



UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

-----oooOooo-----

DEPARTEMENT TELECOMMUNICATIONS

THESE DE FIN D'ETUDES

S U J E T :

LE TUBE " GEIGER-MULLER " ASSOCIE A  
L' ELECTRONIQUE

Patroné par :

Mr. T. DE PAEPE

Réalisé par :

Mr. B. BOUSSEKSOU

ANNEE UNIVERSITAIRE 1969-1970



Je tiens à remercier M<sup>r</sup> T. Depaepe qui n'a jamais ménagé  
ses efforts pour me fournir tous les renseignements utiles.  
Je dois remercier également tous les professeurs  
qui ont contribué à ma formation, ainsi que  
toutes les personnes qui m'ont aidé à la réalisation  
de ce projet.

A handwritten signature in dark ink, consisting of a stylized, cursive name that appears to be 'T. Depaepe'. The signature is written with fluid, overlapping strokes. Below the main signature, there is a small, separate letter 't.'.

t.

## III INTRODUCTION

-----

La quasi totalité des systèmes (appareils) électroniques comporte un élément qui est l'équivalent de nos organes ~~de nos organes~~ sensoriels : le but de cet élément est de traduire sous forme électrique le phénomène auquel l'appareil doit être sensible. C'est l'antenne dans un radar par exemple, la cellule photo-électrique dans un appareil ~~de~~ d'ouverture automatique des portes etc...

Dans notre cas il s'agit d'un tube Geiger-Muller capable de détecter un rayonnement radioactif.

L'objet de notre étude est : "le tube Geiger-Muller associé à l'électronique". Comme vous le voyez le sujet en lui même est très général et se divise en deux parties essentielles : d'abord la partie "capteur" ensuite la partie "électronique". Aussi, avons-nous essayé de l'aborder en étudiant un système capable de mesurer un rayonnement radioactif.

Avant d'entamer le sujet proprement dit, il est indispensable de connaître tout d'abord ce système, son importance dans la vie courante et tous les avantages qu'ils présentent dans de nombreux domaines.

Quelles sont les possibilités d'emploi des appareils sensibles aux rayonnements nucléaires ? Nous commencerons par citer les mesures ~~de~~ de radioactivités effectués dans un but scientifique de l'étude par exemple d'un élément, de la purification d'un minerai.

Plus important sont les contrôles de sécurité. En effet, la plupart des rayonnements nucléaires sont extrêmement nocifs pour l'homme, et l'utilisation croissante de produits radioactifs présentent un danger certain si l'on ne prend pas toutes les précautions de détection et de contrôle nécessaires. Ces rayonnements étant invisibles, un être humain peut recevoir une doses plus que suffisante pour le tuer sans qu'il s'en apperçoive aucunement sur le moment ; -



il ne ressent aucun symptôme allarmant, et portant il est irrémédialement condamné.

Une application importante des rayonnements nucléaires dans l'industrie est l'utilisation des traceurs.

On appelle traceur un élément radioactif que l'on mélange en proportions connues, à un élément identique du point de vue chimique, mais non radioactif, pour pouvoir à chaque instant, suivre facilement les déplacements de celui-ci et de le mesurer au besoin.

Pour contrôler, par exemple l'élimination du soufre dans une purification chimique, on mélange à l'impureté une certaine proportion de radio-soufre (isotope radioactif) et on mesure le taux de radioactivité du produit après épuration. Comme le radio-soufre est rigoureusement identique au soufre inactif du point de vue chimique, il suivra ce dernier, et dans toutes les réactions, la proportion de radio-soufre dans le soufre inactif (du point de vue chimique) restera constante. Cette méthode est utilisée aussi dans le domaine médical. En effet, on utilise un mélange d'iode ordinaire et de radio-iode pour déceler les ~~concerés~~ de la thyroïde, ceux-ci absorbant l'iode ainsi que le radio-iode on promène alors un compteur Geiger-Muller sur le patient, et on décèle de l'extérieur la zone où l'iode s'est fixé.

