

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

14/79

Ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRICITE

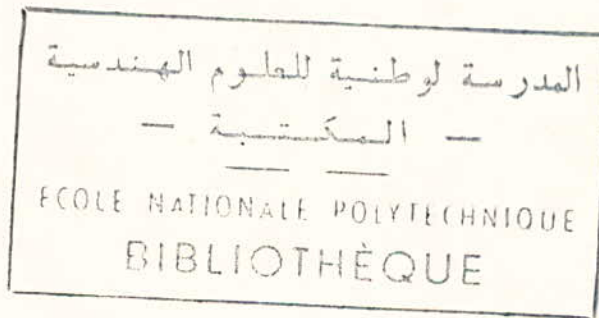
ELECTRONIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES



ETUDE ET REALISATION D'UN ENSEMBLE D'ICTOMETRIE



Proposé par :

M. REZIG

Etudié par :

M. KAOUA

M. ZIZI

Juin 1979





UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRICITE



PROJET DE FIN D'ETUDES



**ETUDE ET REALISATION
D'UN ENSEMBLE D'ICTOMETRIE**

Proposé par :

M. REZIG

Etudié par :

M. KAOUA

M. ZIZI

Juin 1979



A MES PARENTS

M. ZIZI

M.

A MES PARENTS

M. KAOUA.

K.M.

AVANT PROPOS

Ce présent travail a été réalisé à l'institut des Sciences et de la Technologie d'Alger.

Nous remercions Monsieur M.KACIMI pour nous avoir accueillies dans sa Division et pour avoir bien voulu faire partie du jury.

Nous remercions vivement Monsieur M.REZIC pour nous avoir guidées, encouragées et conseillées tout au long de ce projet.

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

Nous avons été sensibles à l'intérêt que Messieurs SAICHI et BOUGUECHAL ont porté à notre travail. Nous les remercions pour leurs nombreuses suggestions et précieux conseils.

Nos remerciements vont aussi au Personnel de l'Institut et plus particulièrement à Mademoiselle CHABOUB qui a bien voulu s'occuper avec soin de la frappe de ce texte, à Monsieur SABRI et au personnel du Labo photo et du service ronéo pour leur assistance technique.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail soient remerciés.

TABLE DES MATIERES

<u>INTRODUCTION</u>	-1-
I - Contrôle du réacteur nucléaire	-3-
1. Principe de fonctionnement d'un réacteur	-3-
1.1. Réaction de fission en chaîne	-3-
1.2. Principe de fonctionnement d'un réacteur	-5-
1.3. Expression du facteur de multiplication	-8-
2. Comportement dynamique d'un réacteur	-10-
Effets intervenant sur la réactivité	-14-
3. Principe du contrôle d'un réacteur nucléaire	-18-
3.1. Les détecteurs	-18-
3.2. Contrôle d'un réacteur nucléaire	-22-
II - Présentation d'un ensemble d'ictométrie	-25-
Introduction	-25-
1. Caractéristiques des signaux d'entrées	-25-
1.1. Formation de l'impulsion	-25-
1.2. Aspect statistique du taux de comptage	-27-
2. Schéma fonctionnel d'un ensemble d'ictométrie	-27-
3. Traitement des impulsions	-31-
3.1. L'amplification	-31-
3.2. Le discriminateur	-31-
3.3. La mise en forme	-32-

4. Ictomètre numérique	-32-
4.1. Principe de fonctionnement	-32-
4.2. Caractéristiques	-35-
5. L'ictomètre analogique	-36-
5.1. Conversion fréquence amplitude	-36-
5.2. Approximation logarithmique	-38-
5.3. Approximation linéaire	-40-
III - Réalisation de l'ensemble d'ictométrie.	-41-
Introduction.	-41-
1. L'Amplificateur.	-41-
1.1. Le schéma de principe	-41-
1.2. Polarisation des transistors	-43-
1.3. Etude dynamique	-45-
2. Le discriminateur	-49-
3. L'ictomètre numérique	-53-
3.1. Schéma synoptique	-53-
3.2. L'horloge	-55-
3.3. L'échelle de comptage	-57-
3.4. Le comparateur	-61-
3.5. Les circuits de commande	-64-
3.6. Le dispositif de visualisation	-66-
4. L'ictomètre analogique	-66-
5. Alimentation	-71-
CONCLUSION	-73-
BIBLIOGRAPHIE	-74-

INTRODUCTION

La puissance à laquelle fonctionne un réacteur nucléaire peut à chaque instant être contrôlée par un ou plusieurs opérateurs en salle de contrôle. Néanmoins pour certains modes de fonctionnement tels que fonctionnement à puissance stable prolongée ou à transitoires rapides, il devient nécessaire d'assurer le contrôle de la puissance par une chaîne de contrôle électronique. Le principe de cette chaîne consiste à comparer un signal électrique proportionnel à la puissance, à une consigne pouvant être soit stable soit variable.

Le but de notre projet est l'étude et la réalisation d'un élément essentiel de cette chaîne de contrôle. Il s'agit d'un ensemble d'ictométrie destiné à connaître à tout instant la puissance neutronique et à suivre son évolution.

La mesure de cette puissance se fait par le traitement du signal délivré par un détecteur neutronique placé à proximité du coeur du réacteur.

Le signal à la sortie de cet ensemble d'ictométrie peut en outre être exploité pour la commande des systèmes de sécurité du réacteur.

Notre étude comporte trois chapitres :

Le premier chapitre constitue plutôt un rappel d'ensemble, en vue de situer notre appareil dans la boucle de contrôle d'un réacteur nucléaire. Après une brève description du réacteur et de son principe de fonctionnement, nous avons jugé utile de présenter certains types de détecteurs pour expliquer la transformation du phénomène physique (flux neutronique) en un signal électrique.

Les informations issues du détecteur (détecteur d'impulsions) ne sont pas directement exploitables; il appartient donc à l'ensemble d'ictométrie de les traiter avant de les mesurer.

C'est dans le deuxième chapitre que se fait la présentation de cet ensemble d'ictométrie. On développera en premier lieu la partie relative au traitement c'est-à-dire à l'amplification, la discrimination et la mise en forme des impulsions.

On décrira par la suite les divers processus de mesure, entre autres :

- La mesure linéaire et logarithmique permettant de suivre d'une façon continue dans le temps l'évolution de la puissance neutronique.

- La mesure numérique qui consiste à compter d'une manière plus précise les impulsions issues du détecteur lorsque le réacteur fonctionne à puissance constante.

Parallèlement on donnera les principales caractéristiques que doit posséder cet ensemble pour satisfaire les fonctions qui lui sont demandées.

Le troisième chapitre est consacré à la réalisation de notre appareil; il comportera les différents schémas des circuits adoptés et les technologies utilisées.

CHAPITRE I

CONTROLE DU REACTEUR NUCLEAIRE

1. Principe de fonctionnement d'un Réacteur :

1.1 Réaction de fission en chaîne.

1.1.1. Principe de la réaction en chaîne.

On trouve dans la nature un seul atome fissile, l'Uranium 235 dont la proportion est de 0,7% de l'Uranium naturel, le reste soit 99,3% étant de l'Uranium 238 non fissile.

Chaque fission ou cassure d'un noyau d'Uranium 235 sous l'action d'un neutron engendre 2 à 3 neutrons rapides. Ces neutrons à leur tour peuvent entraîner la fission d'autres noyaux d'Uranium avec émission de neutrons lesquels engendreront d'autres neutrons et ainsi de suite. Ainsi se réalise une réaction de fission en chaîne. (voir fig.1).

1.1.2. Différents états de la réaction en chaîne .

Dans 1 milieu réel, fini où se produit la réaction de fission en chaîne, les neutrons émis lors de la fission peuvent avoir plusieurs destinées.

- Provoquer la fission d'autres noyaux.
- Etre absorbés par d'autres noyaux constituant les matériaux du milieu.
- Ils peuvent fuir du milieu.

Donc 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 reproduction ou de multiplication K. On le définit comme étant le rapport du nombre de neutrons, d'une génération au nombre de neutrons de la génération précédente.

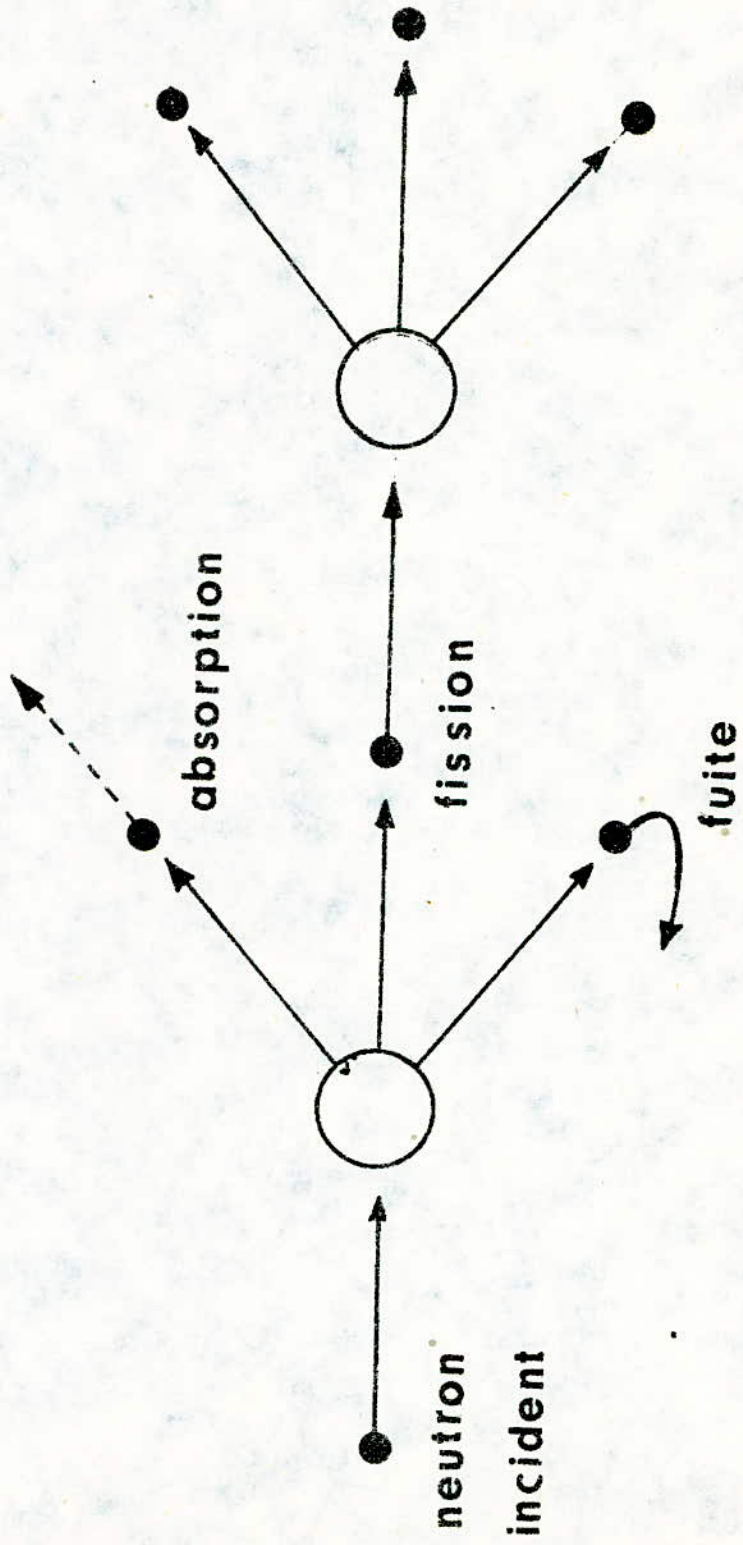


Fig 1 Reaction en chaîne

$$k = \frac{\text{nombre de neutrons d'une g\u00e9n\u00e9ration (i)}}{\text{nombre de neutrons d'une g\u00e9n\u00e9ration (i-1)}}$$

3 Cas peuvent se pr\u00e9senter.

- $k > 1$. Le nombre de neutrons croit tr\u00e8s rapidement d'une g\u00e9n\u00e9ration \u00e0 une autre. La r\u00e9action en cha\u00eene est divergente.
On dit que le syst\u00e8me est en \u00e9tat surcritique
- $k < 1$. La r\u00e9action en cha\u00eene converge, c'est l'\u00e9tat sous critique.
- $k = 1$. Le nombre de neutrons demeure constant au cours des g\u00e9n\u00e9rations. La r\u00e9action s'entretient d'elle m\u00eame d'o\u00f9 l'obtention d'un r\u00e9gime critique. C'est la condition de fonctionnement des r\u00e9acteurs nucl\u00e9aires.

1.2. Principe de fonctionnement d'un r\u00e9acteur.

Le r\u00e9acteur nucl\u00e9aire est un ensemble o\u00f9 l'on peut d\u00e9clencher, maintenir et contr\u00f4ler la r\u00e9action de fission en cha\u00eene; celle ci se produit dans le coeur du r\u00e9acteur qui est constitu\u00e9 d'\u00e9l\u00e9ments combustibles (uranium pour r\u00e9acteur thermique).

Les neutrons lib\u00e9r\u00e9s au cours d'une r\u00e9action de fission ont des \u00e9nergies \u00e9lev\u00e9es. A ces \u00e9nergies correspondent des sections efficaces de fission de l'uranium 235 et de l'uranium 238 faibles (voir fig.2)

Il s'ensuit que dans ce domaine d'\u00e9nergie, il est impossible de maintenir une r\u00e9action de fission en cha\u00eene.

sections efficaces
(barns)

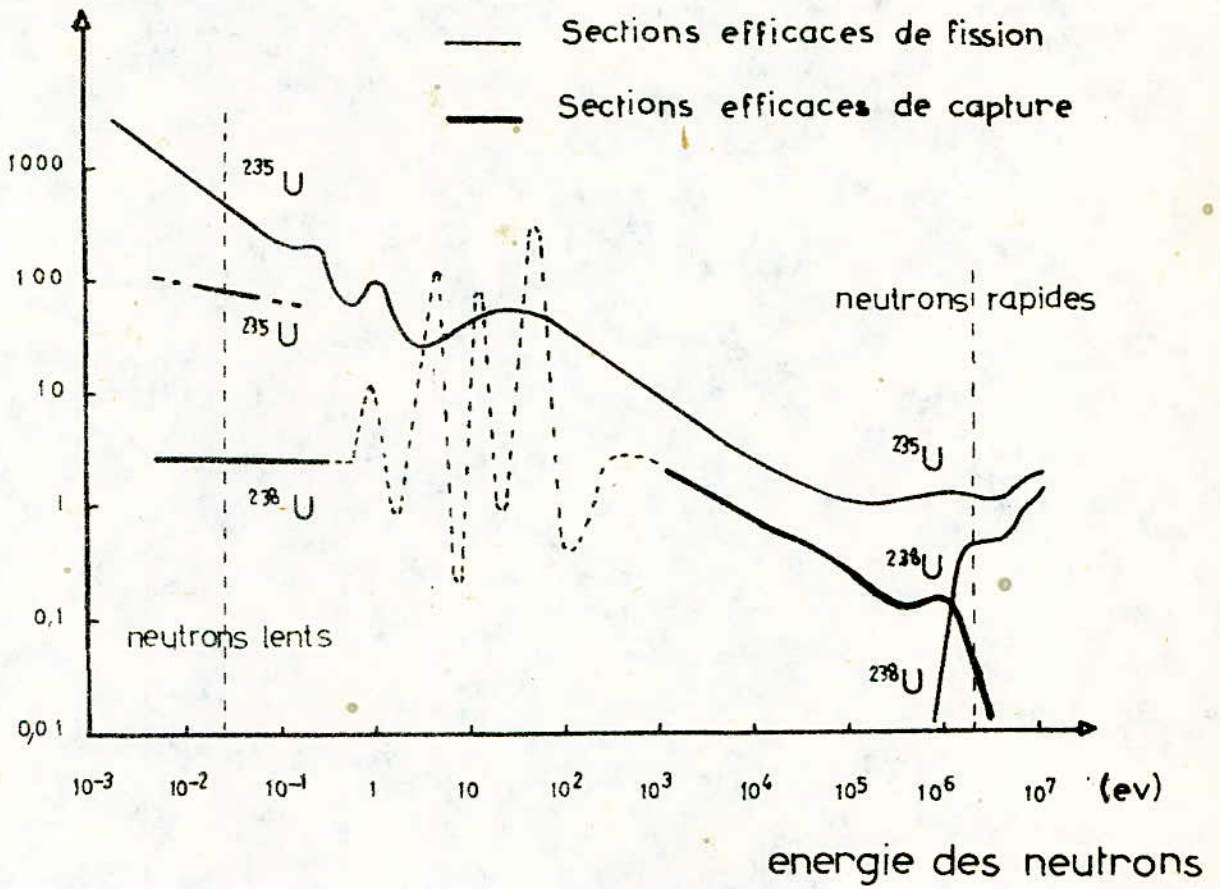


FIG 2. SECTIONS EFFICACES DES ISOTOPES DE L'URANIUM

La figure 2 montre bien que la section efficace de fission est grande quand on abaisse, le plus possible, l'énergie du neutron. Pour les neutrons de basse énergie ou neutrons thermiques, l'uranium 235 présente la probabilité de fission la plus grande. Il est donc nécessaire de ralentir les neutrons de fission rapides pour maintenir une réaction de fission en chaîne. Cette réduction d'énergie (de vitesse) est obtenue lorsque on fait subir aux neutrons des chocs élastiques, sur les noyaux d'une substance légère, appelée modérateur ou ralentisseur, (on peut citer l'eau lourde, le graphite).

Au cours de leur ralentissement les neutrons de fission rapides peuvent être absorbés stérilement par l'Uranium 238 : ce sont les pertes neutroniques qui risquent de provoquer "l'extinction" des neutrons avant qu'ils aient atteint l'énergie suffisante de fission de l'Uranium 235.

On minimise ces pertes neutroniques en introduisant le combustible (l'Uranium naturel) sous forme de barres ou aiguilles à l'intérieur du modérateur : les neutrons de fission rapides s'échappent d'un barreau et sont ralentis dans le modérateur avant de pénétrer dans un autre barreau avec une énergie en deça de la zone d'absorptions stériles.

Ainsi l'entretien de la réaction de fission en chaîne est possible.

Pour réduire la probabilité de fuites neutroniques on entoure le coeur d'un réflecteur. L'ensemble coeur-réflecteur est isolé du milieu extérieur par une enveloppe protectrice étanche à base de béton lourd, ainsi on assure la protection du milieu extérieur des rayonnements produits lors de la réaction de fission en chaîne.

Le contrôle du réacteur se fait à l'aide de barres de contrôle faites d'éléments absorbeurs de neutrons.

Un fluide réfrigérant sert à évacuer les calories produites dans le coeur. (Fig.3)

1.3. Expression du facteur de multiplication.

On suppose qu'on se trouve dans un milieu infini, c'est-à-dire sans fuite de neutrons.

Soit n le nombre de neutrons thermiques capturés dans le combustible.

Soit η le nombre moyen de neutrons de fission émis par neutron thermique absorbé dans le matériau combustible. Le nombre de neutrons produits sera alors $n\eta$. Ces neutrons très énergétiques au début, peuvent provoquer la fission de l'uranium 238. L'excédent de neutrons dû à la fission de l'uranium 238 est pris en compte par l'introduction du coefficient $\epsilon = 1,03$ qui est appelé facteur de fission rapide.

Le nombre de neutrons de fission devient alors $n\eta\epsilon$. Ces neutrons étant ralentis dans le modérateur passent dans une zone d'énergie où l'Uranium 238 présente des résonances d'absorption stérile. Une fraction p de neutrons de fission arrive à l'état thermique, p et appelé probabilité d'antitrappe. Le nombre de neutrons atteignant le niveau thermique est donc alors $n\eta\epsilon p$.

Une partie f de ces neutrons est absorbée dans le combustible, le reste l'étant dans le modérateur et les matériaux de structure, f est appelé facteur d'utilisation thermique.

Le nombre de neutrons capturés dans le combustible sera : $n\eta\epsilon pf$.

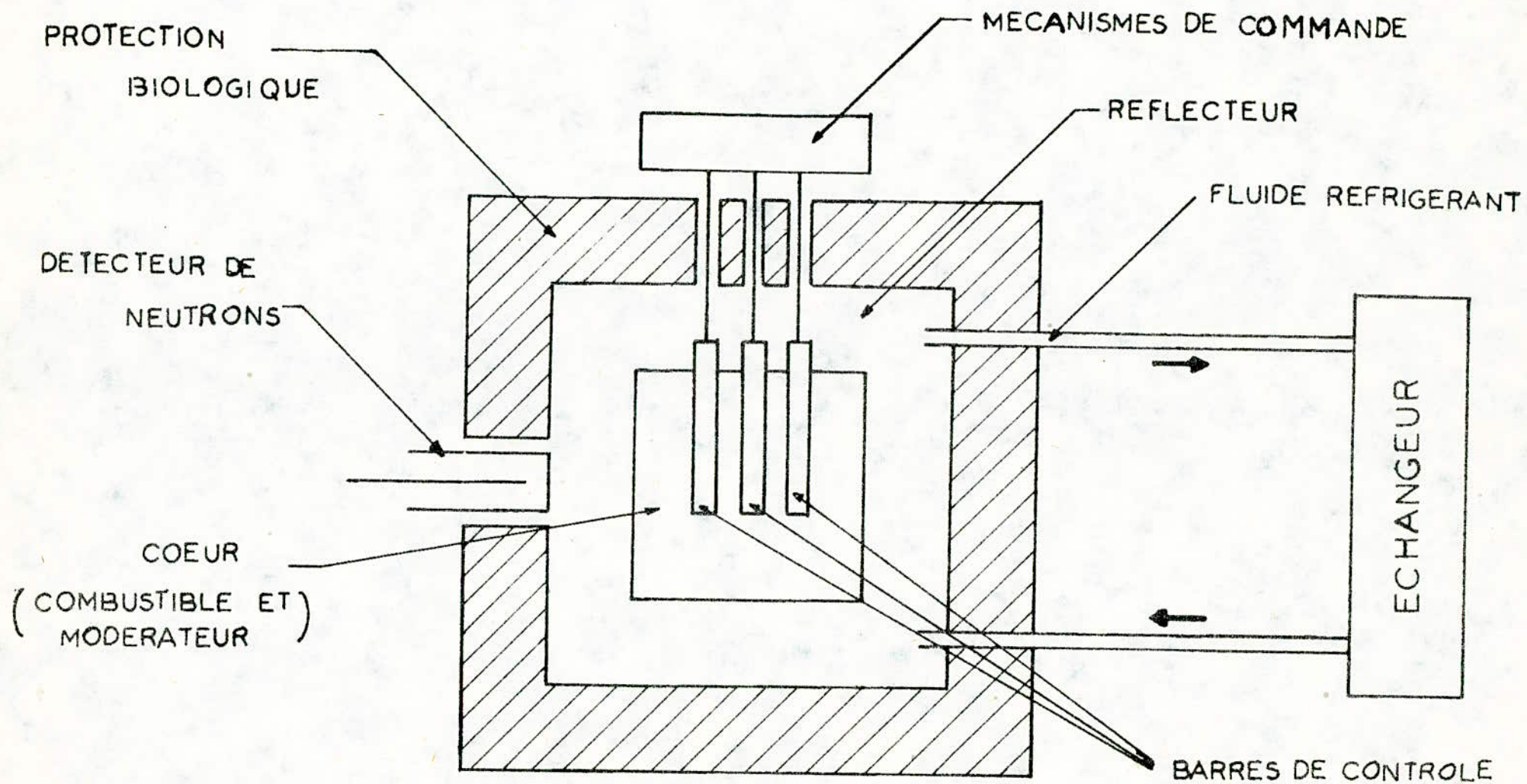


FIG 3 : SCHEMA DE PRINCIPE D UN REACTEUR NUCLEAIRE

On en déduit le facteur de multiplication en milieu infini:

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

$$k_{\infty} = \eta \epsilon p f.$$

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.

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

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

2. Comportement dynamique d'un réacteur .

Lors de la fission une quantité d'énergie importante est libérée avec émission de neutrons prompts et retardés. Les neutrons prompts sont émis immédiatement après la fission (10^{-14} s), quant aux neutrons retardés ils n'apparaissent en moyenne qu'après plusieurs dizaines de secondes. Ces neutrons déterminent l'évolution de la réaction en chaîne, donc le comportement dynamique du réacteur.

Les neutrons retardés (0,7% des neutrons de fissions) sont émis par certains produits de fission appelés "émetteurs" de neutrons retardés lesquels sont issus après désintégration β^- des produits de fissions dits précurseurs de neutrons retardés.

On classe ces neutrons en 6 groupes suivant la période de leur précurseurs (voir tableau pour U_{235} fig 4)

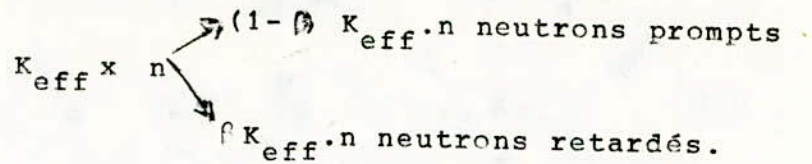
Si n désigne le nombre de neutrons présents dans le réacteur à l'instant t, et θ le temps de vie d'un neutron, temps qui s'écoule en moyenne entre la naissance d'un neutron par fission et sa disparition .

