

4/85

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

الوزارة للتعليم و البحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHÈQUE

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

# PROJET DE FIN D'ÉTUDES

### S U J E T

ÉTUDE ET RÉALISATION

D'UN PÉRIODEMÈTRE NUMÉRIQUE

POUR LE DÉMARRAGE DES

RÉACTEURS NUCLÉAIRES

Proposé par :

M. REZIG

Étudié par :

L. BELABED

N. AID

Dirigé par :

M. REZIG

PROMOTION : Janvier 1985

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

ETUDE ET REALISATION

D'UN PERIODEMETRE NUMERIQUE

POUR LE DEMARRAGE DES

REACTEURS NUCLEAIRES

Proposé par :

M. REZIG

Etudié par :

L. BELABED

N. AID

Dirigé par :

M. REZIG

PROMOTION : Janvier 1985

A MON PERE

A MA MERE

A MES FRERES ET SOEURS

A TOUS MES AMIS

L . BELABED

A LA MEMOIRE DE MON PERE

A MA MERE

A MES FRERES ET SOEURS

A TOUS MES AMIS

N . AID

## REMERCIEMENTS

Au moment où notre travail prend fin, nous adressons nos remerciements à Monsieur BETTAYEB , chef du laboratoire " Instrumentation et contrôle " d'avoir bien voulu nous accueillir au sein de la division CDCE du CEN .

Nous remercions vivement Monsieur M. REZIG , notre promoteur, pour ses conseils et sa disponibilité tout au long de ce projet.

Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre sincère gratitude.

Nos remerciements vont également à Mademoiselle BOUIRI qui a bien voulu nous aider dans la frappe de ce texte.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet soient remerciés.

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	-1-
I- Fonctionnement d'un réacteur nucléaire	-2-
1. Définition	-2-
1-1. Principe de la réaction en chaîne	-4-
1-2. Neutrons prompts et neutrons retardés	-4-
1-3. Facteur de multiplication	-6-
a- Définition	-6-
b- Expression du facteur de multiplication	-7-
2- Puissance et flux neutronique	-7-
a- Puissance neutronique	-8-
b- Flux neutronique	-8-
3- Cinétique des réacteurs nucléaires	-9-
3-1. Réactivité	-9-
3-2. Période	-10-
3-3. Influence des neutrons sur la période	-11-
a- Neutrons prompts	-11-
b- Neutrons retardés	-11-
3-4. Equation cinétique	-13-
3-5. Effets intervenants sur la période	-14-
II- Présentation du périodemètre	-17-
1. Introduction	-17-
2. Ensemble périodemètre	-17-
3. Aspect statistique du taux de comptage	-20-
4. Périodemètre numérique	-21-
4-1. Définition	-21-
4-2. Principe de fonctionnement	-21-
4-3. Choix des paramètres liés à la mesure de T	-23-
4-4. Caractéristiques	-23-

III- Réalisation	-26-
Introduction	-26-
1. Fonctionnement du système	-26-
2. Architecture du système	-27-
3. Partie centrale	-27-
3-1 Le monostable et l'amplificateur	-30-
3-2 L'échelle de comptage	-32-
3-3 Le comparateur	-32-
3-4 Les mémoires	-35-
3-5 L'additionneur	-35-
3-6 Les portes	-38-
4. Partie synchronisation	-38-
4-1 L'horloge	-38-
4-2 Le compteur-décodeur	-42-
4-3 Les monostables	-42-
4-4 Les bascules	-44-
4-5 Commande manuelle d'initialisation	-44-
5. Partie comptage et visualisation	-46-
5-1 L'échelle de comptage des temps	-46-
5-2 Le dispositif de visualisation	-46-
5-2.1 Décodeur BCD 7 segments	-49-
5-2.2 Afficheurs 7 segments	-49-
CONCLUSION	-52-
BIBLIOGRAPHIE	-53-

## Introduction

L'utilisation d'un réacteur nucléaire pour la recherche scientifique ou la production d'énergie , nécessite l'emploi d'un système permettant le contrôle de la réaction de fission en chaîne qui se produit dans le coeur du réacteur.

Son contrôle peut être assuré par la connaissance de l'évolution , au cours du temps , de la puissance neutronique du réacteur.

La mesure de la période ( constante de temps ) du réacteur nucléaire permet de connaître la vitesse de cette évolution à chaque instant et par conséquent le contrôle et la sécurité de celui-ci. Cette mesure est obtenue par le traitement des impulsions délivrées par le circuit de mise en forme .

Le but de notre projet est l'étude et la réalisation d'un périodemètre numérique , destiné à la surveillance de l'évolution de la puissance neutronique d'un réacteur nucléaire pendant sa phase de démarrage.

Notre étude comporte trois chapitres :

- Le premier décrit le fonctionnement d'un réacteur nucléaire par la mise en équations de différents paramètres qui le caractérisent tels que la réactivité, la période, la puissance neutronique.

- Le second se rapporte à la présentation du système et ses caractéristiques ainsi que le problème de fluctuation des impulsions dues aux phénomènes <sup>aléatoires</sup> des réactions de fission en chaîne.

- Le troisième est consacré à la réalisation de notre système et la description de chaque bloc, ainsi que les schémas des différents circuits , qui le constitue.

## I - Fonctionnement d'un réacteur nucléaire

### I - Définition

Un réacteur nucléaire peut être défini comme étant un ensemble où l'on peut déclencher, maintenir, contrôler la réaction de fission en chaîne.

Les éléments constitutifs d'un réacteur nucléaire sont: ( figure I - 1 )

- Le coeur : constitué le plus souvent de matériaux combustibles tel que l'Uranium, le Plutonium, le Thorium qui sont sous forme de barreaux ou de plaques.

C'est bien entendu dans cette partie que se produit la réaction de fission en chaîne.

- Le modérateur : permet de ralentir les neutrons rapides émis lors des fissions. Le plus souvent on utilise, du graphite, eau lourde, eau légère, beryllium ou tout corps constitué d'éléments légers.

- Le matériau réflecteur : réduit la probabilité de fuites neutroniques du coeur.

- Les barres de contrôle : faites de matériaux absorbeurs de neutrons et permettent le contrôle de la réaction de fission en chaîne.

- La protection biologique : le matériau de base est généralement le béton lourd, destiné à protéger le milieu extérieur ( personnes etc ..... ) des rayonnements ionisants liés à la réaction en chaîne.

- Le fluide réfrigérant : sert à évacuer la chaleur produite dans le coeur et à la transmettre par l'intermédiaire d'un échangeur au circuit vapeur qui actionne un groupe turbo-alternateur.

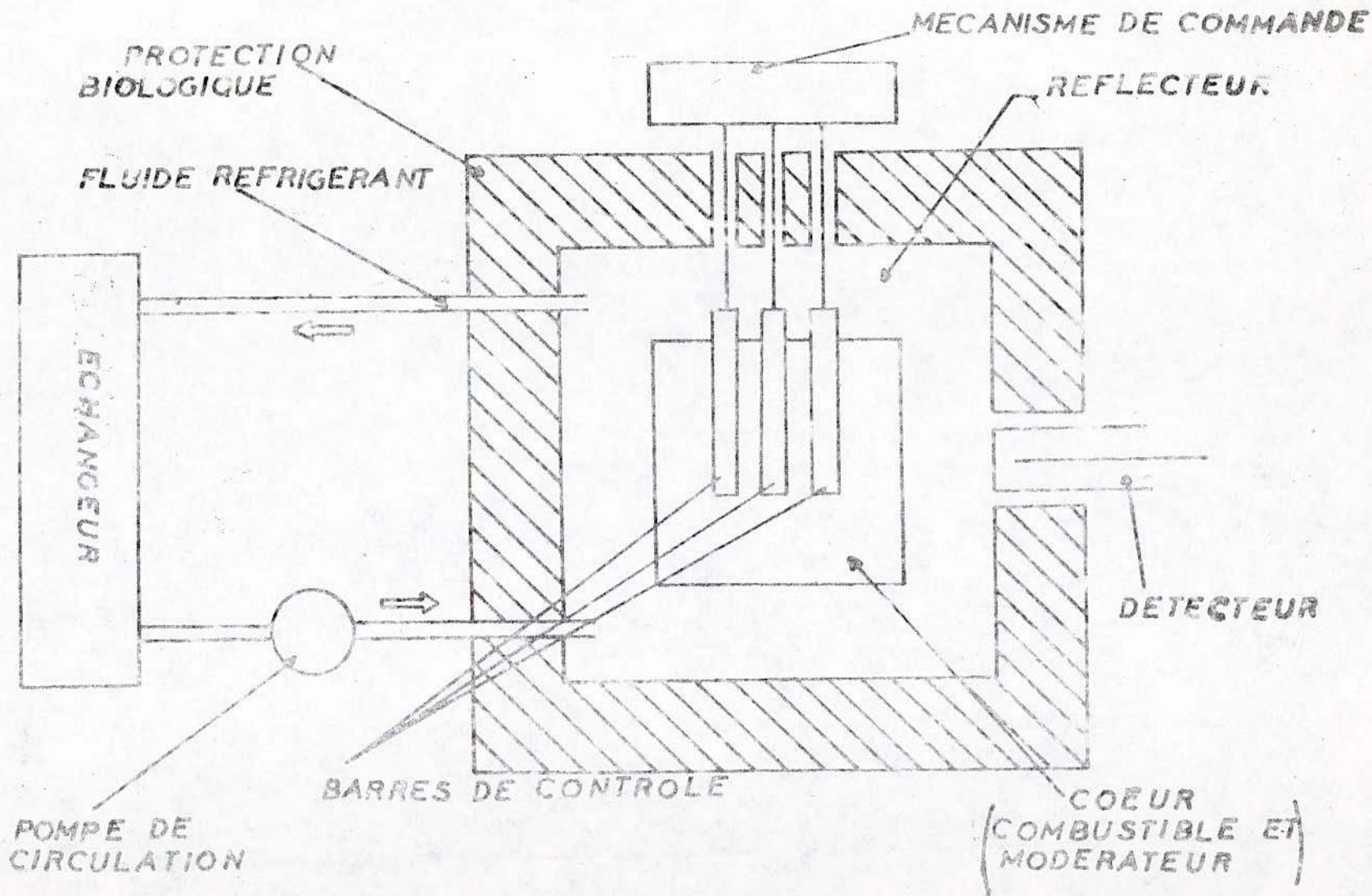


FIGURE -I-1. SCHEMA DE PRINCIPE D'UN REACTEUR NUCLEAIRE

Une pompe de circulation est souvent nécessaire pour faire circuler le fluide réfrigérant dans le circuit coeur - échangeur

### I - 1.1 : Principe de la réaction en chaîne

L'interaction particulière entre un neutron et un noyau est appelée réaction de fission. Ce type d'interaction n'est possible que pour certains noyaux de poids atomique élevé.

Chaque fission ou cassure d'un noyau d'uranium 235 (matériau fissile présent dans une proportion de 0,7% dans l'uranium naturel, le reste étant l'uranium 238) sous l'action d'un neutron incident engendre deux à trois neutrons rapides, et un dégagement d'énergie très important accompagne la fission. Ces neutrons émis peuvent : (figure I. 2)

- entraîner la fission d'autres noyaux et donc émission d'autres neutrons et ainsi se crée une réaction en chaîne.
- être absorbés par les matériaux qui constituent le coeur du réacteur
- fuir du coeur à tous les niveaux d'énergie.

L'énergie des neutrons émis lors de la fission étant élevée, ils sont appelés neutrons rapides. Il est très souvent nécessaire de les ralentir, pour l'entretien de la réaction en chaîne, au moyen d'un matériau appelé modérateur.

La capture des neutrons en cours du ralentissement par l'uranium 238 est appelée trappe et donne lieu à la formation du plutonium 239.

### I - 1.2 : Neutrons prompts et neutrons retardés :

Les neutrons libérés à chaque fission sont classés en neutrons prompts et neutrons retardés.

Les neutrons prompts sont émis immédiatement après la fission, dans

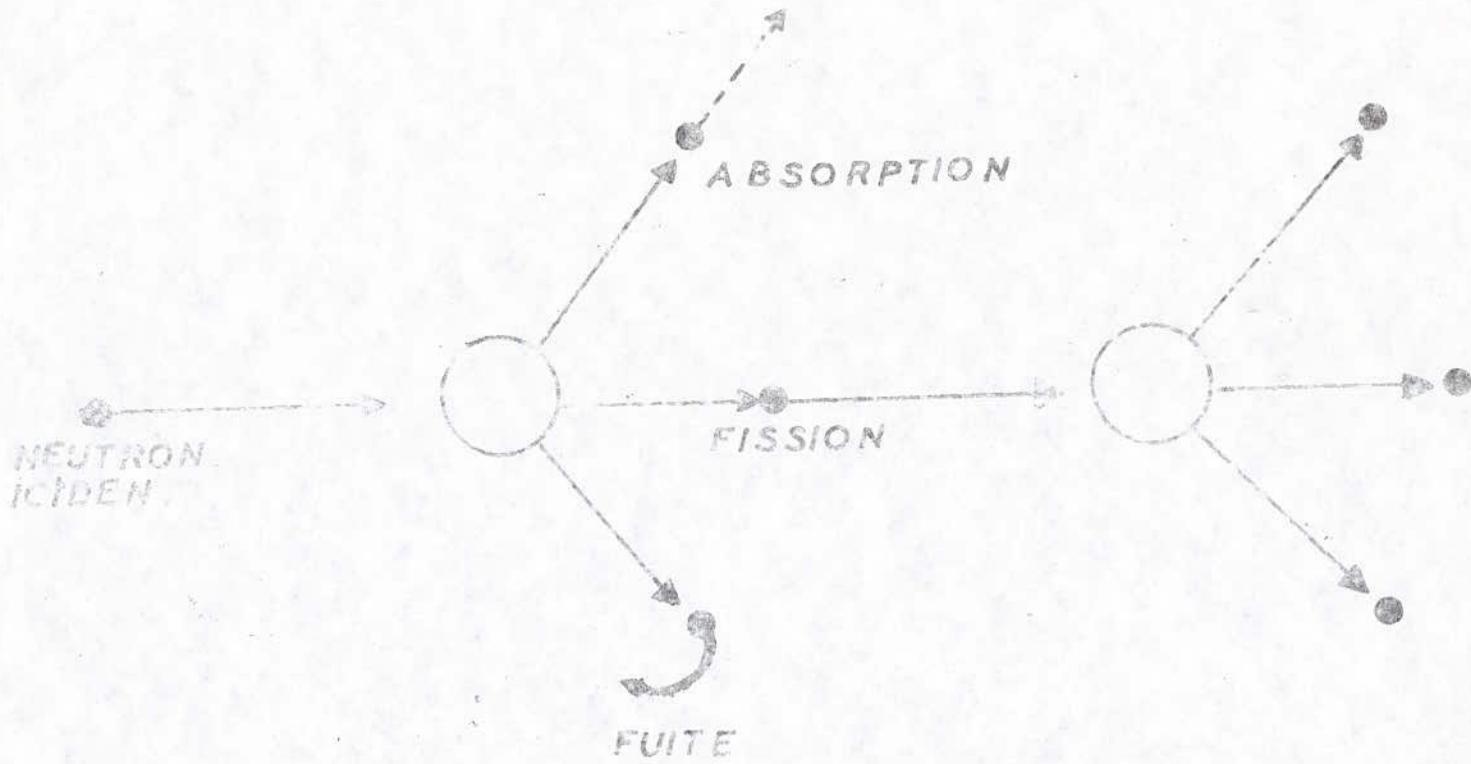


FIGURE I-2 . REACTION EN CHAINE

un temps de l'ordre de  $10^{-14}$  secondes.