Avec les traceurs, on dispose d'un moyen pour contrôler l'évolution d'un d'un corps. Il <sup>est</sup> ainsi possible de mélanger un radio-isotope au métal anti-friction des bielles d'un moteur d'automobile, ce qui aurait été impossible par voie chimique.

Les tubes Geiger-Muller IOC8 utilisés lors des expériences dans un des laboratoires de l'Institut d'Etudes Nucléaires sont destinés à détecter les rayons cosmiques qui influencent un compteur central. Ces compteurs Geiger-Muller, d'autre part sont utilisés dans le dispositif d'anti-coïncidence ; c'est-à-dire que toute impulsion ~~pro~~ de l'un des compteurs G.M. au moins, est éliminée si elle est simultanée avec une impulsion issue du compteur de mesure. L'origine de

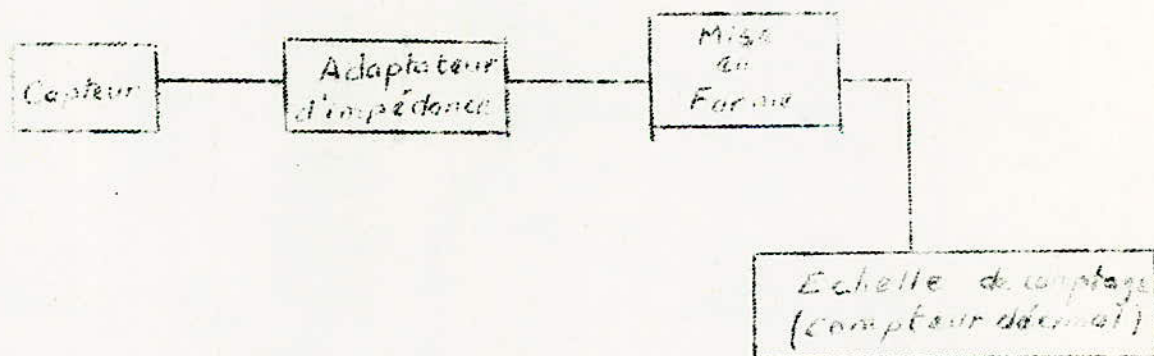
cette impulsion est due à l'effet d'un cosmique et la désintégration du Carbone I4 de l'échantillon à analyser.

Le but de la chaîne de <sup>P</sup>contage est de compter les désintégrations du C<sup>I4</sup> de l'échantillon afin de le dater. Cette méthode de datage trouve son utilisation dans le domaine archéologique, préhistorique, géologique, hydrologique (Carbonate dissous dans l'eau Etc...).

En ce qui concerne la partie électronique, nous avons divisé l'étude en trois parties : -

- L'adaptation d'impédances
- La mise en forme
- L'échelle de <sup>P</sup>contage.

Chacune de ces parties fait l'objet d'un chapitre où nous avons étudié toutes les cellules qui constituent la chaîne de <sup>P</sup>contage dont le schéma synoptique est le suivant :



.../...



--- LES COMPTEURS GEIGER - MULLER ---  
-----

Avant d'aborder les tubes GEIGER-MULLER nous commencerons notre étude pour définir les différentes radiations que l'on peut avoir à détecter ou à mesurer, puis nous préciserons les capteurs sensibles à ces radiations (en particulier les tubes GEIGER-MULLER) et les circuits qui leur sont associés.

Rayons  $\alpha$  : Ils sont constitués par des noyaux d'atomes d'hélium déplacement rapide, ils ont une énergie de plusieurs millions d'électrons-volts et produisent une très forte ionisation dans les substances traversées. Il en résulte que leur parcours dans la matière est extrêmement faible (quelques centimètres dans l'air et quelques dizaines de microns dans les matériaux à faible densités tels que l'aluminium ou les substances organiques. Dans la mesure où ils peuvent pénétrer dans le détecteur, ils sont faciles à détecter.

Rayons Bêta : Ils sont constitués par des électrons ayant en général des énergies entre 100 000 et quelques millions d'électrons-volts. Pour une énergie d'un million d'électrons-volts, le parcours de ces électrons est de l'ordre de 4 mètres dans l'air et de deux millimètres dans l'aluminium ou les substances organiques.