Groupes	Nombre de neutrons retardés pour 1 Neutron de fission β_i	Constante radioactive $\lambda_i \text{ sec}^{-1}$	Vie Moyenne $t_i \text{ sec}$
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	$\beta = 0,0064$	$\lambda = 0,080$	$t_M = 12,50$

Fig.4 Constantes liées aux précurseurs de neutrons retardés.

Alors au temps $t + \theta$ nous aurons $K_{\text{eff}} \times n$ neutrons.

Ces $K_{\text{eff}} \times n$ neutrons se subdivisent en 2 catégories :



Dans ce cas le taux de production de neutrons prompts sera égal à $\frac{K_{\text{eff}} \cdot n (1 - \beta)}{\theta}$; et le taux de production de neutrons retardés provenant de C_i précurseurs du groupe i dont la constante de désintégration radioactive est λ_i , sera égal à $\sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i$.

On en déduit le taux de variation du nombre total de neutrons :

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

ou

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

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.

De même le taux de formation des précurseurs est proportionnel au taux de production dans le réacteur et au rendement β_i du groupe i , et vaut $\frac{k n}{\theta} \beta_i$

D'où le taux de variation des précurseurs du groupe i :

$$\frac{d C_i}{dt} = \frac{k n}{\theta} \beta_i - \lambda_i C_i \quad (2)$$

Pour caractériser l'état d'un réacteur on a été conduit à introduire une grandeur ρ , appelée réactivité, et un paramètre T , dit période du réacteur.

$$\text{où } T = \frac{\theta}{k-1} = \frac{\theta}{\delta k}$$

$$\text{et } \rho = \frac{k-1}{k} = \frac{\delta k}{k} \quad \text{unité P.c.m.}$$

Au cours du fonctionnement d'un réacteur il est nécessaire de connaître à tout instant la période et il est intéressant de la relier à la réactivité.

La résolution des opérations (1) et (2). nous donne :

$$\rho = \frac{\theta \omega_j}{1 + \theta \omega_j} + \frac{1}{1 + \theta \omega_j} \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i \omega_j}{\omega_j + \lambda_j} \quad (3)$$

L'équation (3) appelée "équation de Nordheim", lie la réactivité ρ aux périodes ($\omega_0, \dots; \omega_6$), correspondantes aux 6 groupes de neutrons retardés.

La courbe représentative de cette équation est donnée par la fig.5.

Remarque :

Pour les valeurs de $\rho > 0$ on a 6 racines négatives et 1 seule racine positive ω_0 . Au bout d'un certain temps seule la période ω_0 demeure après extinction des autres périodes. Dans ce cas l'évolution de la densité neutronique peut s'écrire.

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

$T_0 = \frac{1}{\omega_0}$ est appelée période stable.

Lorsqu'on ne tient compte que de T_0 , l'équation de Nordheim devient alors :

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

La fig. 6. nous montre l'évolution de ρ en fonction de la période stable du réacteur pour différentes valeurs de temps de vie des neutrons.

On vérifie que pour $\rho = 0$ on a T qui est infini : le réacteur est très stable.

De même pour les faibles valeurs de réactivité, la période est assez grande : le réacteur est voisin de l'état critique et son contrôle est possible.

Par contre pour de fortes valeurs de réactivité, la période stable donnée par la courbe de Nordheim est assez voisine de celle obtenue par l'égalité $\rho = \frac{\theta}{K T_0}$ (courbe de Nordheim dans laquelle on néglige les neutrons retardés) : Le réacteur est très instable et incontrôlable. Ceci montre bien le caractère bénéfique des neutrons retardés pour le fonctionnement et le contrôle d'un réacteur.

2.1 : Effets intervenant sur la réactivité.

Nous avons vu que le terme réactivité définit le comportement dynamique du réacteur nucléaire.

Plusieurs grandeurs physiques peuvent modifier cette réactivité, elles agiront par conséquent sur le comportement du réacteur.

Parmi ces effets on peut citer .

- effets de la température
- " de la pression
- " des poisons
- " des barres de contrôle.

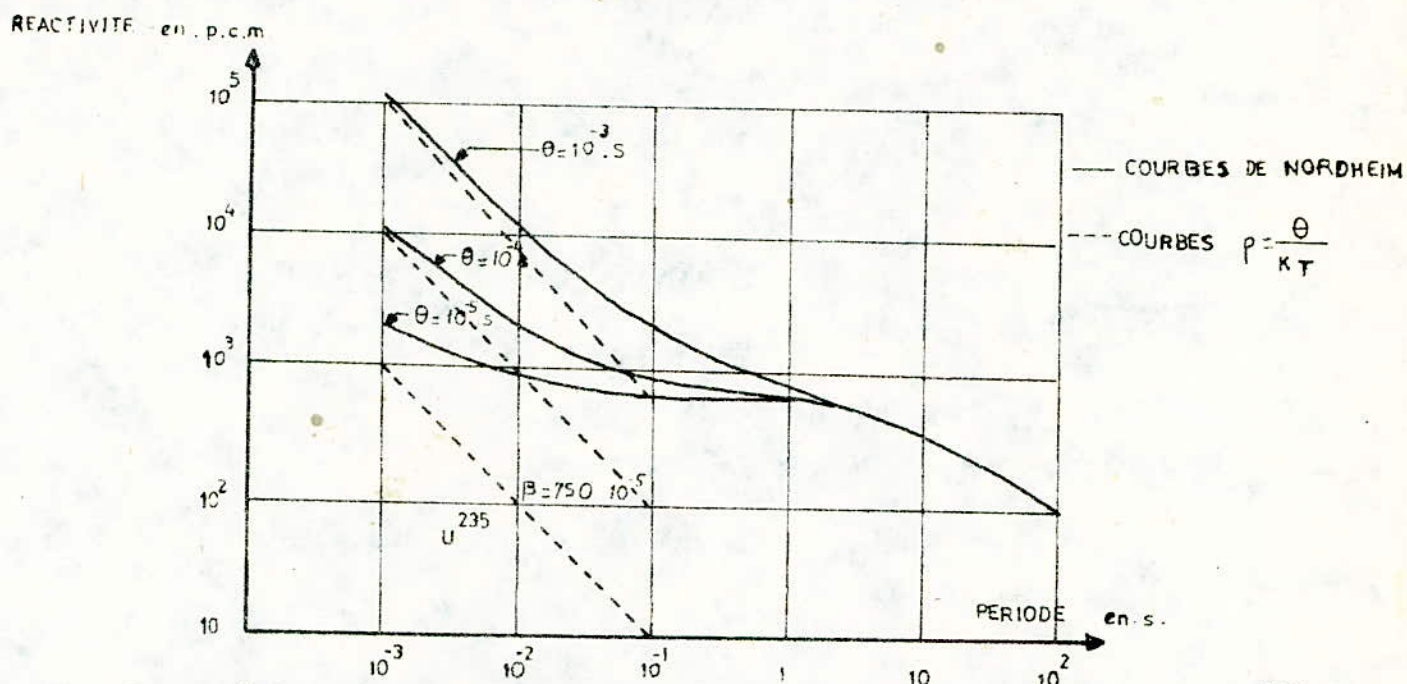


FIG. 5 : COURBES DE NORDHEIM DANS LE CAS D'UN REACTEUR A U²³⁵

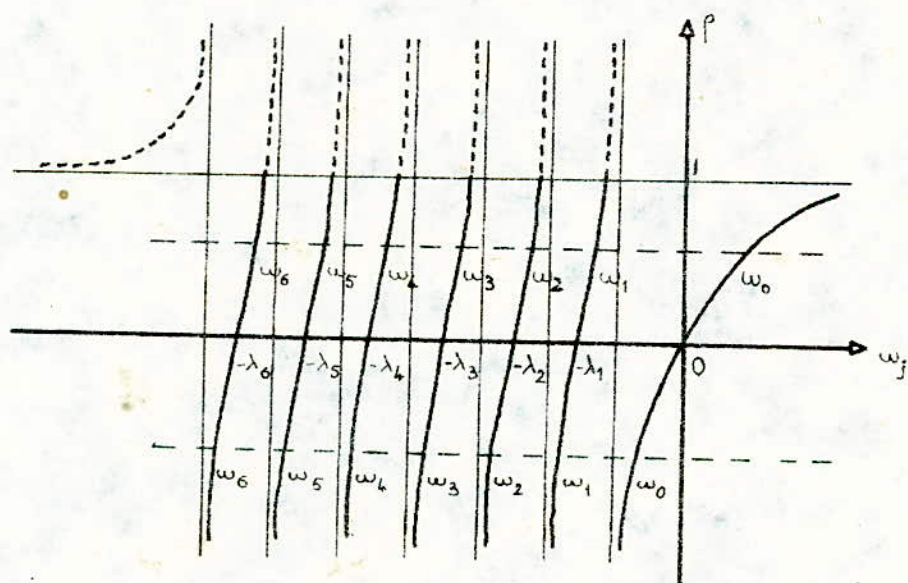


FIG. 6 : COURBES REPRESENTATIVES DE ρ EN FONCTION DE ω

2.1.1 Effet de la température.

Une variation de température dans le coeur du réacteur entraîne une variation du facteur de multiplication k (réactivité).

On a vu que $K_{\text{eff}} = \eta \cdot \epsilon \cdot p \cdot F \cdot f$.

L'expérience montre que l'effet de température sur η est et négligeable ce qui n'est pas le cas pour les autres facteurs. Une augmentation de la température dans le coeur due à une variation de température produit l'effet Döppler qui se traduit par l'élargissement des résonances de capture du combustible (U_{238}) ce qui provoque la diminution du facteur d'antitrappe : p ; de k ; donc de la réactivité.

De même une élévation de température dans le coeur dilate le modérateur. Les neutrons de fissions rapides mettent plus de temps pour atteindre le niveau thermique. Au cours de leur ralentissement un grand nombre va être absorbé stérilement, ou va fuir hors du coeur. Ce qui se traduit par une diminution du facteur d'utilisation thermique f et de la probabilité F donc de k .

2.1.2. Effet de pression .

Cet effet intervient surtout pour les gaz à très grandes sections efficaces de capture. Une chute de pression peut être la cause d'une augmentation de la réactivité .ex: variation de la pression du fluide réfrigérant.

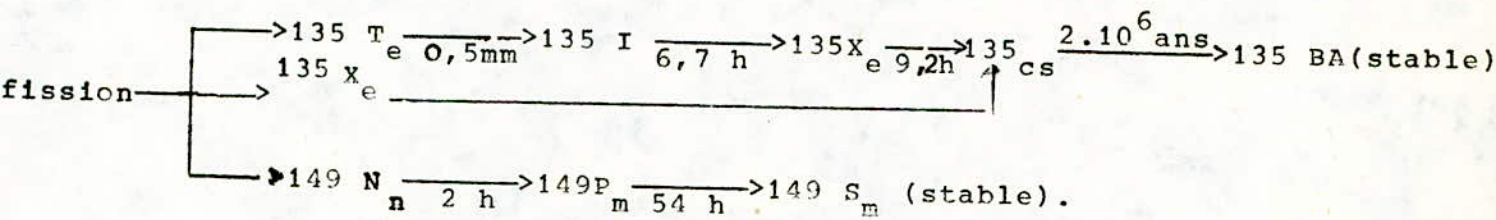
2.1.3 Effets des poisons .

Lors de la fission il se crée des produits de fission dont certains possèdent des sections efficaces de captures très importantes.

De tels corps sont appelés poisons car ils ont tendance à absorber fortement les neutrons et ainsi à arrêter la réaction de fission en chaîne.

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 de neutrons thermiques qui normalement devrait être absorbée par le combustible.

Les principaux poisons sont le X_e et le S_m ils proviennent des chaînes de décroissance radioactive suivantes :



2.1.4 Effets des barres de contrôle :

Elles sont constituées en général 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.

On trouve 3 types de barres.

- Les barres de pilotage : qui sont destinées à compenser les effets de réactivité à court terme; elles sont les plus utilisées au cours du contrôle.

- Les barres de compensation : qui servent à compenser les effets de réactivité à long terme.

- Les barres de sécurité qui sont utilisées pour stopper rapidement la réaction de fission en chaîne.

3. Principe du Contrôle d'un Réacteur Nucléaire.

3.1. Les Détecteurs.

3.1.1. Principe de Fonctionnement des Détecteurs.

Les neutrons sont des particules neutres difficiles à détecter. Aussi il est nécessaire de faire appel à des réactions nucléaires secondaires pour la détection du flux de neutrons. Ces réactions utilisent le caractère ionisant des particules α ou des fragments de fission .

Le détecteur de neutrons se compose d'un volume gazeux dans lequel plongent 2 électrodes conductrices isolées l'une par rapport à l'autre entre lesquelles on établit un champ électrique.

Lorsque les particules ionisantes traversent ce milieu gazeux elles créent des paires d'ions qui se dirigent suivant leur signe et le champ électrique appliqué vers les électrodes. On peut ainsi mesurer aux bornes de ces dernières :

- Soit le courant moyen (ions collectés par unité de temps), dans ce cas le détecteur est utilisé en courant.

- Soit la charge produite par chaque particule individuelle : le détecteur est utilisé en impulsion.

3.1.2. Différents types et domaine d'utilisation.

L'intensité du champ électrique entre les électrodes influe sur le nombre d'ions collectés. Plus celle ci est faible, plus la probabilité de recombinaison des ions créés est grande. A partir d'un certain seuil tous les ions créés sont collectés, dans ce cas le détecteur est du type chambre d'ionisation.

Au delà de ce seuil, on a amplification de l'ionisation primaire, due aux chocs d'électrons sur les molécules de gaz : le détecteur est du type compteur . (voir fig.7).

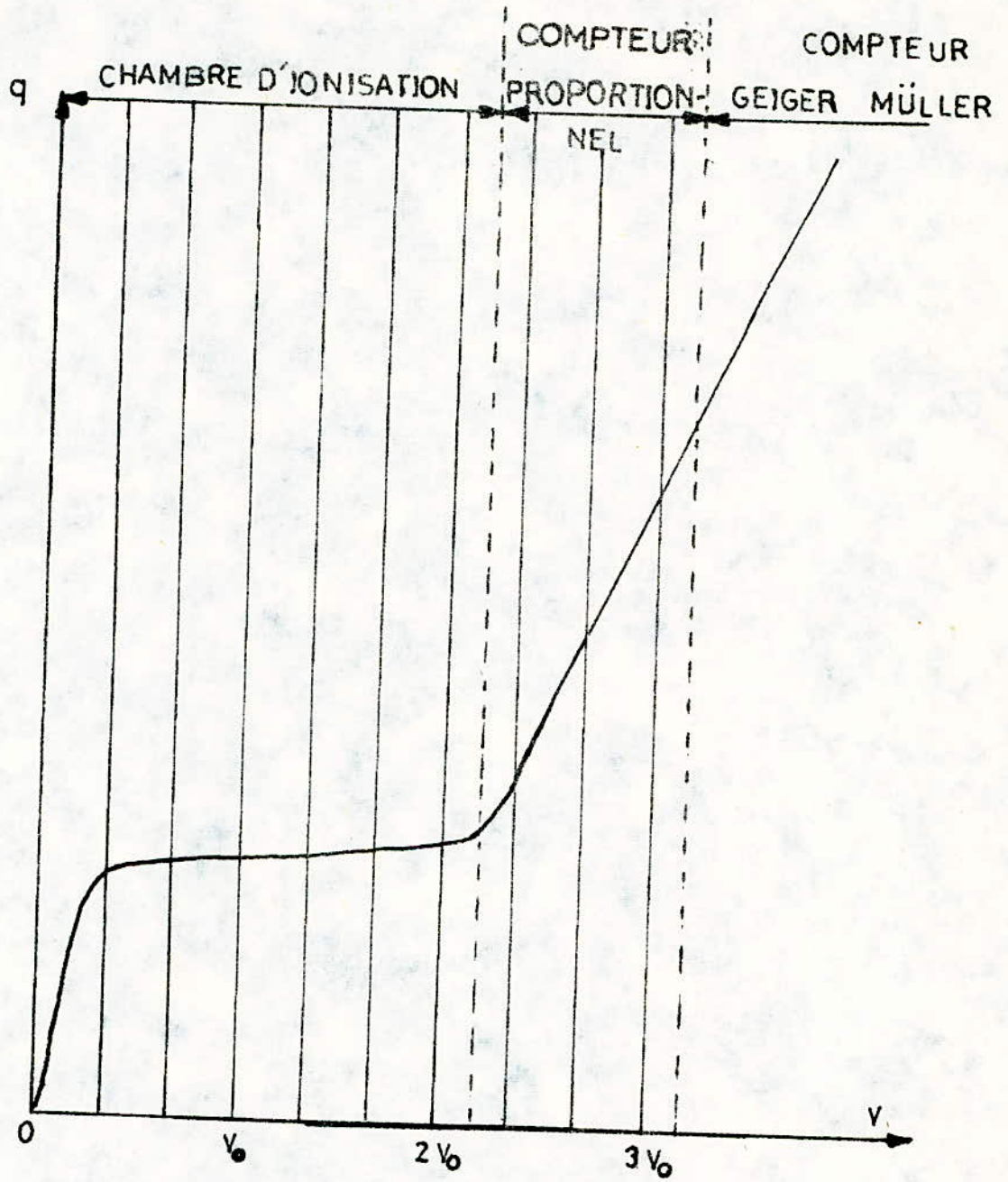


FIG.7 : REGIME DE FONCTIONNEMENT DES DETECTEURS

* Les Compteurs proportionnels.

Leur domaine de fonctionnement est intermédiaire entre celui des chambres d'ionisation et celui des compteurs Geiger-Müller.

Les compteurs proportionnels sont de 3 types :

- A BF₃ : La réaction nucléaire utilisée est celle de la transmutation du ¹⁰B : $^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n} \longrightarrow ^4_2\text{He} + ^7_3\text{Li}$

Le détecteur se présente sous la forme d'un cylindre métallique rempli de BF₃ enrichi en ¹⁰B, l'électrode collectrice étant au centre.

- A dépôt de Bore : On fait appel à la même réaction nucléaire, mais pour ce type de détecteur le Bore se présente sous forme de dépôt sur l'une des 2 électrodes entre lesquelles se trouve un gaz inerte en général un mélange de gaz carbonique- Argon (A+CO₂) ou A+N₂)

- A Hélium 3 : Le principe de ce type de détecteur est basé sur la réaction nucléaire neutron - H_e 3.

Les compteurs proportionnels sont utilisés pour la détection de neutrons thermiques pendant les périodes de démarrage des réacteurs.

* Les Chambres d'ionisation à Bore :

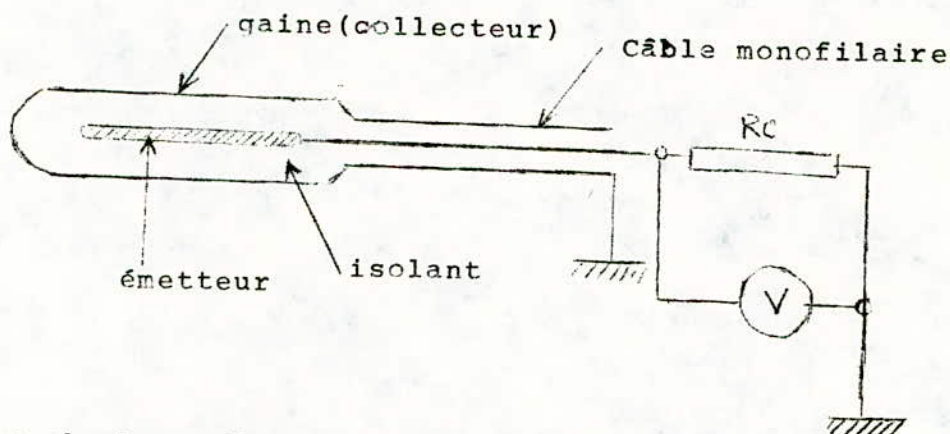
Le principe de fonctionnement de ces chambres d'ionisation est le même que celui des compteurs à dépôt de Bore. La réaction nucléaire produite est celle du Bore : $^{10}_5\text{B} (n, \alpha) ^7_3\text{Li}$.

Ce type de détecteur fonctionne toujours en courant et son domaine d'utilisation se limite au niveau moyen et au niveau de puissance.

* Les Détecteurs à collection directe : les collectrons :

Ces détecteurs sont destinés aux mesures continues de flux neutroniques. Leur caractère essentiel étant de ne pas nécessiter d'alimentation électrique. La réaction nucléaire utilisée est du type $A(n,\gamma)B$.

L'émetteur qui se trouve au centre du détecteur est un matériau conducteur dont la section efficace de capture neutronique est relativement élevée. Chaque capture de neutrons donne naissance à des charges électriques qui par déplacement entre les 2 électrodes créent un signal.



* Les chambres d'ionisation à fission :

Le fonctionnement des chambres à fissions est basé sur l'ionisation d'un gaz par les fragments émis lors de la fission d'un noyau du matériau fissile contenu dans la chambre. La collection sur l'électrode des charges primaires se fait sans multiplication.

Dans le contrôle des réacteurs, les détecteurs de neutrons sont soumis à des rayonnements mixtes : flux neutroniques et rayonnements γ liés aux produits de fission, aux captures etc... Les informations électriques délivrées par les détecteurs sont donc liées à la fois au flux de neutrons que l'on veut mesurer et aux rayonnements γ qu'on ne veut généralement pas détecter.

Aussi il est nécessaire de pouvoir discriminer pour séparer les flux de neutrons et les rayonnements γ . L'amplitude des impulsions délivrées par les détecteurs étant proportionnelle à l'intensité des rayonnements, on utilise des discriminateurs d'amplitude pour la mesure en impulsion.

Parmi les différents types de détecteur déjà vus, les chambres d'ionisation à fission sont les seules à être très peu sensibles au rayonnement γ . En effet les fragments de fission fortement ionisants créent des impulsions à grande amplitude qui peuvent être facilement séparées de celles dues aux rayonnements γ , généralement de faible amplitude.

En conclusion nous pouvons dire que le détecteur le plus utilisé dans le contrôle des réacteurs est la chambre à fissions car elle peut fonctionner aussi bien en impulsion qu'en courant, elle permet de meilleures discriminations flux de neutrons-rayonnements γ . De plus dans le cas de flux élevés, régime de puissance, c'est la seule susceptible d'être utilisée.

3.2. Contrôle d'un réacteur nucléaire :

Le but du contrôle d'un réacteur nucléaire est d'assurer la surveillance de certaines grandeurs physiques : puissance, flux neutronique, température, pression, débit.

Le contrôle automatique de la puissance ou du flux neutronique consiste à les maintenir égaux à une consigne pouvant être affichée constante par l'opérateur en salle de contrôle ou variable suivant un programme de fonctionnement.

Dans les réacteurs de recherche, les expériences se font en général sous flux neutronique constant; par contre dans les réacteurs producteurs d'énergie, la puissance nucléaire est asservie à la demande d'énergie.

Au cours du fonctionnement d'un réacteur, plusieurs effets interviennent sur la réactivité donc sur son comportement dynamique.

Aussi à chaque instant, on doit compenser ces modifications de réactivité en commandant les barres de contrôle .

La commande de ces barres est assurée par une chaîne de contrôle comprenant dans son schéma de principe (fig.8) un détecteur de neutrons, un ensemble d'ictométrie, un comparateur, un amplificateur puis un servomécanisme de commande de barres.

Le détecteur placé à la sortie du réacteur transforme le flux neutronique en un signal électrique. Amplifié puis traité, ce signal électrique est comparé à un signal de référence extérieur, à l'aide d'un comparateur.

Le signal d'erreur recueilli à la sortie du comparateur est à son tour amplifié puis envoyé sur un servomécanisme de commande de barre. Ainsi ce servomécanisme permet le déplacement automatique des barres de contrôle dans le sens convenable, par conséquent la modification de la réactivité.

La Fig.(8) nous donne sous forme très schématique, le contrôle d'un réacteur. Dans la réalité cette boucle de contrôle est beaucoup plus complexe : Tout un ensemble d'appareils électroniques, se trouvant dans la salle de contrôle est lié aux détecteurs pour la mesure, l'exploitation et une meilleure connaissance des informations délivrées par ces détecteurs, afin de répondre au mieux aux besoins du contrôle.

L'appareil que nous nous proposons de réaliser fait partie de cet ensemble électronique? Il sera en liaison directe avec le détecteur de neutrons fonctionnant en impulsion, il servira pour le traitement et la mesure des impulsions délivrées par ce détecteur.