Les neutrons retardés apparaissent après la fission avec des retards de plusieurs secondes. Ils sont dans une proportion de l'ordre 1/100 du nombre de neutrons émis à chaque fission.

Ils sont émis lors de la désintégration par radioactivité  $\beta$  de certains produits de fission tels que  $B^{67}$ ,  $I^{137}$ ,  $I^{139}$  ... 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.

### I - 1.3 : Facteur de multiplication

#### a - Définition :

Pour l'entretien et l'équilibre de la réaction de fission en chaîne un facteur prédominant est à prendre en considération : c'est le facteur de multiplication  $K$ .

Nous pouvons le définir comme étant le rapport du nombre de neutrons d'une génération, au nombre de neutrons de la génération précédente.

$$K = \frac{\text{Nombre de neutrons d'une génération } i}{\text{Nombre de neutrons d'une génération } i-1}$$

Trois cas peuvent se présenter :

-  $K > 1$  le nombre de neutrons croit rapidement d'une génération à une autre. La réaction en chaîne est divergente, c'est l'état surcritique .

-  $K = 1$  le nombre de neutrons est constant au cours des générations.

La réaction s'entretient d'elle-même, c'est l'état critique.

-  $K < 1$  le nombre de neutrons diminue d'une génération à une autre.

La réaction en chaîne est convergente, c'est l'état sous-critique.

#### b - Expression du Facteur de multiplication

On suppose que le milieu où se produisent les réactions de fission est infini, c'est-à-dire sans fuites de neutrons. Soit,  $\eta$  le nombre moyen de neutrons de fission produits par capture d'un neutron thermique dans le matériau combustible.

Si on considère  $n$  neutrons thermiques capturés dans le combustible, ils produisent en moyen  $n\eta$  neutrons de fission. Ces neutrons produits, d'énergie supérieure à un Mev peuvent provoquer la fission de  $L'U^{238}$  et de  $L'U^{235}$ .

L'excédent de neutrons dus à ces fissions est pris en compte par l'introduction du facteur de fission rapide  $\epsilon$ , qui est le rapport entre le nombre de neutrons au début du ralentissement et le nombre total de neutrons produit par les neutrons thermiques.  $\epsilon$  vaut environ 1,03.

Le nombre de neutrons de fission devient  $n\eta\epsilon$ .

Au cours de leur ralentissement dans le modérateur, certains neutrons sont absorbés de façon stérile, par capture résonnante de  $L'U^{238}$ .

La probabilité pour que le neutron échappe à la trappe de  $L'U^{238}$  pendant son ralentissement est appelée probabilité d'antitrappe  $p$ .

Le nombre de neutrons atteignant le niveau thermique sera alors  $n\eta\epsilon p$ .

Une fraction  $f$  de ces neutrons thermiques est capturée dans

le combustible, le reste est perdu dans le modérateur et le fluide de refroidissement.

$f$  est appelé facteur d'utilisation thermique.

Le nombre total de neutrons capturé dans le combustible sera  $n \eta \epsilon f p$

Le facteur de multiplication en milieu infini sera donc :

$$K = \frac{n \eta \epsilon f p}{n} = \eta \epsilon p f.$$

Dans le cas réel, le milieu est fini et une partie des neutrons fuit par ses limites; dans ce cas le facteur de multiplication devient

$$K_{\text{eff}} = \epsilon \eta p f F$$

$F$  étant la probabilité pour que le neutron émis revienne ou reste dans le milieu.

## I-2 : Puissance et flux neutronique

### a- Puissance neutronique

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

La fission de tous les noyaux des atomes contenus dans un gramme d' $U^{235}$  en 24 heures, correspond à une puissance moyenne libérée de  $0,97 \cdot 10^6$  Watts soit 1 Mwatts.

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

### b - Flux neutronique

Le flux neutronique est défini par le produit de la densité neutronique  $n$  par la vitesse des neutrons  $V$ , soit :  $\phi = nV$

$\phi$  : s'exprime en neutrons / cm<sup>2</sup> · s

La densité neutronique est le nombre de neutrons contenus à un instant donné dans un volume unité .

### I - 3 Cinétique des réacteurs nucléaires

La cinétique s'intéresse aux variations de la puissance neutronique , lorsque le facteur de multiplication  $K$  varie sous l'effet des différents paramètres suivants :

- Température
- Poisons
- Barres de contrôle
- Pression

#### I-3.1 Réactivité

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

La réactivité est définie comme étant égale à l'accroissement relatif du nombre de neutrons de deux populations successives .

$$\rho \text{ ( réactivité )} = \frac{K_{\text{eff}} - 1}{K_{\text{eff}}} = \frac{\delta K}{K_{\text{eff}}}$$

avec  $\delta K = K_{\text{eff}} - 1$

$\delta K$  est l'excès du facteur de multiplication effectif,  $\delta K$  est souvent appelée réactivité par excès.

En général le réacteur nucléaire fonctionne en régime critique donc  $K_{\text{eff}}$  est voisin de l'unité . On confondra alors  $\delta K$  et  $\rho$  .

La réactivité s'exprime en pcm ( pour cent mille ) .

### I - 3.2 Période

Si, dans un réacteur nucléaire,  $n$  est le nombre de neutrons d'une génération, le nombre de neutrons de la génération suivante est  $K_{eff} \cdot n$ .

La variation du nombre de neutrons entre deux générations successives est  $dn = K_{eff} \cdot n - n = n (K_{eff} - 1) = n \delta K$

La vitesse d'évolution de la réaction en chaîne est donnée par :

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n \delta K}{\theta}$$

$\theta$  : durée de vie d'un neutron correspondant au temps qui s'écoule entre sa naissance par fission et sa disparation donnant lieu à une nouvelle fission.

En intégrant, on obtient la loi d'évolution suivante :

$$n = n_0 e^{t/T}$$

avec  $T = \frac{\theta}{\delta K}$  : période du réacteur

On définit la période  $T$  comme étant le temps au bout duquel la puissance du réacteur nucléaire est multipliée par le facteur  $e$  (2,718..)

On définit ainsi le temps de doublement  $T_d$  comme étant le temps au bout duquel la puissance est multipliée par 2.

On a donc la relation :

$$n = n_0 e^{2 t/T_d}$$

La période  $T$  est liée au temps de doublement  $T_d$  par :

$$T_d = T \ln 2 = 0,69 T$$

On voit donc que lorsque la période est faible, la densité neutronique augmente rapidement et le réacteur devient incontrôlable d'où la nécessité d'augmenter la période pour permettre un fonctionnement normal du réacteur.

### I-3.3 Influence des neutrons sur la période

#### a - Neutrons prompts

Si le réacteur nucléaire ne s'écarte pas trop du régime critique et si l'on considère une variation faible  $\delta K$  de l'ordre de  $10^{-2}$ , et si l'on ne considère que les neutrons prompts dont  $\bar{\theta}$  est la durée de vie moyenne égale à  $10^{-3}$  s, on obtient donc :

$$T = \frac{\bar{\theta}}{\delta K} = \frac{10^{-3}}{10^{-2}} = 0,1 \text{ s .}$$

Ceci veut dire qu'au bout d'un temps de une seconde la densité neutronique  $n$  se trouve multipliée par  $2,2 \cdot 10^4$ , ce qui rend le réacteur nucléaire incontrôlable .

#### b - Neutrons retardés

Soit  $t_{ri} = \beta_i \theta_i$  : temps de retard correspondant au temps au bout duquel les neutrons du  $n^{\text{eme}}$  groupe sont émis .

Pour l'ensemble des 6 groupes, le retard total moyen est égal à

$$t_r = \sum_{i=1}^6 \beta_i \theta_i$$

La durée de vie du neutron devient  $\bar{\theta} = \bar{\theta} + \sum_{i=1}^6 \beta_i \theta_i$

La période du réacteur devient  $T = \frac{\bar{\theta}}{\delta K}$

$$\text{Si } \sum_{i=1}^6 \beta_i \theta_i = 0,1 \text{ s}$$

Pour les mêmes valeurs de  $\delta K$  et  $\bar{\theta}$  que précédemment on trouve :  $T = 10 \text{ s}$ .

Ainsi la période est 100 fois plus grande que celle calculée auparavant, d'où l'intérêt des neutrons retardés dans le contrôle du réacteur .

On distingue parmi les produits de fission émetteurs de neutrons, 6 groupes  $i$  de précurseurs. Ils sont classés d'après leur durée de vie moyenne  $\theta_i = \frac{1}{\lambda_i}$ . A chacun des 6 groupe correspond un pourcentage  $\beta_i$ , nombre de neutrons retardés du groupe  $i$  pour un neutron de fission émis .

groupes	nombre de neutrons retardés pour un neutron de fission B i	Constante radioactive $\lambda_i \text{ s}^{-1}$	Vie moyenne $\theta_i \text{ s.}$
1	0,00021	0,0124	80,4
2	0,00140	0,0305	32,8
3	0,00125	0,111	9,0
4	0,00253	0,301	3,32
5	0,00074	1,14	0,88
6	0,00027	3,01	0,33
Total	B = 0,0064	$\lambda = 0,080$	$\theta_r = 12,50$

Constantes liées aux précurseurs de neutrons retardés.

I-3.4 Equation cinétique

Dans un réacteur nucléaire dont le fonctionnement est stable, le flux neutronique se décompose en neutrons prompts issus de la fission et des neutrons retardés émis par les précurseurs.

Le taux de production en neutrons prompts est  $\frac{kn(1-\beta)}{\theta}$ , et le taux de production en neutrons retardés provenant du nombre  $C_i$  de précurseurs du groupe  $i$  dont la constante de désintégration est  $\lambda_i$ , est égal à  $\sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i$ .

Le taux de variation du nombre total de neutrons est :

$$\frac{dn}{dt} = \frac{kn(1-\beta)}{\theta} + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i - \frac{n}{\theta} = \frac{n}{\theta} [k(1-\beta) - 1] + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i \quad (1)$$

$\frac{n}{\theta}$  : taux de pertes.

D'autre part le taux de production des neutrons retardés d'un groupe  $i$  est égal au taux de décroissance des précurseurs de ce groupe soit  $\lambda_i C_i$ .

Le taux de formation des précurseurs est proportionnel au taux de production des neutrons dans le réacteur  $\frac{kn}{\theta}$  et au rendement  $\beta_i$  du groupe  $i$ , soit  $\frac{kn}{\theta} \beta_i$ .

Donc le taux de variation du groupe  $i$  est

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{kn}{\theta} \beta_i - \lambda_i C_i \quad (2)$$

Pour  $k$  constant, les solutions des équations (1) et (2) sont de la forme

$$n(t) = \sum_{j=0}^6 A_j e^{w_j t} \quad (3) \quad C_i(t) = \sum_{j=0}^6 C_{ij} e^{w_j t} \quad (4)$$

La résolution de ces deux équations conduit à :

$$\rho = \frac{\theta w_j}{1 + \theta w_j} + \frac{1}{1 + \theta w_j} \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i w_j}{w_j + \lambda_i} \quad (5)$$

Cette équation est celle de Nordheim, elle lie la réactivité  $\rho$  aux périodes ( $w_0 \dots \dots w_6$ ) correspondantes aux 6 groupes de neutrons retardés.

( figure I.3 )

La relation (3) nous permet d'écrire :

$$n(t) = A_0 e^{w_0 t} + A_1 e^{w_1 t} + \dots \dots + A_6 e^{w_6 t}$$

Dans le cas où  $\rho$  est positive, seul  $w_0$  est positive, et alors au bout d'un certain temps l'évolution de la puissance peut s'écrire :

$$n = n_0 e^{w_0 t}$$

Si on pose  $w_0 = \frac{1}{T_0}$ ,  $T_0$  est appelée période stable, seule cette période apparait après un certain temps, après extinction des périodes transitoires

$$\frac{1}{w_1}, \frac{1}{w_2}, \dots, \frac{1}{w_6}$$

Si l'on ne tient compte que de la période stable l'équation de Nordheim s'écrit alors :

$$\rho = \frac{\beta}{kT_0} + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T_0}$$

Dans le cas d'un réacteur à Uranium 235 on remarque que : ( figure I.4 )

- Pour le cas de fortes valeurs de réactivité, la période stable donnée par la courbe de Nordheim est assez voisine de celle obtenue par l'égalité  $\rho = \frac{\beta}{kT_0}$  ( influence des neutrons retardés est négligée ).
- La période est d'autant plus faible que le temps de vie des neutrons est petit.
- Dans le cas d'un saut de réactivité inférieur à 300 pcm, la période est indépendante du temps de vie .

### I.3.5 Effets intervenants sur la réactivité

Il est intéressant de connaître les effets qui agissent sur la réactivité ou le facteur multiplicateur.

#### - Effet de température

Lors de l'évolution 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 résonances qui se traduit par augmentation de la capture dans les résonances de l'Uranium 238. Il se produit alors une diminution de réactivité essentiellement due à une diminution du facteur antitrappe  $p$ .

On désigne cette diminution de réactivité par le coefficient  $\alpha_U = \left( \frac{d\rho}{dt} \right)_{\rho}$ .  
Ce coefficient est de l'ordre de quelques pcm par °C .

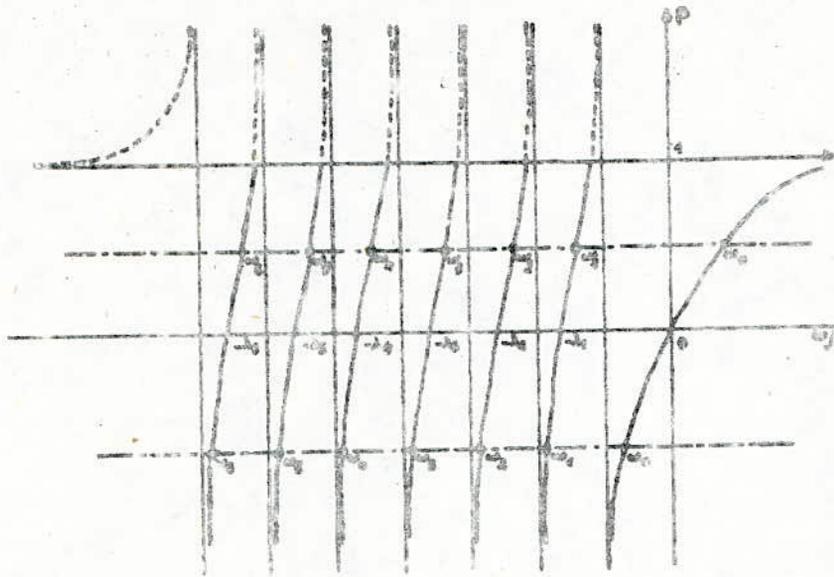


Figure 13 COURBES REPRESENTATIVES DE  $\rho$   
EN FONCTION DE  $\omega$

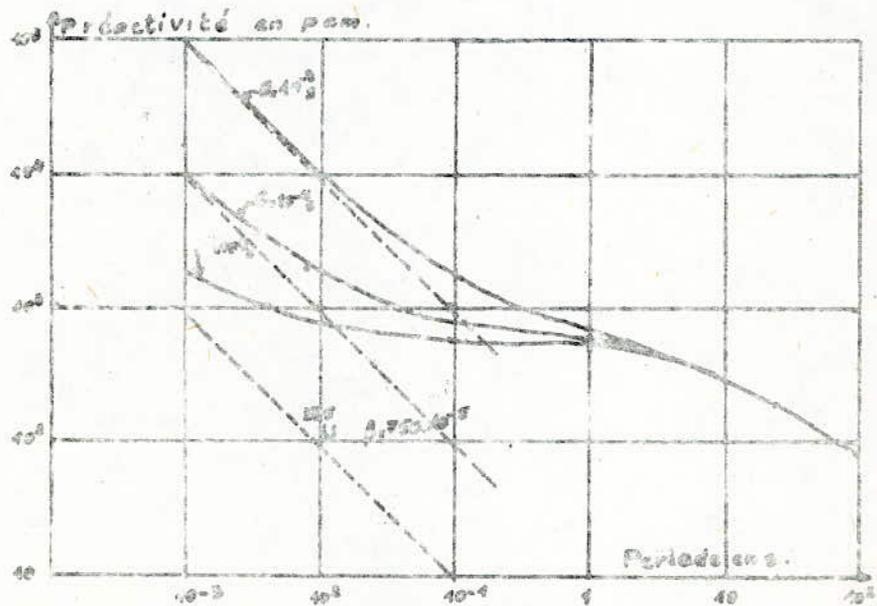


Figure 14 COURBES DE NORDHEIM DANS LE CAS  
D'UN REACTEUR A U<sup>235</sup>

Après échauffement 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, 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  $\alpha_m = \left( \frac{d\beta}{dt} \right)_m$ .