Rayons  $\gamma$  : Ils sont constitués par des trajectoires suivies par des électrons et ne peuvent être détectés que lorsque ceux-ci créent un rayonnement Bêta secondaire en transférant une partie de leur énergie à un ou plusieurs électrons, soit par chocs, soit par effet de matérialisation lorsque leur énergie dépasse un million d'électrons-volts.

CONSTITUTION D'UN COMPTEUR GEIGER-MULLER

Les compteurs GEIGER-MULLER peuvent avoir des formes assez variées se ramenant à deux types principaux :

1°) - Un type "Cylindrique", dont la paroi est, soit épaisse pour le comptage des rayons gamma ou des rayons cosmiques, soit mince pour le comptage des rayons Bêta. Leur longueur varie de quelques centimètres à un mètre, et leur diamètre de quelques millimètres à une dizaine de centimètres.

2°) - Un type "Cloche", cylindrique, court et de diamètre comparativement élevé, dont l'extrémité est fermée par une paroi très mince, généralement en mica, d'un poids de quelques milligrammes par centimètres carré de surface. Ce type de compteur est très utilisé pour le comptage des particules alpha et surtout des myons Bêta de faible énergie.

D'une manière générale, ces compteurs ont une structure analogue. Dans l'axe du cylindre se trouve un fil fin, l'électrode positive, d'un diamètre de l'ordre de 0,1 millimètre. L'électrode négative est constitué soit par l'enveloppe du tube quand celle-ci est métallique, soit par une plaque intérieure ou une couche d'aquadage sur l'enveloppe, quand celle-ci est en verre. Le Gaz de remplissage est un mélange de gaz rares sous une pression de quelques dizaines de centimètres de mercure et d'un gaz autocoupeur (vapeur organique ou vapeur d'halogène (X) ).

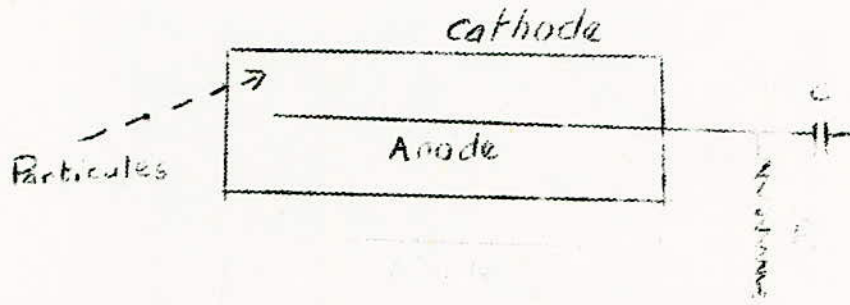
Pour réaliser un comptage de particules, les tubes compteurs GEIGER-MULLER, alimentés par une source de haute tension stabilisée, sont reliés par l'intermédiaire d'un adaptateur d'impédance et d'un système de mise en forme (trigger et monostable) à une échelle électronique qui pourrait être munie d'un numérateur mécanique, qui enregistre les impulsions données par le tube.

Il est en général nécessaire de les uniformiser, c'est-à-dire de les amener à avoir toutes la même forme et la même durée. Elles ont déjà la même amplitude mais cela ne suffit pas. Nous allons les appliquer à une bascule de Schmitt et un monostable qui les transformera en impulsions rectangulaires toutes identiques. ~~La période de~~

La période de l'univibreur doit être choisie de telle sorte qu'elle soit inférieure à la grande majorité des intervalles de temps séparant deux impulsions consécutives. En effet, il ne faut pas oublier que les impulsions se succèdent à un rythme entièrement quelconque erratique ; il peut en avoir trois en 1/10 seconde, et pas une seule dans la seconde qui suit. On ne peut définir qu'une cadence moyenne, dont la signification est d'autant plus valable que l'on a compté un plus grand nombre d'impulsions pour la déterminer.



Si on a compté 3 impulsions en 1 seconde, il est très imprécis de dire que la cadence moyenne est de 3 par seconde car il peut très bien arriver 1 ou 10 pendant la seconde suivante. Par contre, si l'on a compté 100 en 30 secondes, il est plus précis de dire que la cadence moyenne est de 3,33/Seconde.



