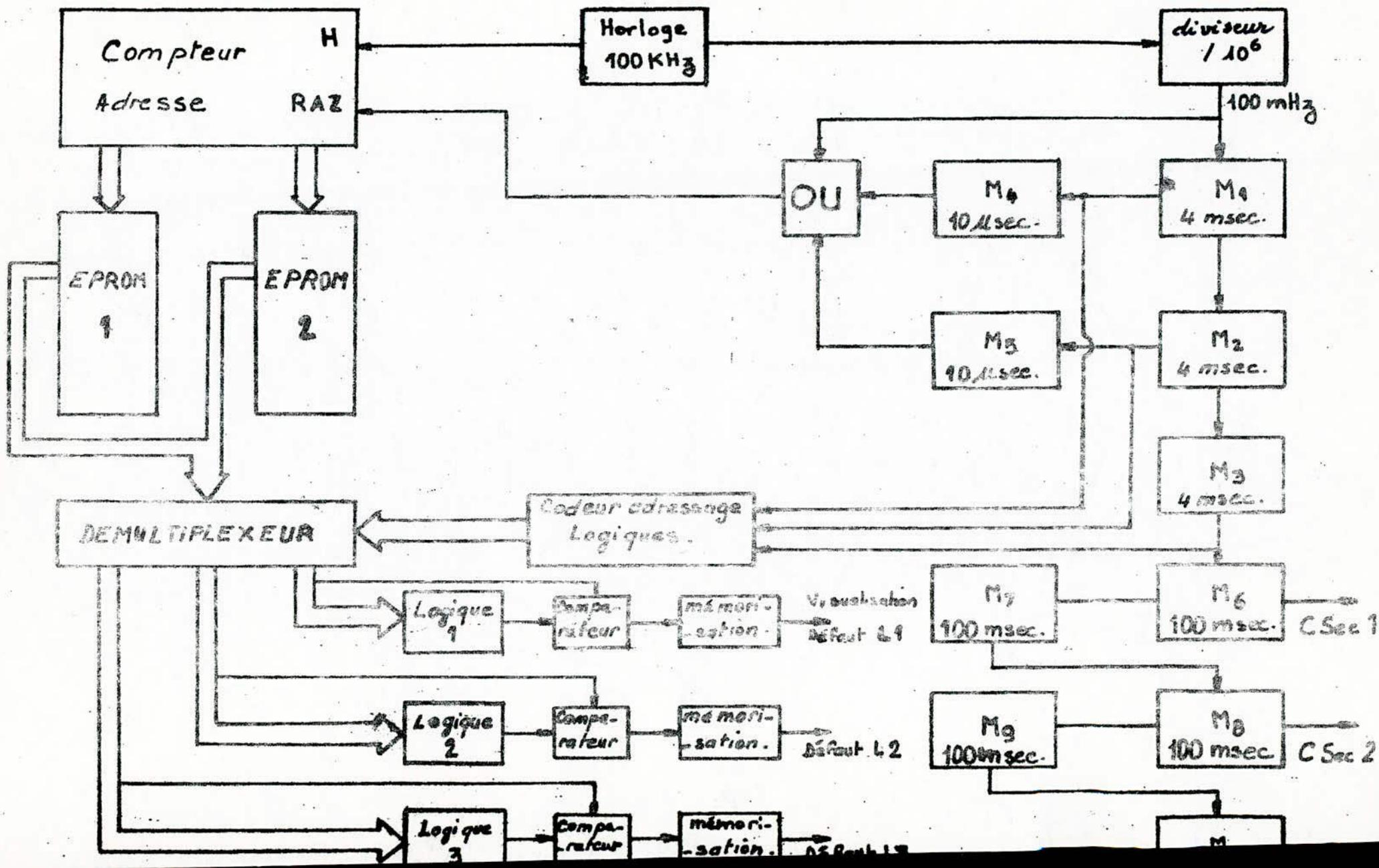
$A_3$  : l'action " tout ou rien " relative à la chute.

L'organe de décision de l'action de déverrouillage est une porte ET.

Soient  $b, c$  et les deux actions  $A_1$  et  $A_2$  les entrées logiques de cette

porte ET.

Fig. N.2. TEST DES LOGIQUES



L'autorisation de déverrouiller n'est permise que si et seulement si toutes ces entrées sont au niveau logique " 1 ". On s'assure en effet, lorsque b est à " 1 " que la chaîne impulsion au démarrage, ainsi que les trois chaînes logarithmiques redondantes pendant la marche normale du réacteur indiquent un niveau de puissance suffisant pour permettre la montée des barres.

On doit d'autre part vérifier que la chaîne impulsion n'indique pas un dépassement de puissance, cette condition étant automatiquement inhibée dès l'indication d'un niveau de puissance suffisant se traduisant par :

$$a = c_2 + c_3 + c_4 = 1$$

Sur la base de ce raisonnement, nous avons dressé une table de vérité nous permettant d'établir le circuit d'inhibition. ( figure 1 ).

L'organe de décision de l'action de chute des barres est une porte OU.

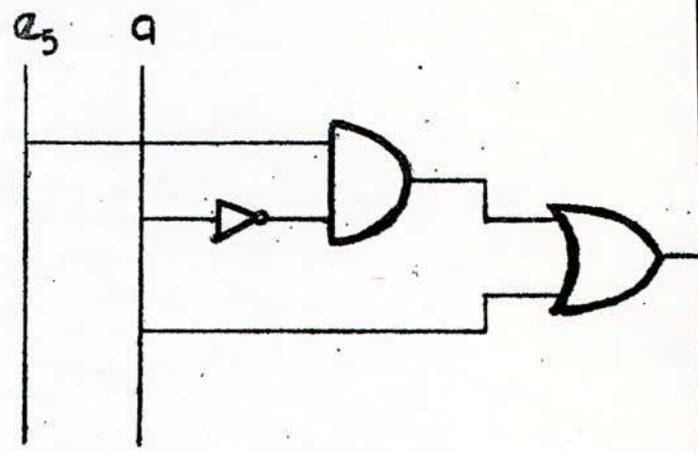
Soient d, e, f, et l'action chute manuelle  $A_3$  les entrées logiques de cette porte. L'action de chute est transmise dès que l'un de ces quatre niveau est à 1.

Lorsque le niveau de puissance est suffisant, la commande de la chute des barres ne doit plus être fonction que, d'une indication  $T < T_2$  de la période de doublement provenant des trois chaînes logarithmiques, auquel cas e sera au niveau logique " 1 ", d'une indication de niveau de seuil maximum de la puissance, se traduisant par  $f = 1$ , ainsi que d'une indication relative à la période de doublement de la puissance au démarrage (  $T < T_1$  ) par la chaîne impulsion.

Cette dernière indication est automatiquement inhibée dès que les trois chaînes logarithmiques indiquent un niveau de puissance suffisant.

La table de vérité ainsi que le circuit inhibiteur de l'action chute des barres sont donnés sur la figure 2.

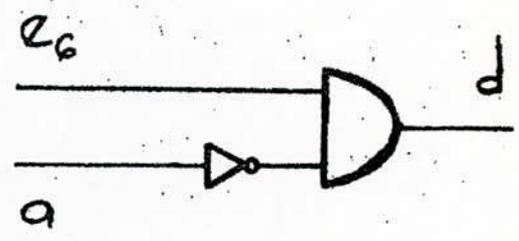
$e_5$	$a$	$c$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



$$c = a + e_5 \bar{a}$$

FIG. 1 - Schéma de l'inhibiteur déverrouillage

$e_6$	$a$	$d$
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0



$$d = e_6 \bar{a}$$

FIG. 2 - Schéma de l'inhibiteur chute des barres

Principe de test :

A l'entrée de chacune des trois logiques se présentent quinze entrées logiques.

Il faudrait à priori, pour prouver le bon fonctionnement d'une logique présenter  $2^{15}$  configurations à ses entrées et vérifier que le résultat à sa sortie est bien celui que l'on escomptait.

Sur la base du modèle de protection que nous avons adopté et du fait que les deux actions de déverrouillage et de chute passent à travers une porte ET nous avons pu réduire notablement le nombre de configurations attestant du bon fonctionnement d'une logique.

Le principe consiste à tester séparément chacun des deux blocs de déverrouillage et de chute en maintenant alternativement à " 1 " l'entrée de la porte ET correspondant à l'une des actions pendant que l'autre est testée.

Le principe de test est le suivant :

Les configurations correspondent au test du bloc de déverrouillage, soit  $2^5$ , celles relatives à l'action de chute soit  $2 \times 2^7$ , ainsi que les  $2 \times 2^1$  correspondant au test des actions " tout ou rien " sont mémorisées dans deux EPROMS d'une capacité de  $2 \text{ K} \times 8$  bits chacune, disposées en parallèle de manière à pouvoir y ranger les quinze états logiques ainsi que la consigne ou état de sortie  $\epsilon$ .

Les configurations rangées dans les deux EPROMS sont données en annexe. L'appel des différentes configurations se fait par un compteur adresse.