Ce coefficient de température est souvent supérieur à  $\alpha_u$  et varie beaucoup plus avec la température .

- Effet de pression

Cet effet intervient surtout pour les gaz à très grandes sections de capture des neutrons. Une chute de pression peut être la cause d'une augmentation de la réactivité.

- Effet des poisons

Les poisons sont des produits de fission qui se forment dans le coeur du réacteur en fonctionnement, qui possèdent de fortes sections efficaces d'absorption pour les neutrons thermiques.

Les poisons interviennent sur le facteur de multiplication  $k$  par modification du facteur d'utilisation thermique  $f$  .

En effet : l'existence de ces poisons va diminuer une partie des neutrons thermiques qui normalement devrait être absorbée par le combustible et aussi les poisons ont tendance à arrêter la réaction en chaîne.

- Effet des barres de contrôle

Elles sont en général constituées de matériaux à très grandes sections efficaces de capture de neutrons , c'est-à-dire à très grandes absorptions neutroniques .

La position de ces barres dans le coeur du réacteur détermine le taux de pertes neutroniques, donc la réactivité .

## II - Présentation du périodemètre

### II-1 Introduction

Dans le cas général la période est une grandeur essentiellement variable au cours de l'évolution d'un réacteur.

Elle est positive quand la puissance croît, négative quand la puissance décroît, infinie quand la puissance est stable.

L'évolution du réacteur est d'autant plus rapide que la période est plus courte.

L'étude de la cinétique montre que dans le cas d'insertion ou de retrait de réactivité, l'évolution du réacteur, après le régime transitoire et avant les effets secondaires, est exponentielle. ( figure II-1 )

La mesure de la période permet donc de connaître à chaque instant l'évolution de la puissance neutronique, et de la commander par l'intermédiaire des organes de contrôle et de sécurité. Ainsi le passage d'un niveau stable à un autre niveau de puissance stable pourra se faire dans des conditions sûres.

Pour les mêmes raisons cette mesure est indispensable au cours des démarrages des réacteurs.

D'une manière générale, il faut donc mesurer la période d'un réacteur depuis le niveau source jusqu'au niveau d'opération normale.

### II-2 Ensemble périodemètre

Le périodemètre n'est jamais employé seul, mais associé à un bloc de traitement des impulsions qui se compose : (figure II-2 )

- D'un amplificateur qui permet d'amener les impulsions délivrées par le détecteur à des niveaux convenables de façon à pouvoir les traiter par les circuits logiques.

- D'un discriminateur qui élimine les impulsions provoquées par les rayonnements

Ces impulsions ont en général une amplitude plus faible que celles des impulsions d'origine neutronique.

- D'un circuit de mise en forme qui délivre à sa sortie des impulsions de forme

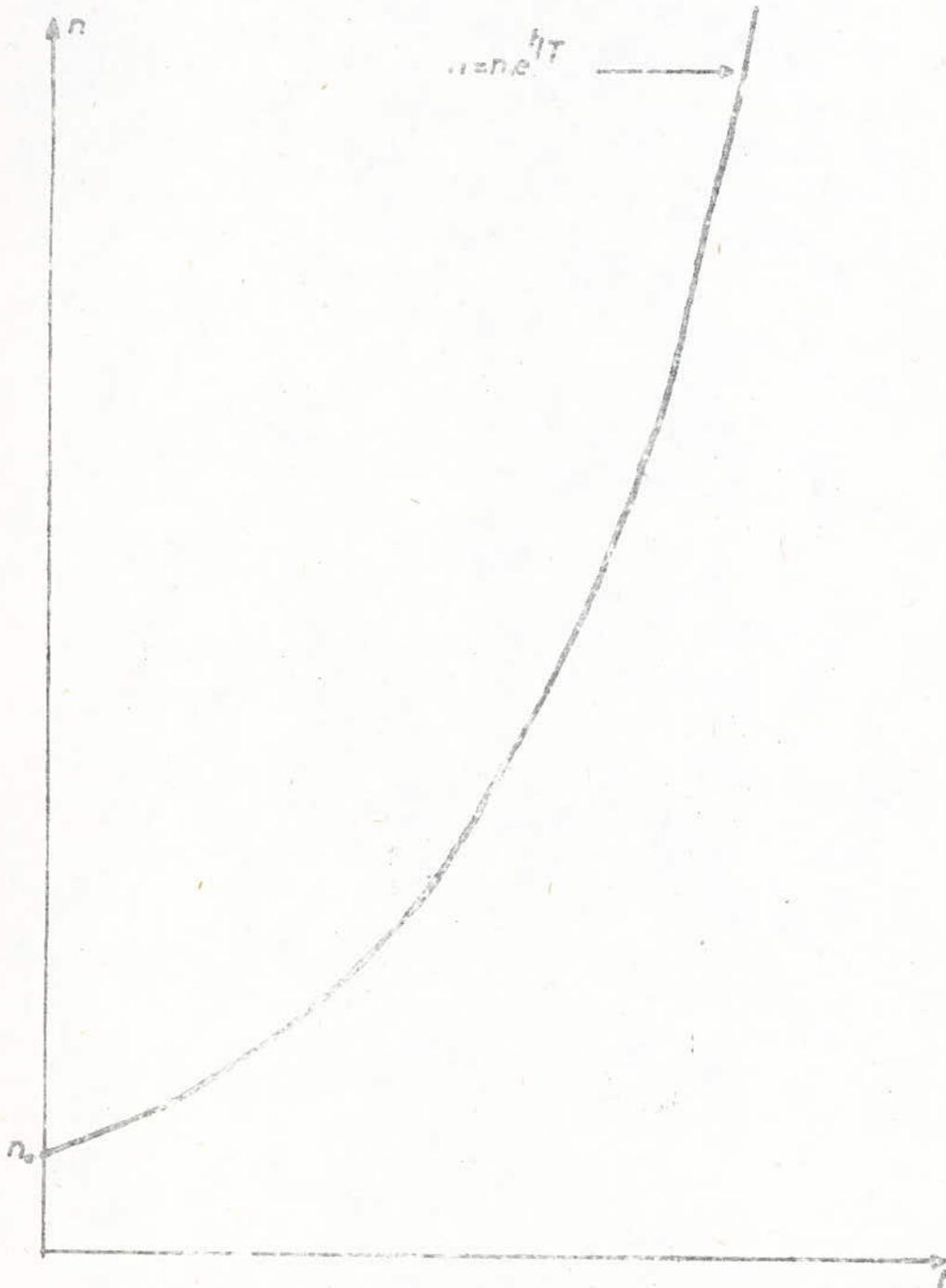


Figure 1.1 Evolution de la densité neutronique au cours du démarrage d'un réacteur nucléaire



49-

FIGURE 11-2 SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'ENSEMBLE PERIODEMETRE

bien déterminées, en général rectangulaire, de manière à les utiliser par les circuits logiques.

### II-3 Aspect statistique du taux de comptage

La nature statistique de la réaction en chaîne et des réactions nucléaires qui se produisent dans le réacteur (fissions, captures, fuites...) est à l'origine d'un bruit de réacteur.

Les détecteurs de neutrons placés à proximité du réacteur sont sensibles à la population neutronique, ils donnent une information de nature électrique qui permet d'évaluer cette population et son évolution en fonction du temps.

L'apparition et la disparition de neutrons dans cette population donnent lieu à des fluctuations de flux, dont il est intéressant de connaître les répercussions sur les fluctuations des signaux électriques fournis par le détecteur.

La distribution des événements impulsions à la sortie du discriminateur suit une distribution de Poisson qui est définie de la façon suivante:

Pour une fréquence d'événement  $f = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{N}{T}$  la probabilité qu'un intervalle de temps  $\Delta t$  contienne  $N$  événements et  $N$  seulement à pour expression:

$$P(N, K) = \frac{K^N e^{-K}}{N!} \quad \text{avec } K = f \Delta t$$

La valeur moyenne de  $K$  est:

$$\bar{K} = \int_0^{\infty} K P(N, K) dK = \int_0^{\infty} \frac{e^{-K} K^{N+1}}{N!} dK = N + 1$$

Lorsque le taux de comptage est élevé (quelques C/S) la loi de Poisson peut être approchée par la loi de Gauss:

$$P(N, K) = \frac{1}{\sqrt{2N\pi}} e^{-\frac{(K-N)^2}{2N}}$$

L'écart type sur  $K$  est:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (K - \bar{K})^2 \frac{1}{\sqrt{2N\pi}} e^{-\frac{(K-N)^2}{2N}} dK = N + 1$$

L'erreur quadratique sur la valeur moyenne de K est :

$$\frac{\sigma}{\bar{K}} = \frac{\sqrt{N+1}}{N+1} = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad \text{pour } N \text{ grand}$$

On voit donc que lorsque N est grand, l'erreur relative sur le taux de comptage est faible.

#### II-4 Périodemètre numérique

La mesure de la période est essentiellement liée à la loi d'évolution du flux de neutrons sur le détecteur. Elle est très importante car elle permet de limiter l'évolution de la puissance à des valeurs compatibles avec une bonne sécurité de fonctionnement.

##### II-4-1 Définition

Le périodemètre est un appareil qui mesure le temps au bout duquel la puissance d'une pile en divergence est multipliée par un facteur e ( 2,718 ... )

Cette mesure est obtenue à partir d'un signal, proportionnel à la densité neutronique, qui est fourni par un détecteur sensible aux neutrons placé près du coeur.

##### II-4-2 Principe de fonctionnement

Le principe utilisé pour déterminer la période T est basé sur la notion d'échantillonnage , qui consiste à compter les impulsions délivrées par le circuit de mise en forme pendant des temps fixes qui sont séparés par des intervalles de temps réguliers ( période d'échantillonnage ) . ( figure II-3)

Les impulsions délivrées par le bloc traitement des impulsions sont envoyées, pendant le temps d'échantillonnage , vers une échelle comptante (Compteur 1). Le premier comptage  $N_0$  est envoyé vers la mémoire une ( M1 ) à travers des portes dont la fermeture ( Compteur 1 vers Mémoire 1 ) se fait juste après le transfert.

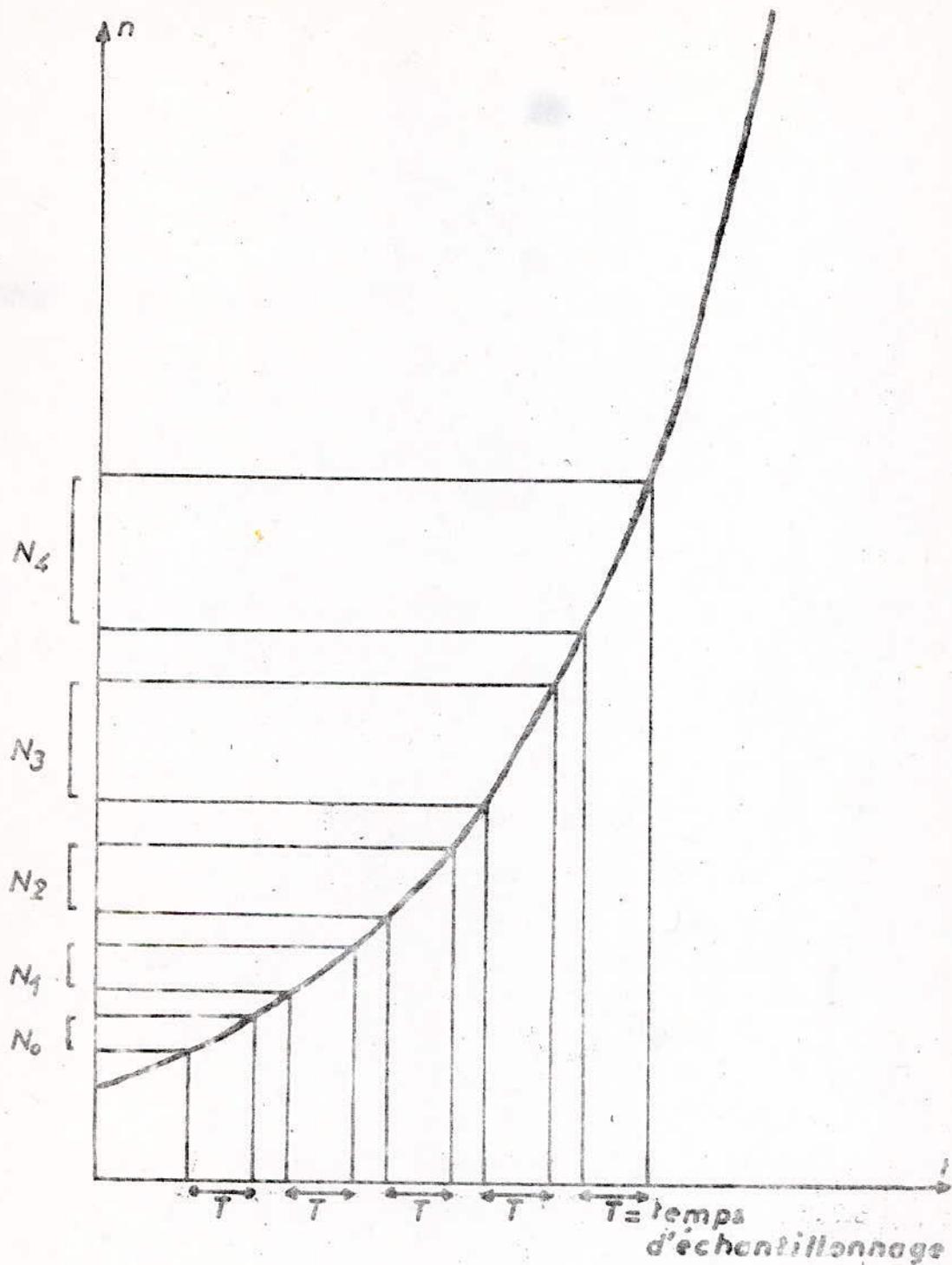


Figure II.3

Des tops d'égalité sont émis au passage des positions de l'échelle comptée, multiple de  $N_0$  dans le rapport  $K$ .

Les temps séparant ces tops d'égalité sont alors proportionnels à la période  $T$ .