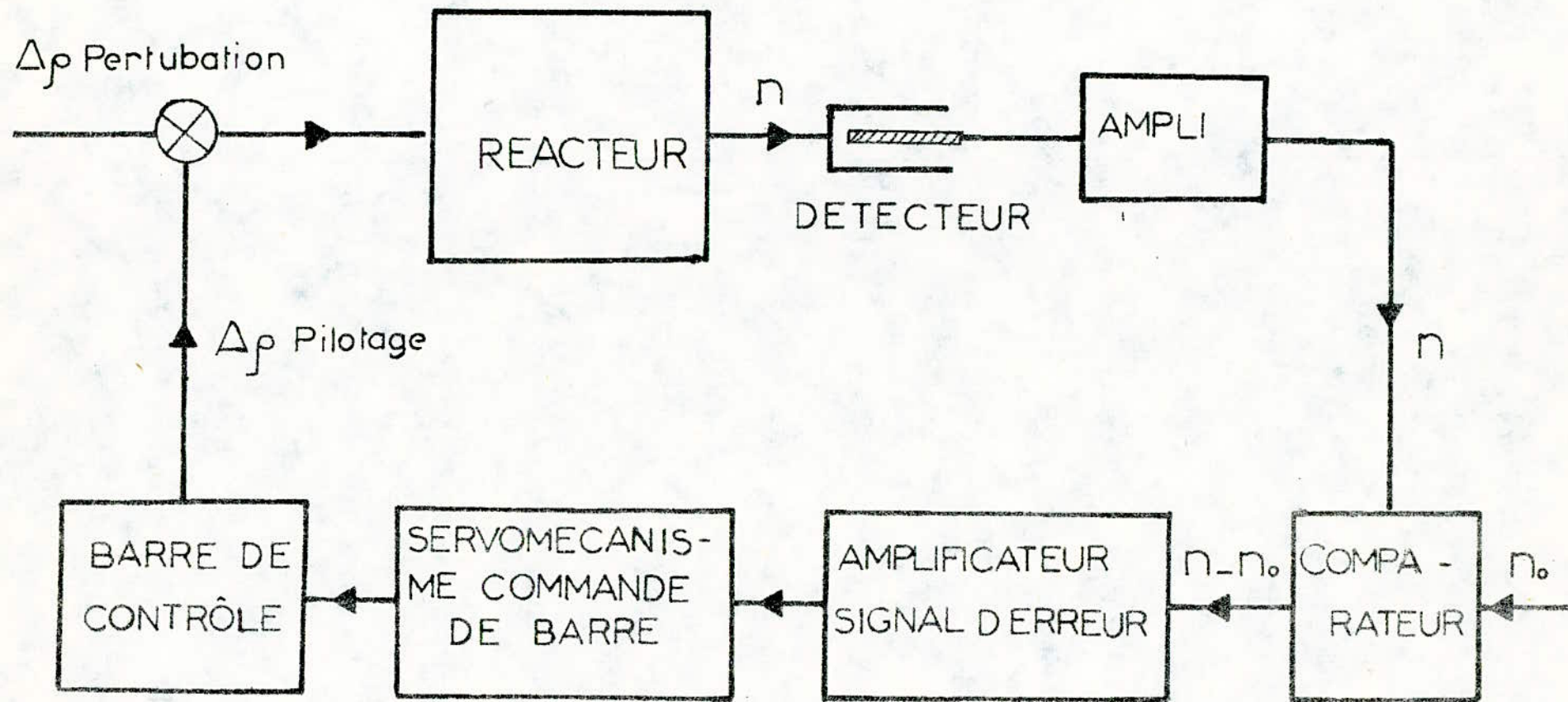


FIG 8. : CHAINE DE CONTROLE

CHAPITRE II

PRESENTATION D'UN ENSEMBLE D'ICTOMETRIE

INTRODUCTION

Le signal électrique fourni par les détecteurs utilisés pour le contrôle des réacteurs comporte deux informations principales, l'une relative à l'énergie des neutrons, l'autre relative au flux neutronique.

L'objet de notre étude est de concevoir un ensemble électronique (ensemble d'ictométrie) permettant le traitement et la mesure du signal.

La mesure de l'amplitude des impulsions délivrées par le détecteur nous renseignera sur l'énergie des particules détectées .

La conversion de la fréquence de ces impulsions en un signal continu nous permettra de suivre l'évolution du flux neutronique ou de la puissance d'un réacteur depuis son démarrage jusqu'à son fonctionnement nominal.

Parallèlement, un ictomètre numérique nous rendra compte du taux de comptage moyen lorsque le réacteur fonctionne à puissance constante.

1. CARACTERISTIQUES DES SIGNAUX D'ENTREE .

2.1.1. Formation de l'impulsion

Les électrons créés dans la chambre d'ionisation par les particules ionisantes sont collectés plus rapidement par l'anode que les ions positifs par la cathode. Il y a tout d'abord une variation rapide de la tension interelectrode correspondant à la collection des électrons puis une variation plus lente correspondant à la collection progressive des ions positifs. (Fig.9.C)

La capacité interelectrode C se décharge ensuite à travers une résistance extérieure placée entre les deux électrodes comme le montre la figure (9.a).

Pour faire fonctionner le détecteur en impulsion la valeur de la résistance R est choisie de telle manière à avoir la constante RC grande devant le temps de collection des électrons τ_e et faible devant le temps de collection des ions positifs.

La figure (9.b) montre l'allure d'une impulsion de tension recueillie à la sortie du détecteur.

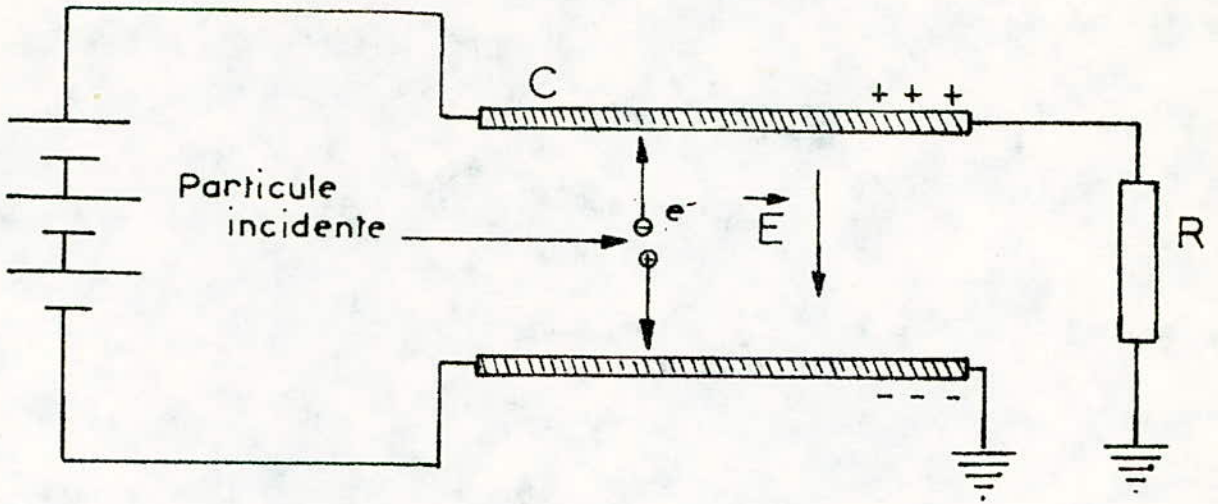
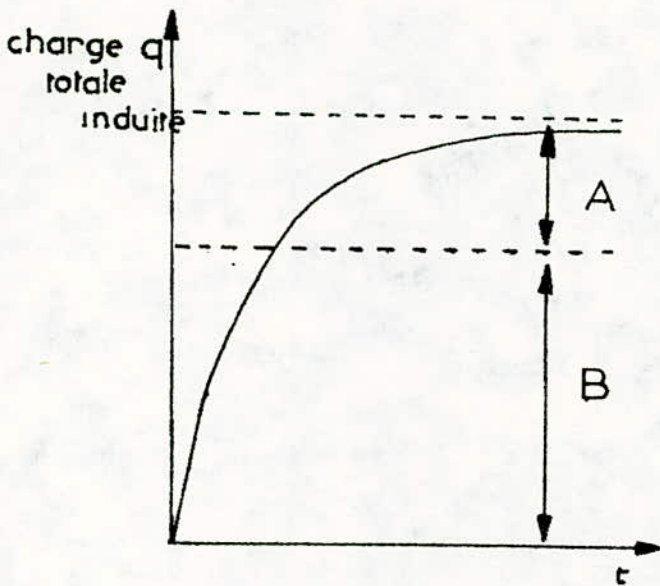


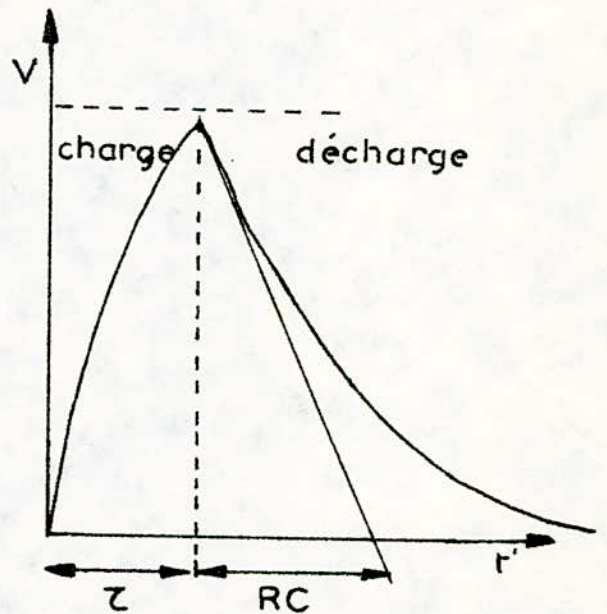
FIG.(9a) : PRINCIPE DE LA COLLECTION



A : Variation lente due à la charge induite par les ions positifs

B : Variation rapide due à la charge induite par les electrons

FIG. : (9c)



Forme de l'impulsion à la sortie du detecteur

FIG. : (9b)

L'amplitude de cette impulsion dépend de la quantité de charge totale induite sur les électrodes par la particule ionisante. Elle est donnée par la formule $v = \frac{Q}{C}$ où Q est la charge totale collectée et C la capacité interelectrode.

Nous indiquons dans le tableau (10) les principales caractéristiques des détecteurs de neutrons liées à la formation de l'impulsion.

Le niveau des impulsions délivrées par les détecteurs neutroniques varie selon le type de détecteur utilisé, entre quelques dizaines de microvolts et quelques millivolts. Un préamplificateur est souvent monté à la sortie du détecteur afin de minimiser les parasites introduits par le câble liant le détecteur à la salle de contrôle par rapport au niveau des impulsions transmises.

Ce préamplificateur permet de relever le niveau de ces impulsions à quelques dizaines de millivolts.

1.2. Aspect statistique du taux de comptage.

Le taux de comptage des neutrons suit une distribution de poisson. A partir d'un certain taux de comptage moyen on peut assimiler la loi de poisson à la loi de gauss et déterminer le taux de comptage moyen avec une erreur statistique moyenne à partir de l'écart type.

De ce fait l'erreur statistique moyenne relative s'exprime à taux moyen sensiblement constant par :

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{\sqrt{n}}{n} = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

où σ est l'écart type et n le taux de comptage.

D'après l'expression (1), l'erreur relative à la mesure du taux de comptage est d'autant plus faible que ce taux est important. Il s'ensuit que si l'on veut faire des mesures avec une certaine précision, on doit se fixer un taux de comptage d'impulsion minimal.

2. Schéma fonctionnel d'un ensemble d'ictométrie.

Un ictomètre est un appareil de mesure à l'entrée duquel on applique des impulsions calibrées; il délivre en sortie une grandeur proportionnelle au taux de comptage sous forme analogique ou numérique.

DETECTEURS D'IMPULSIONS	CHARGE ELECTRIQUE A CHAQUE EVENEMENT NEUTRON.	CAPACITE INTER-ELECTRODE	TEMPS DE COLLECTION	AMPLITUDE $V_s = Q/C$
Chambre d'ionisa- -tion à fission	$10^{-13} C$	50 pF	30 à 150 ns	2 mV
Chambre d'ionisa- -tion à BF_3 compensée	$10^{-14} C$	$\approx 50 \text{ pF}$	$< 10^{-3} s$	0,2 mV
Chambre d'ionisa- -tion à dépôt de bore	$5 \cdot 10^{-15} C$	100 pF	-	50 μV

Tableau (10) : Principales caractéristiques des détecteurs d'impulsions.

Un ictomètre n'est jamais employé seul mais toujours associé à un ensemble d'**ictométrie** comprenant deux parties, l'une relative au traitement de l'impulsion et l'autre aux différentes voies de mesure (numérique et analogique.).

Nous avons représenté à la figure (11) le schéma synoptique d'un ensemble d'ictométrie.

La partie traitement comporte deux blocs :

- Un bloc amplificateur
- Un bloc de discrimination et de mise en forme.

La partie ictomètre est composée de deux sous-ensembles; l'un analogique et l'autre numérique.

L'ictomètre analogique comporte 3 blocs :

- Un bloc convertisseur fréquence signal continu
- Un bloc d'amplification linéaire.
- Un bloc d'amplification logarithmique.

L'ictomètre numérique est essentiellement constitué d'une échelle de comptage associée à une base de temps et d'un dispositif de visualisation.

Les résultats des mesures sont en général traités par des dispositifs à seuil destinés à fournir des signaux logiques qui permettent d'assurer la fonction de sécurité dans le contrôle du réacteur.

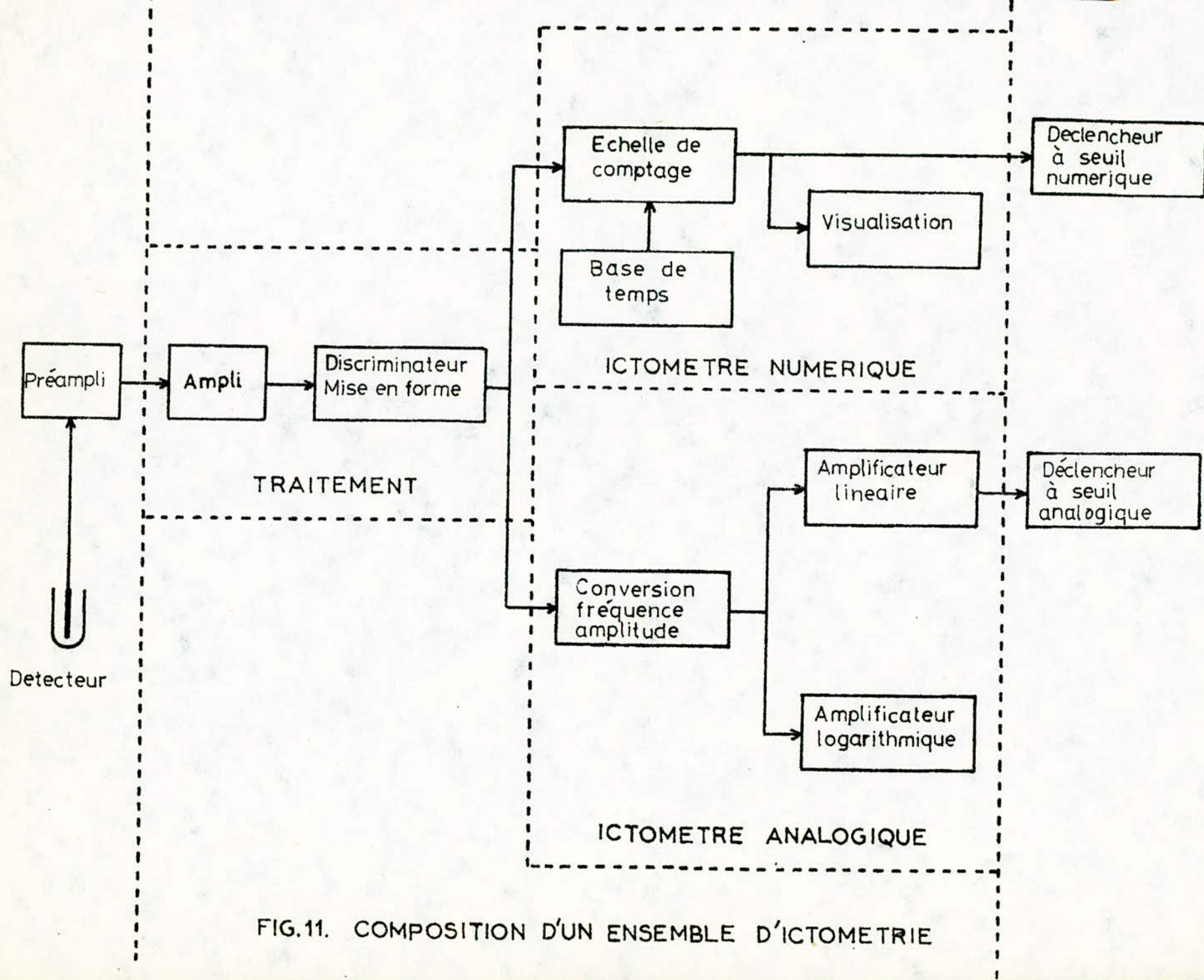


FIG.11. COMPOSITION D'UN ENSEMBLE D'ICTOMETRIE

3. TRAITEMENT DES IMPULSIONS.

2.3.1. L'AMPLIFICATION.

Les caractéristiques demandées pour l'élaboration de l'amplificateur dépendent de la forme de l'impulsion à son entrée.

Les impulsions délivrées par le préamplificateur sont souvent d'un niveau électrique trop bas pour être traitées directement par des circuits logiques de mise en forme ou de discrimination. Il faut donc disposer d'un amplificateur capable d'amener les impulsions à des niveaux convenables (jusqu'à 10 V). Pour cela on utilise plusieurs étages amplificateurs de manière à avoir des gains allant jusqu'à 100.

Ce gain est prévu variable suivant l'amplitude des impulsions à l'entrée.

Le faible temps de montée des impulsions (150 à 250 ns) à l'entrée de l'ampli exigera lors de l'amplification une large bande passante (de quelques Méga Hertz).

De plus l'amplificateur doit présenter une bonne stabilité et une bonne linéarité afin de reproduire le plus fidèlement possible les impulsions.

D'autre part l'impédance d'entrée de l'amplificateur ne doit être ni faible afin de ne pas surcharger le préamplificateur, ni forte pour ne pas affecter la bande passante. Elle sera égale à quelques Kilo ohms.

Par contre son impédance de sortie sera petite et vaudra quelques dizaines d'ohms.

2.3.2. LE DISCRIMINATEUR .

Les neutrons ne sont pas les seuls à venir exciter le détecteur. Ils se trouvent accompagnés d'un rayonnement γ intense. A la sortie du détecteur on recueille donc en plus des impulsions d'origine neutronique des impulsions relatives au rayonnement γ , de niveau plus faible.

La fonction du discriminateur est de limiter le comptage uniquement aux impulsions d'origine neutronique.

Selon le type de détecteur utilisé, le niveau γ peut être plus ou moins important. Aussi il est préférable de prévoir le niveau de discrimination variable.

La fonction de discrimination est réalisée par un circuit électronique à seuil. Seules les impulsions ayant un niveau supérieur à ce seuil seront amplifiées par le discriminateur.

.3.3. LA MISE EN FORME .

L'objet des dispositifs de mise en forme est de transformer les impulsions en signaux de forme bien déterminée, en général rectangulaire, de manière à les utiliser par les circuits logiques et par les circuits convertisseurs fréquence - amplitude.

Les circuits de mise en forme sont très souvent des bascules ou des monostables. Ces circuits doivent présenter un faible temps de résolution qui par définition est le temps minimal devant séparer deux impulsions consécutives pour qu'elles soient traitées comme deux impulsions distinctes.

ICTOMETRE NUMERIQUE .

.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT.

Un *ictomètre* numérique est un ensemble électronique permettant le traitement numérique du taux de comptage. Il est composé essentiellement d'une échelle de comptage et d'une base de temps qui reçoivent respectivement les impulsions à compter et les impulsions (signaux rectangulaires) régulièrement espacées dans le temps fournies par un dispositif électronique appelé Horloge ou oscillateur.

Cependant il est possible de distinguer deux modes de fonctionnement :

- à prétemps fixe (Fig.12 a)
- à précompte fixe. (Fig.12 b)

Pour le premier mode, l'échelle de comptage indique le nombre moyen d'impulsions (de coups) appliquées à l'entrée pendant une durée prédéterminée par l'utilisateur, c'est à dire jusqu'à ce que la base de temps ait la même indication que le pré-temps choisi.

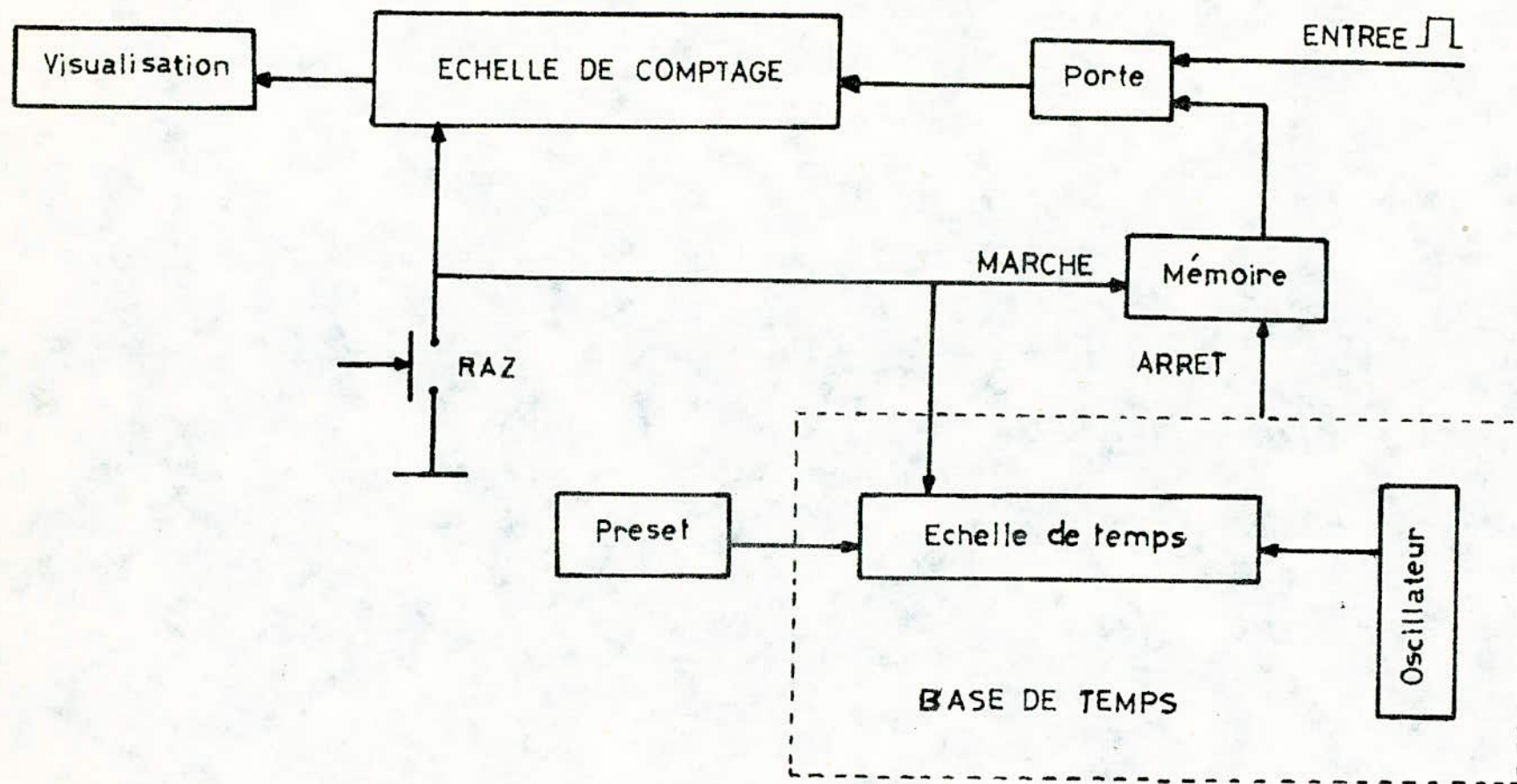


FIG.12.a - ICTOMETRE NUMERIQUE A PRETEMPS FIXE

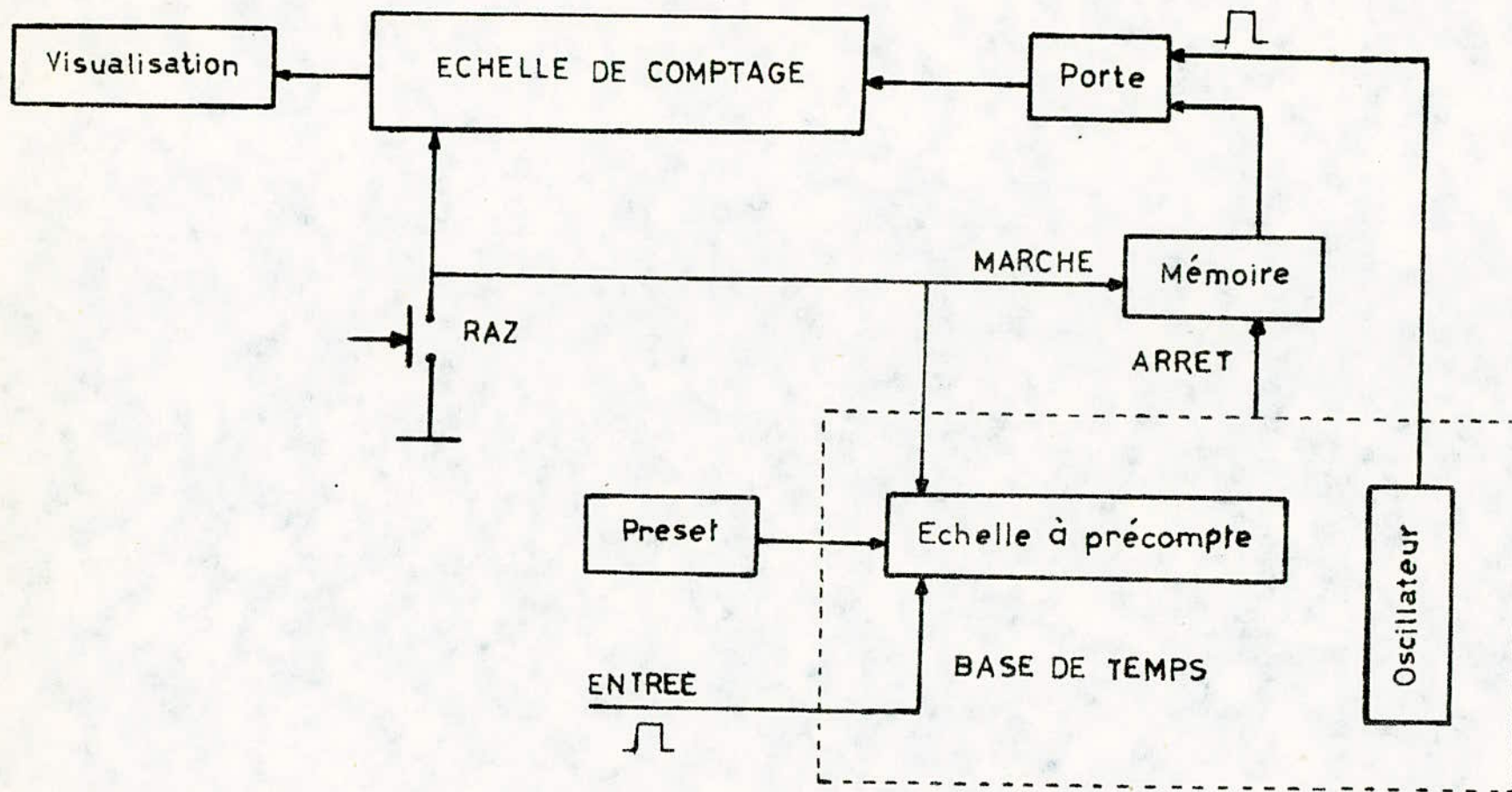


FIG.12 b . ICTOMETRE NUMERIQUE A PRECOMPTE FIXE

Quant au second mode l'échelle compte les impulsions appliquées à l'entrée et provenant de la base de temps pendant le temps nécessaire pour que le nombre d'impulsions (coups) d'entrée enregistré dans une autre échelle atteigne le précompte fixé.