#### IV- 2. 1. L'HORLOGE :

Un oscillateur réalisé à base de portes inverseuses de technologie T.T.L. constitue l'horloge du compteur ( figure 3. ). Les valeurs de la résistance et celle de la capacité ont été fixées à :

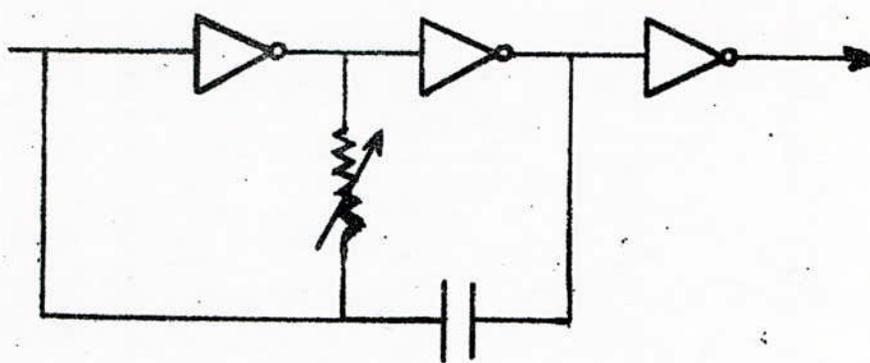


FIG. 3 - Horloge

M <sub>3</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	S
0	0	0	1	1	4
0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	0	2
0	1	1	1	1	4
1	0	0	0	1	3
1	0	1	1	1	4
1	1	0	1	1	4
1	1	1	1	1	4

$$A_0 = M_2 + \overline{M_1} \oplus M_3$$

$$A_1 = M_3 + \overline{M_1} \oplus M_2$$

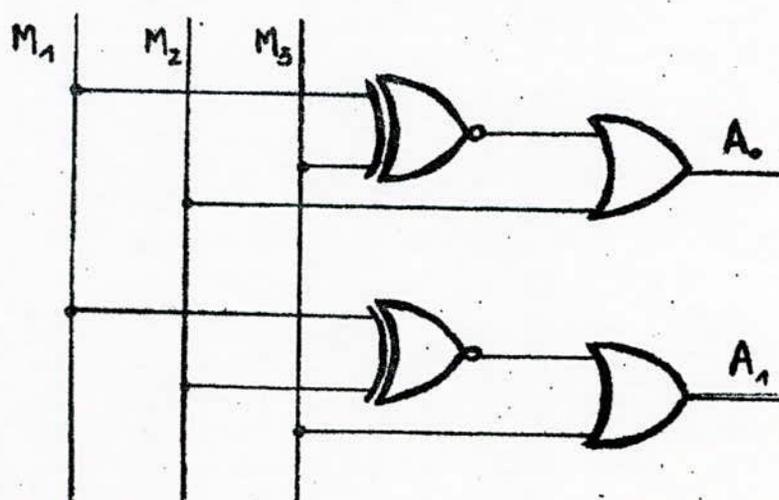


FIG. 5 - Décodeur associé aux démultiplexeurs

$$R = 539 \Omega$$

$$C = 8,2 \text{ nF.}$$

pour nous délivrer une fréquence de 100 KHz que nous avons choisie pour sa bonne stabilité.

Le temps de test d'une logique est donc approximativement de 3 ms, cependant et pour éviter tout écart risquant de perturber le bon déroulement du test, nous avons songé à prévoir une marge de sécurité d'1 ms et cela en mémorisant dans les EPROMS des configurations correspondant à un bon fonctionnement.

#### IV- 2. 2. LES DEMULTIPLEXEURS :

L'aiguillage de l'ensemble de ces configurations se fait à travers seize démultiplexeurs vers la première, la seconde puis la troisième logique successivement toutes les 10 s durant 4 ms.

Nous avons utilisé les démultiplexeurs du type MC 14 556 B dont le brochage est donné sur la figure 4.

Le MC 14 556 B est un décodeur / démultiplexeur adressable grâce à deux entrées ( $A_0, A_1$ ). Utilisé en démultiplexeur, chacune des quatre sorties ( $O_0 - O_3$ ) suit l'état de l'entrée  $\bar{E}_1$  sélectionnée par un adressage approprié des deux entrées adresse ( $A_0, A_1$ ). Les sorties non sélectionnées sont à l'état haut.

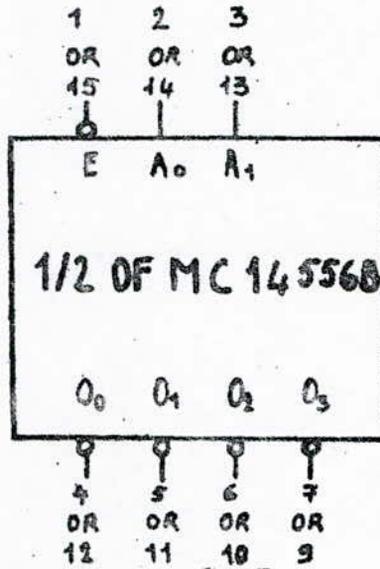
Les états de sorties des monostables  $M_1, M_2, M_3$  de temporisation commandent l'adressage des démultiplexeurs à travers un décodeur dont nous avons établi la table de vérité puis le schéma mentionnés sur la figure 5.

Selon que  $M_1, M_2$  ou  $M_3$  soit à " 1 ", c'est la 1°, la 2° ou la 3° sortie qui est sélectionnée.

# Le MC 14556 B

Dual 1-OF-4 Decoders / 2 multiplexers

## Block Diagram



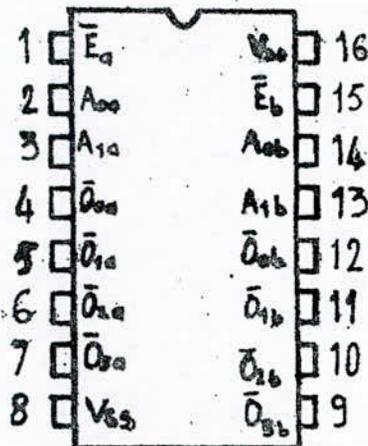
$V_{DD}$  = Pin 16

$V_{SS}$  = Pin 8

O = Pin Number

## Connection diagram

Dip



## Truth Table

$\bar{E}$	$A_0$	$A_1$	$\bar{O}_0$	$\bar{O}_1$	$\bar{O}_2$	$\bar{O}_3$
L	L	L	L	H	H	H
L	H	L	H	L	H	H
L	L	H	H	H	L	H
L	H	H	H	H	H	L
H	X	X	H	H	H	H

H = High level

L = Low level

X = Don't care

FIG. 4 - Brochage du MC 14556 B

#### IV- 2. 3. LES MONOSTABLES :

Les trois monostables  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$  montés en cascade sont excités toutes les 10 s, temps correspondant à la périodicité des tests.

Pour fixer cette durée de 10 s, nous avons fixé les valeurs de R et C à :

$$R = 39 \text{ K}\Omega \quad C = 470 \text{ }\mu\text{F.}$$

$M_1$  est excité par l'impulsion de carry out délivrée par le diviseur de fréquence par  $10^6$ ,  $M_2$  par le front descendant de  $M_1$  et  $M_3$  par celui de  $M_2$ .

Les monostables que nous avons utilisés sont du type SN 74221 dont le schéma de brochage est mentionné sur la figure 6.

La durée du signal de sortie se calcule AVEC une légère marge d'approximation par la formule :

$$t_w \approx 0,7 R \cdot C$$

#### IV- 2.4. LES COMPTEURS :

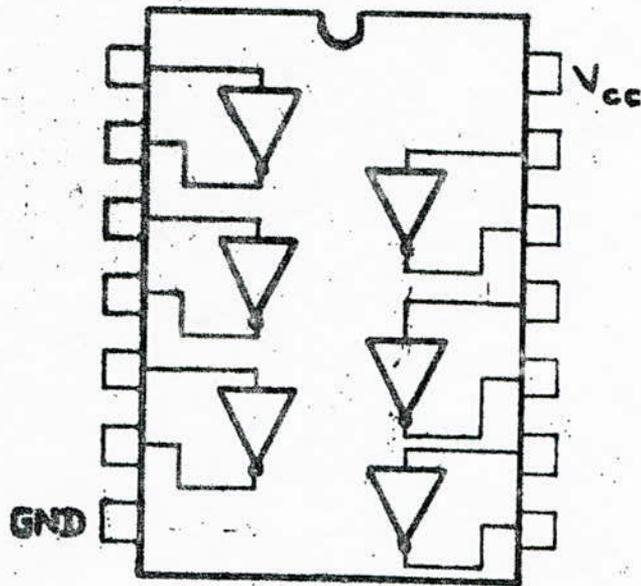
Ils sont du type synchrone à 4 bits. Le brochage du compteur MC 1416 est donné sur la figure 7.

Pour pouvoir parcourir 400 configurations en 4 ms, il nous a fallu utiliser trois compteurs montés en cascade recevant simultanément les impulsions d'horloge, chaque compteur étant commandé par l'impulsion report ( carry out ) du compteur qui le précède.

La période du cycle des tests fixée à 10 s a été obtenue à partir d'un diviseur de fréquence par  $10^6$ . Ce dernier est constitué de cinq compteurs montés en cascade.