Une deuxième échelle ( Compteur 2 ) comptant les impulsions d'une horloge entre deux tops, permet de déterminer la période  $T$ . ( figure II-4 )

#### II-4-3 Choix des paramètres liés à la mesure de $T$

- Facteur  $K$  : L'inconvénient du calcul de la période  $T$  à partir de la relation  $n = n_0 e^{t/T}$  est le temps de réponse de l'appareil qui sera égal à la période  $T$ , ce qui peut être dangereux pour le réacteur nucléaire puisque la puissance de celui-ci se trouve multipliée par  $e$  ( 2,718... ) .

Pour éviter cet inconvénient nous avons choisi  $K = 1,25$  c'est-à-dire que le calcul de  $T$  est obtenu à partir de la relation suivante:

$$n = n_0 ( 1,25 )^{t/T}, \quad \text{avec} \quad T = \frac{T'}{\ln 1,25} \quad (6)$$

Ceci permet de connaître la période  $T$  chaque fois que la puissance est multipliée par 1,25 au lieu de  $e$  ( 2,718... ).

- Temps d'échantillonnage: Le taux de comptage des impulsions à la sortie du circuit de mise en forme varie entre 10 C/S et  $3 \cdot 10^6$  C/S.

Pour des raisons de sécurité, le réacteur nucléaire ne doit pas fonctionner avec des périodes inférieures à 3 secondes, pour la mesure de cette période le temps de réponse de notre appareil sera égal à  $\frac{3}{\ln 1,25} = 0,7$  seconde.

Comme le cas le plus défavorable est la mesure des périodes de 3 secondes avec un taux de comptage de 10 C/S, nous avons choisi un temps d'échantillonnage égal à 0,5 seconde

#### II-4-4 Caractéristiques

a- Capacité de l'échelle de comptage ( Compteur 1 )

Comme le taux de comptage de certains détecteurs peut atteindre  $3 \cdot 10^6$  C/S, la capacité de l'échelle de comptage a été fixée à cette valeur.

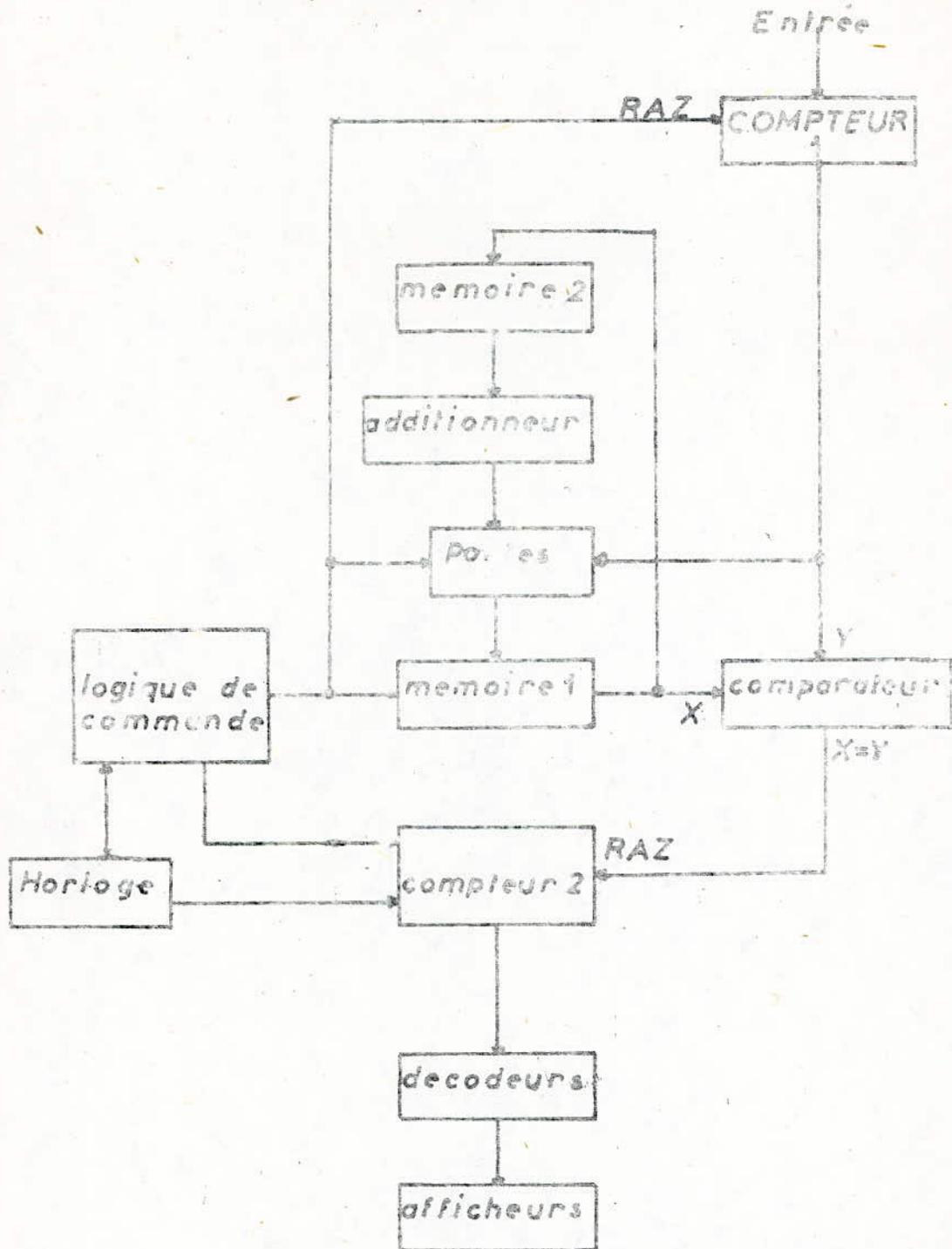


Figure II-4 Schéma de principe du periodometre

Le nombre maximal d'impulsions que peut compter l'échelle définit la capacité de celle-ci.

b- Temps de réponse

C'est le temps au bout duquel l'appareil indique la valeur de la période  $T$ .

La relation utilisée pour le calcul de  $T$  est:

$$n = n_0 (1,25)^{t/T'} \quad \text{avec} \quad T' = T \ln 1,25 = 0,223 T$$

$T'$  est alors le temps de réponse de l'appareil.

On remarque donc que le temps de réponse varie en fonction de la période, ce qui permet d'avoir un meilleur temps de réponse pour les faibles valeurs de la période.

c- Précision

L'erreur statistique relative est donnée par la relation (6)

$$\frac{\sigma}{K} = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

On voit donc que pour des comptages faibles, la précision est mauvaise, par contre pour des comptages élevés la précision sur la mesure de la période  $T$  est élevée.

d- Etendue de mesure

L'intervalle des périodes mesurables par l'appareil définit l'étendue de mesure.

Elle s'étend de  $+ 3 S$  à  $1000 S$  ( infini ).

### III - Réalisation

#### Introduction

Nous abordons cette dernière partie en essayant de mettre en évidence le rôle de chaque élément, tout en précisant leur fonction, ainsi que les idées qui nous ont conduits à la réalisation de cette maquette.

Pour cette réalisation nous avons utilisé des circuits de technologie C-MOS à cause de leur faible consommation et leur grande immunité aux bruits.

Ces circuits peuvent être alimentés par des tensions allant de + 3 à + 15 Volts.

Les impulsions délivrées par le circuit de mise en forme ont une largeur de 40 nano-secondes et une amplitude d'environ 5 Volts. Ceci nous contraint à utiliser un monostable de technologie TTL et un amplificateur, afin d'élargir ces impulsions et d'augmenter leur amplitude, avant d'attaquer les circuits de technologie C-MOS qui sont alimentés par une tension de + 12 Volts.

#### III-1 Fonctionnement du système

Le système est remis à zéro à l'aide du bouton poussoir, ce qui permet l'ouverture des portes ( $\bar{Q}$  de la bascule  $D_1$  est à l'état 1) et par conséquent le contenu du compteur 1 se présente aux entrées de la mémoire 1.

Le comptage des impulsions d'horloge par le compteur 3 nous permet d'avoir une impulsion à travers la porte AND à quatre entrées (décodage du nombre 224) toutes les 0,5 secondes (temps d'échantillonnage) qui est utilisée pour la remise à zéro des compteurs 1 et 3.

Au front montant de la première impulsion le contenu du compteur 1 ( $N_0$ ) est transféré vers la mémoire 1 à travers les portes initialement ouvertes ( $\bar{Q}$  de la bascule  $D_1$  est à l'état 1), la fermeture de ces portes se fait au front descendant de cette même impulsion ( $\bar{Q}$  de la bascule  $D_1$  passe à 0).

Comme la fréquence des impulsions à l'entrée d'horloge du compteur 1 suit une évolution exponentielle, le nombre d'impulsions compté pendant 0,5 seconde

augmente à chaque comptage et par conséquent le contenu du compteur 1 passe par la position  $N_0$  et le comparateur délivre une impulsion d'égalité qui est utilisée pour faire le transfert, au front montant du contenu de la mémoire 1 ( $N_0$ ) vers la mémoire 2 .

Dès que  $N_0$  est mémorisé dans la mémoire 2, il est multiplié par 1,25 ( $N_0 + \frac{N_0}{4} = 1,25 N_0$ ) puis transféré vers la mémoire 1 au front descendant de la même impulsion d'égalité .

Le front descendant de celle-ci permet aussi le comptage des impulsions d'horloge par le compteur 2 ( initialement verrouillé à l'aide de la bascule D 2 ).

Le comparateur délivre une autre impulsion d'égalité dès que le contenu du compteur 1 passe par la position  $N_1 = 1,25 N_0$  .

Cette impulsion d'égalité permet, le transfert de la mémoire 1 vers la mémoire 2 et la mémorisation dans le décodeur ( Latch ) du contenu du compteur 2, au front montant et au front descendant, la remise à zéro du compteur 2 à travers le monostable 2 .

Le nombre d'impulsions d'horloge compté entre deux tops d'égalité et mémorisé dans le décodeur ( Latch ) représente la période T .

Le schéma de fonctionnement est mentionné sur la figure III-1

### III-2 Architecture du système

Nôtre système se compose de trois parties principales

- Partie centrale
- Partie synchronisation
- Partie comptage et visualisation de T

### III-3 Partie centrale

Le nombre d'impulsions délivré par le détecteur peut atteindre la valeur de  $3.10^6$  C/S.

Le temps de comptage étant fixé à 0,5 seconde, la capacité de la partie centrale de notre système sera donc fixée à  $6.10^5$  qui est représenté par vingt (20) bits dans le système binaire .

Cette partie comprend : ( figure III-2 )