4.2. CARACTERISTIQUES.

Les qualités des informations données par cet ictomètre dépendent de certaines de ses caractéristiques; parmi lesquelles on peut citer :

- la capacité en nombres de coups, de l'échelle de comptage.
- le temps de résolution τ .

a) La Capacité de l'échelle.

Suivant les modèles, l'échelle est capable d'enregistrer des nombres allant de 1 à 10 millions. Le nombre maximal d'impulsions, exprimé en coups, que peut compter l'échelle définit la capacité de celle-ci.

b) Le Temps de résolution τ .

C'est l'intervalle de temps minimal devant séparer deux impulsions consécutives pour qu'elles soient traitées comme deux impulsions distinctes.

La valeur de τ détermine les " pertes de comptage " en régime statistique, tous les intervalles de temps sont possibles et un certain nombre d'impulsions ne seront pas comptées.

Soit m le nombre d'impulsions réellement comptées par unité de temps. Le temps total pendant lequel le compteur reste insensible est : $m \tau$.

Si n est le nombre de particules émises par la source la perte due au temps de résolution est : $n.m.\tau$.

Soit : $n. m = n.m.\tau$.

on en déduit

$$\frac{m}{n} = 1 - m \tau$$

Les pertes relatives de comptage sont d'autant plus grandes que le nombre moyen m d'impulsions par seconde et le temps de résolution sont plus grands.

5.1. L'ICTOMETRE ANALOGIQUE :

5.1. CONVERSION FREQUENCE-AMPLITUDE

L'ictomètre analogique permet la mesure continue en échelle linéaire et logarithmique du taux de comptage des impulsions mises en forme à son entrée.

Les circuits de conversion fréquence amplitude sont du type pompes à diodes. Ils peuvent avoir deux modes de fonctionnement, linéaire et logarithmique.

Pour le fonctionnement linéaire la mesure est proportionnelle au nombre d'impulsions par unité de temps. Quant au fonctionnement logarithmique l'indication est proportionnelle au logarithme du taux d'impulsions appliquées à l'entrée du circuit.

Le schéma de principe du circuit pompes à diodes est indiqué sur la figure (13).

Les signaux à l'entrée sont fournis par les circuits de mise en forme; il se présentent sous forme de créneaux de fréquence m .

Chaque front positif du signal d'entrée charge en série les capacités C_1 et C_2 . Pendant l'alternance suivante du signal la capacité C_1 est mise à la masse par la diode D_1 , tandis que C_2 se décharge dans la résistance R .

La loi des noeuds au point B nous donne l'équation différentielle (1) qui définit le fonctionnement du circuit.

$$(V_i - V_s) C_1 m = \frac{V_s}{R} + C_2 \frac{dv_s}{dt} \quad (1)$$

Si on pose $T_1 = R C_1$

$$T_2 = R C_2$$

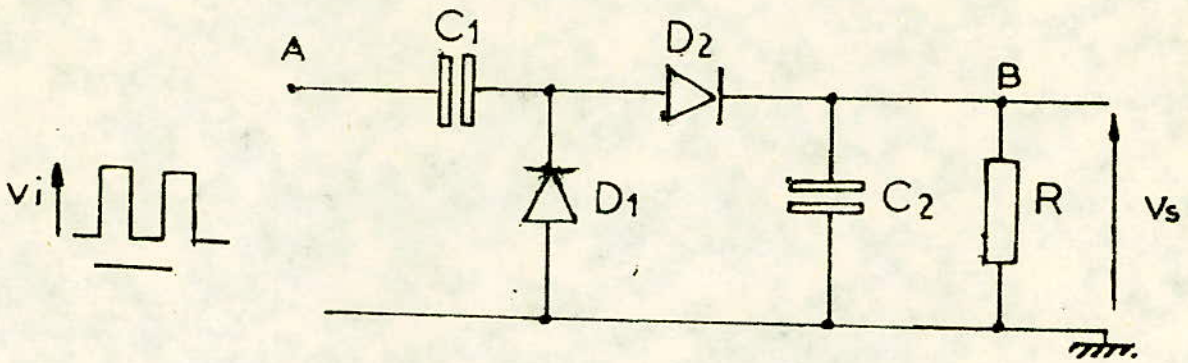


FIG.(13.) : CIRCUIT POMPE A DIODES

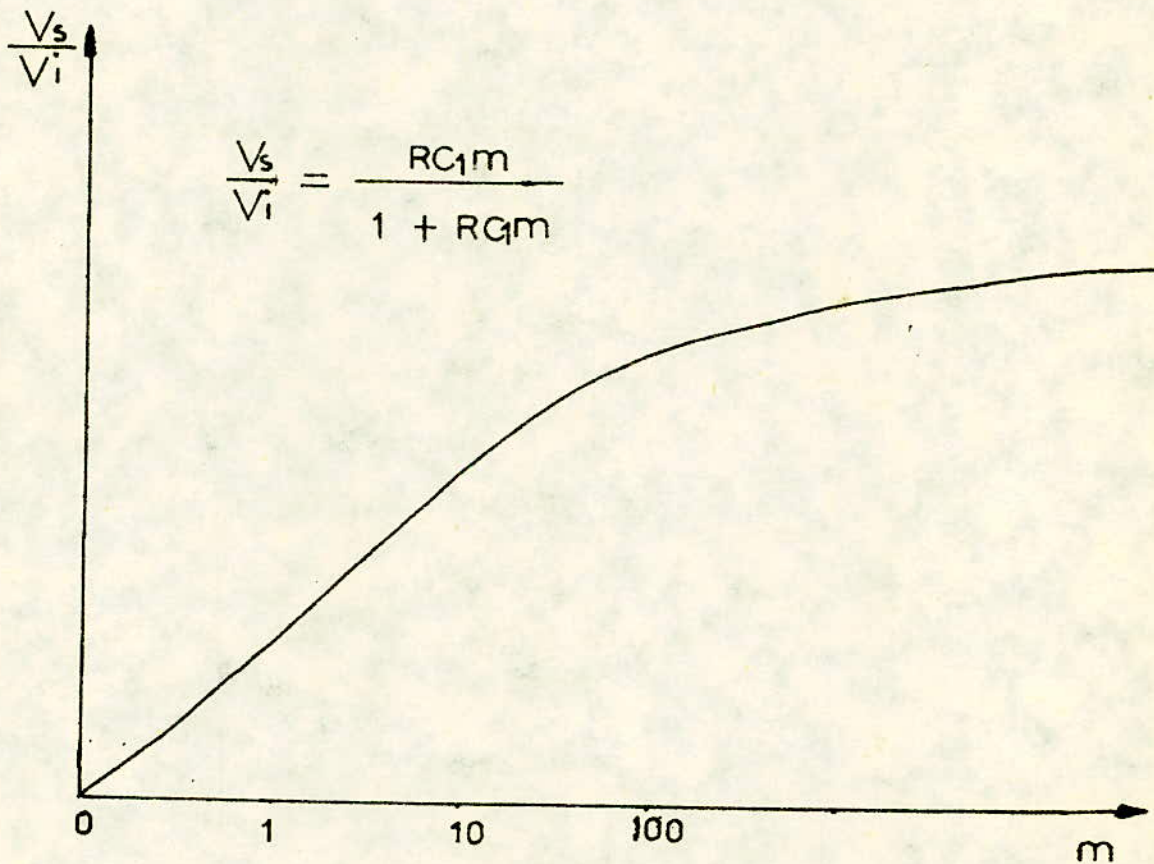


FIG.(14): COURBE REPRESENTATIVE $\frac{V_s}{V_i} = F(m)$.

L'équation (1) peut se mettre sous la forme :

$$V_s (1+T_1 m) + T_2 \frac{dv_s}{dt} = V_i T_1 m \quad (2)$$

La résolution de cette équation nous donne la réponse du circuit pour une fréquence m_0 constante du signal d'entrée, à savoir :

$$V_s = \frac{V_i T_1 m_0}{1 + T_1 m_0} \left[1 - e^{-\frac{1 + T_1 m_0}{T_2} t} \right] \quad (3)$$

Quand la fréquence des impulsions m à l'entrée du circuit passe brusquement de 0 à la valeur m_0 , la tension V_s tend vers la valeur $V_s(\infty)$ avec la constante de temps T .

avec $T = \frac{T_2}{1+T_1 m_0}$ et $V_s(\infty) = \frac{V_i T_1 m_0}{1 + T_1 m_0}$ (3bis)

On choisira la constante de temps $R C_2$ grande devant la fréquence des impulsions d'entrée, de manière à avoir de plus lentes décharges.

La courbe représentative de la tension à l'équilibre $V_s(\infty)$ en fonction de la fréquence m , est donnée par la figure (14).

5.2. APPROXIMATION LOGARITHMIQUE :

L'utilisation de plusieurs circuits type pompes à diodes de constantes de temps $R C_1$ différentes, permet d'obtenir entre V_s et m une loi approximativement logarithmique.

La figure (15) représente les variations du rapport $\frac{V_s}{V_i}$ en fonction de m pour différentes valeurs de $R C_1$; par exemple pour des valeurs de condensateur C_1 variant comme des puissances de 10.

L'addition de ces courbes montre que la somme des tensions de sortie des différents circuits pompes à diodes est une fonction logarithmique de m jusqu'aux limites d'utilisation de ces différents circuits.

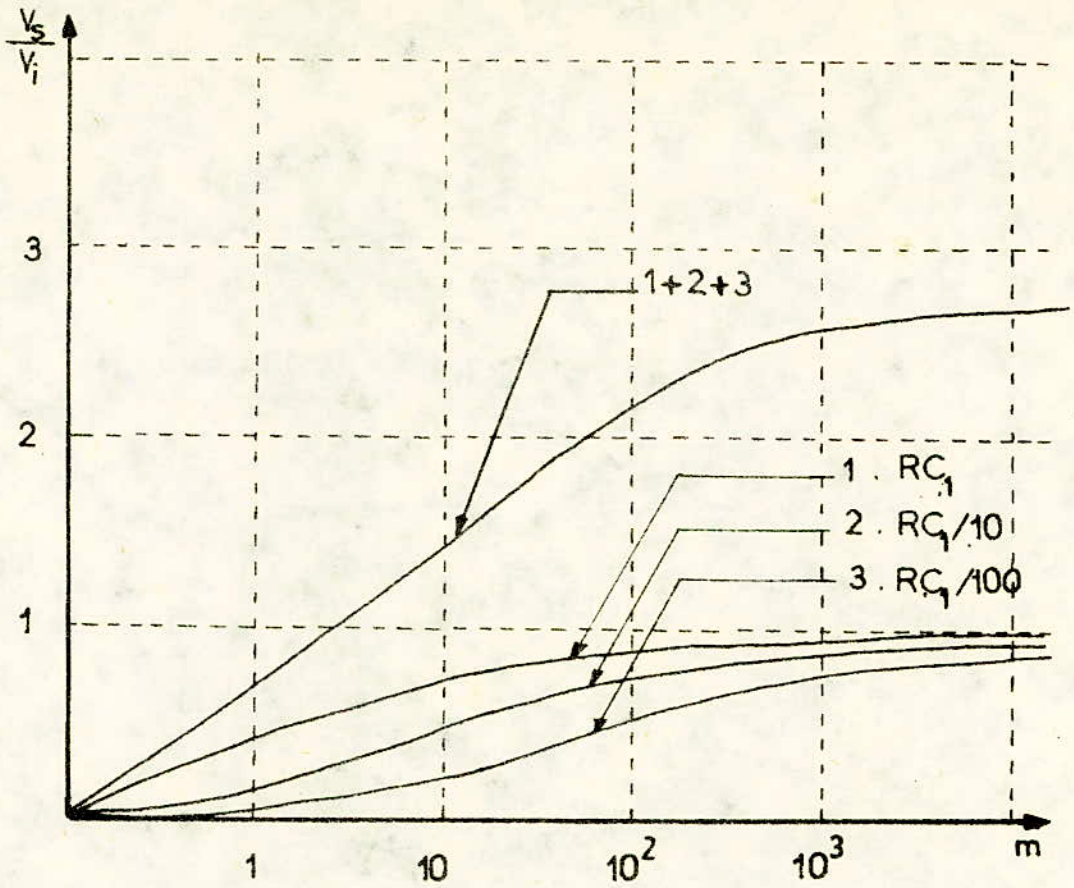


FIG 15 : APPROXIMATION LOGARITHMIQUE

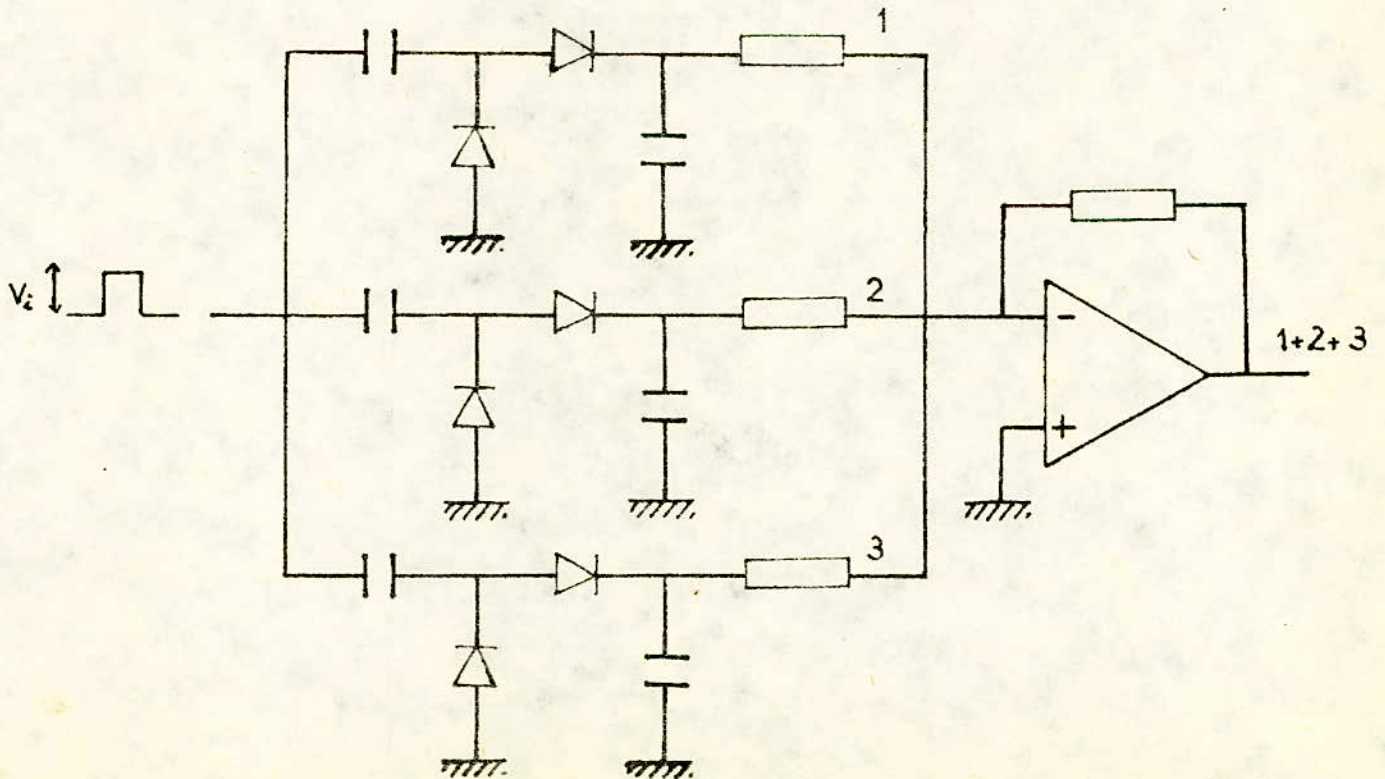


FIG 16 AMPLIFICATION LOGARITHMIQUE

Cette sommation de tensions de sortie des circuits pompes à diodes est effectuée au moyen d'un amplificateur sommateur du type opérationnel.

5.3. APPROXIMATION LINEAIRE .

Il est toujours possible à l'aide d'un circuit pompes à diodes d'avoir une approximation linéaire; en effet si on choisit $m R C_1 \ll 1$ pour un taux de comptage élevé, la relation (3 bis) devient :

$$V_s = V_i m R C_1$$

vu que $m R C_1 \ll 1$, V_s est donc faible.

Il sera donc nécessaire de faire suivre cette pompe à diodes par un amplificateur continu à grand gain (un amplificateur opérationnel par exemple.)

CHAPITRE III

REALISATION D'UN ENSEMBLE D'ICTOMETRIE

INTRODUCTION :

Nous présentons dans ce chapitre les idées ainsi que les calculs qui nous ont conduits à la conception puis à la réalisation de l'ensemble d'ictométrie.

Nous nous attacherons à développer certains calculs au niveau de la partie analogique surtout pour justifier les performances de l'amplificateur en ce qui concerne sa réponse en fréquence, de la discrimination ainsi que la qualité de la conversion fréquence-amplitude :

Au niveau de la partie numérique nous nous attacherons surtout à présenter un ensemble simple et fiable en essayant de mettre en évidence le rôle de chaque élément.

1. L'AMPLIFICATEUR :

1.1. SCHEMA DE PRINCIPE.

L'amplificateur que nous avons réalisé est schématisé par la figure (17). Il comporte quatre étages dont trois amplificateurs (T_1, T_2, T_3). Le quatrième étage est un émetteur suiveur servant à abaisser l'impédance de sortie de l'amplificateur.

Les contres-réactions partielles entre le premier et le deuxième d'une part, le deuxième et le quatrième d'autre part élargissent la bande passante tout en atténuant les distorsions.

Le gain de l'amplificateur a été prévu variable de 10 à 100, chacun des potentiomètres P_1, P_2, P_3, P_4 correspondant à une position de gain bien définie.

Les impulsions à la sortie de l'amplificateur peuvent atteindre un niveau de 10 V sans être saturées.

L'amplificateur a été conçu pour être attaqué par des impulsions de polarité négative. Cependant pour tester l'appareil en l'absence d'un détecteur et d'une source neutronique nous avons prévu une entrée " T_{est} " destinée à recevoir un signal carré issu d'un générateur électronique. Les impulsions négatives sont obtenues en dérivant le signal carré par un circuit CR puis en le redressant par une diode.

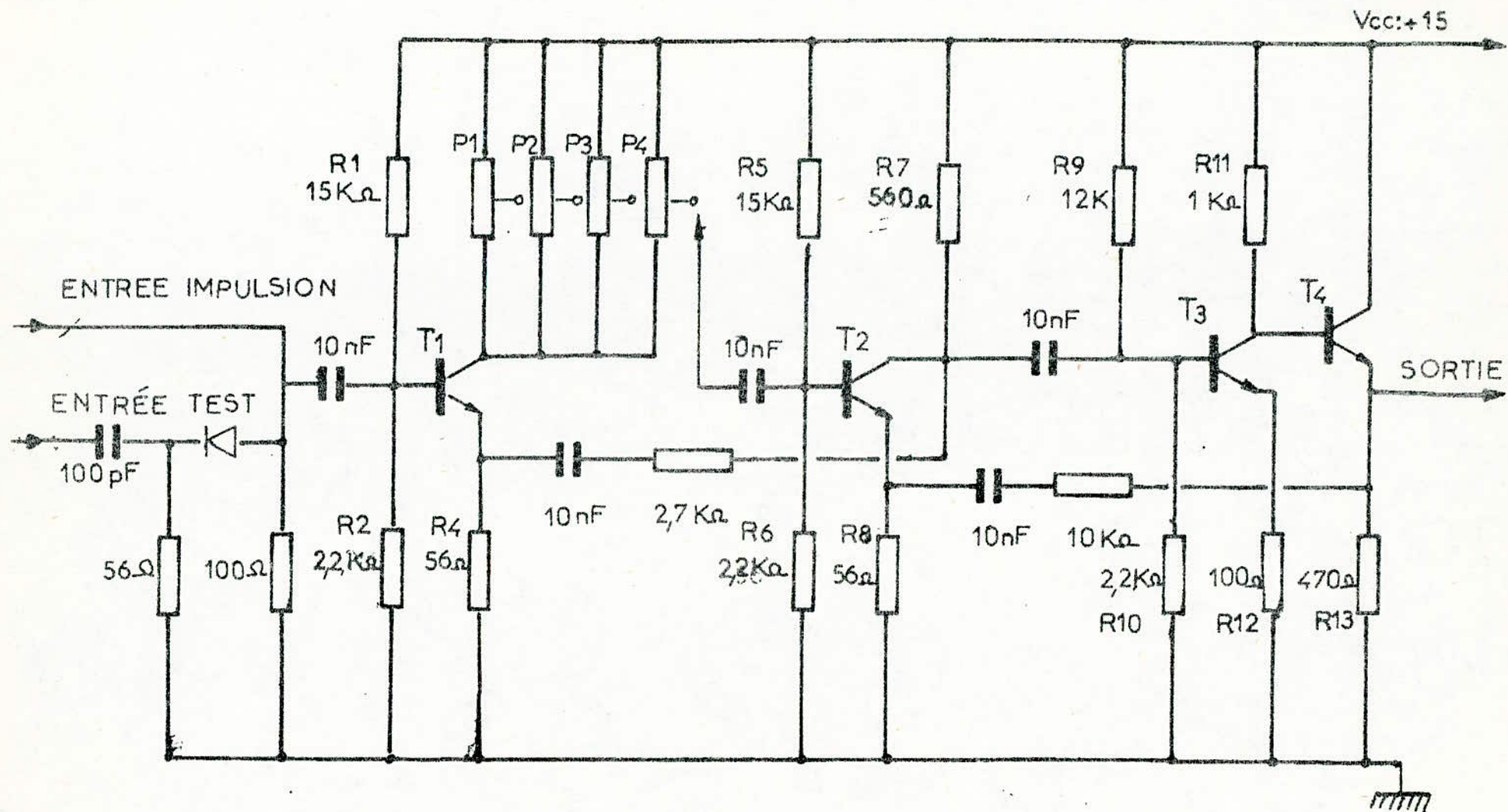


FIG.(17) :SCHEMA DE L'AMPLIFICATEUR

Cet amplificateur devra être tel qu'il puisse amplifier linéairement des impulsions dont le temps de montée peut être de l'ordre de 30 ns.

On peut admettre que ce temps de montée représente le quart de la période d'un signal sinusoïdal.

Compte tenu de cette approximation on peut affirmer qu'une bande passante d'une dizaine de mégahertz à 0 dB sera suffisante pour amplifier linéairement des impulsions dont le temps de montée est supérieur à 30 ns.

On choisira à cette fin des transistors dont la fréquence de coupure en courant est très supérieure à la fréquence maximale à transmettre.

Le transistor 2N 3866 NPN de type silicium répond bien à la question (fréquence de coupure. 800 MHz). La tension d'alimentation des étages amplificateurs est de 15 V. est de 15 v.

Afin d'éliminer les transitoires qui pourraient être introduites au niveau de l'alimentation, nous avons découplé cette dernière aux bornes de chaque étage.

1.2. POLARISATION DES TRANSISTORS.

Nous savons que la fréquence de coupure d'un transistor monté en émetteur commun augmente en général avec le courant de polarisation. pour cela nous avons choisi de polariser fortement les trois premiers transistors.

Pour plus de stabilité en fonction de la température nous avons opter pour la polarisation par pont de base et résistance dans l'émetteur.

1.2.1. POLARISATION DE T_1 et T_2 .

Les impulsions d'entrée étant de faible amplitude, on choisit la même polarisation pour T_1 et T_2 , à savoir

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{CE_1} = V_{CE_2} = 7 \text{ V} \\ I_{C_1} = I_{C_2} = 13 \text{ mA.} \\ \beta = 30 \end{array} \right.$$

$$* \text{ on a } V_{CC} = V_{CE_1} + (R_3 + R_4) I_C$$

$$\frac{V_{CC} - V_{CE_1}}{I_{C_1}} = R_3 + R_4 \implies R_3 + R_4 = \frac{15 - 7}{13} = 615 \Omega.$$

En supposant que $R_4 = 10 R_3$, on en déduit les valeur des resistan-
-ces.