Le signal de remise à zéro ( R. A. Z. ) des compteurs adresse des

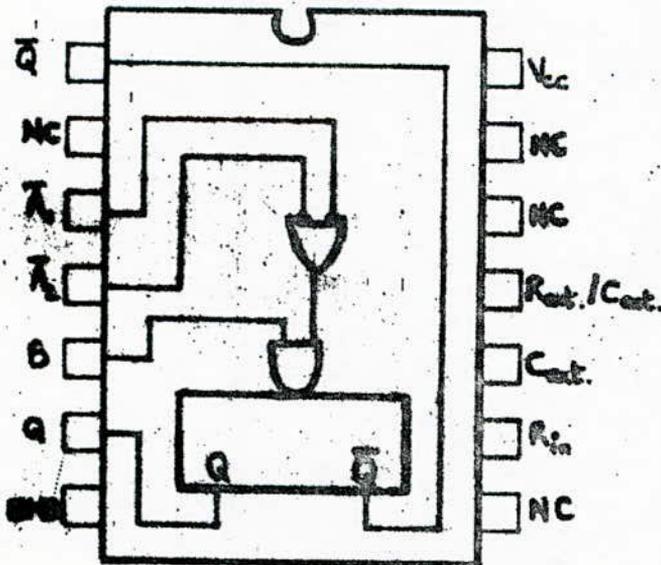
# SN 7404



# SN 74121

MONOSTABLE MULTIVIBRATOR

PIN CONFIGURATION



FUNCTION TABLE

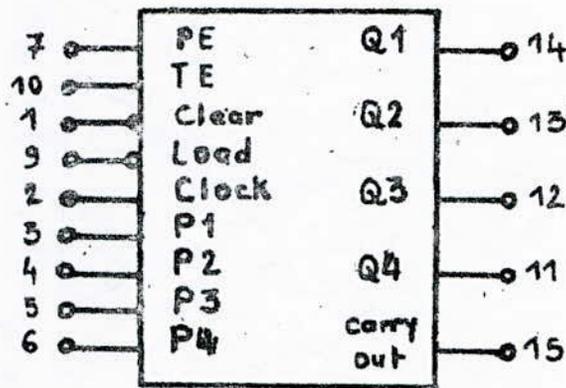
INPUTS			OUTPUTS	
$\bar{A}_1$	$\bar{A}_2$	B	Q	$\bar{Q}$
L	X	H	L	H
X	L	H	L	H
X	X	L	L	H
H	H	X	L	H
H	↓	H	⌊	⌋
↓	H	H	⌊	⌋
↓	↓	H	⌊	⌋
L	X	↑	⌊	⌋
X	L	↑	⌊	⌋

H : HIGH voltage level  
 L : LOW voltage level  
 X : Don't care  
 ↑ : LOW to HIGH transition  
 ↓ : HIGH to LOW transition

FIG. 6 - Brochage du 74121

MC 14163 B

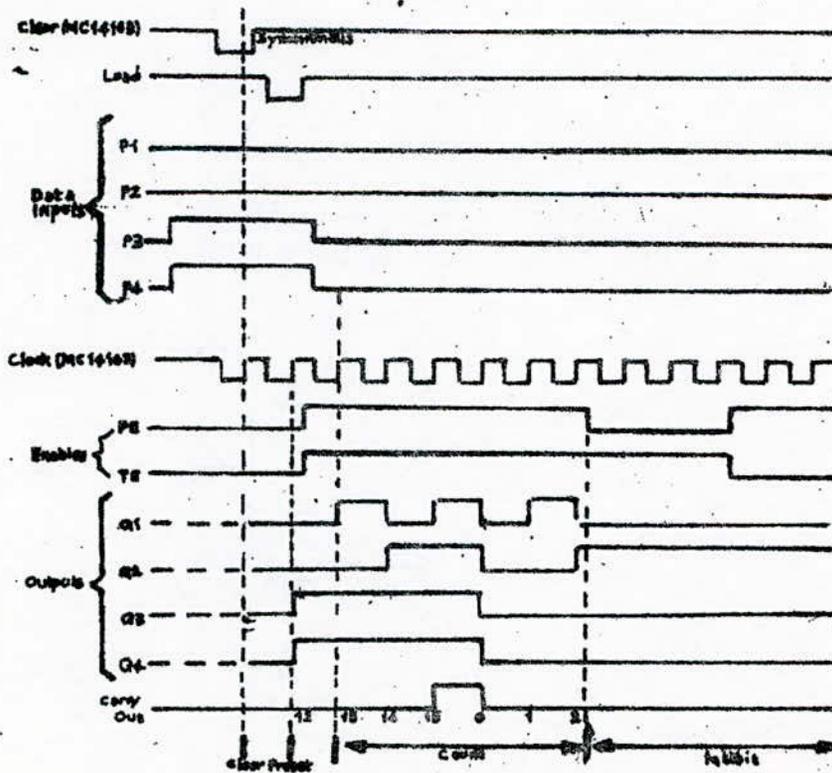
### Block Diagram



$V_{DD} = \text{Pin } 16$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 8$

FIG. 7 - Brochage du MC 14163 B

### TIMING DIAGRAM.



EPRoMs est commandé à travers une porte OU par des impulsions de 10  $\mu$ s délivrées par les deux monostables M<sub>4</sub> et M<sub>5</sub>, lesquels sont excités par les états de sortie de M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub> respectivement, de même que par l'impulsion de carry out du diviseur de fréquence.

#### IV- 2. 5. LE COMPARATEUR :

Une porte OU EXCLUSIF MC 14070 constitue le comparateur à l'entrée duquel se présentent la consigne provenant de l'EPRoM ainsi que la sortie de la logique à comparer à cette même consigne. La sortie de ce comparateur indiquera 0 toutes les fois que les deux valeurs à comparer sont égales.

#### IV- 2. 6. MEMORISATION :

Une bascule D MC 14275 sert à mémoriser une éventuelle anomalie.

La sortie du comparateur indique un "1" chaque fois que les deux valeurs à comparer ne coïncident pas.

Le passage de l'état 0 à l'état 1 traduisant cette anomalie exciterait alors l'horloge de la bascule D.

L'entrée D<sub>0</sub> mise à 1, est reproduite sur la sortie Q<sub>0</sub> au premier front montant de l'horloge, Q<sub>0</sub> restant à 0 tant qu'un front montant n'a pas été décelé. La validation de la sortie  $\overline{Q_0}$  permet donc d'associer un " 1 " à un bon fonctionnement de la logique et un " 0 " chaque fois qu'il y a une anomalie.  $\overline{Q_0}$  alimente donc une LED attestant donc d'un bon ou d'un mauvais fonctionnement selon qu'elle soit allumée ou éteinte.

#### IV- 3. TEST DU VOTEUR :

Sur la figure 8 est représenté le schéma du voteur, circuit transmettant l'ordre de chute des barres ou leur verrouillage quand deux ordres de logiques au moins concordent.

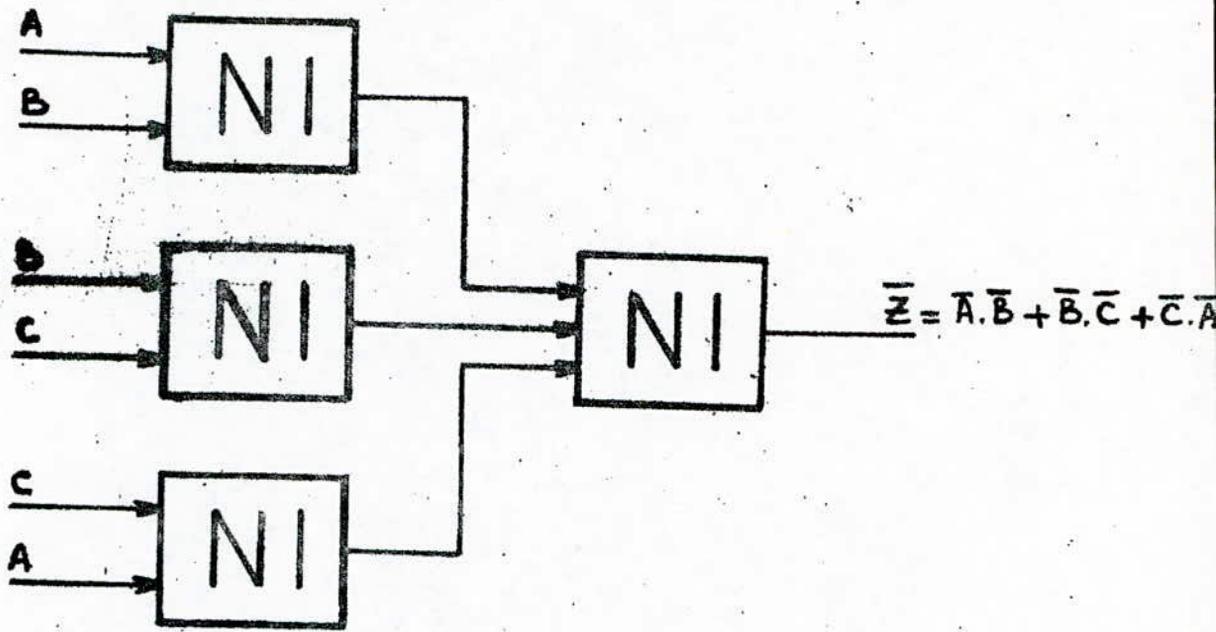


FIG. 8 - Circuit de coïncidence 2/3

A	B	C	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Table de vérité

Dans les structures des systèmes de protection, on remarque l'importance des organes de décisions ou voteurs, points de passage obligés de l'information. De leur bon fonctionnement dépend la sûreté et la disponibilité des installations à surveiller. On est amené, pour s'assurer d'une bonne sécurité, à associer au **voteur** un dispositif de test.