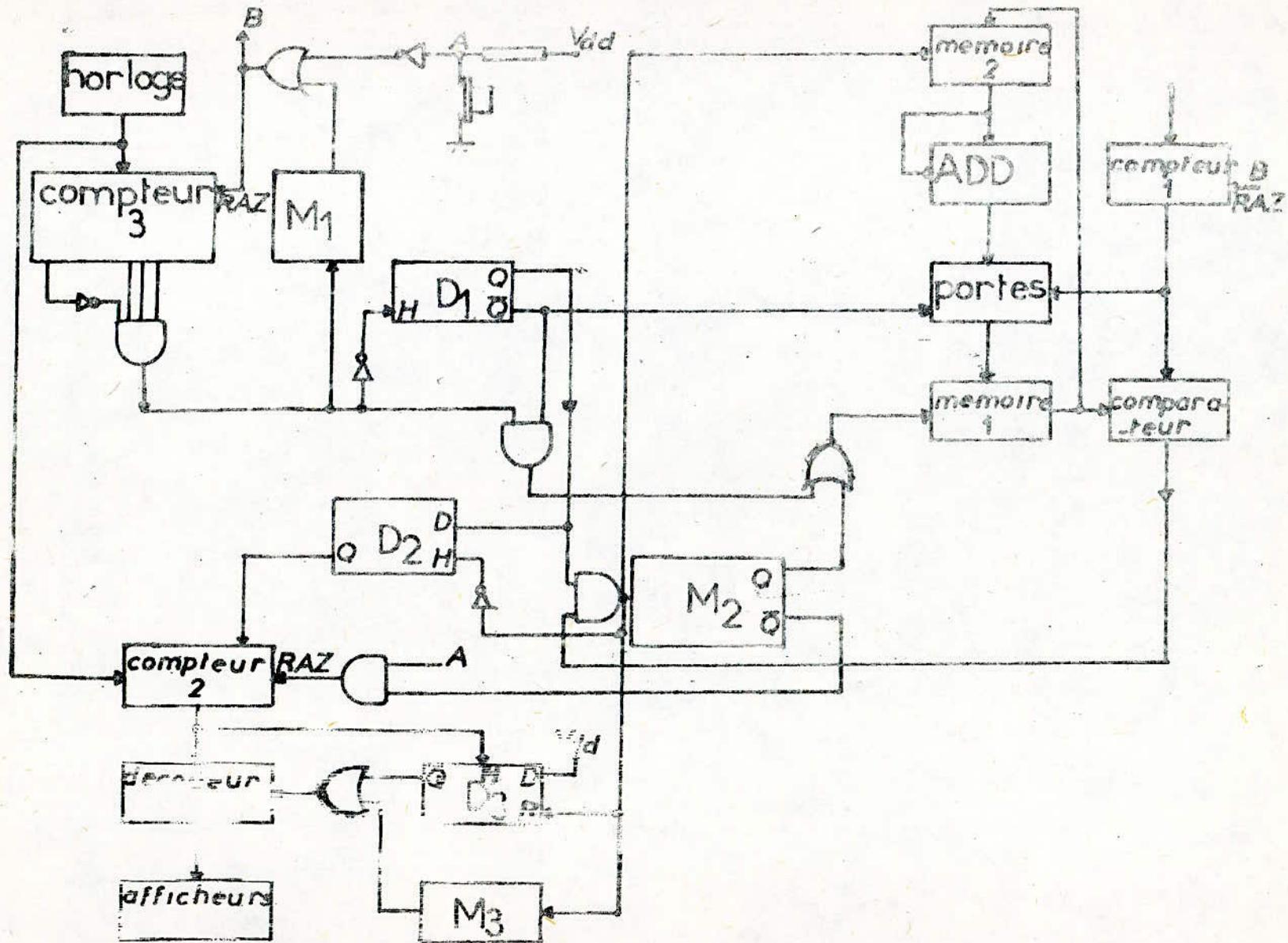


Figure III-1 schéma simplifié du périodemètre

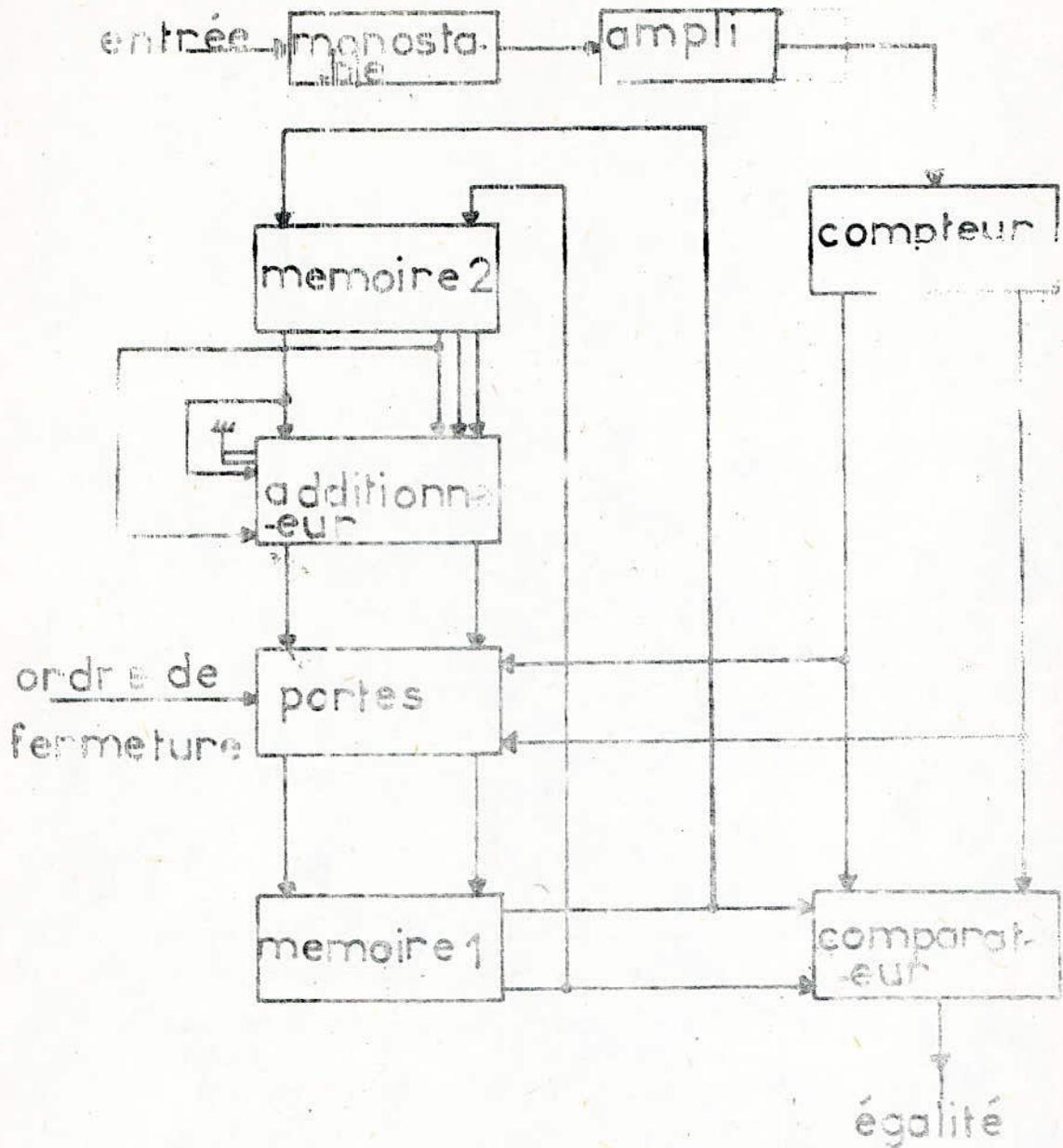


Figure III 2 schéma fonctionnel de la partie centrale

- Le monostable et l'amplificateur
- L'échelle de comptage ( compteur 1 )
- Le comparateur
- Les mémoires 1 et 2
- L'additionneur
- Les portes

### III-3.1 Le monostable et l'amplificateur

#### III-3.1.1 Le monostable

C'est un circuit de technologie TTL du type SN 74121 dont le brochage est mentionné par la figure III- 3.a

Le circuit SN74121 peut être déclenché par le front montant ou descendant des impulsions qui se présentent à son entrée.

La durée du signal de sortie du mono stable peut être calculée par la relation  $T = RC \ln 2$  . Cette durée a été fixée à 0,3 us et par conséquent les valeurs de R et C sont:  $R = 360 \text{ Ohms}$  ,  $C = 1000 \text{ pF}$  .

#### III-3.1.2 L'amplificateur

Pour attaquer les circuits C-MCS ( alimentés par 12 Volts ) à l'aide du signal délivré par le monostable TTL, nous avons utilisé un amplificateur afin de ramener l'amplitude de ce signal à + 12 Volts.

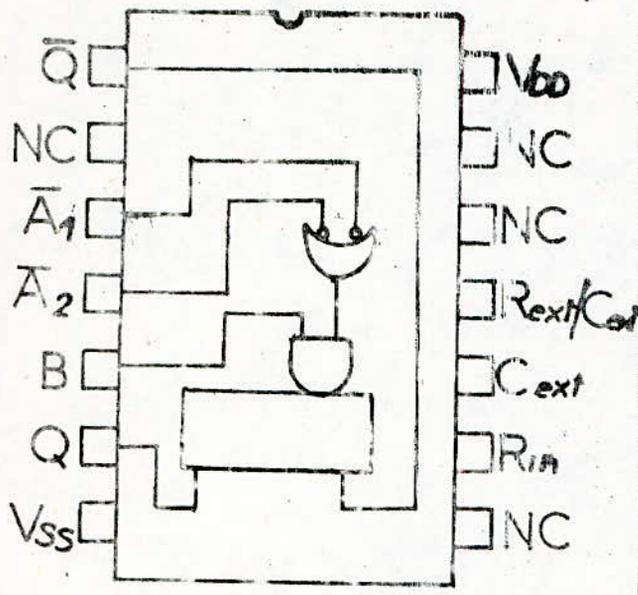
Cet amplificateur est réalisé à l'aide d'un transistor de type 2N 3866 monté en émetteur commun . ( figure III-3.b )

Les valeurs des résistances calculées qui permettent d'avoir à la sortie de l'amplificateur un signal d'amplitude + 12 Volts sont :

$$R_1 = 330 \text{ Ohms}$$

$$R_b = 150 \text{ Ohms}$$

$$R_c = 1 \text{ K.Ohms}$$



inputs			outputs	
A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	Q	Q̄
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	↑	⌊	⌋

Figure III.3a  
brochage du  
monostable SN74121

H: HIGH voltage level  
L: LOW voltage level  
X: don't care  
↑: Low to high transition  
↓: high to Low transition

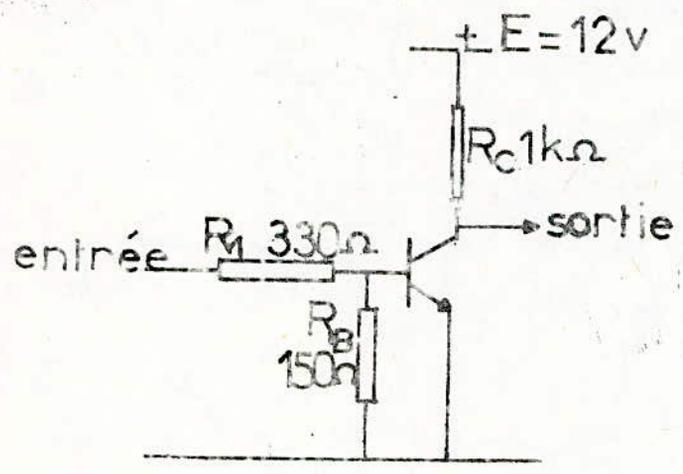


Figure III.3b schéma de L'amplificateur

### III-3.2 L'échelle de comptage ( compteur 1 )

Elle est constituée de deux compteurs asynchrones, de type MC 14040 B, placés en cascade, et qui réagissent au front descendant des impulsions présentes à leurs entrées.

L'entrée d'horloge du premier compteur reçoit les impulsions en provenance du circuit de mise en forme, sa dernière sortie (  $Q_{12}$  ) commande l'entrée d'horloge du deuxième compteur.

Le circuit MC 14040 B est constitué de douze ( 12 ) bascules de type D, ayant une commande de remise à zéro commune.

Les impulsions de remise à zéro de l'échelle de comptages sont délivrées par la logique de commande et sont séparées par un temps fixe égal à 0,5 seconde . ( figure III-4 )

### III-3;3 Le comparateur

Pour comparer le contenu de la mémoire 1 avec le contenu de l'échelle de comptage des impulsions venant du circuit de mise en forme, nous avons utilisé le comparateur du type MC 14585 B. ( figure III-5a

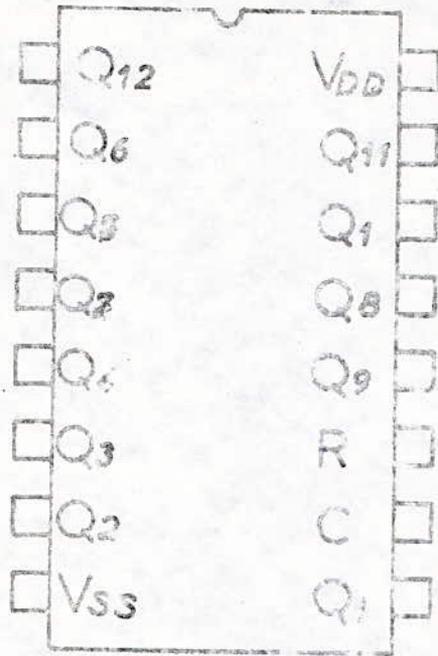
Ce comparateur a huit ( 8 ) entrées de comparaisons (  $A_3, B_3, A_2, B_2, A_1, B_1, A_0, B_0$  ), trois entrées (  $A < B, A = B, A > B$  ) et trois sorties (  $A < B, A = B, A > B$  ).

Le circuit MC 14585 B réalise une comparaison binaire entre deux mots A et B de quatre bits chacun et détermine lequel est " inférieur ", " égal ", ou " supérieur " par un état haut sur la sortie correspondante.

Pour les mots ayant plus de quatre bits on utilise plusieurs comparateurs en cascade en connectant, les sorties (  $A < B$  et  $A = B$  ) de chaque comparateur, aux entrées correspondantes du comparateur suivant ( l'entrée  $A > B$  est connectée à  $+V_{DD}$  ).

Les entrées  $A < B, A = B$  et  $A > B$  du premier comparateur sont reliées respectivement à  $V_{SS}, V_{DD}, V_{DD}$ .

Pour comparer deux mots de vingt ( 20 ) bits chacun, nous avons utilisé



clock	reset	output state
	0	no change
	0	advance to next state
X	1	all outputs are low

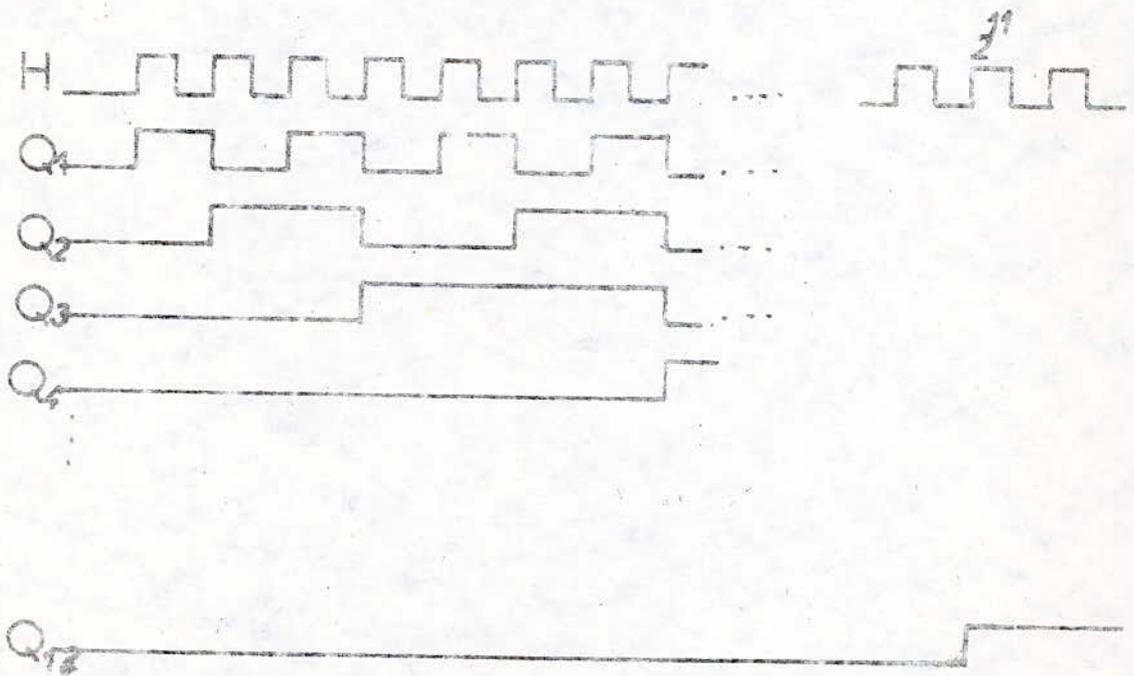
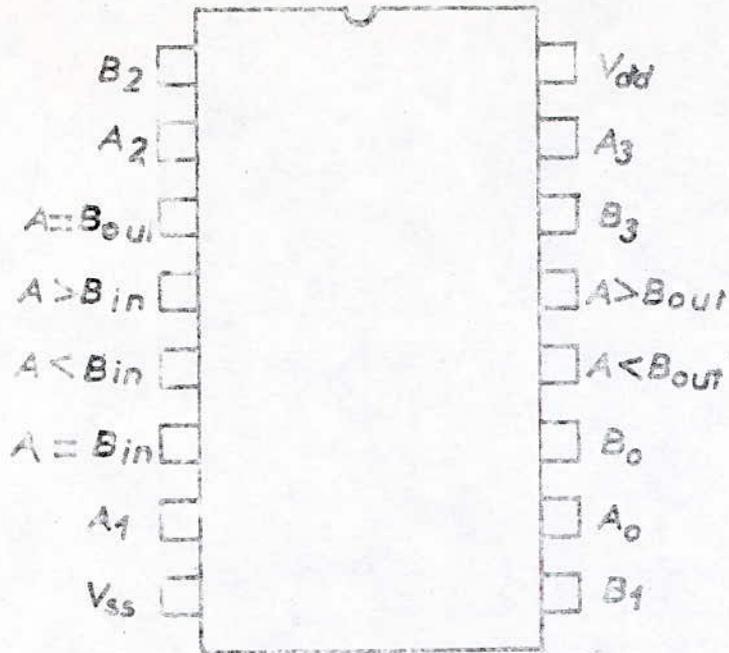


Figure III.4 brochage et chronogramme du compte MC14040 B



inputs				outputs					
comparing		cascading		A<B	A=B	A>B			
A <sub>3</sub> , B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> , B <sub>0</sub>	A<B	A=B	A>B			
A <sub>3</sub> > B <sub>3</sub>	X	X	X	X	X	1	0	0	1
A <sub>3</sub> = B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> > B <sub>2</sub>	X	X	X	X	1	0	0	1
A <sub>3</sub> = B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> = B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> > B <sub>1</sub>	X	X	X	1	0	0	1
A <sub>3</sub> = B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> = B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> = B <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> > B <sub>0</sub>	X	X	1	0	0	1
A <sub>3</sub> = B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> = B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> = B <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> = B <sub>0</sub>	0	0	1	0	0	1
A <sub>3</sub> = B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> = B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> = B <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> < B <sub>0</sub>	0	1	X	0	1	1
A <sub>3</sub> < B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> = B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> = B <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> = B <sub>0</sub>	1	0	X	1	0	0
A <sub>3</sub> = B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> = B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> = B <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> < B <sub>0</sub>	X	X	X	1	0	0
A <sub>3</sub> = B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> = B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> < B <sub>1</sub>	X	X	X	X	1	0	0
A <sub>3</sub> = B <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> < B <sub>2</sub>	X	X	X	X	X	1	0	0
A <sub>3</sub> < B <sub>3</sub>	X	X	X	X	X	X	1	0	0

Figure III 5 : brochage du comparateur

cinq ( 5 ) comparateurs branchés en cascade.