$R_3 = 56 \Omega$ $R_4 = 560 \Omega$

$$* \text{ d'autre part on a } \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = V_{BE_1} + R_4 I_C + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_F$$

Si on prend $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ on en déduit $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$.

on aura alors

$$R_1 = R_5 = 15 \text{ k}\Omega.$$

$$R_2 = R_6 = 2,2 \text{ k}\Omega.$$

$$R_3 = R_7 = 560 \Omega$$

$$R_4 = R_8 = 56 \Omega .$$

La résistance R_3 du premier transistor sera composée de quatre potentiomètres de 2,2 kΩ placés en parallèle.

1.2.2. POLARISATION DE T₄ ET T₃.

Les impulsions à l'entrée du troisième étage T₃ sont de polarité négative, on choisit alors le point de fonctionnement de ce transistor proche de la zone de saturation, à savoir,

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{CE_3} = 0,35 \text{ v} \\ V_{BE_3} = 0,7 \text{ v} \\ I_{C3} = 13 \text{ mA} \\ \beta = 30 \end{array} \right.$$

Par contre les impulsions positives d'amplitudes élevées à l'entrée de l'émetteur suiveur imposent une tension d'émetteur faible.

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{CE_4} = 14 \text{ v} \\ I_{C4} = 2 \text{ mA} \\ V_{BE_4} = 0,7 \text{ v} \\ f = 30 \end{array} \right.$$

On procède de la même manière pour le calcul des résistances et

on trouve :

$$\begin{aligned} R_9 &= 12 \text{ k}\Omega \\ R_{10} &= 2,2 \text{ k}\Omega \\ R_{11} &= 1 \text{ k}\Omega \\ R_{12} &= 100 \Omega \\ R_{13} &= 470 \Omega. \end{aligned}$$

1.3. ETUDE DYNAMIQUE .

Nous nous proposons de calculer le gain de l'amplificateur $\frac{v_5}{v_1}$. Pour cela nous déterminerons le gain de chaque étage en partant de la sortie et en tenant compte de leur impédance de charge.

Les trois premiers étages étant identiques, faisons une étude générale pour établir les formules de gain et des impédances d'entrée.

Nous avons représenté à la figure (18) le schéma équivalent en HF d'un étage amplificateur . Puisqu'il est plus aisé de calculer les grandeurs désirées pour le schéma de GIACOLLETO, nous avons transformé le schéma précédent en celui de la figure (19).

La figure (20) représente le schéma transformé de GIACOLLETO d'après le théorème de MILLER.

Comme la résistance $R_E < Z_{b'e} (1 + g_m R_E)$, la capacité ramenée à l'entrée s'exprime de la manière suivante .

$$C = \frac{C_{b'e}}{1 + g_m R_E} + C_{b'c} \left(1 + \frac{g_m R_L}{1 + g_m R_E} \right) \quad (1)$$

Dans ce cas le gain est donné par la relation .

$$G_V = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_c}}$$

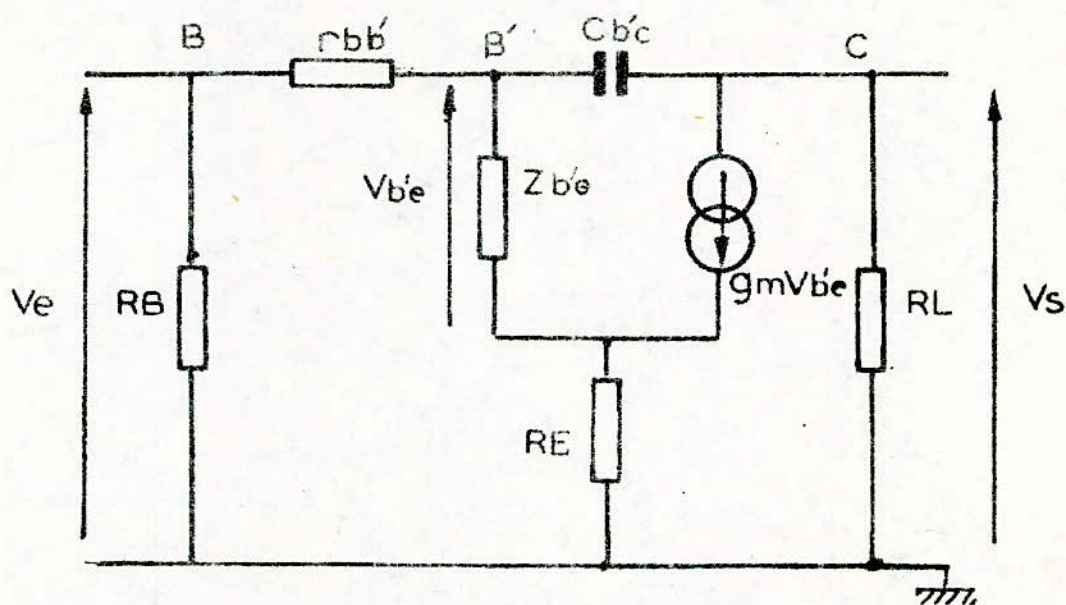


FIG.18 : SCHEMA EQUIVALENT NATUREL EN HF

$$R_L = \frac{Z_e \cdot R_c}{Z_e + R_c}$$

Z_e : étant l'impédance d'entrée de l'étage suivant

$$Z_{be} = \frac{r_{be}}{1 + j r_{be} \cdot C_{be} \omega}$$

$$g_m = \frac{\beta}{r_{be}}$$

$$r_{be} = \frac{U_T}{I_B} \quad \text{avec} \quad U_T = \frac{KT}{q}$$

où A_0 est le gain en basses fréquences et f_c la fréquence de coupure à 3 dB.

$$\text{avec } A_0 = \frac{g'_m R_L r_{b'e} (1 + g_m R_E)}{r_{b'e} (1 + g_m R_E) + r_{bb'}} \quad (3)$$

$$\text{et } \omega_c = \frac{r_{b'e} (1 + g_m R_E) + r_{bb'}}{C r_{b'e} (1 + g_m R_E) r_{bb'}} \quad (4)$$

L'impédance d'entrée est égale à :

$$Z_e = R_B // \left[r_{bb'} + r_{b'e} (1 + g_m R_E) \right] \quad (5)$$

En tenant compte de l'expression (2) le gain global des trois premiers étages s'écrit alors sous la forme :

$$A_v = \frac{A_1}{(1 + j \frac{f}{f_1})} \cdot \frac{A_2}{(1 + j \frac{f}{f_2})} \cdot \frac{A_3}{(1 + j \frac{f}{f_3})} \quad (6)$$

Le dernier étage est un émetteur suiveur - son gain est voisin de l'unité ($A_4 \approx 0,98$) et sa fréquence de coupure est plus élevée que f_1 , f_2 ou f_3 .

Le gain de l'amplificateur sera donc pratiquement défini par A_v .

La bande passante sera déterminée à -3 dB approximativement à partir de la plus faible des trois fréquences f_1 , f_2 ou f_3 .

Compte tenu des expressions (2) et (4) donnant la valeur du gain et de la fréquence de coupure de chaque étage et de la valeur des paramètres internes des transistors indiqués ci-dessous nous avons relevé dans le tableau (21) la valeur du gain maximum et de la fréquence de coupure pour chaque étage.

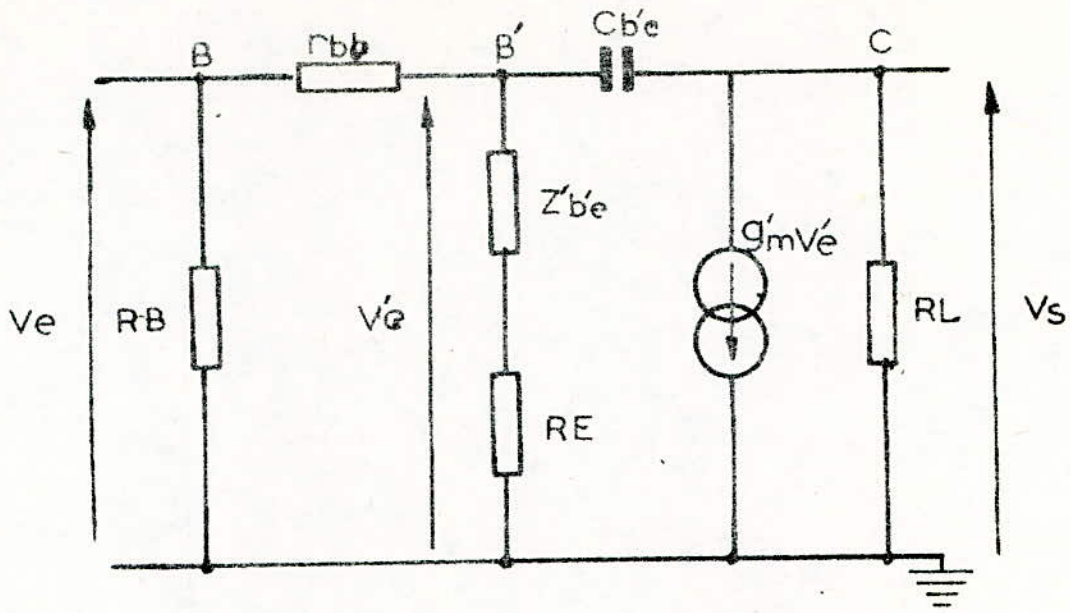


FIG. 19: SCHEMA EQUIVALENT DE GIACOLETTO

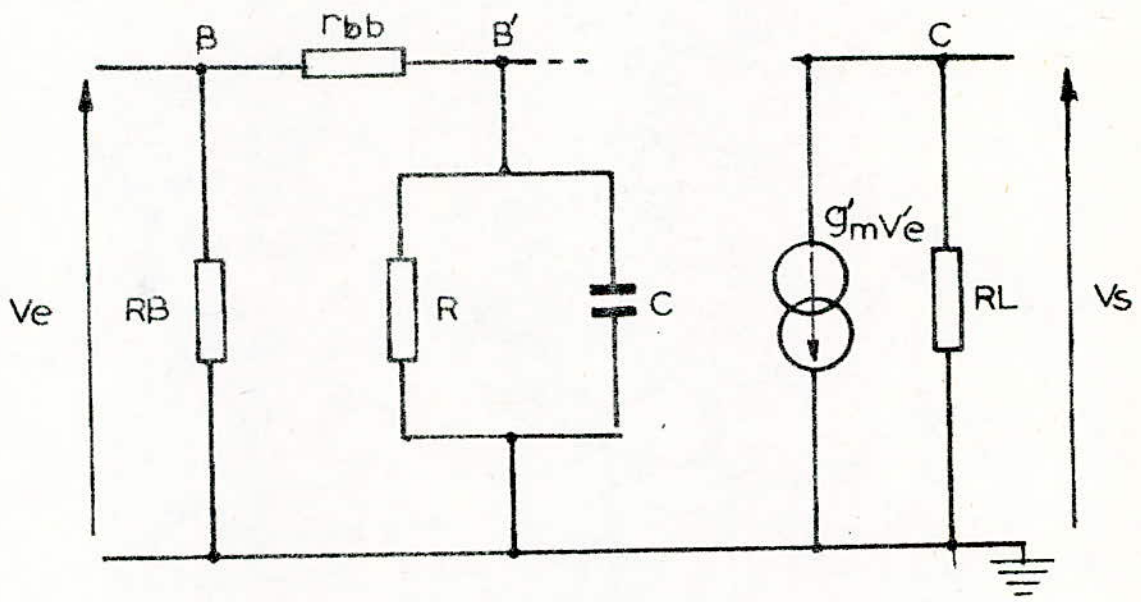


FIG. 20: SCHEMA EQUIVALENT DE MILLER

$$Z'_{be} = Z_{be} \cdot (1 + g_m R_E) = \frac{r_{be} (1 + g_m R_E)}{1 + j \omega C_{be} \cdot r_{be}}$$

$$g_m \approx \frac{g_m}{1 + g_m R_E}$$

$$C = \frac{C_{be}}{1 + g_m R_E} + (1 + g_m R_L) C_{bc}$$

$$R = r_{be} (1 + g_m R_E)$$

$$r_{b'e} \approx 58 \Omega$$

$$r_{bb'} \approx 100 \Omega$$

$$C_{b'e} \approx 200 \text{ pF}$$

$$C_{b'c} \approx 3 \text{ pF}$$

$$g'_m \approx 0,009 \quad (\text{pour } R_E \approx 100 \Omega)$$

$$g'_m \approx 0,012 \quad (\text{pour } R_E \approx 56 \Omega)$$

	1 ^{er} étage	2°	3°	les 3° étages
GAIN	3,6	4	9,2	132
Fréquence de coupure (MHz)	61	58	42	≈ 40

Tableau 21.

Pour améliorer la réponse en fréquence ainsi que la linéarité de l'amplificateur nous avons introduit deux contre-réactions de type tension-tension d'une part entre le deuxième et le quatrième étage et d'autre part entre le premier et le deuxième étage.

Ces contre-réactions auront pour effet de diminuer légèrement le gain de l'amplificateur (≈100).

2 - LE DISCRIMINATEUR.

Pour discriminer les impulsions à la sortie de l'amplificateur nous avons choisi un circuit logique T T L du type SN 74LS13. C'est un trigger de Schmitt qui en plus de sa fonction de discriminateur, permet la mise en forme des impulsions.

Ce circuit possède un seuil de discrimination de l'ordre de 1,9 Volts. Il se déclenche pour le front montant des impulsions lorsque celles-ci ont une amplitude au niveau de l'entrée du Trigger supérieure à 1,9 V. Le trigger possède un seuil plus bas de l'ordre de 0,9 Volts en dessous duquel il revient à son état initial.

On comprendra donc que la largeur des impulsions mises en forme à la sortie du trigger dépende de l'amplitude des impulsions à son entrée.

L'amplitude des impulsions parasites dues au rayonnement γ varie selon le type de détecteur utilisé; il est donc nécessaire de prévoir une discrimination à niveau variable.

Ceci nous a conduit à associer au trigger le montage de la figure (22).

Le principe de fonctionnement consiste à faire varier le niveau continu à l'entrée du trigger en fonction du niveau de discrimination. En réalité ce niveau continu n'est pas appliqué directement à l'entrée du Trigger mais à travers la diode D; ceci pour éviter de soutirer du courant de l'entrée du trigger lorsque le niveau continu est négatif. La résistance R_7 est une résistance de mise à la masse.

Le niveau de discrimination peut être réglé à partir du potentiomètre P_1 . L'amplificateur opérationnel permet d'appliquer sur la borne de R_2 une tension continue variable sous très faible impédance.

Nous pouvons écrire la relation suivante valable au moment de la discrimination :

$$V_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_e - V_r) + V_r \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \frac{V_T}{R_7} \quad (7)$$

En prenant : $R_1 = R_2 = 270\Omega$

$R_7 = 1 \text{ k}\Omega$

En considérant que la chute de tension à travers la diode D est de 400 mV et que la discrimination a lieu pour $V_T = 1,9 \text{ V}$ alors l'expression (7) devient :

$$V_r = 5,14 - V_e \quad (\text{Volts}) \quad (8)$$

La tension V_e regroupe une tension continue de 1 Volt et la tension impulsionnelle V'_e :

$$V_e = 1 + V'_e \quad (\text{Volt}) \quad (9)$$

d'où $V_r = 4,14 - V'_e \quad (\text{Volts}) \quad (10)$

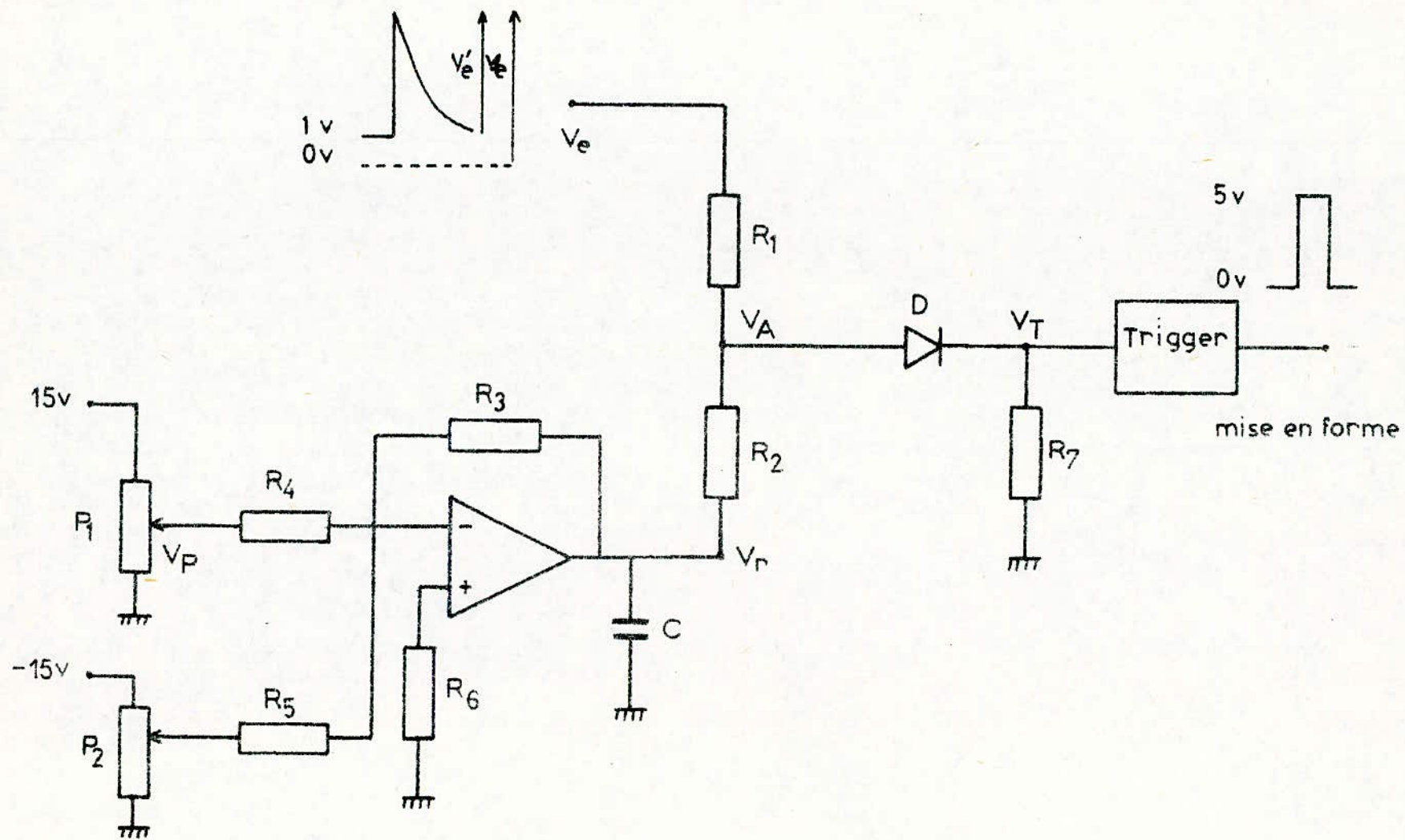


FIG 22 : SCHEMA DE LA DISCRIMINATION - MISE EN FORME

Cette relation exprime la linéarité entre la tension impulsionnelle V'_e et la tension continue V_r à la sortie de l'amplificateur opérationnel.

Une restriction est à apporter en ce qui concerne le niveau minimum de discrimination.

En effet il est nécessaire que la tension continue V_T à l'entrée du trigger reste inférieure à son seuil bas.

Ceci impose que :

$$V_r \leq 1,64 \text{ V}$$

et que le niveau minimum de discrimination soit de l'ordre de 2,5 Volts.

Le potentiomètre P_2 permet d'ajuster la tension à la sortie de l'amplificateur à 1,64V.

Le potentiomètre P_1 est un potentiomètre "10 tours". Il permet de faire varier le niveau de discrimination entre 2,5 Volts et 10 Volts.

$$\begin{array}{lll} V'_e = 2,5 \text{ V} & V_r = 1,64 \text{ V} & V_p = 0 \\ V'_e = 10 \text{ V} & V_r = - 6,14 \text{ V} & V_p = \frac{7,5 \times 15 \text{ V}}{10} \end{array}$$

d'où la détermination du gain de l'amplificateur en boucle fermée

$$\frac{R_3}{R_4} \approx 0,69$$

En prenant $R_3 = 100 \text{ K}$ alors $R_4 = 145 \text{ K}$

et $R_5 = 100 \text{ K}$

La résistance R_6 permet d'équilibrer les deux entrées de l'amplificateur opérationnel afin de réduire la tension de décolage à son entrée.

$$R_6 \approx R_3 // R_4 // R_5$$

$$R_6 \approx 33 \text{ K}$$

La capacité C permet de maintenir V_r constant au moment de l'apparition des impulsions.

$$C = 1 \mu F$$

3. L'ICTOMETRE NUMERIQUE .

3.2. SCHEMA SYNOPTIQUE.

Le schéma synoptique de l'ictomètre numérique est représenté par la figure (23) .

L'interrupteur A permet le choix du mode de fonctionnement de l'ictomètre. A prétemps fixe, en position (1) l'échelle à preset reçoit les impulsions d'horloge pendant que l'échelle de comptage enregistre les impulsions d'entrée. Comme le taux de comptage de certains types de détecteurs peut atteindre 10^6 c/s la capacité de l'échelle de comptage a été fixée à cette valeur. L'échelle de comptage comporte donc six décades soit six compteurs D.C.B. . Les sorties de ces compteurs sont directement connectées à un système de visualisation (Décodeurs-Afficheurs).

En position (2) ou à précompte fixe c'est le temps qui est enregistré par l'échelle de comptage. Puisque la précision sur le temps a été choisie à 10^{-2} s, l'affichage d'un point décimal a été prévu entre la deuxième et la troisième décade.

A tout instant les sorties de l'échelle de comptage à preset sont comparées à l'aide d'un comparateur au preset fixé préalablement par l'utilisateur. Deux commutateurs permettent le choix de ce preset qui se présente sous la forme $m \cdot 10^n$.

Le commutateur fixant m a neuf positions variant de un à neuf. Quant au second commutateur il n'en possède que sept positions; les valeurs de n varient de zéro à six.

Ce dernier commutateur permet la sélection de la décade et sa commutation sur le comparateur. Aussi il n'est pas nécessaire de comparer tous les bits de l'échelle en même temps, mais seulement les bits de la décade sélectionnée.