La sortie du voteur actionne directement l'électro-aimant d'embrayage du mécanisme des barres.

On désigne par " 1 " la sortie qui maintient les barres de contrôle et par " 0 " la sortie qui les fait chuter.

Si la mise à 0 de la sortie, qu'elle soit justifiée ou non, est dans le sens de la sécurité ( panne sûre ), une mise à " 1 " de la sortie doit être détectée rapidement.

Du fait de toutes ces considérations, le voteur doit être testé en continu ou du moins à une fréquence élevée pour détecter un défaut rapidement.

On applique le principe de test par comptage des transitions. Si l'on choisit la suite des mots de test à l'entrée, telle que la sortie change chaque fois sa valeur ( 0 ou 1 ), on peut compter les impulsions ou surveiller leur durée par un dispositif électronique ( chien de garde ).

On utilise trois bits d'un compteur pour générer la séquence de mots, mais il faut décoder ces trois bits pour présenter une suite de sorties voteur alternées.

Pas	Compteur			Décodeur			Sortie 2/3.
	A	B	C	a	b	c	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	1	0	1
3	0	1	0	0	1	0	0
4	0	1	1	0	1	1	1
5	1	0	0	1	0	0	0
6	1	0	1	1	0	1	1
7	1	1	0	0	0	1	0
8	1	1	1	1	1	1	1

Le schéma du décodeur est donné sur la figure 9.

L'envoi des mots est cadencé par une horloge.

Pour éviter le déclenchement du relai branché à la sortie, les configurations générant " 1 " à cette dernière doivent être présentes beaucoup plus longtemps que celles qui génèrent " 0 ". L'horloge agissant sur le compteur doit être asymétrique. Par l'introduction dans une porte ET de trois bits de poids plus forts d'un compteur à quatre bits et du signal de l'horloge primaire, une suite d'impulsions d'horloge asymétriques sont obtenues.

Il est à remarquer l'importance de l'initialisation du compteur générant les mots, pour qu'à la mise sous tension, le cycle à la sortie du vote soit dans la proportion voulue des " 0 " et des " 1 ". C'est pour cela qu'il est nécessaire que ce compteur soit excité par la première des deux impulsions du

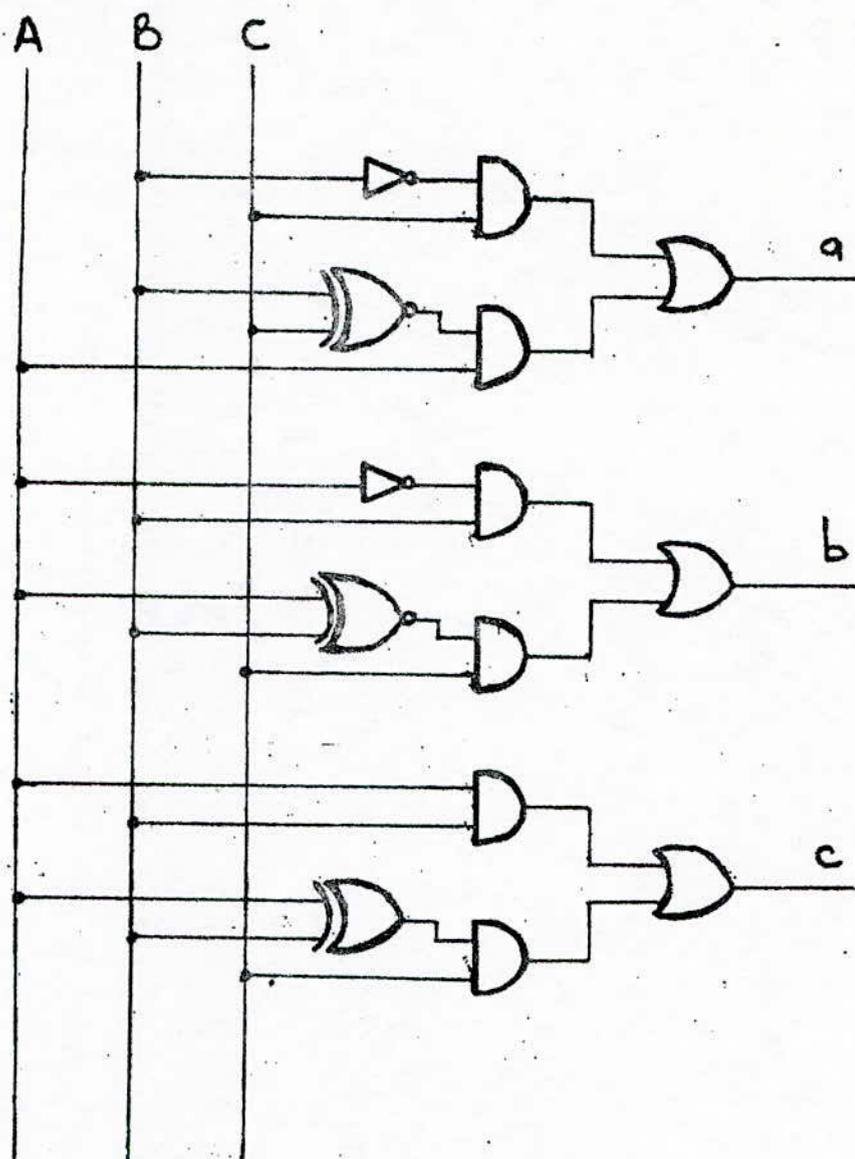


FIG. 9 - Décodeur du testeur du voteur -

signal d'horloge asymétrique, le risque dans le cas contraire est de voir le " 0 " présent plus longtemps que le " 1 " .

Les mots de test sont introduits dans le voteur par l'intermédiaire de portes ET. Pendant qu'une des sorties des <sup>logiques</sup> ~~calculateurs~~ est à 0 ( phase de test ou alarme ), il faut que les chiens de garde surveillant les transitions continues de voir la séquence normale. Dans ce cas, il reçoit un signal issu du bit de poids le plus fort du compteur générant les mots.

- Initialisation du compteur :

Un monostable excité par le front montant de la première des deux impulsions de l'horloge asymétrique constitue la remise à zéro du compteur.

Ce signal de R.A.Z. a une durée de 150 μs à l'état haut et 10 μs à l'état bas.

D'où les valeurs de R et C telles que  $Q = 150 \mu s$ .

$$R = 2 \text{ K}\Omega$$

$$C = 0.1 \mu F$$

- Chien de garde :

Ce dispositif qui est un monostable est destiné à surveiller l'alternance des états haut et bas.

Un monostable excité par le front ~~montant~~ <sup>descendant</sup> du signal à surveiller joue le rôle du chien de garde.

La durée du signal à la sortie de ce monostable a été fixée de façon telle qu'il demeure à " 1 " jusque juste avant l'arrivée du front ~~montant~~ <sup>descendant</sup> suivant

L

La durée du signal à la sortie du chien de garde est de 130 μs d'où :

$$R = 1.8 \text{ K}\Omega$$

$$C = 0.1 \mu F$$

Sur la figure IV- 3. sont représentés le voteur et son testeur. Le chronogramme du cycle de test est donné à la figure 10.