### III-3.4 Les mémoires

Elle sont constituées de quatre ( 4 ) circuits chacune :

- Deux de type MC 14174 B qui contient six bascules D flip flop.
- Deux de type MC 14175 B qui contient quatre bascules D flip flop.

TOUTES les bascules de chaque circuit (MC 14174 B, MC 14175 B ) ont une entrée d'horloge , une entrée de remise à zéro , commune.

La commande de remise à zéro agit à l'état bas ( zéro ) indépendamment du signal d'horloge.

L'information présente sur l'entée D de chaque bascule est transférée à la sortie Q au front montant de l'horloge. ( figure III-6 )

### III-3.5 L'additionneur

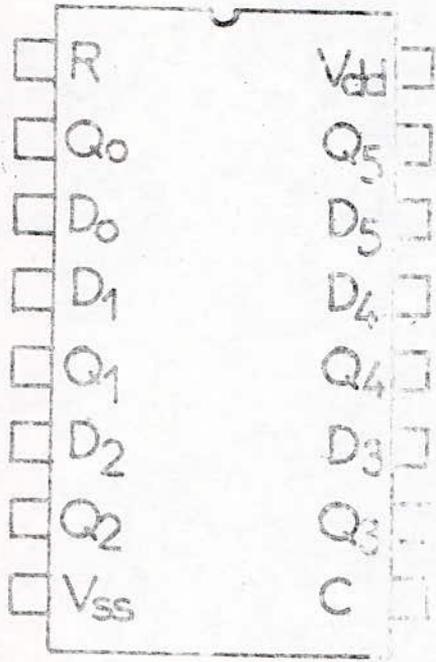
Le circuit MC 14008 B réalise l'addition binaire de deux mots de quatre bits chacun. ( figure III-7 )

Il est constitué de quatre additionneurs complets avec retenue anticipée qui permet le calcul rapide dans le cas d'utilisation de plusieurs circuits en cascade. Pour cette utilisation on relie carry out de chaque circuit au carry in du circuit suivant, l'entrée carry in du premier circuit étant reliée à la masse.

Dans nôtre système nous avons besoin d'un additionneur à vingt ( 20 ) bits, ce qui nous conduit à utiliser cinq circuits MC 14008 B en cascade.

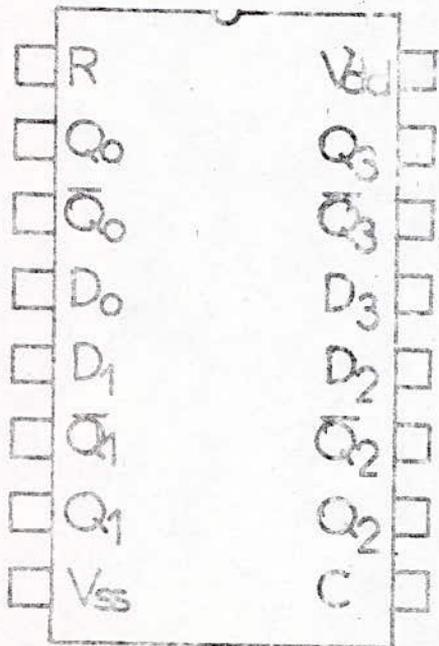
Il réalise l'addition du contenu de la mémoire 2 ( mot A ) avec le quart du contenu de cette mémoire 2 ( mot B ).

Pour avoir le mot B, on a décalé le mot A de deux bits à droite par câblage et on a relié les deux derniers bits de l'additionneur :  $B_{19}$  et  $B_{20}$  ( bits de poids fort ) à la masse.



inputs			outputs
clock	data	reset	Q
	0	1	0
	1	1	1
	X	1	0
X	X	0	0

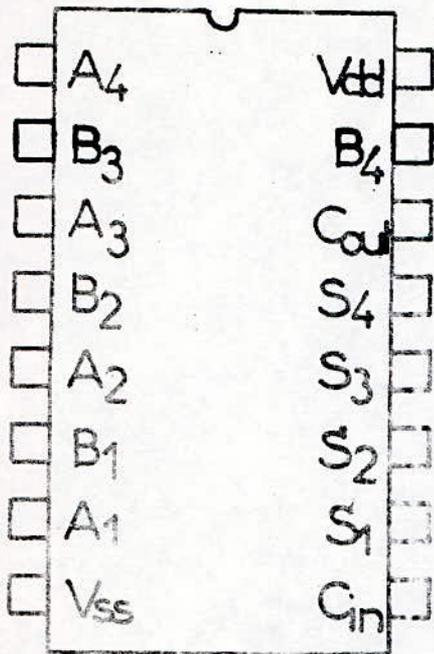
MC14174 B



inputs			outputs	
clock	data	reset	Q	Q-bar
	0	1	0	1
	1	1	1	0
	X	1	Q	Q-bar
X	X	0	0	1

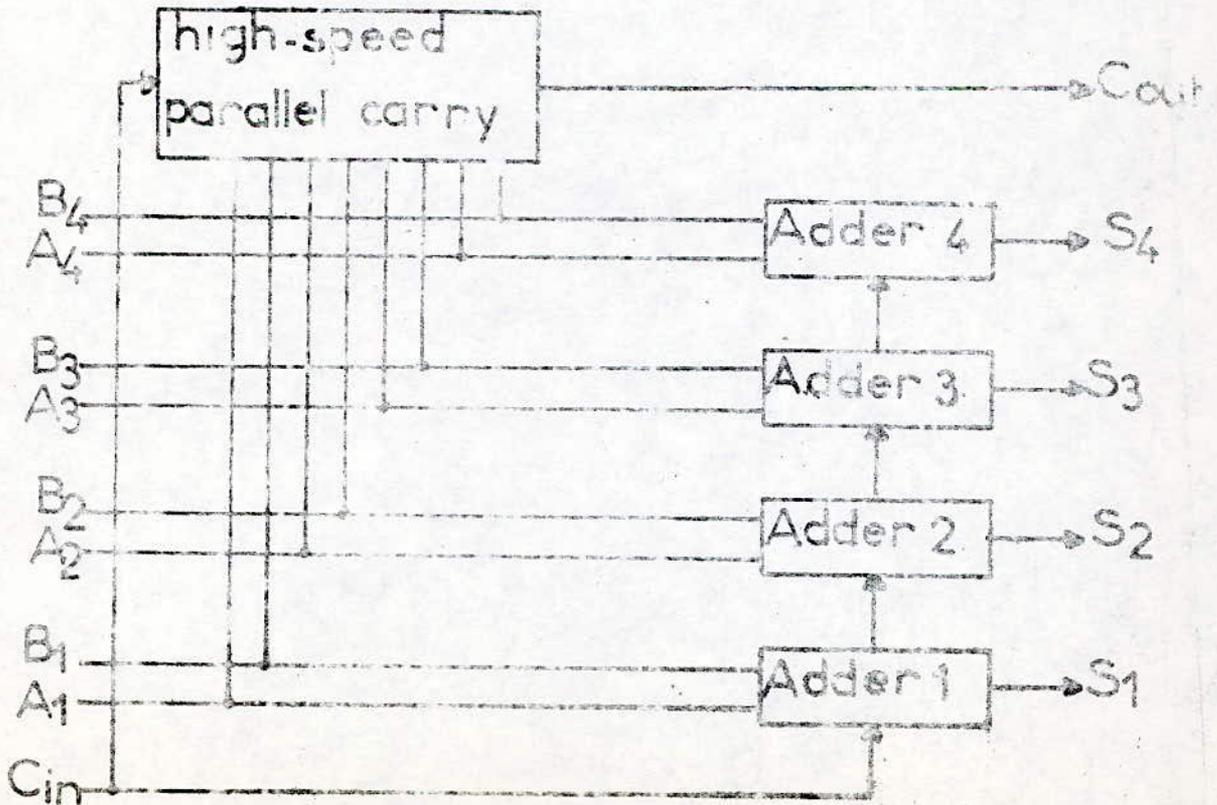
MC14175 B

Figure 6 brochage du MC14174 B  
et 14175 B



C <sub>in</sub>	B	A	C <sub>out</sub>	S
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

Figure III 7 brochage de l'additionneur



### III-3.6 Les portes

Les circuits utilisés sont de type MC 14061 B et MC 14071 B ( AND et OR ) à quatre portes chacun . ( figure III.8 )

Les portes AND permettent une seule fois le transfert du contenu de compteur 1 vers la mémoire 1.

### III-4 Partie synchronisation

Elle permet la commande et la synchronisation entre les différents étages de la partie centrale et la partie comptage et visualisation de T.

Elle comprend: ( figure III.9 )

- L'horloge
- Le compteur-décodeur
- Les monostables
- Les bascules
- La commande manuelle d'initialisation

#### III-4.1 L'horloge

Elle est réalisée à l'aide des portes inverseuses ( portes NOR ) de type MC 14001 B ( figure III.10 )

- Calcul de la fréquence d'horloge :

D'après la relation (6) on a:

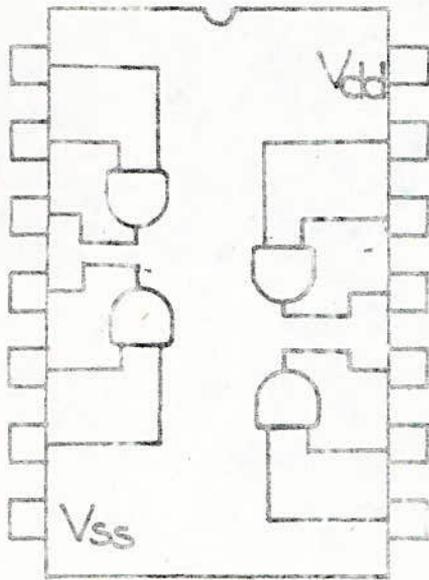
$$T = \frac{T'}{\ln 1,25} = 4,46 T'$$

Donc pour avoir directement la période T à partir de T' sans faire de multiplication par le facteur 4,46 , et une bonne précision du comptage ( compteur 2 ), on a choisit la fréquence d'horloge à  $F_H = 440$  Hz.

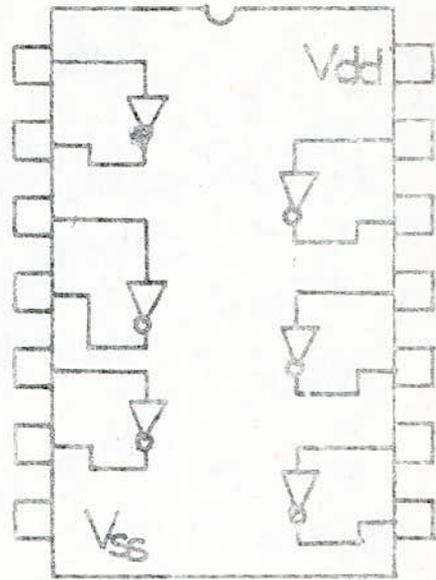
Pour avoir cette fréquence nous avons fixé les valeurs de la résistance et de la capacité à :