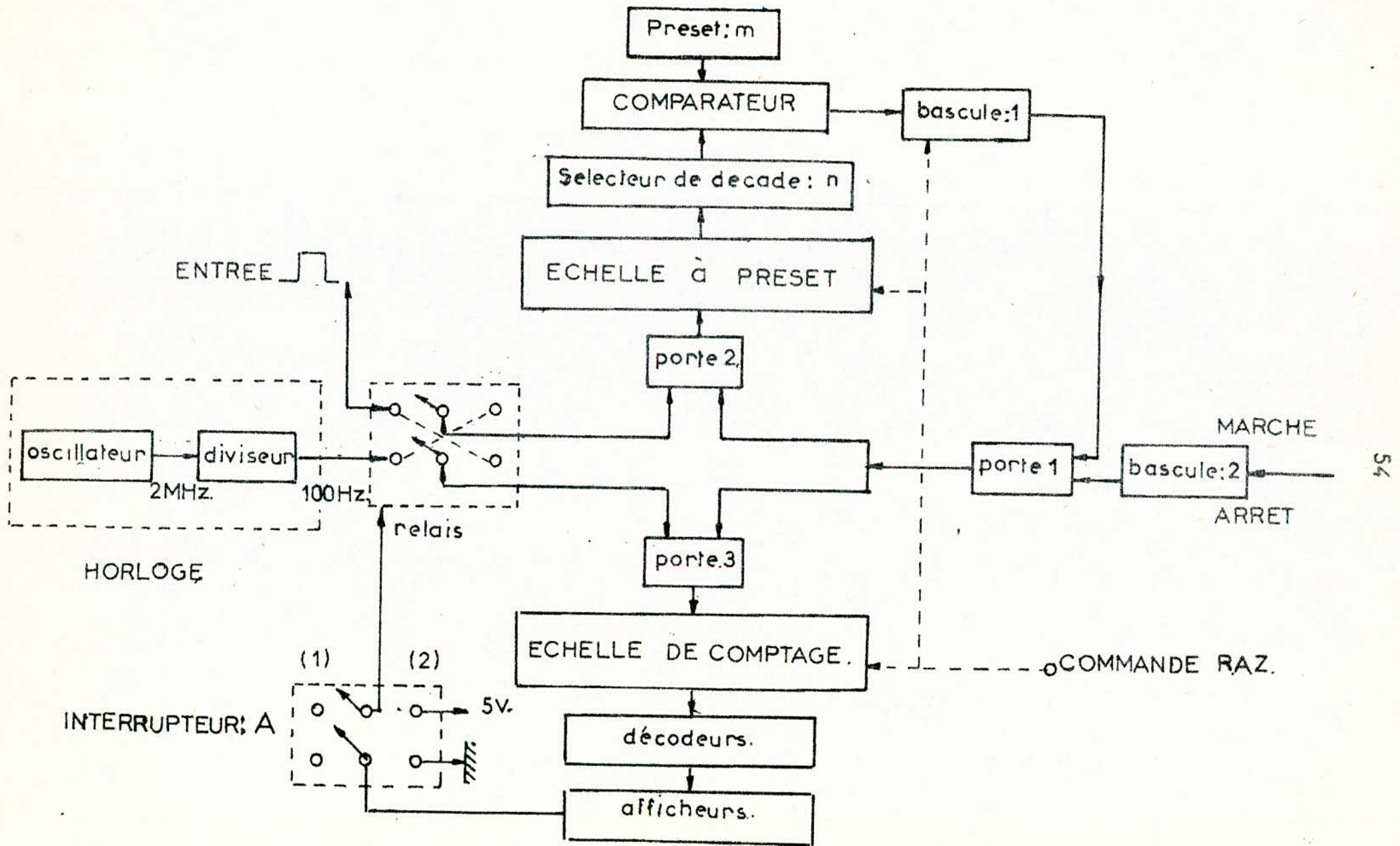
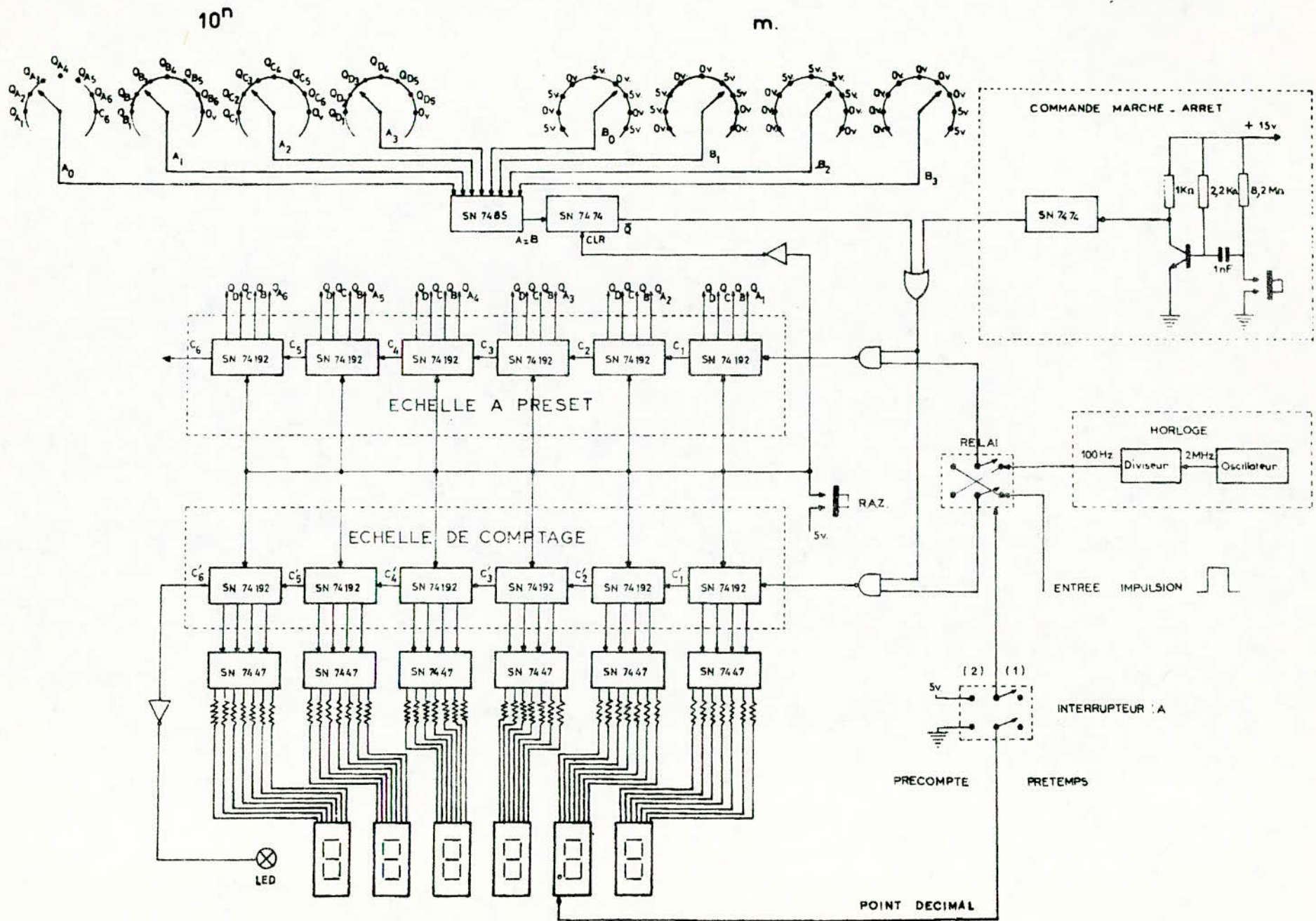


FIG.23 : SCHEMA SYNOPTIQUE DE L' ICTOMETRE NUMERIQUE



SCHEMA DE L'ICTOMETRE NUMERIQUE

Tant que l'échelle de comptage à preset n'a pas atteint le preset fixé, les impulsions appliquées à l'échelle de comptage sont sans cesse enregistrées par celle-ci.

Une fois l'égalité atteinte, la sortie du comparateur commande à l'aide des portes (2) et (3), l'arrêt immédiat des compteurs des échelles de comptage.

Pour empêcher le redémarrage des compteurs suite à des impulsions parasites, une bascule mémoire (1) est prévue à la sortie du comparateur.

Une autre commande manuelle est utilisée pour arrêter les compteurs. La bascule (2) mémorise cette commande avant d'attaquer la porte (1).

3.2. L'HORLOGE.

L'horloge peut être définie comme le dispositif électronique fournissant des impulsions (signaux rectangulaires) régulièrement espacées dans le temps. Ces impulsions servent à déclencher les compteurs de la base de temps.

Parmi les différents montages possibles, nous avons choisi un oscillateur à quartz recommandé pour sa précision et sa stabilité. Cet oscillateur est constitué d'un ampli de gain > 1 , dont le déphasage est égal à 360° pour la fréquence d'oscillation désirée, et d'une boucle de contre réaction comportant le quartz.

Le quartz utilisé résonne dans le mode série c'est-à-dire que son schéma équivalent est un circuit résonnant série R,L,C en parallèle avec une capacité C_s qui représente la capacité des électrodes à travers le quartz et celle des connections. voir figure (24).

L'ampli réalisé est à base de circuit logique TTL du type SN 7404. figure (25)

L'emploi de deux inverseurs nous donne le déphasage de 360° . Les résistances R_1 et R_2 sont choisies de manière à amener les points de repos de ces amplis dans la partie linéaire de leur caractéristique de transfert.

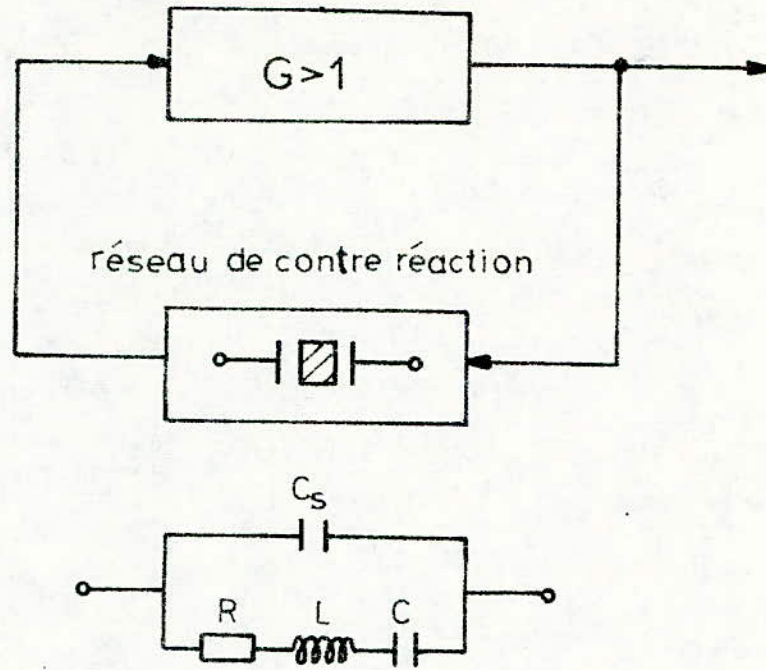


FIG.24: OSCILLATEUR A QUARTZ

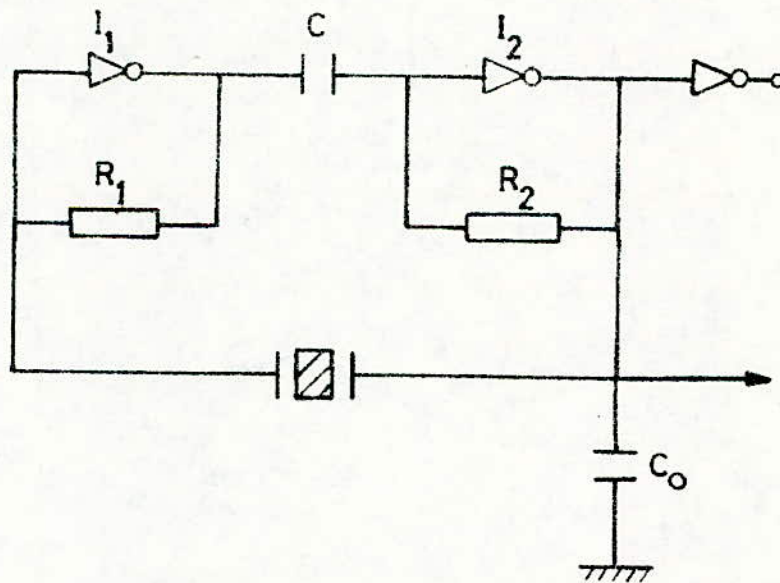


FIG.25: OSCILLATEUR A QUARTZ AVEC LE CIRCUIT SN 7404

La fréquence de résonance de 2MHz est fixée par le quartz. Puisque la précision de l'échelle de temps a été choisie à 10^{-2} s, il est nécessaire de diviser la fréquence délivrée par l'oscillateur pour avoir une fréquence d'horloge de 100 Hz. Pour cela on utilise :

- Une bascule fréquence D (circuit TTL type SN 74 74) pour diviser par deux.

- Quatre compteurs D.C.B. à 10 positions (circuit TTL type SN 7490 A) pour diviser par dix. voir figure (26).

* DIVISEUR PAR DEUX.

Une bascule D pour laquelle l'entrée D est reliée à sa sortie Q peut être utilisée comme diviseur par deux. En effet quand la bascule est au repos ($\bar{Q} = 1$) l'entrée D est mise à 1 et dès réception du signal de commande H (CK) elle change d'état. A la fin du basculement \bar{Q} s'annule donc D devient nul, ce qui remettra la bascule à l'état initial de repos au signal de commande suivant.

La bascule reproduit ainsi le signal appliqué à son entrée mais avec une fréquence réduite de moitié. voir figure(27).

* DIVISEUR PAR DIX.

Le circuit SN 7490 A est un compteur D.C.B à 10 positions, il réunit en un seul boîtier quatre bascules JK connectées en compteur asynchrone. Si on relie la sortie D à l'entrée A du circuit, celui ci divise la fréquence par dix. voir figure (28).

3.3. LES ECHELLES DE COMPTAGE.

Les échelles de comptage que nous avons réalisées sont à dix décades. Elles se composent de six circuits TTL du type SN 74 192 placés en cascade, ce sont des compteurs-décompteurs B.C.D synchrones. Chaque circuit comporte quatre bascules qui reçoivent simultanément les impulsions d'horloge.

Le circuit SN 74192 possède deux entrées commande, l'une pour le comptage (entrée COUNT UP) l'autre pour le décomptage (entrée COUNT DOWN).

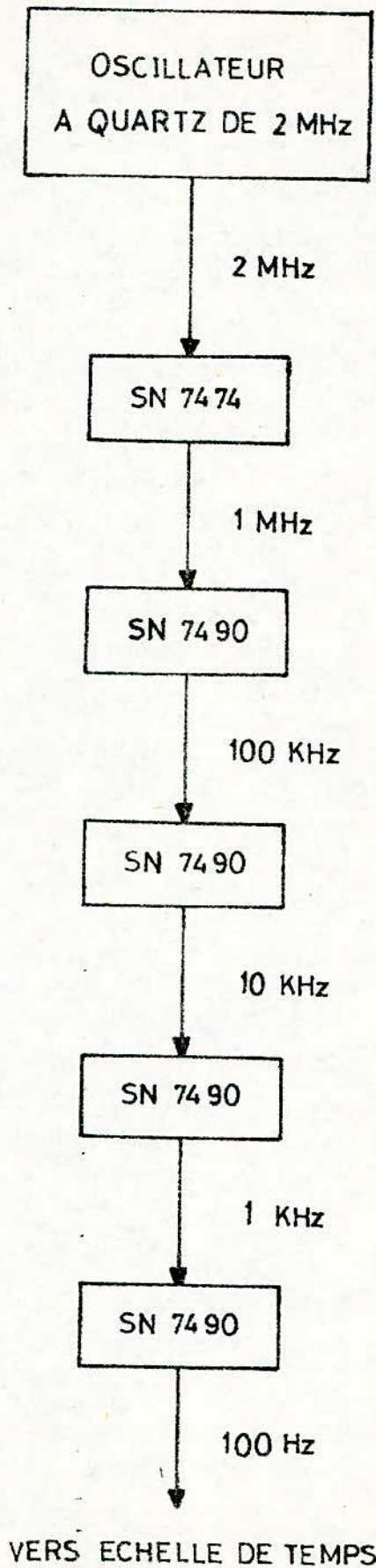
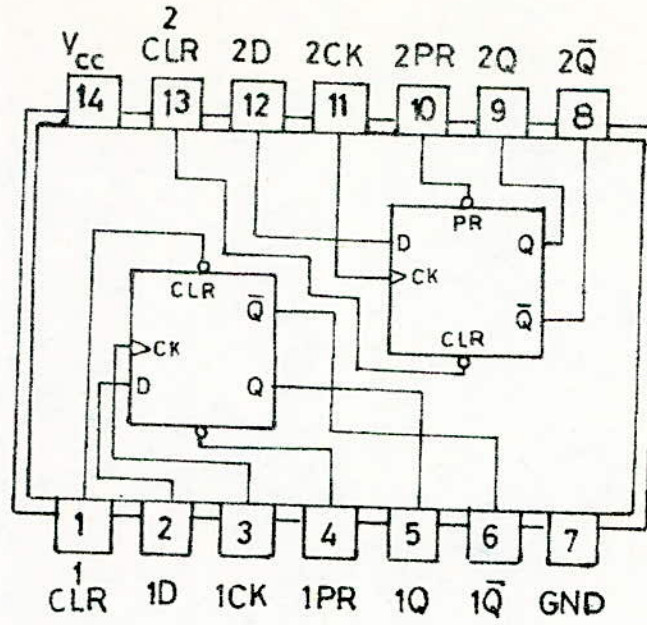


FIG.26 : SCHEMA DE L'HORLOGE AVEC LES DIVISEURS DE FREQUENCE



BROCHAGE DU CIRCUIT SN 7474

INPUTS				OUTPUTS	
PRESET	CLEAR	CLOCK	D	Q	\bar{Q}
0	1	X	X	1	0
1	0	X	X	0	1
0	0	X	X	1*	1*
1	1	↑	1	1	0
1	1	↑	0	0	1
1	1	0	X	Q ₀	\bar{Q}_0

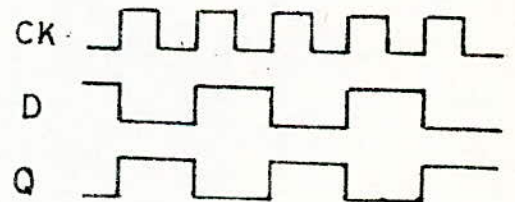
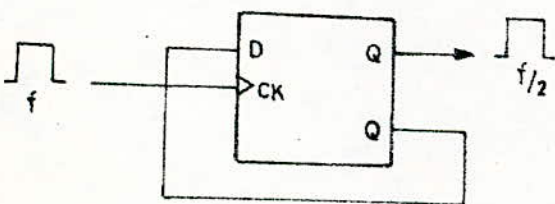
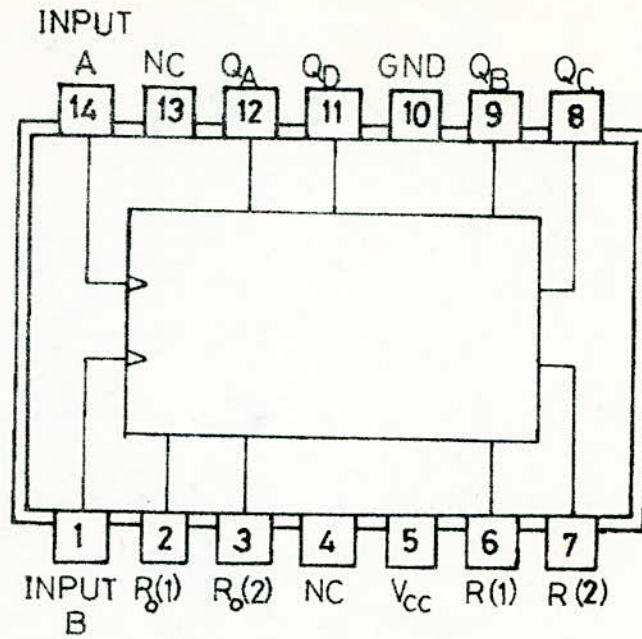


FIG 27: DIVISEUR DE FREQUENCE PAR 2



BROCHAGE DU COMPTEUR SN 7490

COUNT	OUTPUT			
	Q _A	Q _D	Q _C	Q _B
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	1
7	1	0	1	0
8	1	0	1	1
9	1	1	0	0

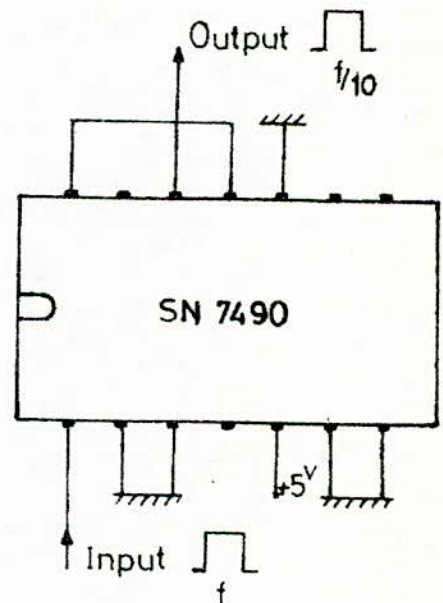


FIG 2 : DIVISEUR DE FREQUENCE PAR 10

Pour notre réalisation nous avons besoin du circuit SN 74192 seulement en tant que compteur aussi on utilisera uniquement l'entrée COUNT UP, l'autre étant reliée au $+V_{CC}$.

Les compteurs étant placés en cascade, chaque compteur sera commandé par la sortie report (carry) du compteur qui le précède.

La même commande de remise à zéro (CLEAR) sera utilisée pour tous les compteurs. voir figure (29).

3.4. LE COMPAREUR.

Pour comparer le preset fixé et les sorties du compteur à preset, nous avons utilisé un comparateur digital du type SN 7485.

Le SN 7485 réalise une comparaison binaire entre deux mots (A et B) de quatre bits chacun. Il possède trois sorties qui donnent directement la relation de grandeur des mots A et B soit $A = B$ ou $A < B$ ou $A > B$.

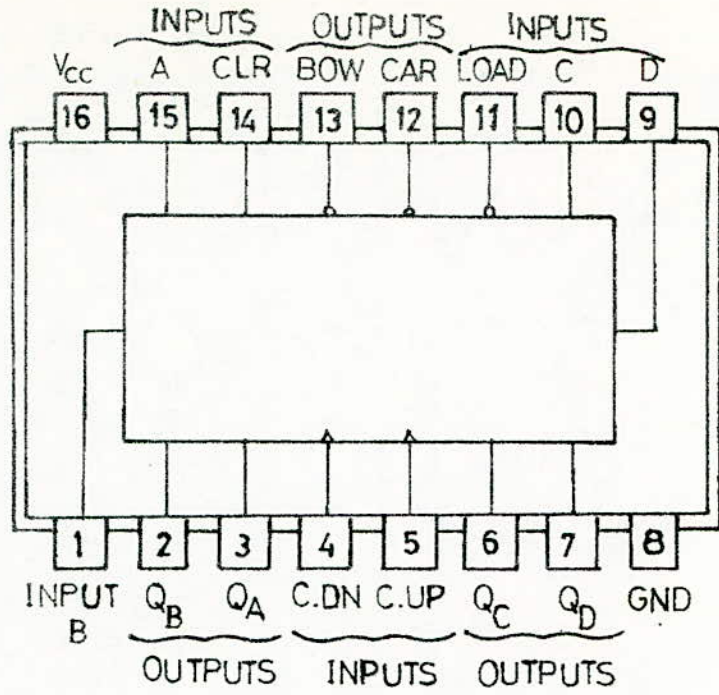
Le brochage et la table de vérité sont donnés par la figure (30).

Les entrées $A < B$, $A > B$ et $A = B$ servent dans le cas où plusieurs comparateurs sont branchés en cascade, ce qui n'est pas le cas dans notre réalisation. Elles seront d'après la table de vérité mises à la masse.

C'est la sortie $A=B$ qui indique l'égalité des deux mots à comparer. Tant qu'elle est au niveau bas les compteurs des deux échelles comptent, ces derniers s'arrêtent de compter dès que celle ci passe au niveau haut.

Une bascule D est prévue à la sortie du comparateur. Cette bascule est du type SN 7474, elle est branchée de sorte qu'elle ne bascule qu'une seule fois au cours du comptage. voir figure (31).

Si la bascule est au repos ($Q = 0$) et que son entrée D est reliée à 1, la bascule ne change d'état que pour le premier front montant de l'horloge (elle restera à 1 pour tous les autres fronts).



BROCHAGE DU COMPTEUR

SN 74192

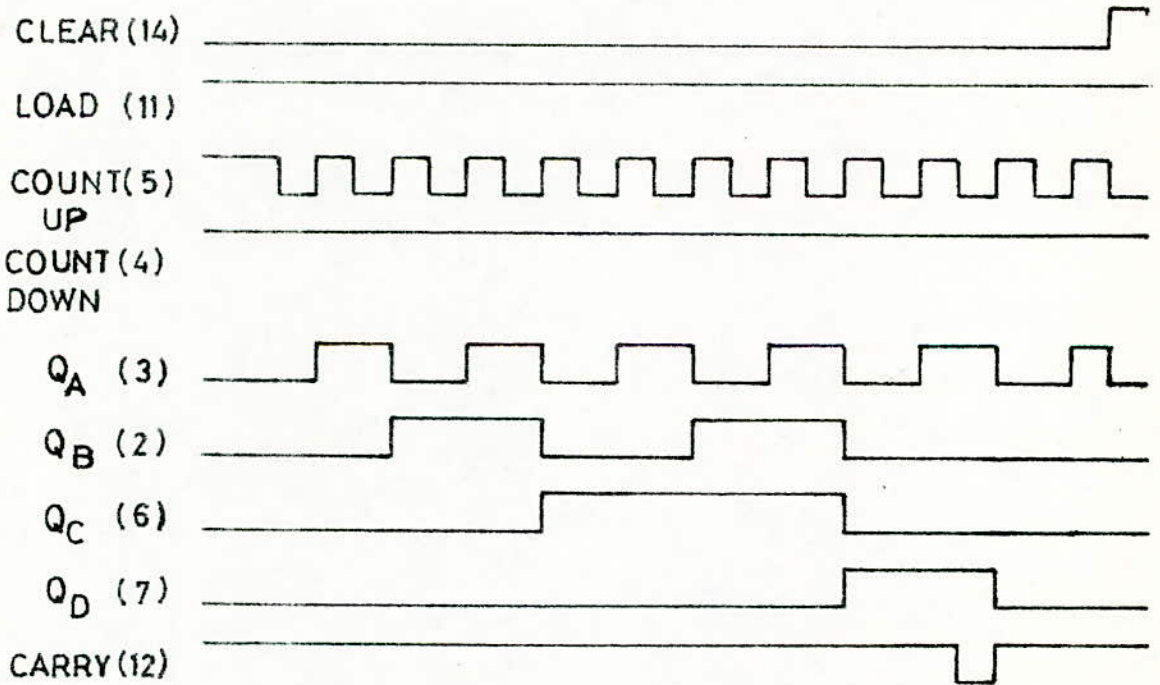
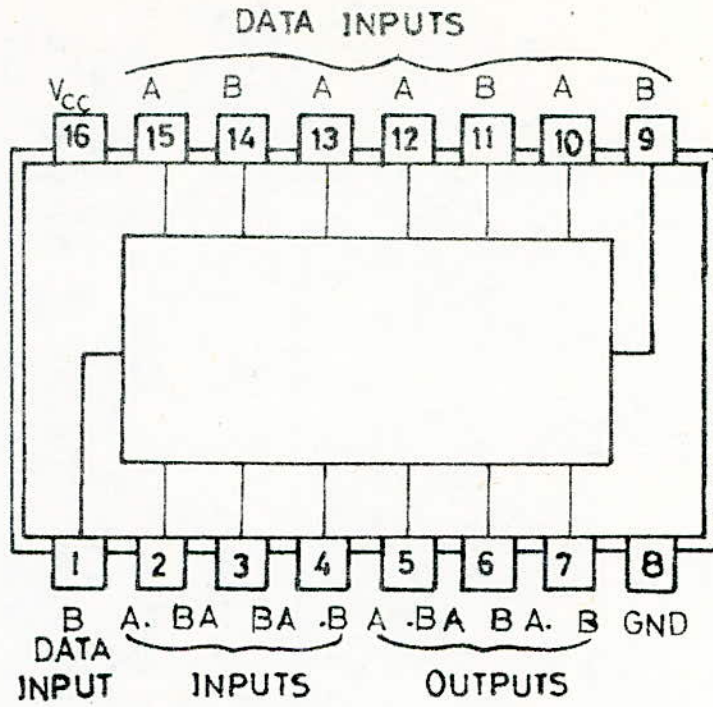


FIG. 29. CHRONOGRAMME DU COMPTEUR SN 74192



BROCHAGE DU COMPAREUR
SN 7485

COMPARING INPUTS				CASCADING INPUTS			OUTPUTS		
$A_3 \cdot B_3$	$A_2 \cdot B_2$	$A_1 \cdot B_1$	$A_0 \cdot B_0$	A > B	A < B	A = B	A > B	A < B	A = B
$A_3 = B_3$	$A_2 = B_2$	$A_1 = B_1$	$A_0 = B_0$	X	X	1	0	0	1
$A_3 = B_3$	$A_2 = B_2$	$A_1 = B_1$	$A_0 = B_0$	1	1	0	0	0	0
$A_3 = B_3$	$A_2 = B_2$	$A_1 = B_1$	$A_0 = B_0$	0	0	0	1	1	0

TABLE DE VERITE DU SN 7485

FIG.30: COMPAREUR

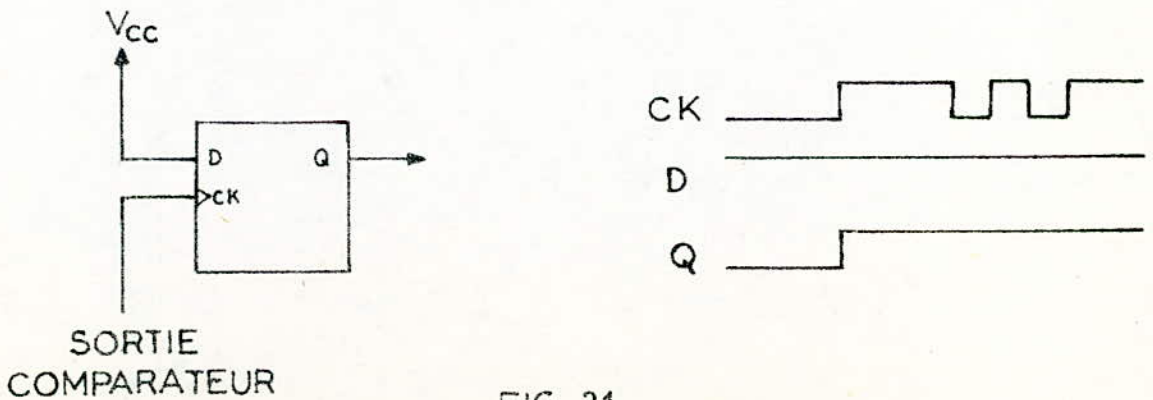


FIG.31.