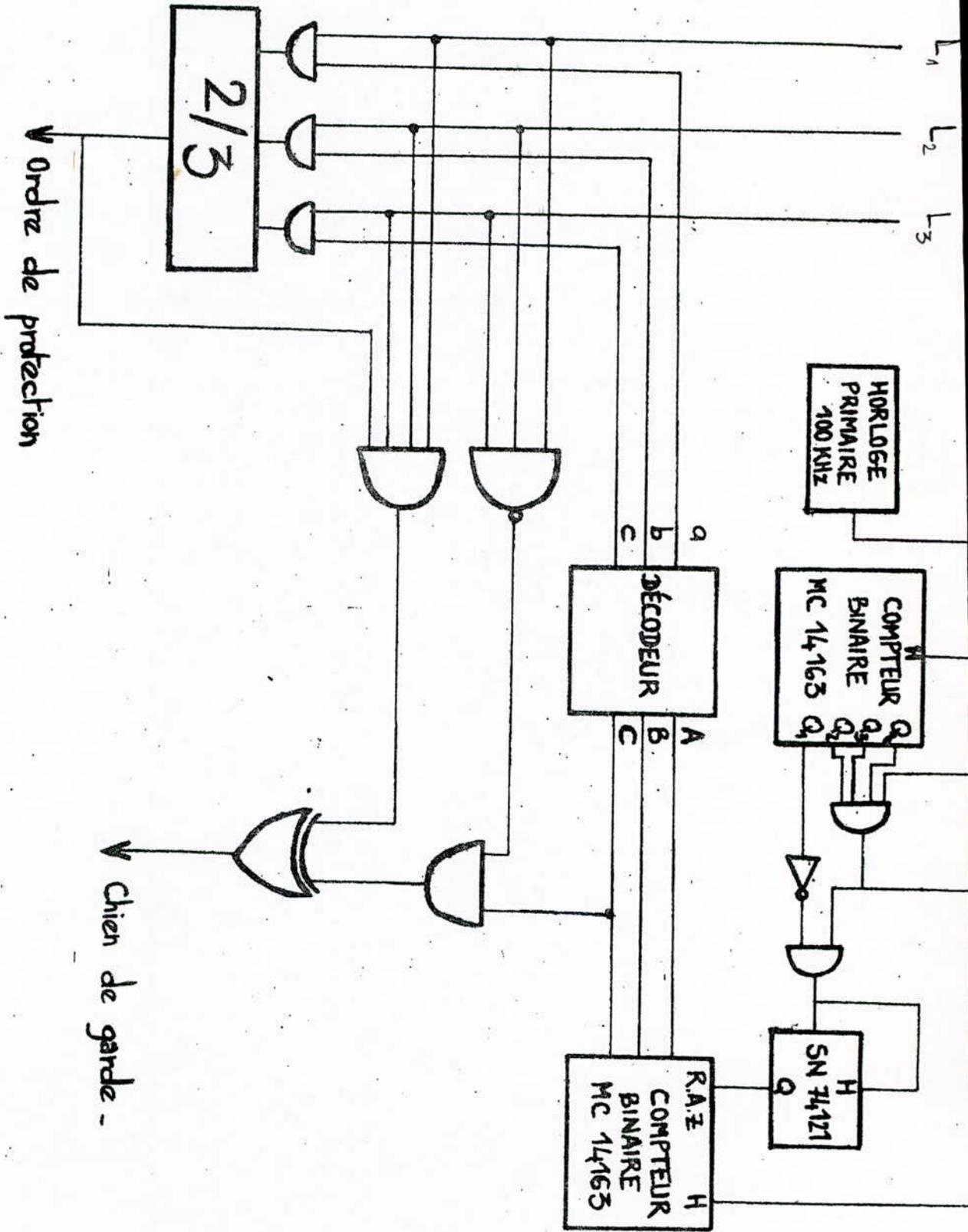


FIG. IV. 3 - Schéma de principe du voteur 2/3 et de son testeur.

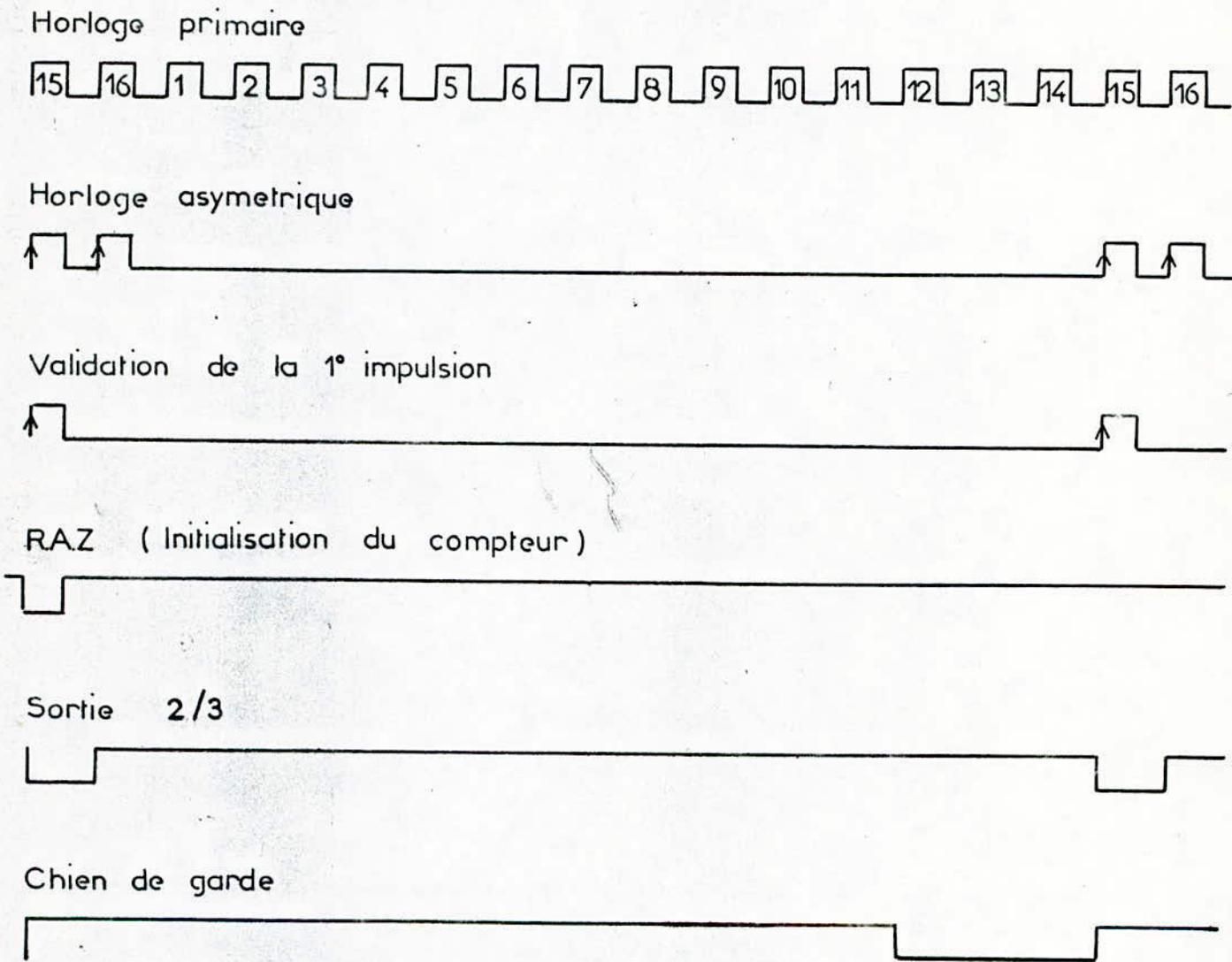


Fig 10 - Chronogramme de test du voteur -

#### IV- 4. TEST DES CHAINES DE MESURES :

Cette partie n'a été abordée qu'à titre d'approche.

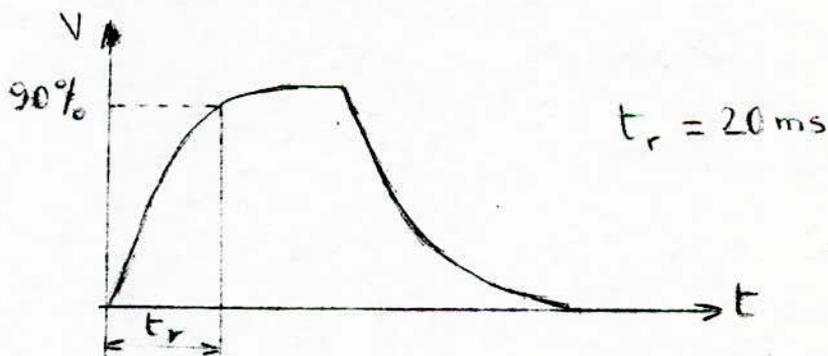
L'élaboration des circuits de test pour les chaînes de mesure nécessitent une connaissance très précise des caractéristiques électroniques de ces chaînes ( temps de réponse, conditions de connexion, alimentations utilisées, gamme de fonctionnement, seuils de déclenchements, ...)

Néanmoins, compte tenu de leur faible temps de réponse, seules les chaînes de sécurité ont été simulées sous forme de circuit de 1er. ordre ( circuit RC ).

Sur la base des courbes expérimentales donnant le temps de réponse des chaînes de sécurité en fonction de la puissance, et du fait que celles-ci ne sont prises en compte que sur un palier de haute puissance, nous avons pris un temps de réponse égal à 20 ms.

Ces dernières sont suivies de déclencheurs à base de triggers.

La réponse d'un circuit RC est de la forme :



$$t_r \approx 4 RC \quad \Rightarrow \quad RC = 5 \text{ ms.}$$

D'où le choix de  $R = 5,1 \text{ K}\Omega$  et  $C = 1 \mu\text{F}$ .

Les circuits RC sont testés par injection à leur entrée d'un échelon de tension de 100 ms, cette temporisation nous donnant toute latitude pour le test

des chaînes de sécurité. Cette impulsion d'entrée simule un état accidentel toutes les 10 s.

Les trois chaînes de sécurité sont testées successivement l'une après l'autre. Les signaux d'entrée sont fournis par trois monostables  $M_6$ ,  $M_8$  et  $M_{10}$ ,  $M_6$  étant excité par le front descendant de  $M_3$ , monostable relatif au test de la logique 3.

Pour éviter tout déclenchement intempestif, nous avons prévu deux autres monostables  $M_7$  et  $M_9$  insérés entre  $M_6$  et  $M_8$ , et  $M_8$  et  $M_{10}$ .

La réponse des circuits est surveillée par un monostable utilisé en chien de garde réglé sur 10 S. Le trigger est du type MC 14583 B ( figure 11 ). Son utilisation nécessite l'insertion de deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  de valeur :  
 $R_1 = R_2 = 4,7 \text{ K}\Omega$  pour fixer le niveau trigger.

#### IV- 5. TEST DES PORTES "ET" D'ENTREE DES LOGIQUES ET DU VOTEUR :

Les signaux de déclenchement de sécurité ainsi que les signaux de test sont introduits dans les logiques et dans le voteur à travers des portes, ET à deux entrées pour permettre le test sans bloquer une action possible de sécurité.

Les déclencheurs situés après les détecteurs sont censés traduire une action de sécurité par un niveau bas, une porte ET est justement sensible au niveau " 0 ", en ce sens qu'elle le reproduit toutes les fois qu'il se présente à l'une de ses entrées.