$$R = 100 \text{ K.Ohms}$$

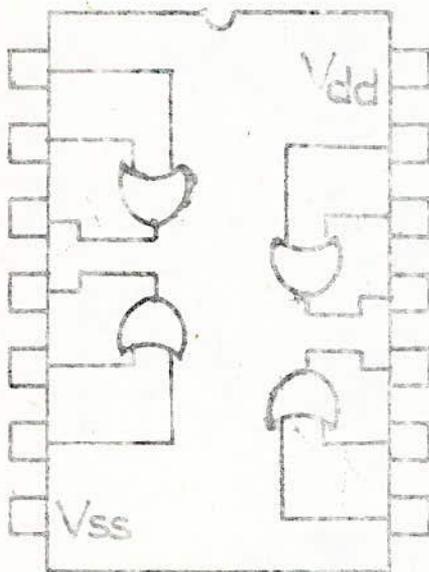
$$C = 22 \text{ nF}$$



MC 14081B



MC 14069B



MC 14071B

Figure e-III-8

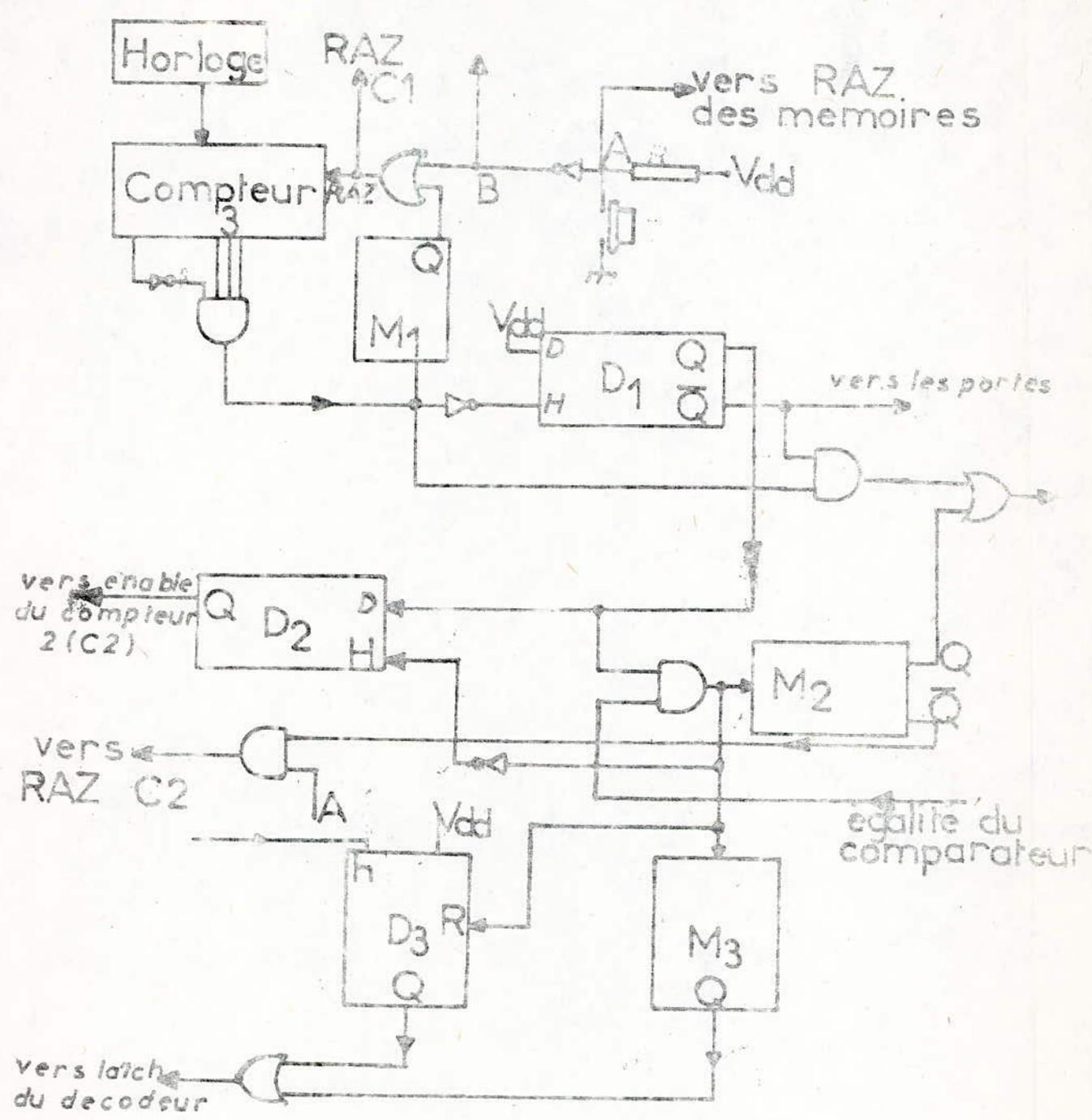


Figure III 9 schema fonctionnel de la partie synchronisation

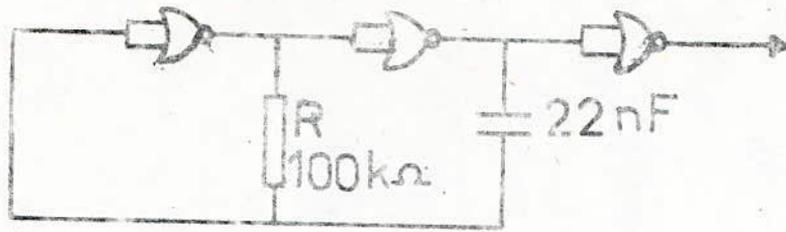


Figure III.10 : schema de L'horloge

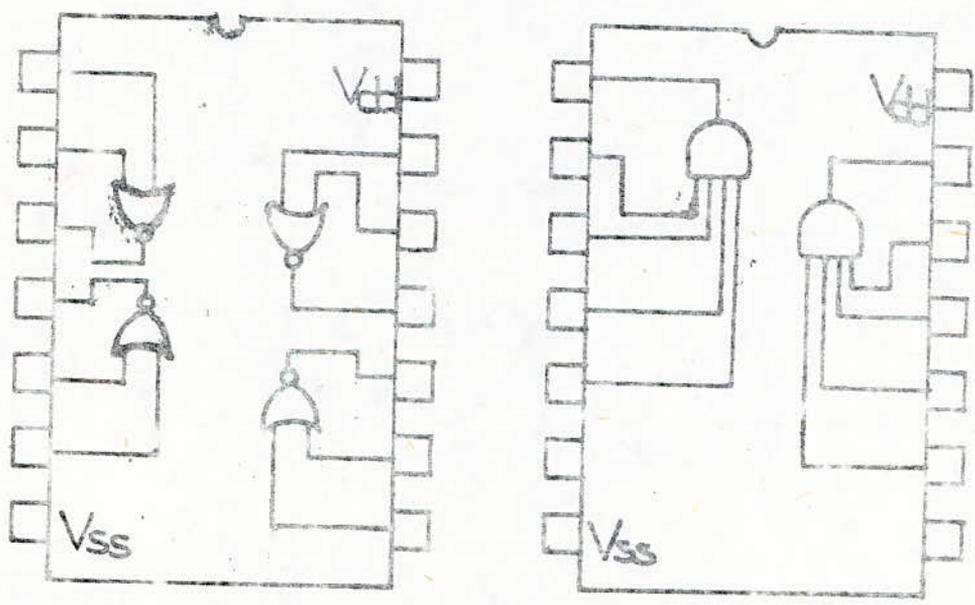


Figure III.11 brochage du MC14001B et 14082B

La troisième porte est utilisée comme buffer de sortie, elle améliore la forme du signal produit et rend la qualité du signal plus indépendante de la charge appliquée à la sortie, de même que la fréquence de fonctionnement.

### III-4.2 Le compteur-décodeur

Le comptage des impulsions d'horloge est réalisé à l'aide d'un circuit de type MC 14040 B qui est un compteur asynchrone à 12 bits.

La porte AND à quatre entrées du type MC 14082 ( figure III.11 ) décode le nombre 224 et permet d'obtenir des impulsions séparées par un intervalle de temps de 0,5 seconde. Ces impulsions sont utilisées à travers le monostable M 1, pour la remise à zéro des compteurs 1 et 3.

### III-4.3 Les monostables

Les circuits utilisés sont du type MC 14528 B qui contient deux monostables chacun. ( figure III.12 )

Chaque monostable peut être déclenché par n'importe quel front ( montant ou descendant ) de l'impulsion d'entrée. La durée de l'impulsion délivrée par le monostable est déterminée par les éléments extérieurs au circuit, résistance et capacité et peut être calculée par la relation  $T = 0,69 RC$ .

Les valeurs des résistances et des capacités choisies pour les monostables M 1 , M 2 , M 3 sont respectivement:

$$R 1 = 10 \text{ K.Ohms}$$

$$R 2 = 10 \text{ K.Ohms}$$

$$R 3 = 10 \text{ K.Ohms}$$

$$C 1 = 33 \text{ pF}$$

$$C 2 = 02 \text{ pF}$$

$$C 3 = 33 \text{ pF}$$

$$T 1 = 0,24 \text{ us}$$

$$T 2 = 0,5 \text{ us}$$

$$T 3 = 0,24 \text{ us}$$

Le monostable M 1 est excité toutes les 0,5 seconde par le front descendant des impulsions délivrées par l'ensemble compteur-décodeur.

Les impulsions de durée très brève ( 0,24 us ) obtenues à la sortie du monostable M 1, permettent de remettre à zéro les compteurs 1 et 3.

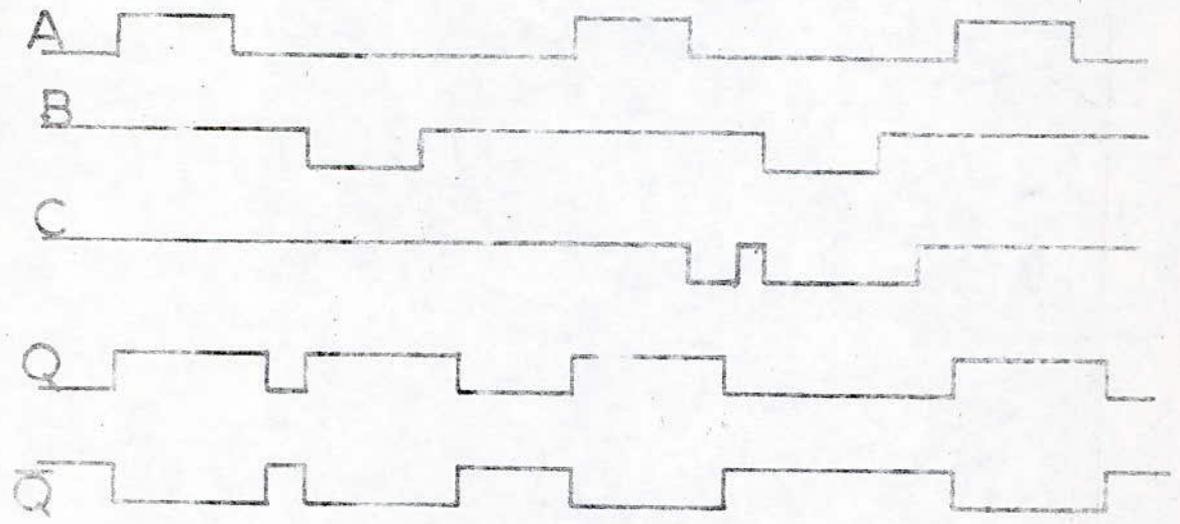
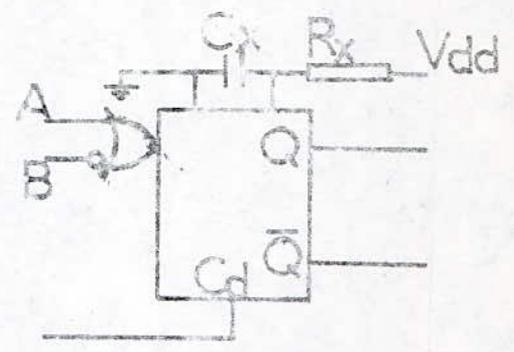
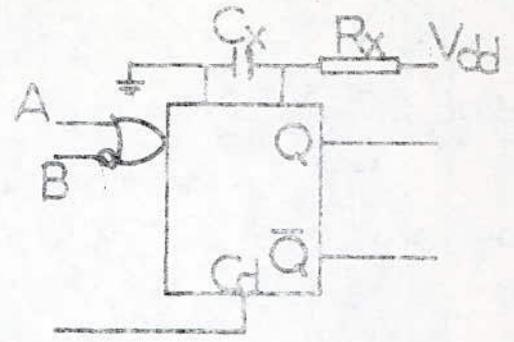
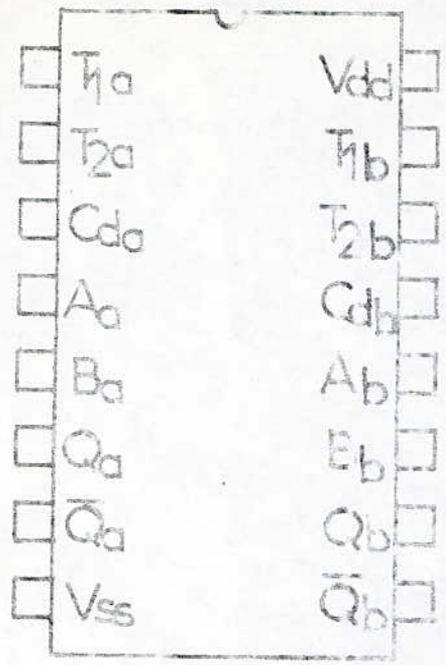


Figure III 12 brochage et chronogramme du monostable MC14528B

Le monostable M 2 est déclenché par le front descendant des tops d'égalité délivrés par le comparateur, sa sortie attaque l'entrée d'horloge de la mémoire 1, ce qui permet de faire le transfert du contenu de l'additionneur vers celle-ci et cela après l'exécution de l'addition.

Le monostable M 3 délivre des impulsions de durée très courte après chaque front montant des tops d'égalité du comparateur, ceci permet au décodeur BCD 7 segments de mémoriser l'information juste après passage de ces fronts montants.

#### III-4.4 Les bascules

Les circuits utilisés sont du type MC 14013 B, chaque circuit contient deux bascules D flip flop indépendantes, qui ont chacune une entrée de mise à un (préset) et une entrée de remise à zéro (reset) indépendamment du signal qui se présente à son entrée d'horloge. (figure III. 13)

La bascule D 1 est initialement remise à zéro ( $Q = 0$ ) à l'aide du bouton poussoir. Elle permet le transfert une seule fois, le contenu du compteur 1 vers la mémoire 1 au front montant, et la fermeture des portes AND au front descendant, du signal délivré par l'ensemble compteur-décodeur.

La bascule D 2 ne permet le comptage des impulsions d'horloge par le compteur 3, qu'après le front descendant du premier top d'égalité délivré par le comparateur.

La bascule D 3 est utilisée pour figer l'affichage pendant neuf (9) secondes environ pour des périodes supérieures à quarante (40) secondes.

Cette bascule reste inactive pour des périodes inférieures ou égales à quarante (40) secondes et l'affichage se fige pendant toute la durée de ces périodes.

#### III-4.5 Commande manuelle d'initialisation

Elle est réalisée à l'aide d'un bouton poussoir et d'une résistance R ce qui permet d'avoir une impulsion de remise à zéro des compteurs, des mémoires et des bascules D. (figure III. )

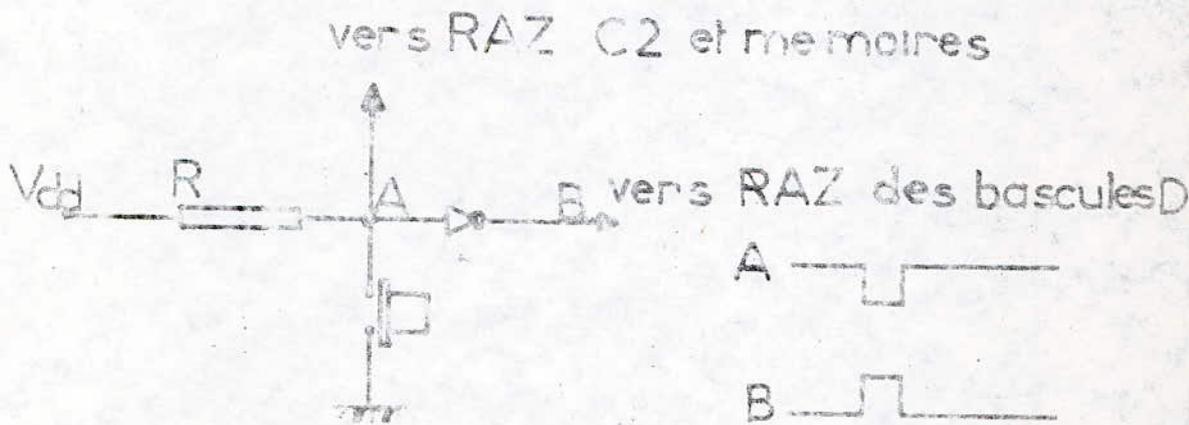
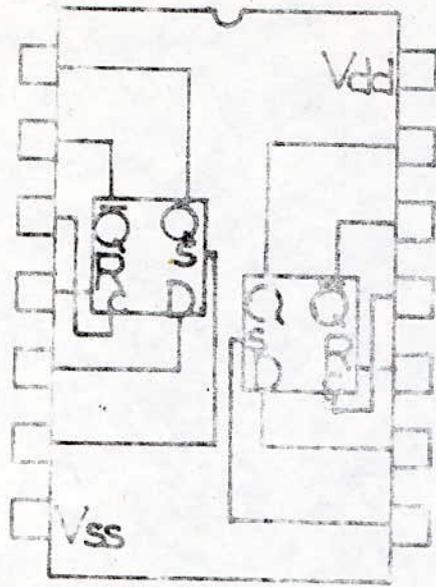


Figure III 14 commande manuelle d'initialisation

### III-5 Partie comptage et visualisation

Cette partie permet de déterminer la valeur de la période T et sa visualisation, elle comprend: ( figure III.15 )

- L'échelle de comptage des temps
- Le dispositif de visualisation

#### III-5.1 L'échelle de comptage des temps

Elle est réalisée par cinq décades placées en cascade, chaque décade est un compteur BCD synchrone de type MC 14061 B qui réagit au front montant du signal d'horloge. ( figure III.16 )

Le circuit MC 14061 B possède , deux entrées de validation ( PE , TE ), une commande de chargement de l'information présente sur ses entrées P 1, P 2, P 3 P 4, qui agit sur le front descendant.

Dans notre cas , les entrées P 1, P 2, P 3, P4 sont à la masse , la commande de chargement ( Load ) est reliée à  $V_{DD}$ .

La remise à zéro du compteur se fait sur le front descendant de la commande clear indépendamment du signal d'horloge.

Le circuit MC 14061 B possède une sortie retenue ( Carry out ) qui permet de l'utiliser en cascade avec d'autres circuits de mêmes type.

Pour permettre un comptage correct, nous avons intercallé un inverseur entre l'entrée d'horloge de chaque circuit et la sortie carry out du circuit qui le précède. Ces inverseurs sont utilisés à cause du signal carry out qui passe à l'état haut à la neuvième impulsion et qui revient à l'état bas à la dixième.

L'échelle compte les impulsions délivrées par l'horloge pendant la durée qui sépare deux tops d'égalité du comparateur.

#### III-5.2 Le dispositif de visualisation

Il se compose de quatre décodeurs BCD 7 segment, quatre afficheurs et une LED.