3.5. LES CIRCUITS DE COMMANDE.

3.5.1. LA COMMANDE MARCHE-ARRET.

En plus de la sortie du comparateur, nous avons prévu une commande manuelle pour la marche-arrêt du comptage. Une porte "OU" sélectionne, donc l'une ou l'autre de ces deux commandes.

La commande manuelle se faisant à l'aide d'un bouton poussoir il est difficile sinon impossible d'obtenir un flanc raide montant ou descendant unique. En effet dans ce cas le rebondissement du contact produit un train d'impulsions. Ce qui nous a conduits à associer le circuit de la figure (32) au poussoir P.

Quand on appuie sur le poussoir P, on met à la masse le point (A) initialement à +15V.; le condensateur C se charge alors à travers la résistance R_2 avec une constante de temps $\tau = R_2 C$. Pendant cette charge un **top** négatif bref apparaît au point (B). Une fois cette charge faite le potentiel du point (A) descend à zéro.

Le poussoir P a beau se réouvrir plusieurs fois pendant les redondissements, la constante de temps de décharge de C à travers R_1 (et R_2) correspond à une constante de temps de l'ordre de la centième de seconde. Le condensateur ne peut donc se décharger pendant les rebondissements (ou pratiquement pas).

Le transistor T, à très faible gain et à très faible temps de désaturation, permet l'obtention d'un top positif nécessaire à la commande d'un circuit TTL..

(bascule mémorisant la commande du poussoir P).

Le signal de commande MARCHE-ARRET arrive sur l'entrée des compteurs à travers une porte.

Les compteurs SN 74192 étant des compteurs synchrones, ils basculent pour chaque front montant des impulsions à leur entrée. Si on veut arrêter le comptage il suffit d'appliquer à ces compteurs une tension continue. Le circuit qui répond bien à cette question est une porte NAND à l'entrée de laquelle sont appliquées les impulsions à compter et l'inverse du signal de commande.

La table de vérité de cette porte est donnée par la figure (33).

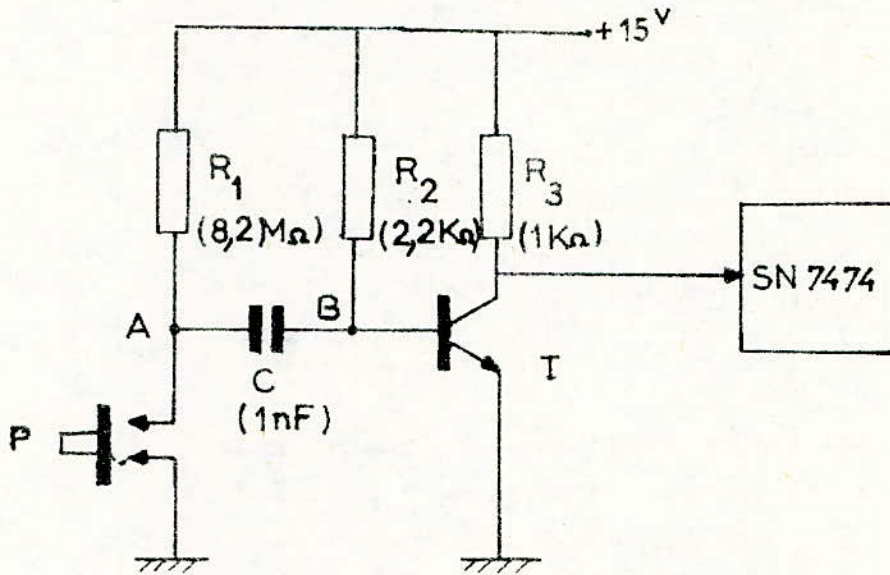
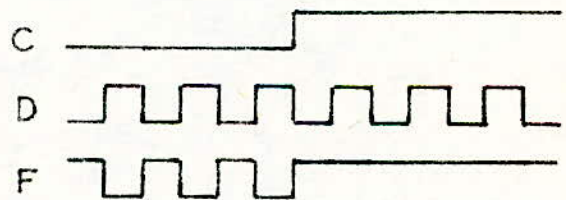


FIG.32: CIRCUIT DE COMMANDE MANUELLE
MARCHE - ARRET

C	D	F
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1



C : COMMANDE MARCHÉ-ARRET

D IMPULSIONS A COMPTER

$$F = \overline{C} \cdot D$$

FIG. 33.

3.5.2. LA COMMANDE DE REMISE A ZERO.

Nous utilisons la même commande de remise à zéro pour tous les compteurs des deux échelles de comptage et pour la bascule D en sortie du comparateur.

De la même manière cette commande se fait à l'aide d'un bouton poussoir P'. Il n'est pas nécessaire de lui associer le circuit de la figure (32), car même si on a un train d'impulsions produit par le rebondissement du contact la remise à zéro est maintenue.

3.6. LE DISPOSITIF DE VISUALISATION.

Les sorties de chaque compteur SN 74192 de l'échelle de comptage sont connectées aux entrées du dispositif de visualisation; celui ci se compose de 6 décodeurs et de 6 afficheurs.

Les afficheurs utilisés sont du type T IL 302 sept segments et les décodeurs du type SN 7447 (décodeurs D.C.B.- 7 segments).

Le courant traversant chaque segment de l'afficheur ne doit pas excéder 20 mA, ce qui nous a conduits à placer des résistances de 270 Ω aux entrées des afficheurs. Une led placée à côté des afficheurs indique le dépassement de capacité.

4. L'ICTOMETRE ANALOGIQUE.

Le trigger 74 LS13 délivre à sa sortie des impulsions mises en forme dont la durée est trop brève pour permettre une charge convenable des capacités des circuits pompe à diodes. Pour remédier à cet inconvénient nous avons introduit entre le trigger et les pompes à diodes une bascule permettant d'avoir un signal de fréquence moitié se rapprochant d'un signal carré.

L'amplificateur d'impulsion fonctionne avec une bonne linéarité jusqu'à un taux d'impulsions de l'ordre de 1 MHz.

Toutefois il fonctionne encore plus ou moins correctement jusqu'à quelques MHz.

Compte tenu de cela nous avons prévu une échelle logarithmique s'étendant sur six décades, de 10 à 10⁷ Hertz.

Nous avons mentionné dans le tableau (21) pour chaque gammes de fréquence la valeur des capacités C_1 et C_2 et de la résistance de charge des pompes à diodes R.

Le calcul de ces valeurs a été fait suivant les explications données au paragraphes 5 du chapitre 2.

Gammes de fréquence (Hz)	C_1 (μF)	C_2 (μF)	R (K Ω)
10 à 10^2	2	100	111
10^2 à 10^3	0,2	22	111
10^3 à 10^4	$30 \cdot 10^{-3}$	2	71
10^4 à 10^5	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$66 \cdot 10^{-3}$	47
10^5 à 10^6	$0,44 \cdot 10^3$	$14,1 \cdot 10^{-3}$	47
10^6 à 10^7	$0,44 \cdot 10^{-3}$	$14,1 \cdot 10^{-3}$	5

Tableau 21.

Nous avons représenté par la figure (22) le schéma global du convertisseur fréquence - signal continu logarithmique.

Les résistances d'entrée de l'amplificateur opérationnel ont été toutes prises égales à 1 M Ω , ceci pour éviter de charger les pompes à diodes.

La résistance de contre-réaction a été choisie de manière à ce que l'amplificateur ne soit pas saturé à taux de comptage élevé.

Nous l'avons calculée de manière à ce que la tension V_s à la sortie de l'amplificateur soit de 10V au cas où le taux de comptage atteind 10^7 coups/sec.

$$\text{on a } V_S = \frac{R_{c.r}}{R_e} (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6)$$

Lorsque le taux de comptage atteint 10^7 coups/sec
alors

$$V_1 = V_e = V_3 = V_4 = V_5 \approx 4 \text{ V}$$

$$V_6 \approx 1,8 \text{ V}$$

De ces valeurs, on déduit la valeur de la résistance de contre-réaction R_{Cr} .

$$R_{Cr} \approx 450 \text{ K } \Omega$$

Un cadre galvanométrique permet de visualiser la tension V_S sur une échelle logarithmique

A la figure (23) nous avons représenté le schéma du circuit permettant d'avoir une indication continue linéaire en fonction du taux de comptage.

Cette indication est intéressante à suivre dans la gamme allant de 10^5 à 10^6 coups/sc; gamme pouvant correspondre à la dernière gamme de puissance d'un réacteur nucléaire.

Le produit RC_1 a été choisi de manière à ce que $m RC_1 \ll 1$ lorsque $m = 10^6$ coups/sec comme il a été déjà expliqué au paragraphe 5.3 du chapitre 2.

$$\text{On a pris } RC_1 = 22 \text{ ns}$$

Le rapport $\frac{R_{c.r}}{R_e}$ traduisant le gain de l'amplificateur a été déterminé pour que la tension à la sortie de l'amplificateur soit de 10V lorsque le taux de comptage atteint 10^6 coups/sec

$$\frac{R_{c.r}}{R_e} = 230$$

En prenant $R_e = 9 \text{ K } \Omega$ on en déduit $R_{c.r} = 2,2 \text{ M } \Omega$

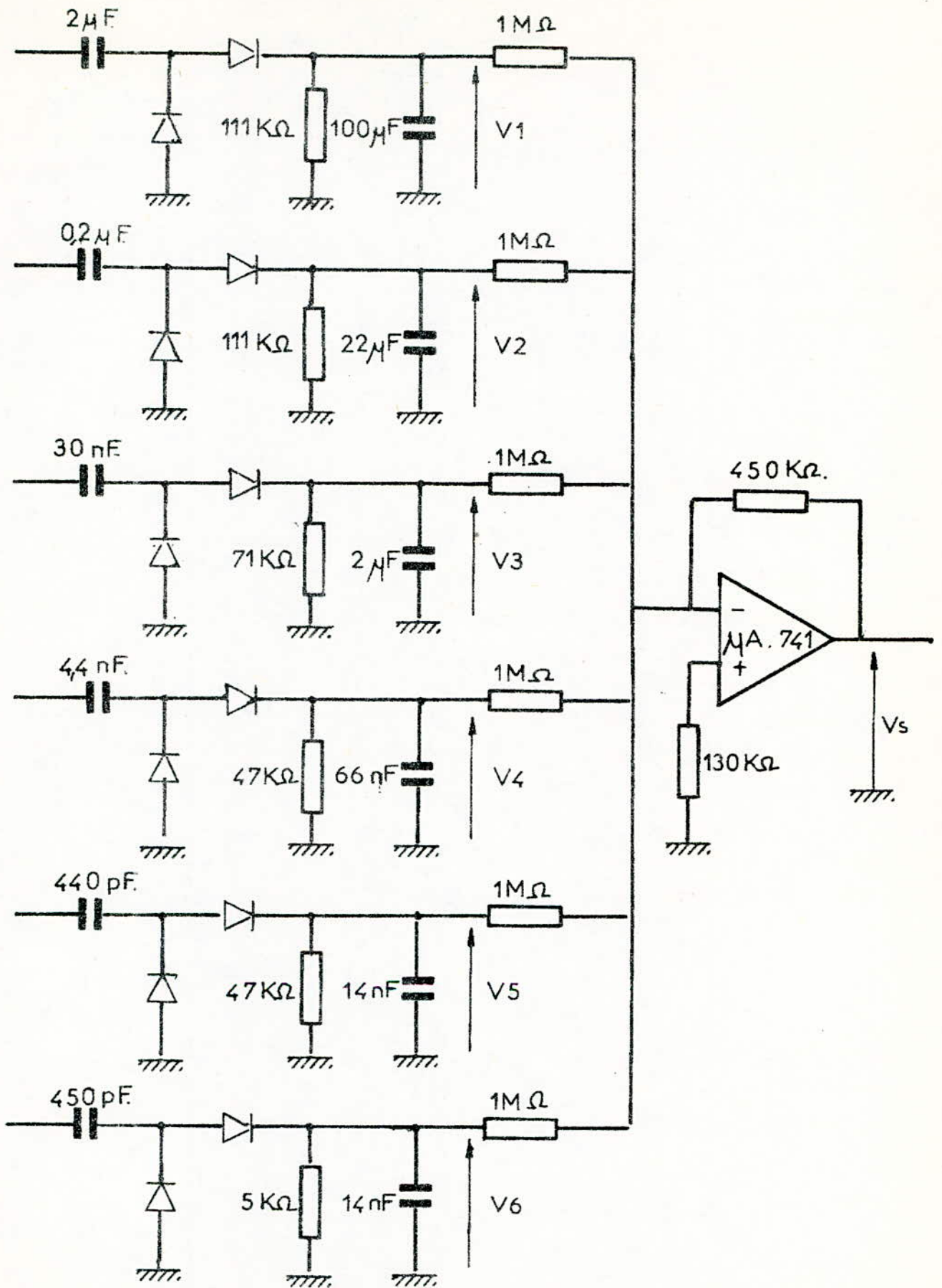


FIG. 22 : SCHEMA GLOBAL DE L'AMPLIFICATION LOGARITHMIQUE

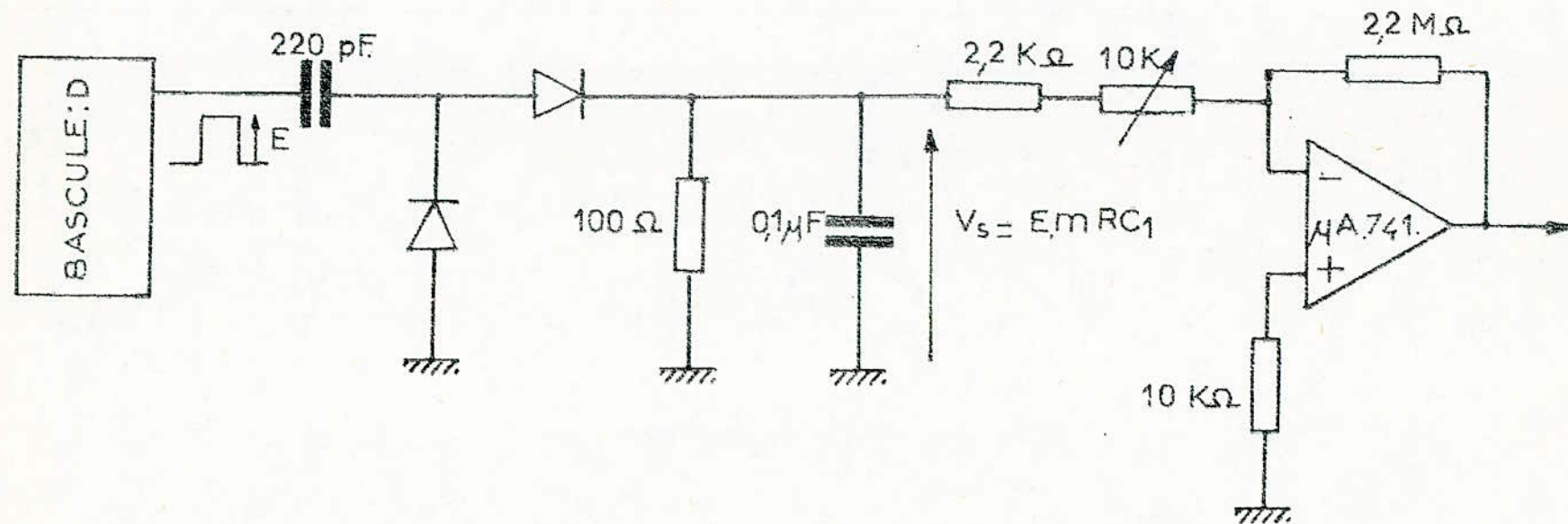


FIG. 23. POMPE A DIODES LINEAIRE

5. L'alimentation

Le schéma complet de l'alimentation est donné par la figure (34).

Le transformateur est à point milieu, il fournit à partir du 220v des tensions alternatives de 18v et 9v.

Les redresseurs utilisés sont du type pont à diodes M.D.A. 970. Les tensions ainsi redressées seront filtrées par des capacités chimiques de 3900 μF .

Les capacités de 1 μF et 0,1 μF permettent une meilleure réponse de l'alimentation aux transitoires rapides.

Les régulateurs utilisés sont du type MC 7815, MC 7915 et MC 7805. Ils fournissent les tensions + 15v et - 15v pour les circuits analogiques, en particulier les amplificateurs opérationnels, une tension + 5v pour le dispositif de visualisation et une autre de + 5v pour les circuits d'horloge, des échelles de comptage, des portes.

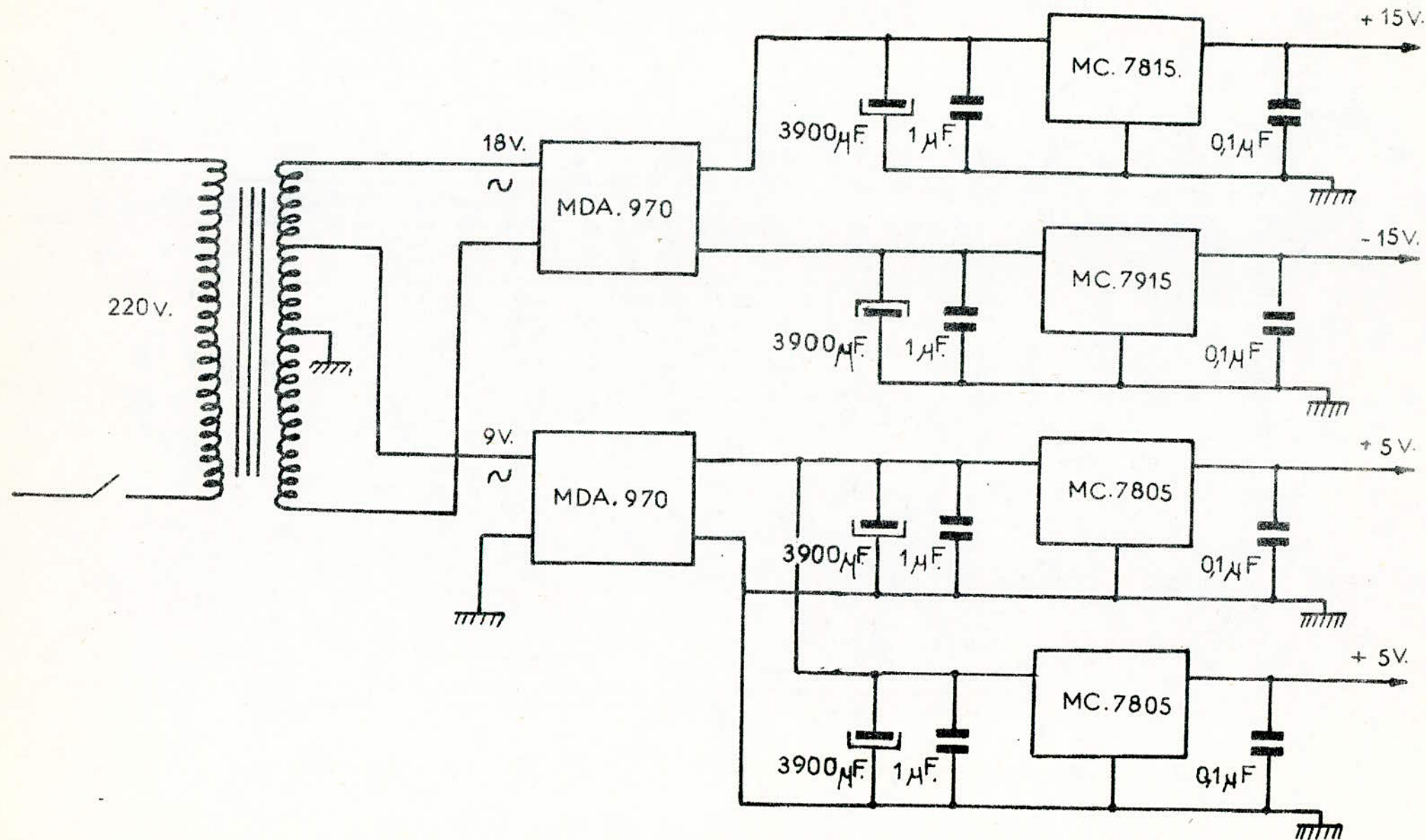
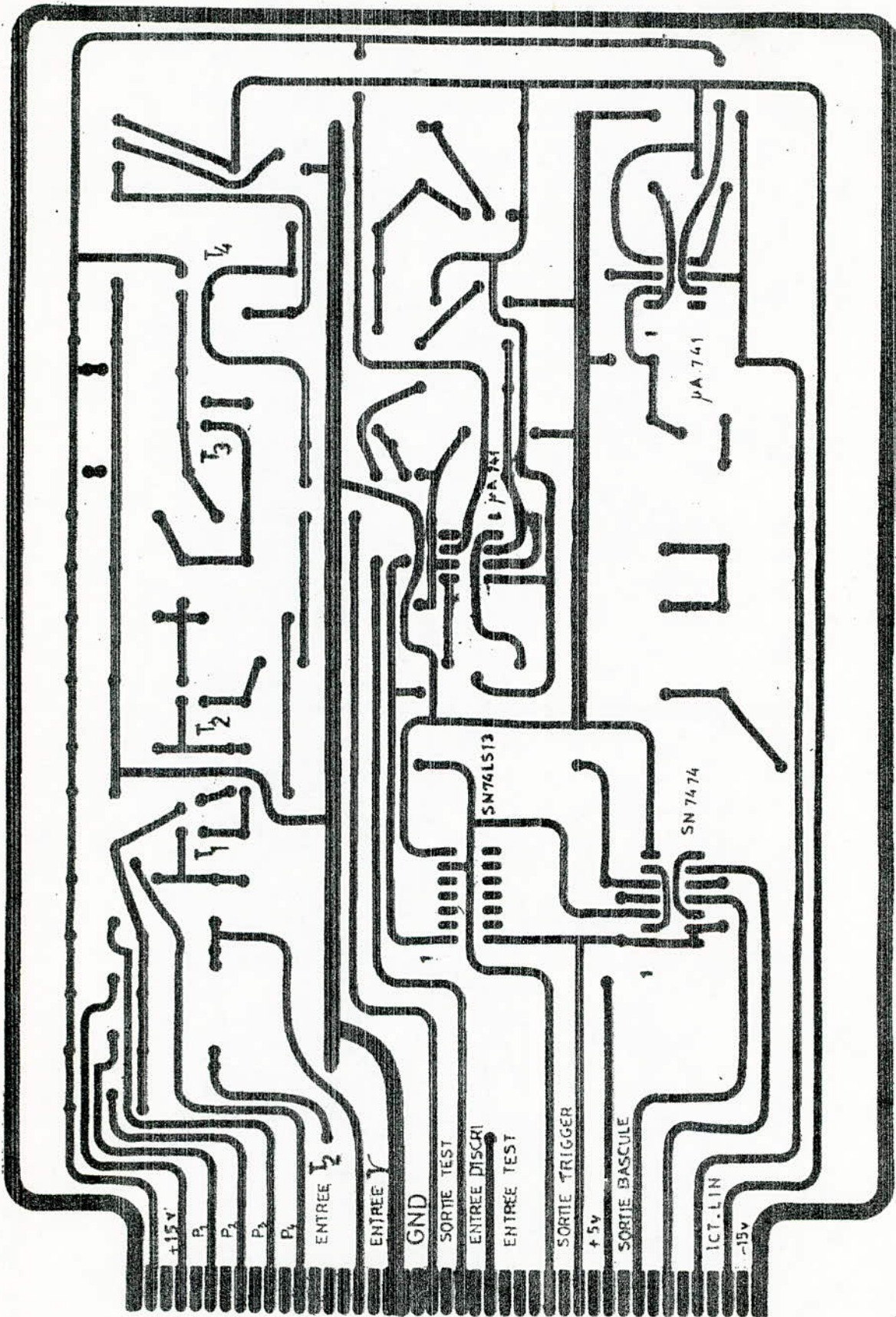
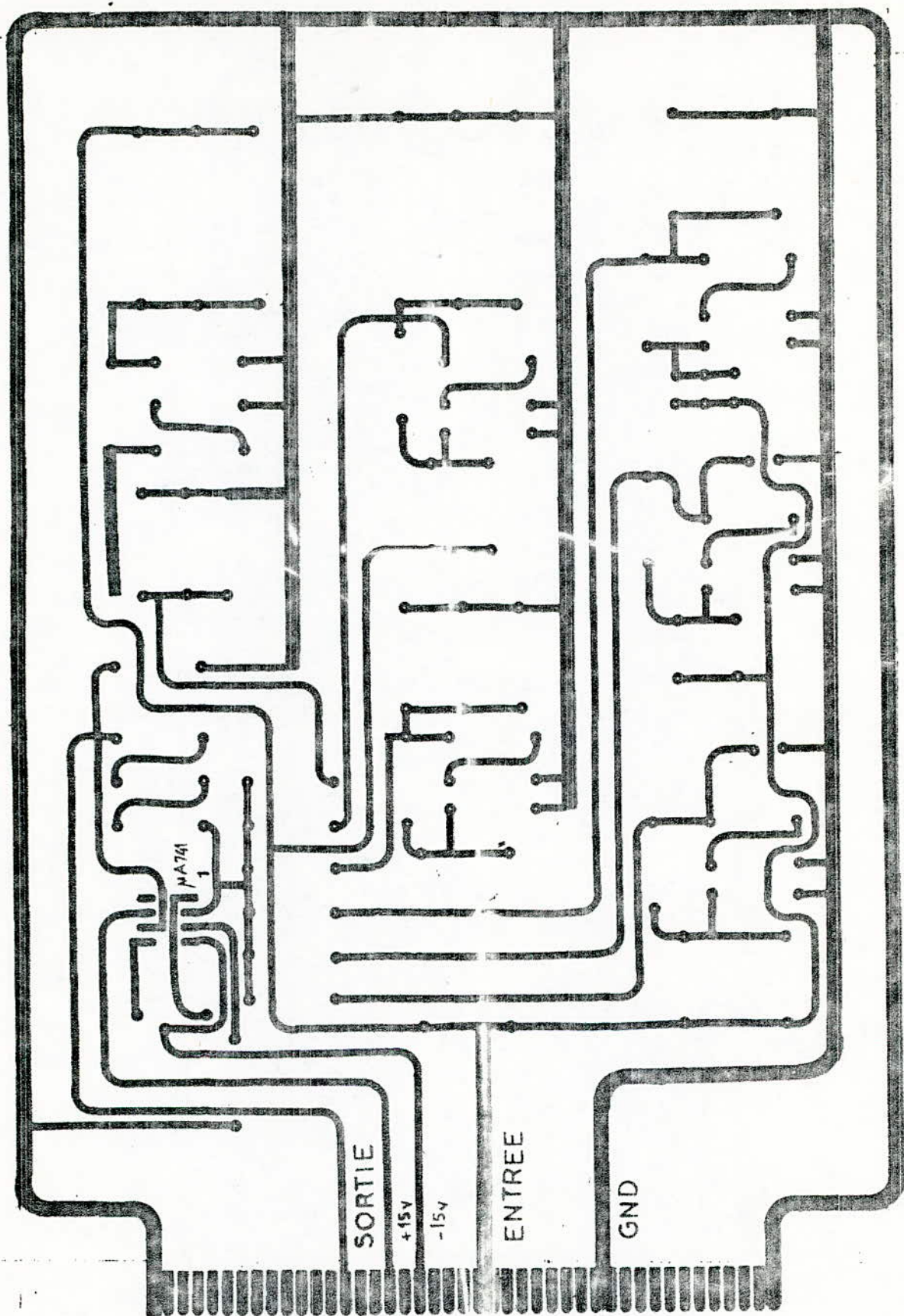