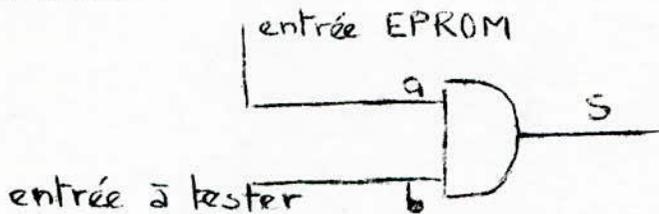
Du fait que l'action de chute se produit lorsqu'un "1" se présente

à l'une des entrées de l'organe de décision qui lui est associé ( porte OU ), nous avons prévu des portes inverseuses à la suite des déclencheurs intervenant dans cette action.

Les portes ET sont placées avant ces portes inverseuses, de façon telle qu'elles reçoivent un signal provenant directement des déclencheurs, manifestant une action allant dans le sens de la sécurité ( panne sûre ) par un niveau " 0 ".

L'insertion de ces portes ET a pour seul inconvénient le non test actif de l'entrée des portes utilisée pour le déclenchement de sécurité.

Pour pallier cet inconvénient, il est possible d'utiliser un test passif, à savoir surveiller chaque porte par un circuit, sur la base du raisonnement. suivant :



a	b	S	S <sub>L</sub>	
x	0	0	1	bon fonctionnement
x	1	x	1	bon fonctionnement
x	0	1	0	mauvais fonctionnement

Le test consiste à vérifier que lorsqu'un " 0 " est présent sur l'entrée à tester ( b = 0 ), un " 0 " est également présent sur la sortie S de la porte ET. La sortie S<sub>L</sub> du circuit logique de test se met alors à " 1 " pour attester d'un bon fonctionnement.

Dans le cas contraire, c'est à dire b = 0 et S = 1, la sortie S<sub>L</sub> se met à " 0 " attestant ainsi d'un mauvais fonctionnement.

Sur la figure IV- 5., nous avons représenté le circuit de test de porte ET.

Il est à noter que pour des contraintes matérielles, nous n'avons pris pris

ab \ s	0	1
00	1	0
01	1	0
11	0	1
10	1	0
$S_L$	$S_L = \bar{s} + b$	

entrée test actif

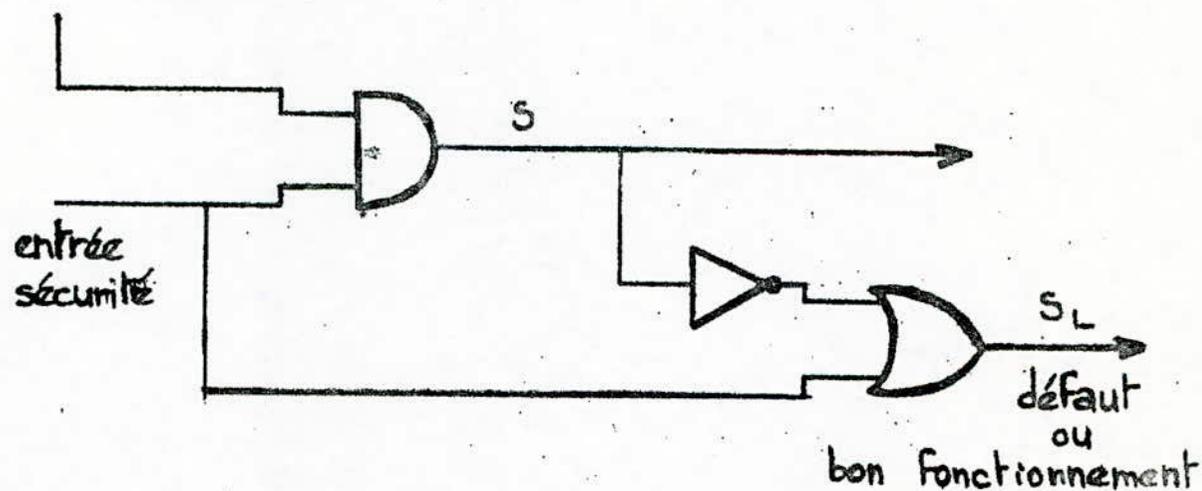


FIG. II.5 - Circuit de test des portes ET -

en compte que le test des portes ET relatives aux chaînes de sécurité et au voteur.

#### IV- 6. STRUCTURE ET ORGANISATION DES DIFFERENTES CARTES :

Pour des raisons d'encombrement, il ne nous a pas été permis d'organiser nos cartes comme indiqué sur le schéma fonctionnel. Nous avons dû en effet répartir les cartes de la façon suivante :

- 1 carte de test des différentes logiques.
- 3 Cartes relatives aux trois logiques redondantes..
- 3 cartes relatives chacune aux entrées des diverses logiques, à la surveillance des chaînes de sécurité et au test des porte ET de ces mêmes chaînes.
- 1 carte relative au voteur et à son testeur .

Tous les paramètres de déclenchement commandant les ordres de protection ont été simulés par des interrupteurs situés sur la face avant du dispositif.

#### IV- 7. DISPOSITIF DE VISUALISATION :

Sur la face avant de notre dispositif, nous avons prévu les LED de couleur verte pour visualiser les états de bon fonctionnement des 3 chaînes de sécurité, des portes d'entrées recevant les états de déclenchement de ces mêmes chaînes, des 3 logiques, du voteur ainsi que de ses 3 portes d'entrée.

Les actions de déverrouillage de chaque logique et de chute, sont visualisées grâce à des LED ( vertes pour le déverrouillage, rouge pour la chute ).

Aux interrupteurs de simulation des états de déclenchements des différentes entrées des logiques, sont également associées des LED de couleur jaune.

#### Alimentation des LED :

Généralement, et en utilisation continue les LED rouges ont un courant de fonctionnement de 10 mA et les vertes et les jaunes de 20 mA. Les courants en sortie des circuits intégrés de technologie MOS ou TTL de faible intensité sont insuffisants pour pouvoir alimenter ces LED. C'est pour cela qu'il est nécessaire de les amplifier grâce à des transistors montés en collecteur commun.

#### IV- 8. ALIMENTATION :

Etant donné l'utilisation de circuits de technologie TTL ( mono-stable SN 74121 - portes inverseuses SN 7404 ), nous nous sommes vues contraintes d'utiliser une alimentation délivrant 5 V.

Nous avons prévu, moyennant des interrupteurs, une alimentation indépendante pour chaque groupe fonctionnel à savoir :

- chacune des cartes de logique + la carte des portes ET et surveillance des chaînes de sécurité,
- la carte du voteur + son testeur,
- la carte de test.

Ceci pour simuler une organisation redondante totale.

## CONCLUSION .

Le travail que nous avons effectué est une première approche pour la protection d'un réacteur nucléaire expérimental.

3 L'appareil que nous avons réalisé constitue une maquette d'étude de fiabilité des matériels constituant le dispositif logique de protection que nous avons adopté.

Cette maquette va permettre de mettre en évidence expérimentalement certaines situations non prévues au cours de l'élaboration théorique, et donc d'inventorier des cas de pannes non détectables par les circuits de test.

Ces circuits de test nous ont été d'une grande utilité pour la mise au point de notre dispositif.

C'est ainsi que nous avons pu mettre en évidence, grâce au dispositif de visualisation :

- un défaut au niveau du décodeur relatif au voteur,
- un défaut de test au niveau des portes d'entrée des logiques.

Notre dispositif constitue un maillon du système global de protection d'un réacteur.

L'association à notre appareil, une fois la mise en évidence de toute panne non prévue théoriquement, de l'ensemble des chaînes de mesure que nous avons simulées, constituera certainement un système de protection d'un niveau de confiance satisfaisant.

La réalisation de l'ensemble de ces chaînes pourrait en fait faire l'objet de prochains projets à étudier.

E R R A T A

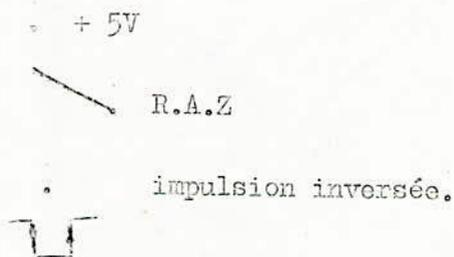
R.A.Z du compteur (Par. IV.3) page 54).

Les tests nous ont permis de mettre en évidence le fait que la R.A.Z du compteur était impossible à réaliser avec un monostable.

L'initialisation a été finalement possible grâce à l'utilisation d'un interrupteur à deux positions.

Dès la mise sous tension le compteur doit commencer à compter zéro puis continuer le comptage normalement.

La première des 2 impulsions inversée de l'horloge asymétrique remet à zéro le compteur, après cette initialisation, il devra continuer le comptage par la mise à un de l'Impulsion R.A.Z.



A N N E X E.

CONFIGURATIONS

PROGRAMME EPROM.