Les entrées et sorties du décodeur sont reliées respectivement au compteur BCD

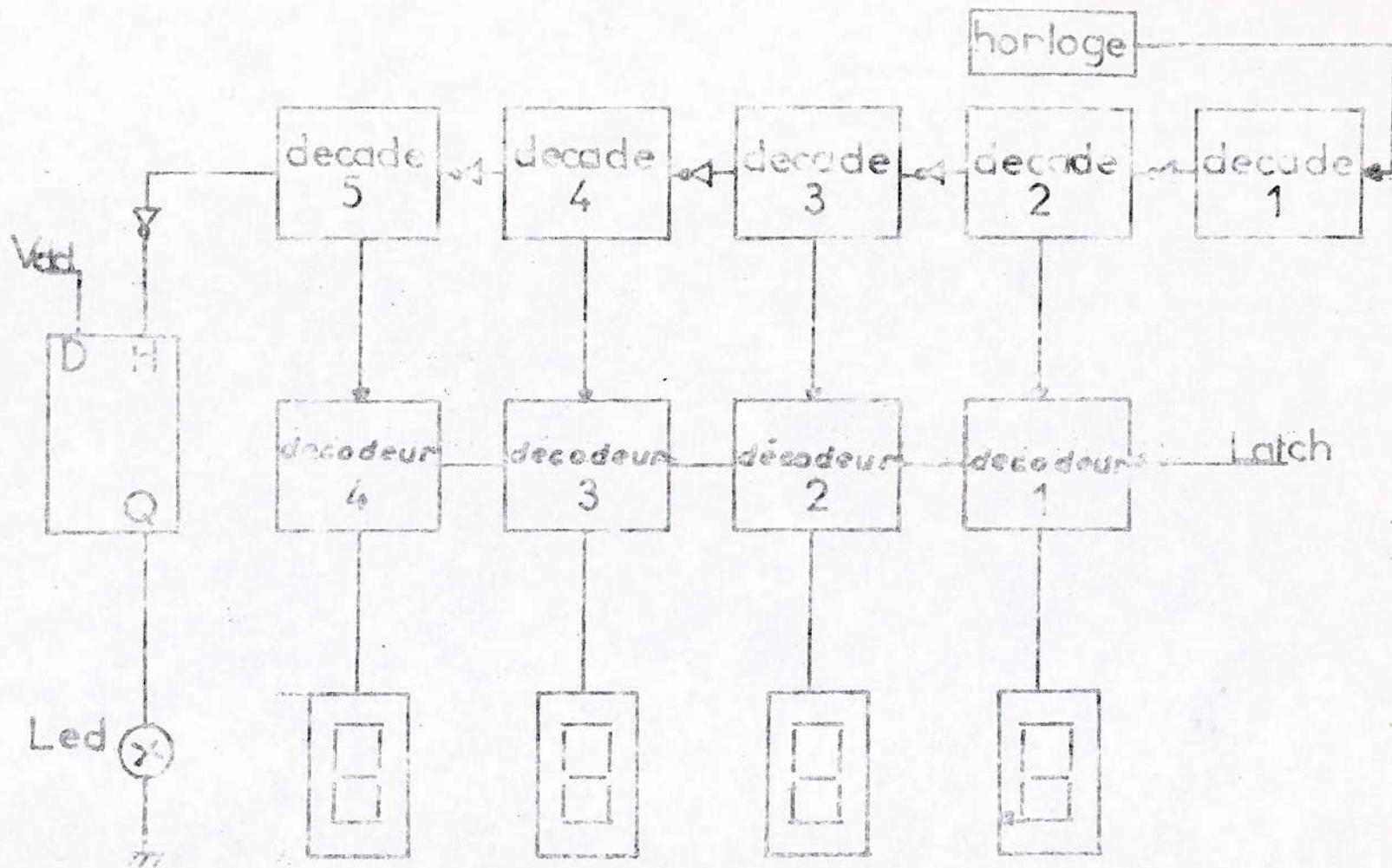


Figure III 15 schema fonctionnel de la partie comptage et visualisation de T

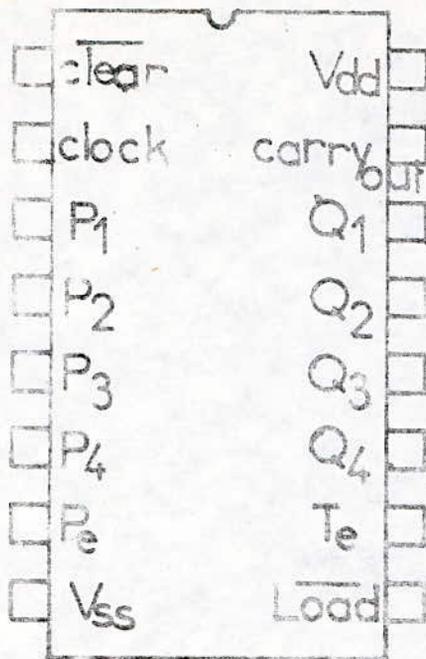
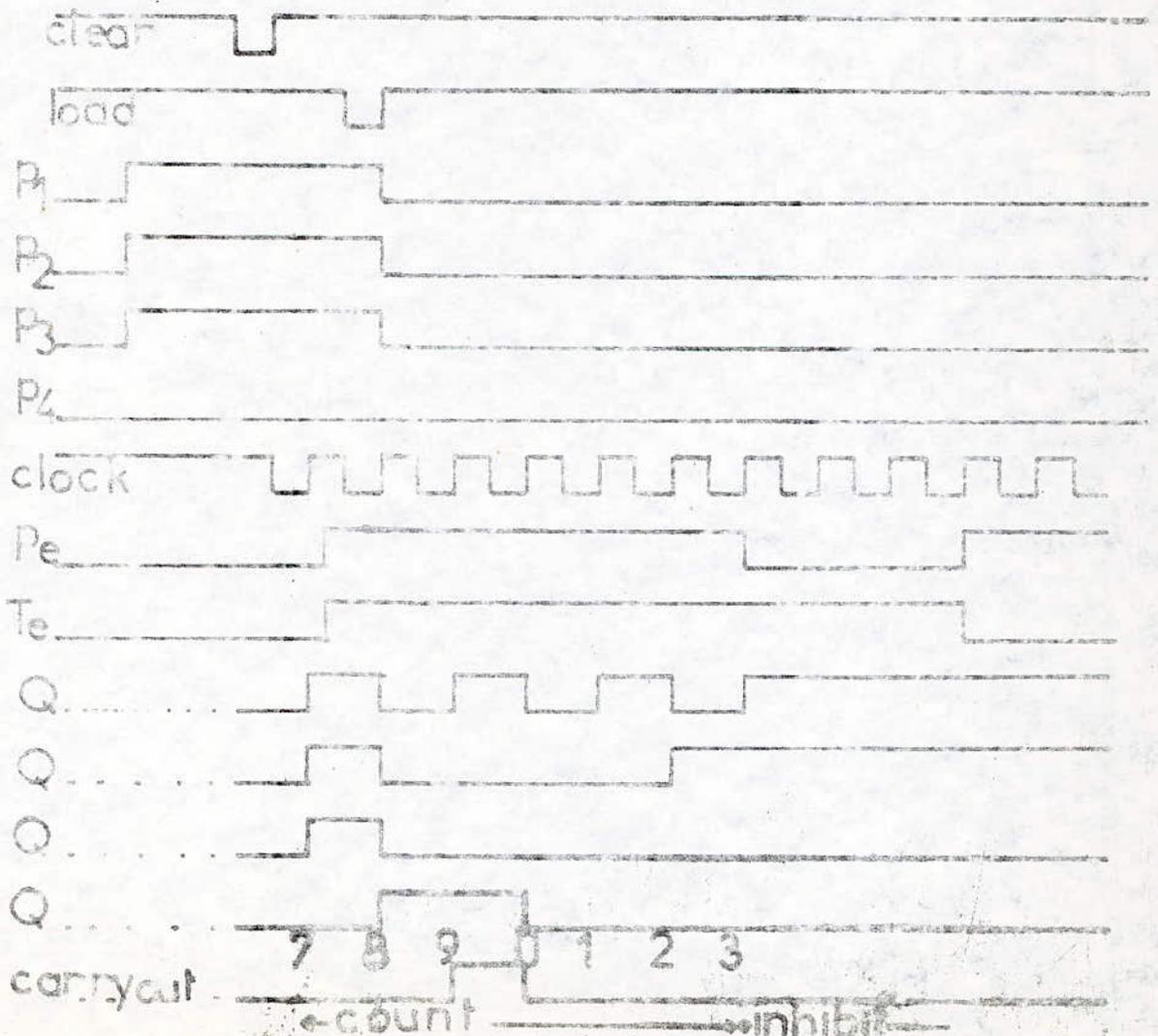


Figure III 16 brochage et chronogramme du compteur MC 14061B



et aux afficheurs à travers des résistances de 2,7 K.Ohms qui limitent le courant dans les afficheurs à environ 5 mA.

### III-5.2.1 Décodeur BCD 7 segments

Les décodeurs utilisés sont du type MC 14543 B, ils peuvent être utilisés pour des afficheurs 7 segments dont les leds sont à anode ou cathode commune, et cela en reliant la broche 6 ( Ph ) respectivement à  $V_{DD}$  ou à  $V_{SS}$  .

Le circuit MC 14043 B possède, une commande LD de mémorisation ( Latch ) de l'information présente à ses entrées, ce décodeur réagit à l'état bas de cette commande. ( figure III.17 )

### III-5.2.2 Afficheurs 7 segments

Les quatre afficheurs 7 segments utilisés sont du type M7933 à anode commune . ( figure III.18 )

Tous les afficheurs s'éteignent quand le compteur 2 atteint sa capacité maximale, c'est-à-dire que la période T est supérieure à 999,9 secondes.

Pour indiquer des périodes infinies ( supérieures à 1000 secondes ) nous avons prévu une LED qui s'allume dès l'extinction des afficheurs .

Cette LED est commandée par la bascule D 4 ( entrée reliée à  $V_{DD}$  ) qui passe à l'état haut (  $Q = 1$  ) dès l'apparition du front descendant du carry out du dernier compteur BCD.

inputs						outputs								
L <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	R <sub>2</sub> <sup>a</sup>	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	Display
x	1	0	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	2
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	6
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	9
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	blank
1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	blank
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	blank
1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	blank
1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	blank
1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	blank
0	0	0	x	x	x	x		*	*	*				**
†	†	1			‡		inverse of output combinations above						display as above	

\* don't care

† above combinations

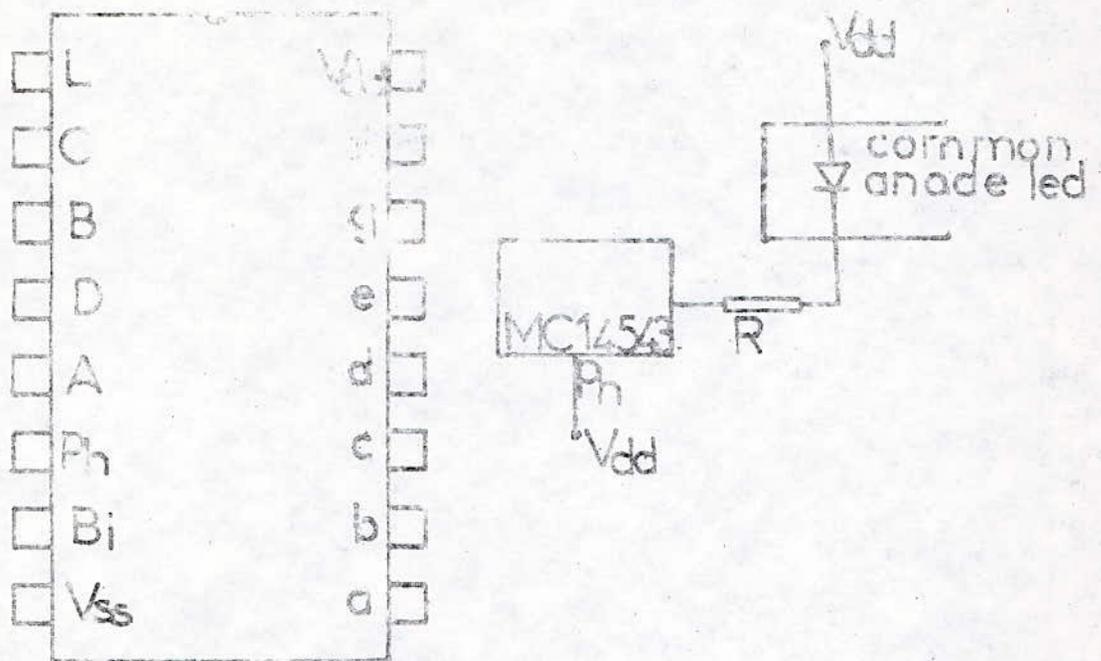
‡ for liquid crystal readouts, apply a square wave to Ph<sub>2</sub>

for common cathode Led readouts select Ph<sub>2</sub>=0

for common anode Led readouts select Ph<sub>2</sub>=1

\*\* depends upon the BCD code previously applied when L<sub>0</sub>†

Table de verité du MC14543 B



brochage du decodeur  
BCD 7 segments

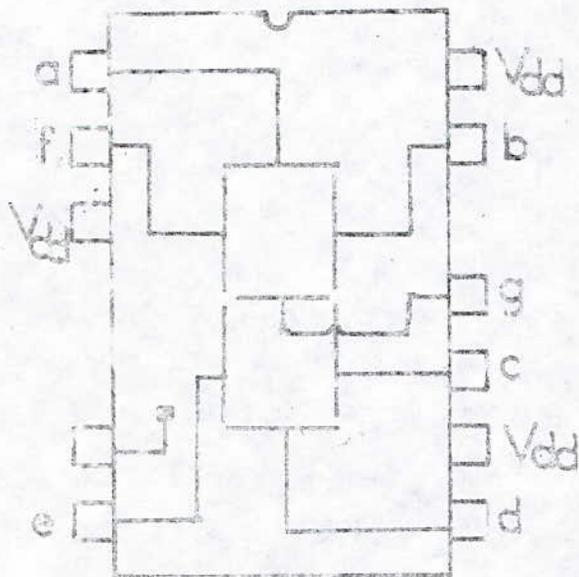


Figure III 18. utilisation des afficheurs  
7 segments

C O N C L U S I O N

=O=O=O=O=O=O=O=O=O=O=

Le travail que nous avons effectué constitue une première approche pour la surveillance d'un réacteur nucléaire pendant sa phase de démarrage.

Nôtre appareil peut être utilisé pour la mesure des périodes avec une assez bonne précision pour les comptages élevés.

Les tests de fonctionnement réalisés avec un signal d'entrée , non bruité, dont la variation de fréquence est exponentielle , ont donné des résultats positifs.

Le problème essentiel rencontré au cours de nôtre étude a été la réalisation d'un compromis entre le temps de réponse et la précision , aux bas comptages. Ce problème se pose au niveau du choix du temps d'échantillonnage.

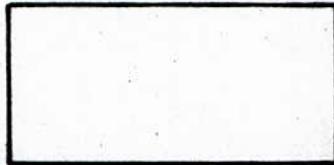
Toutefois l'utilisation d'un micro-processeur pourrait réaliser un meilleur compromis entre le temps de réponse et la précision de l'appareil.

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

o=o=o=o=o=o=o=o=o=o=o=o=o

- Contrôle et Électronique des réacteurs nucléaires . J . FURET  
Masson et Cie  
Éditeurs 1968
  
- Génie atomique Tome 1 et 2
  
- Circuits intégrés et techniques numériques R . DELSOL
  
- Semi conducteur data library C-MOS MOTOROLA 5 / series B
  
- PHILIPS DATA HANDBOOK signetics integrated circuits logic TTL.1978

# Périodemètre



**sec.**



**entrée**

5v



**init.**

CEN - CDCE