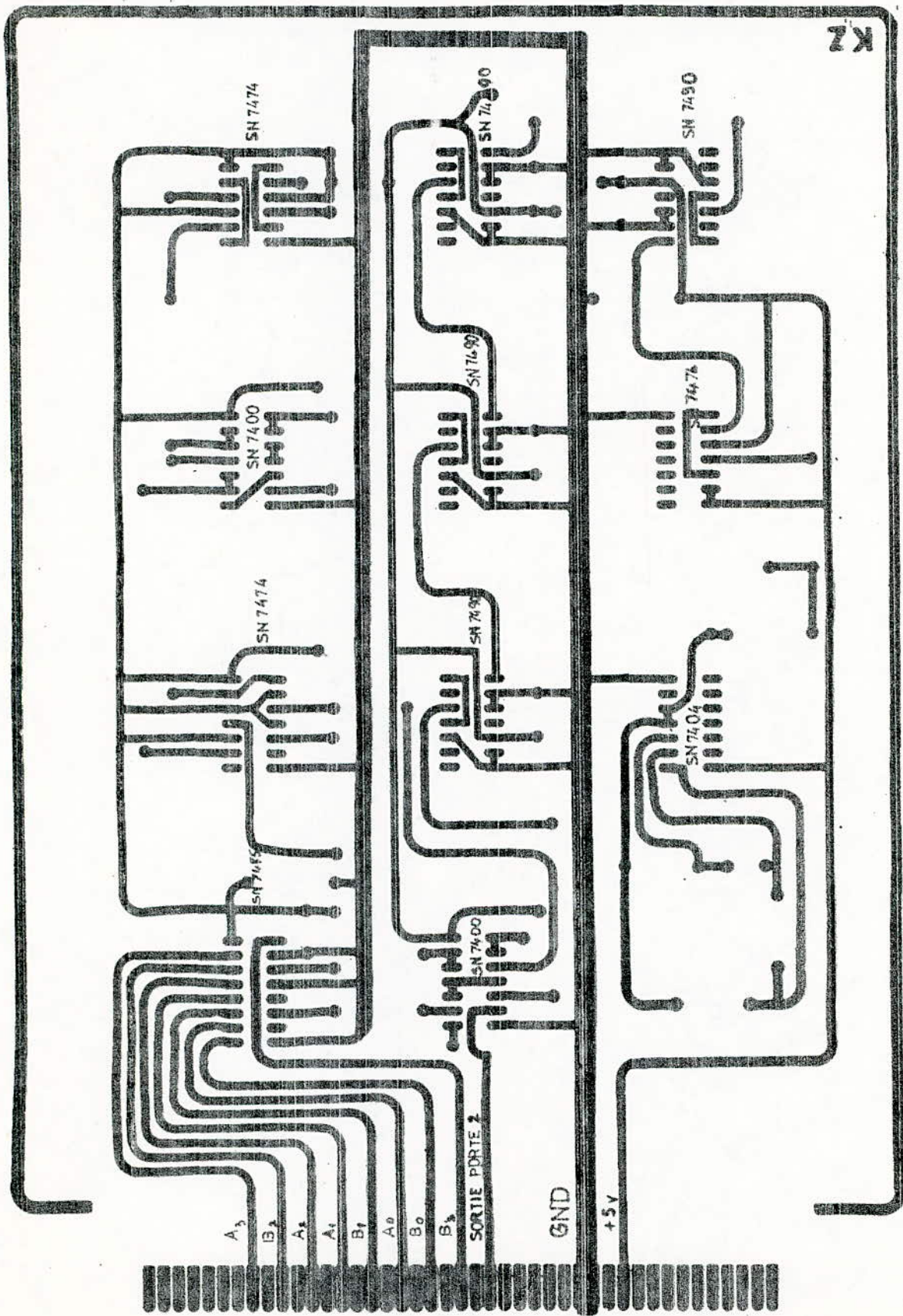
FIG.34 SCHEMA DE L'ALIMENTATION .



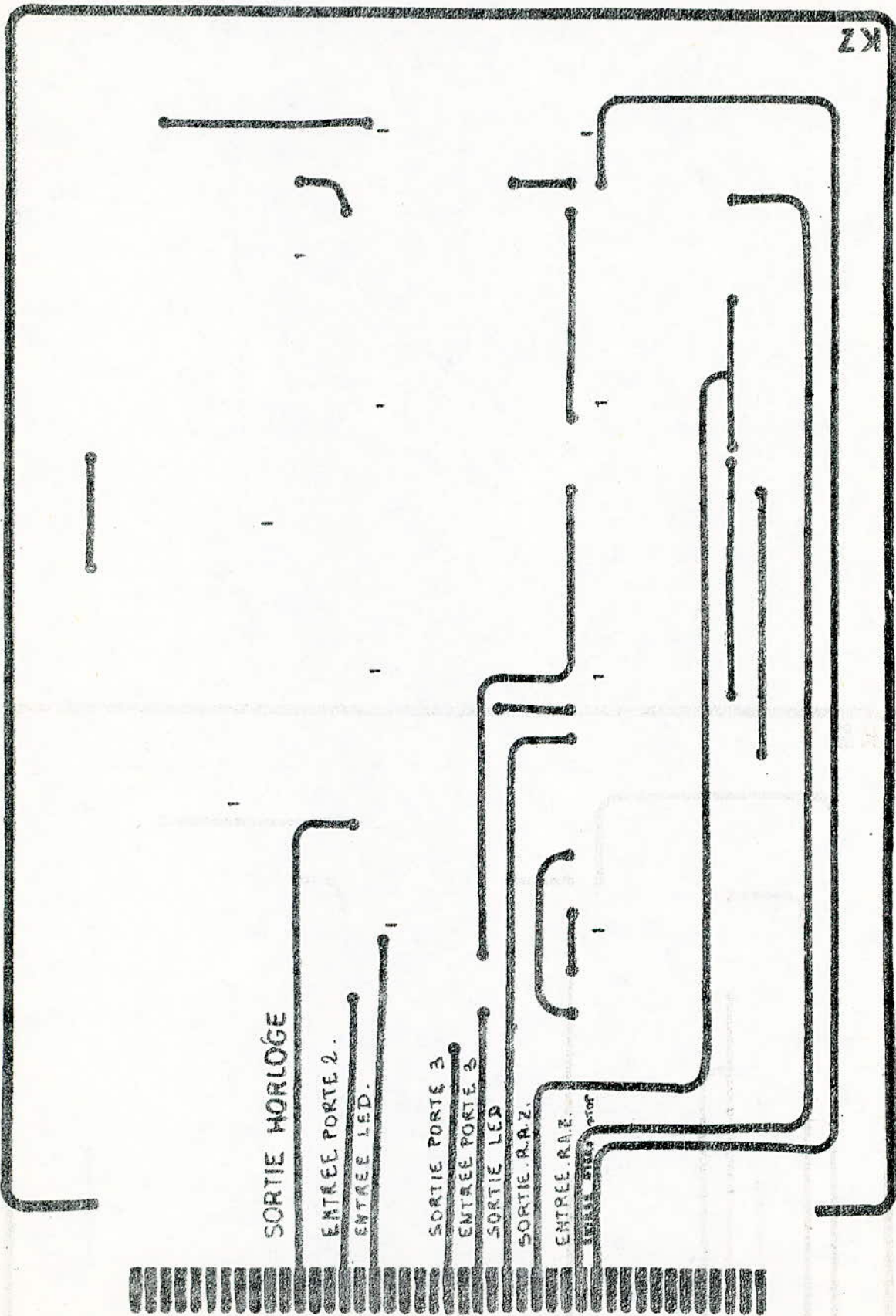
AMPLIFICATEUR - DISCRIMINATEUR - POMPE ADIODES LINEAIRE



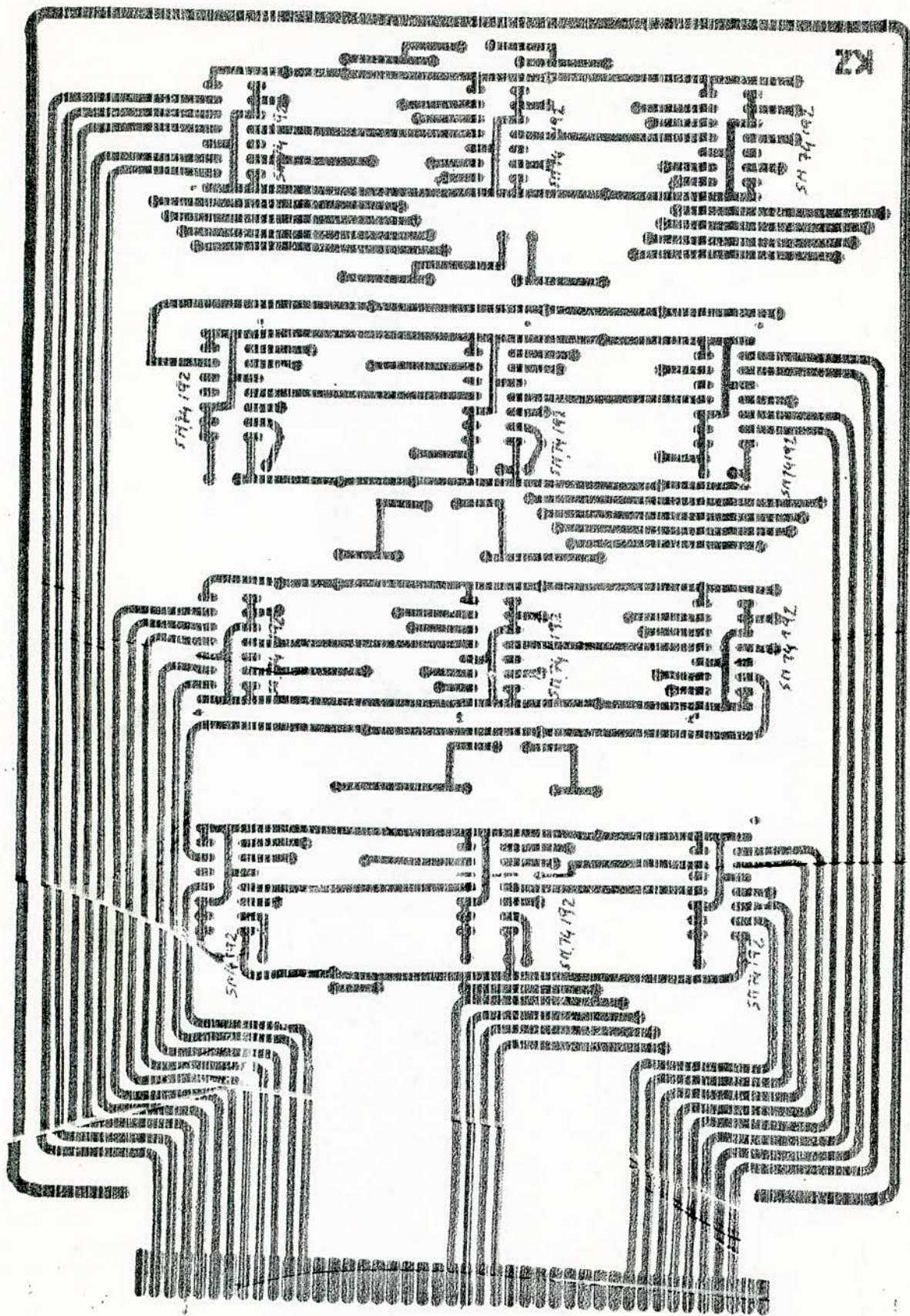
CIRCUITS POMPES A DIODES ET AMPLIFICATION LOGARITHMIQUE



HORLOGE, COMPAREUR ET CIRCUITS DE COMMANDE
(coté soudure.)



HORLOGE , COMPAREUR ET CIRCUITS DE COMMANDE
(coté éléments)

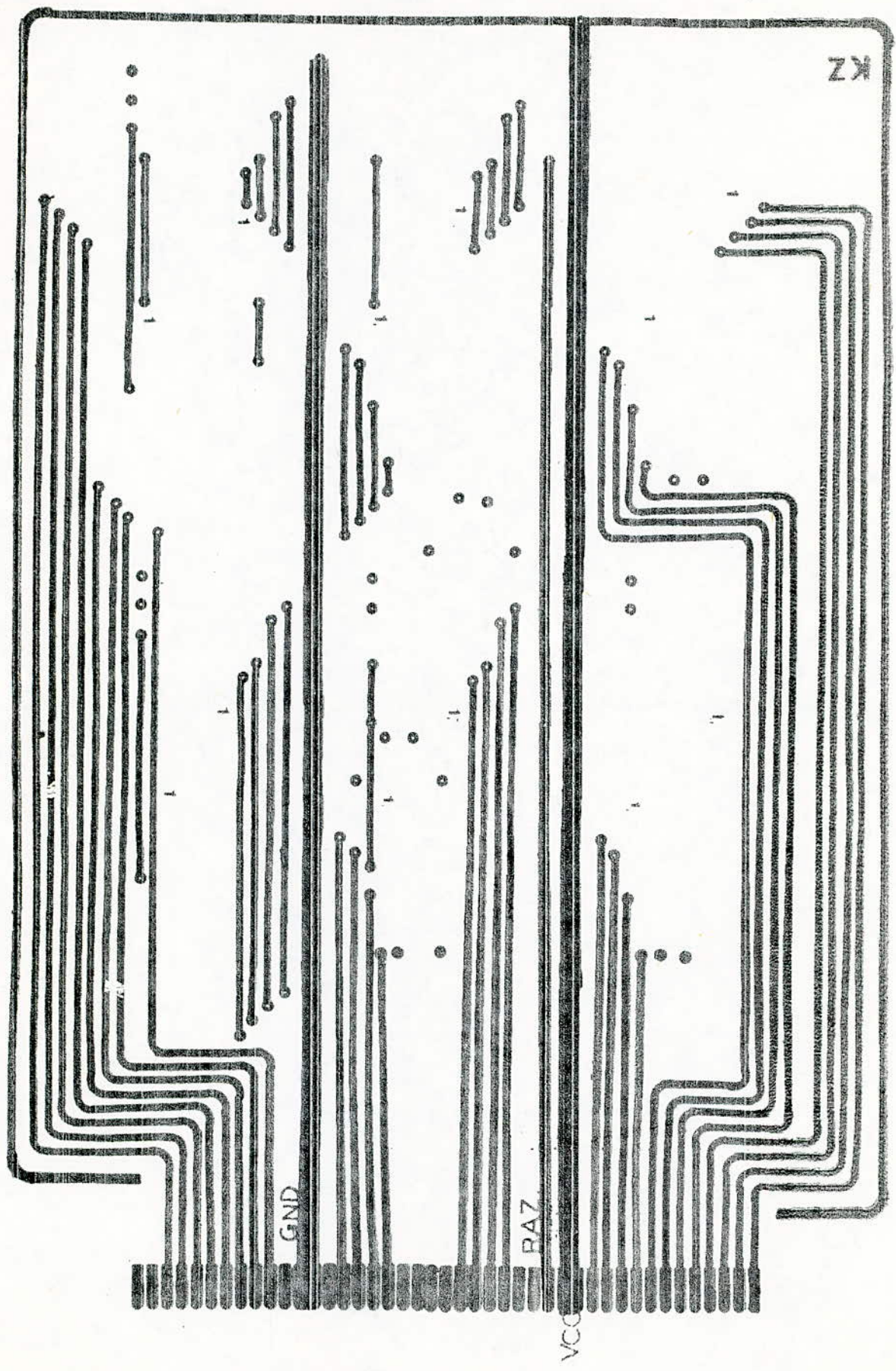


ECHELLE A PRESET

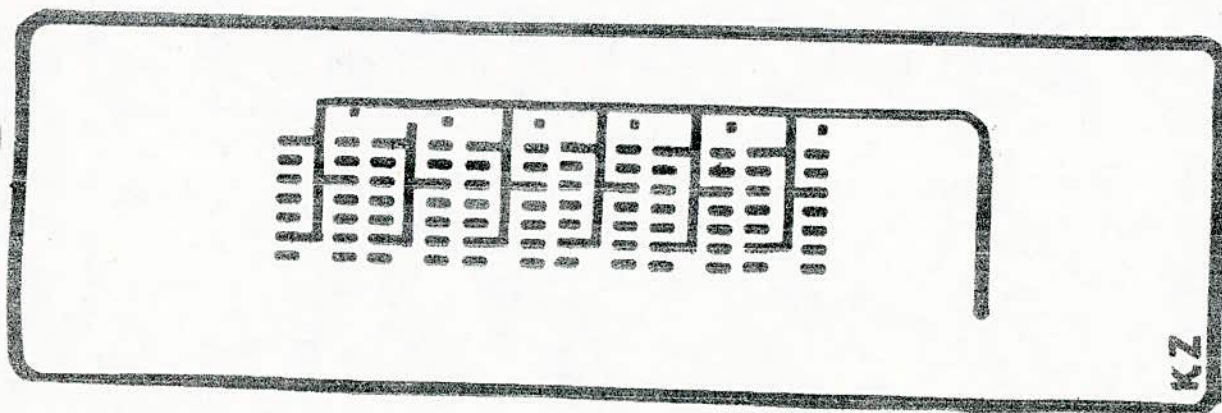
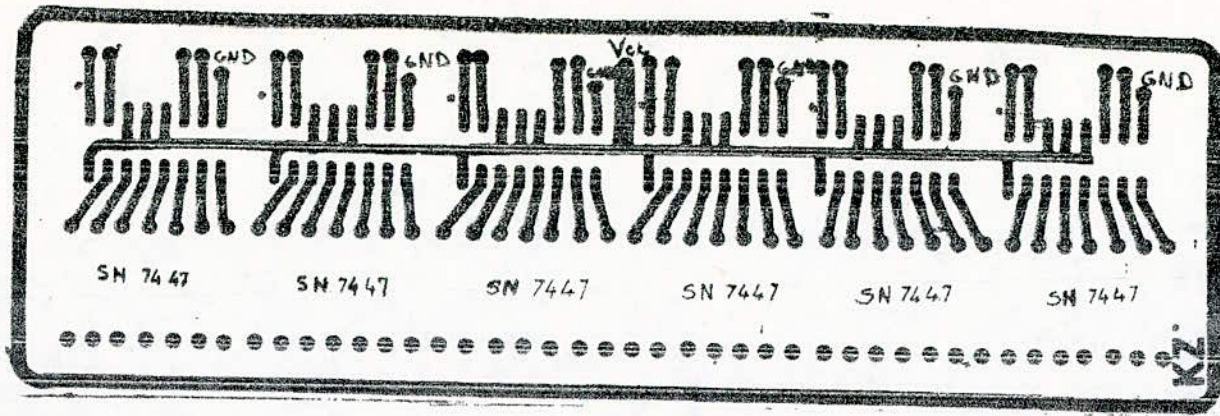
ECHELLE DE COMPTAGE

ECHELLE DE COMPTAGE ET ECHELLE A PRESET
(cote soudure).

KZ



ECHELLE DE COMPTAGE ET ECHELLE A PRESET
(coté 'elements).



DECODEURS - AFFICHEURS

CONCLUSION

L'ensemble d'ictométrie que nous avons réalisé répond bien aux fonctions qui lui sont demandées.

Néanmoins une caractéristique importante, la fiabilité, est à prendre en considération.

Notre appareil étant destiné à être introduit dans une boucle de contrôle de réacteur, par mesure de sécurité, il est nécessaire de lui associer des circuits de tarage et d'essai automatique permettant de contrôler son bon fonctionnement.

Cet ensemble d'ictométrie, à défaut d'être utilisé dans une chaîne de contrôle, peut être employé dans des laboratoires nucléaires pour des mesures de taux de comptage des impulsions délivrées par une source de particules associée à un détecteur suivi d'un préamplificateur.

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

- Contrôle et Electronique des Réacteurs J. FURET
- Instrumentation Electronique en Physique Nucléaire J.J SAMUELI
J. PIGNERET
A. SARAZIN
- Détecteur de neutrons pour le contrôle-commande JEAN Ductrene.
Service d'Electroni-
-que de SACLAY.
- Caractéristiques et Methodes d'essais des icto-
-mètres Note C.E.A.
Septembre 1977.
- Emploi Rationnel des circuits intégrés J.P. OEHMICHEN
- Seminaire - Applications
TEXAX - INSTRUMENT
FRANCE.
- Principes et Applications des circuits intégrés H.LILEN
linéaires.
- L'Amplificateur Opérationnel R. DAMAYE
- Semi Conducteurs. 2^{ème} partie : Transistors M. MOUNIC
- Amplification 1^{er} partie M. MOUNIC