$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$A_1$	$A_2$	$C$	$\bar{e}_6$	$\bar{e}_7$	$\bar{e}_8$	$\bar{e}_9$	$\bar{e}_{10}$	$\bar{e}_{11}$	$\bar{e}_{12}$	$A_3$	Ecriture hexadécimale	
0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	06EC	
0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0EEC	
0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	16EC	
0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1EEC	
0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	26EC	
0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	2EEC	
0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	36EC	
0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	3EEC	
0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	46EC	
0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	4EEC	
0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	56EC	
0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	5EEC	
0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	66EC	
0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	6EEC	
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	77EC	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	7FEC	
1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	86EC	
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	8FEC	
1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	96EC	
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	9FEC	
1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	AGEC	
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	AFEC	
1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	B6EC	
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	BFEC	
1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	C6EC	
1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	CFEC	
1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	D6EC	
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	DFEC	
1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	EGEC	
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	EFEC	
1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	F7EC	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	FFEC	
0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	72EC	
0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	74EC	
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8FFE	
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8FFC	
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	8FFA	
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	8FFB	
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	8FF6	
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	8FF4	
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	8FF2	
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	8FF0	
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	8FEE
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	8FEC
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	8FEA
1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	8FE8
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	8FEE



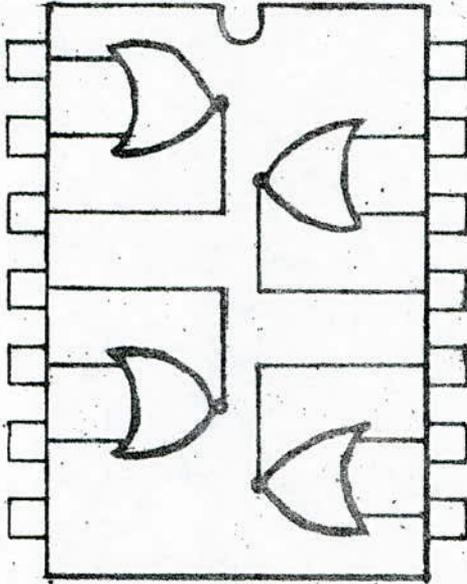
$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$A_1$	$A_2$	$C$	$\bar{e}_6$	$\bar{e}_7$	$\bar{e}_8$	$\bar{e}_9$	$\bar{e}_{10}$	$\bar{e}_{11}$	$\bar{e}_{12}$	$A_3$	Epitrite headdecimale.
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	8E7E
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	8E7C
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	8E7A
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	8E78
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	8E76
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	8E74
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	8E72
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	8E70
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	8E6E
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	8E6C
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	8E6A
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	8E68
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	8E66
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	8E64
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	8E62
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	8E60
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	8E5E
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	8E5C
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	8E5A
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	8E58
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	8E56
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	8E54
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	8E52
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	8E50
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	8E4E
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	8E4C
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	8E4A
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	8E48
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E46
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E44
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E42
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E40
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E3E
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E3C
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E3A
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E38
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E36
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E34
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E32
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E30
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E2E
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E2C
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E2A
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E28
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E26
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E24
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E22
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E20
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E1E
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E1C
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E1A
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E18
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E16
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E14
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E12
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E10
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E0E
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E0C
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E0A
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E08
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E06
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E04
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E02
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8E00

$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$A_1$	$A_2$	$C$	$\bar{e}_6$	$\bar{e}_7$	$\bar{e}_8$	$\bar{e}_9$	$\bar{e}_{10}$	$\bar{e}_{11}$	$\bar{e}_{12}$	$A_3$	Ecriture hexadécimale
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	8E16
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	8E14
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	8E12
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8E10
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	8E0E
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	8E0C
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	8E0A
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8E08
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	8E06
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8E04
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8E02
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8E00
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	77FE
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	77FC
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	77FA
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	76F8
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	77F6
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76F4
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	76F2
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76F0
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	77EE
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	77EC
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	77EA
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76E8
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76E6
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76E4
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76E2
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76E0
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	76DE
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76DC
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76DA
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76D8
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76D6
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76D4
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76D2
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76D0
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	76CE
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76CC
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76CA
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76C8
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76C6
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76C4
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76C2
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76C0
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	76BE
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76BC
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76BA
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76B8
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76B6
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76B4
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76B2
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	76B0



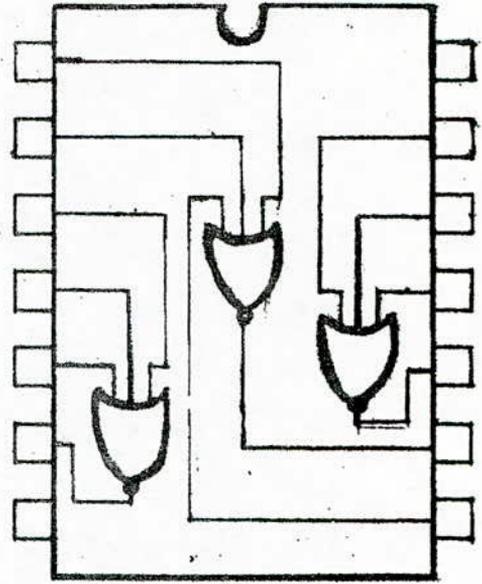


MC 14001



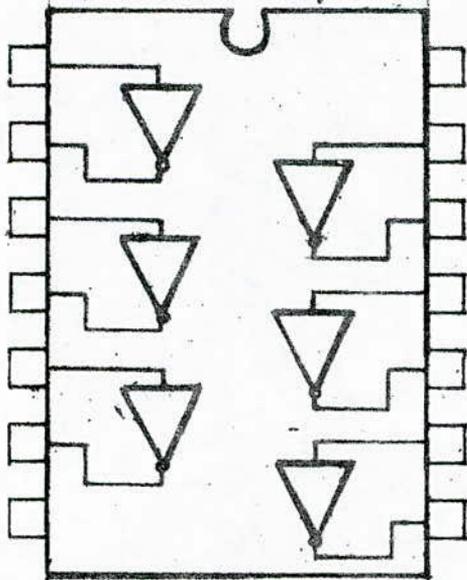
$V_{DD} = \text{Pin } 14$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 7$

MC 14025



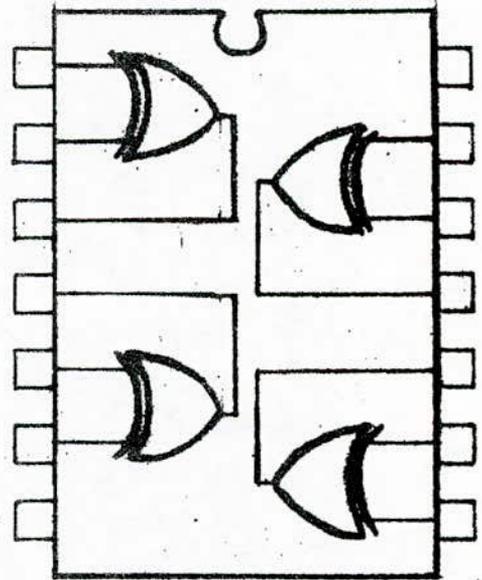
$V_{DD} = \text{Pin } 14$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 7$

MC 14069



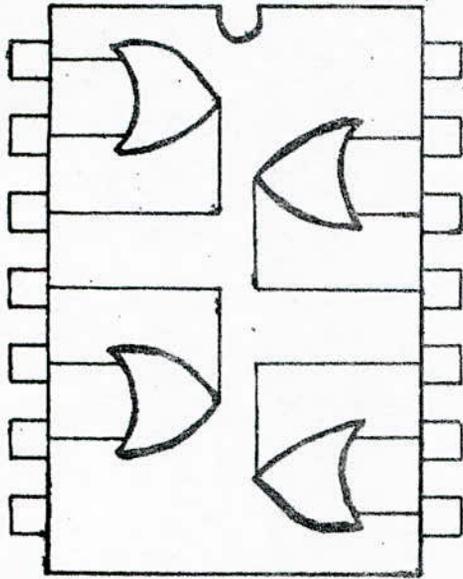
$V_{DD} = \text{Pin } 14$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 7$

MC 14070



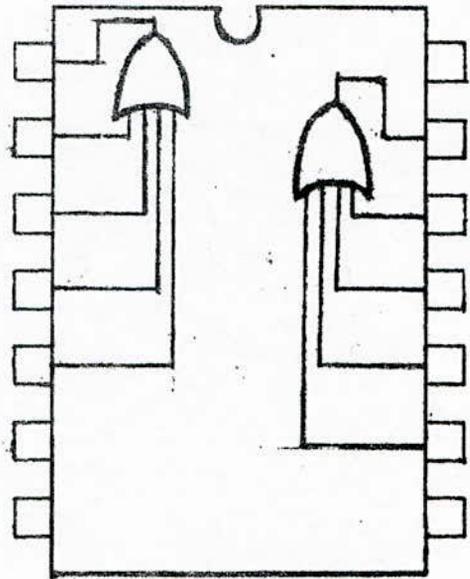
$V_{DD} = \text{Pin } 14$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 7$

MC 14071



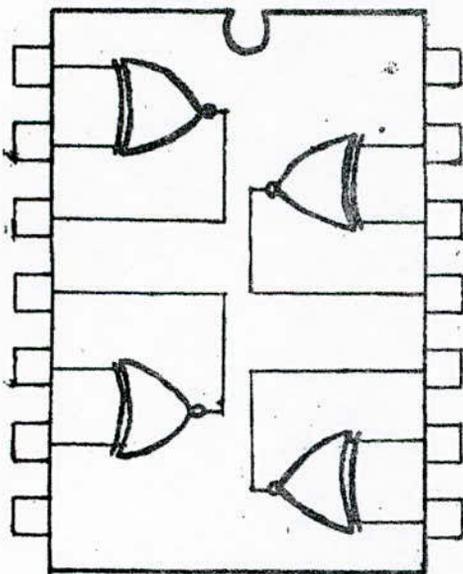
$V_{DD} = \text{Pin } 14$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 7$

MC 14072



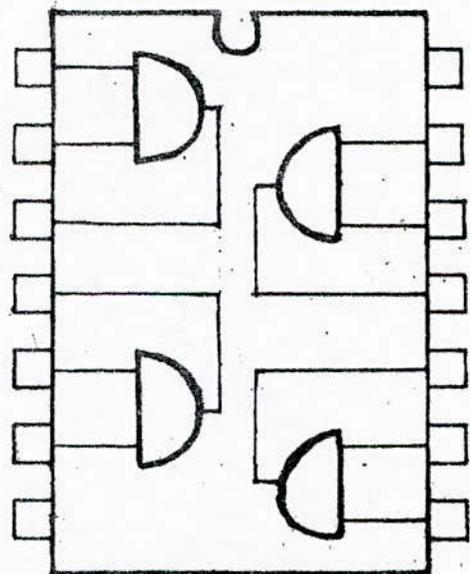
$V_{DD} = \text{Pin } 14$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 7$

MC 14077



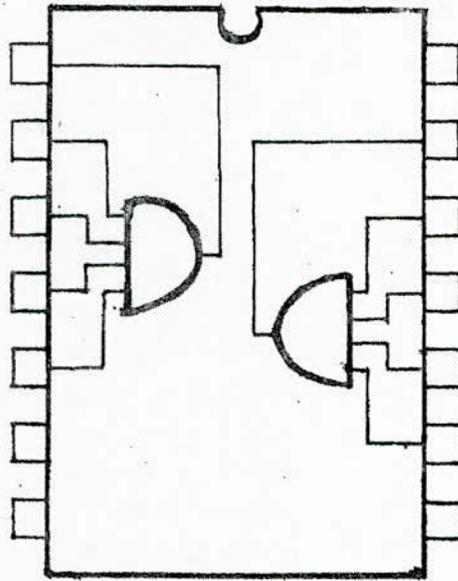
$V_{DD} = \text{Pin } 14$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 7$

MC 14081



$V_{DD} = \text{Pin } 14$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 7$

# MC 14082



$V_{DD} = \text{Pin } 14$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 7$

# MC 14175 B

QUAD TYPE D FLIP-FLOP

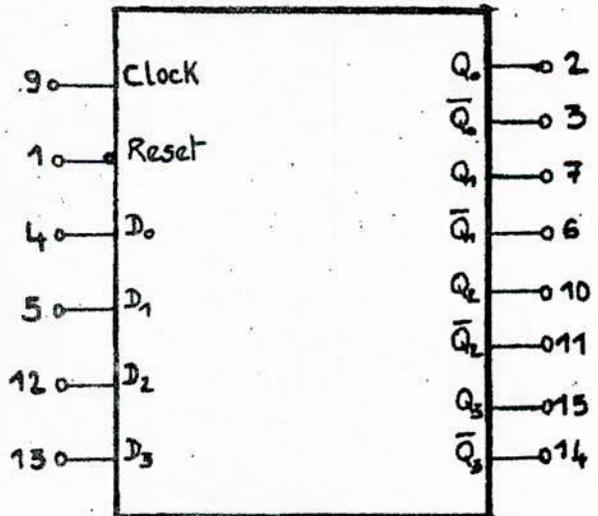
BLOCK DIAGRAM

TRUTH TABLE  
 (Positive Logic)

INPUTS			OUTPUTS	
Clock	Data	Reset	Q	$\bar{Q}$
	0	1	0	1
	1	1	1	0
	X	1	Q	$\bar{Q}$
X	X	0	0	1

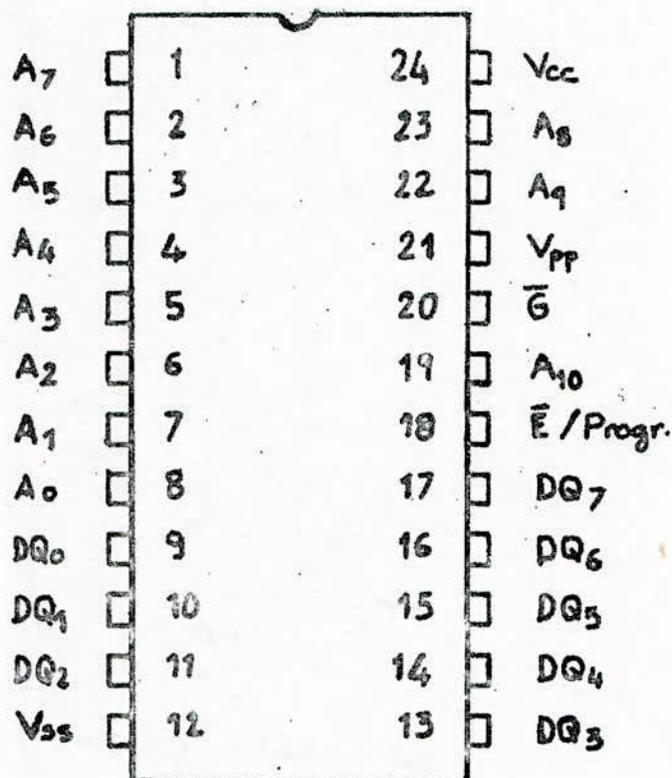
No change

X = Don't care



$V_{DD} = \text{Pin } 16$   
 $V_{SS} = \text{Pin } 8$

## MC 2716



### Caractéristiques

Tension d'alimentation (V <sub>CC</sub> )	+ 5V
Faible dissipation : mode actif	285 mW
mode attente	30 mW
Courant durant l'impulsion de programmation	30 mA
Courant consommé en mode attente	25 mA max
Courant consommé en mode actif	100 mA max

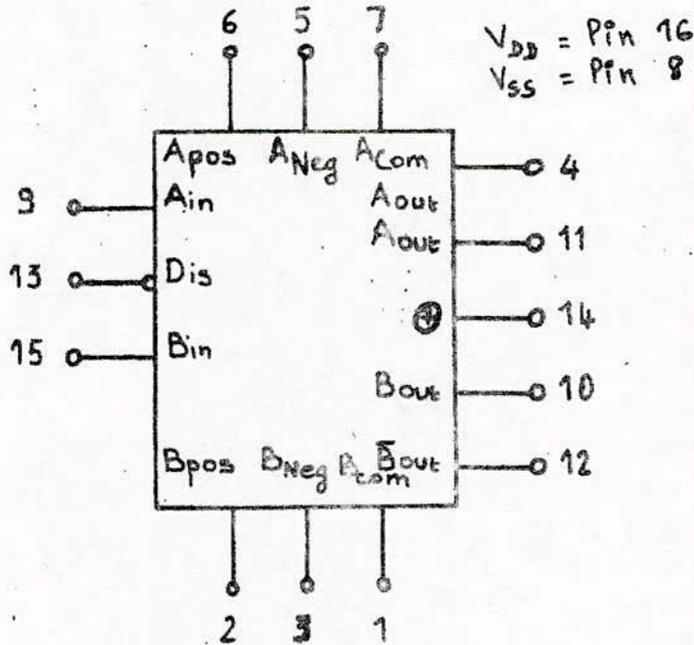
### Nom des broches

A <sub>0</sub> -- A <sub>7</sub> -- A <sub>10</sub>	entrées adresses
DQ <sub>0</sub> - DQ <sub>7</sub>	entrées/sorties données
$\bar{E}/\text{Prog}$	Validation / Programme
$\bar{G}$	Validation des sorties

# MC 14583 B

## DUAL SCHMITT TRIGGER

### BLOCK DIAGRAM



### TRUTH TABLE

INPUTS			OUTPUTS				
A	B	Dis	A <sub>out</sub>	$\overline{A}_{out}$	B <sub>out</sub>	$\overline{B}_{out}$	⊕
0	0	0	0	R	0	R	0
0	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	0	R	1	R	1
0	1	1	0	1	1	0	1
1	0	0	1	R	0	R	1
1	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	R	1	R	0
1	1	1	1	0	1	0	0

$R =$  High resistance at output.

B I B L I O G R A P H I E

- *Contrôle et électronique des réacteurs nucléaires.* J.FURET MASSON et C<sup>ie</sup> éditeurs - 1968
  
- *Sécurité des réactions nucléaires.* J.FURET Automatismes TOME XV. N<sup>os</sup> 7, B JUILLET - AOUT 1970
  
- *Système logique à haute sûreté de fonctionnement.* Thèse : M. DOMINIQUE LALLEMENT SEPT 1979  
*Evaluation d'une solution programmée multiprocesseurs.*  
*Application dans le domaine de la sûreté des réacteurs nucléaires.*
  
- *Rapport de sûreté de siloc (CENG)* Rapport C.E.A N<sup>o</sup> 2307 2<sup>e</sup> volume année 1963
  
- *Génie atomique* TOME I
  
- " " TOME II
  
- *L'industrie devant l'énergie nucléaire.* Publie par l'Agence Européenne de productivité de l'ORGANISATION EUROPEENNE DE COOPERATION ECONOMIQUE. PARIS , AVRIL 1957
  
- *Semi conductor data library CMOS . MOTOROLA 5/series B*
- *PHILIPS DATA HANDBOOK signetics integrated circuits 1978 Logic .TTL*