II-2. - MECANISME DE L'IONISATION - PROPAGATION DE LA DECHARGE  
ET SON ARRET -

a/ - Ionisation primaire -

La particule chargée pénétrant dans le détecteur perd son énergie E en ionisant le gaz tout au long de sa trajectoire. Elle crée N paires ion-électron, primaires.

Si le volume du compteur est suffisant pour que la particule perde toute son énergie dans le détecteur, le nombre de paires d'ions créées sera :

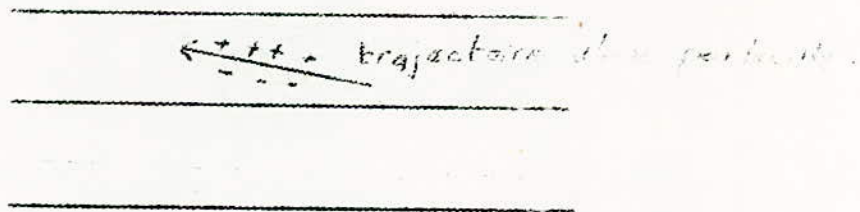
$$N = \frac{E}{\epsilon}$$

énergie nécessaire pour créer une paire ion-électron

$$\epsilon = 30 \text{ eV pour l'argon.}$$

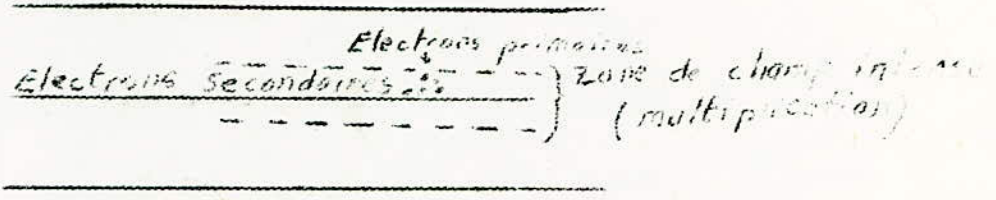
REMARQUE :

En régime de chambre d'ionisation les phénomènes s'arrêtent ici. On recueille et on compte ces N électrons, N est proportionnel à E.



b/ - Multiplication et collection des électrons : avalanche

Si la différence de potentiel entre anode et cathode est suffisante, le champ électrique au voisinage du fil central, l'anode, est assez intense pour communiquer aux électrons dont la masse est très faible ( $9,108 \cdot 10^{-28}$  g) une vitesse telle qu'ils ionisent à leur tour les atomes du gaz de remplissage.



Soit M le coefficient de multiplication, c'est-à-dire le nombre d'électrons secondaires créés par un électron primaire.

Au total, une avalanche de NM électrons est créée.

REMARQUE :

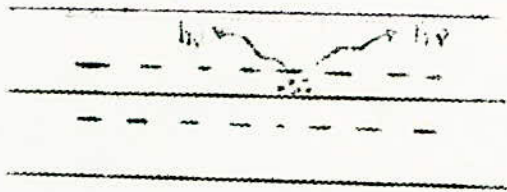
En régime proportionnel, les phénomènes s'arrêtent ici. On compte ces NM électrons. NM est proportionnel à E.

c/ - Emission de photons -

Les NM atomes ionisés à partir des N électrons primaires peuvent être dans un état excité si l'énergie des électrons qui les ont créés est grande, c'est-à-dire si le champ électrique créé par la différence de potentiel inter-électrode est grand. Ils retournent à leur état fondamental en émettant des photons qui peuvent arracher des électrons à la cathode par effet photoélectrique.

Soit P la probabilité de créer un photoélectron par ion secondaire excité.





d/ - Décharge -

Ces électrons photoélectriques produisent les mêmes effets que les électrons primaires.

Le nombre total d'électrons libérés sera :

$$NM + P NM^2 + P^2 NM^3 + \dots$$

1° Si  $PM < 1$  cette série converge et le nombre total recueillis est

$$S = \frac{NM}{1 - PM}$$

2° Si  $PM > 1$  c'est-à-dire si le champ est suffisamment intense pour que le coefficient  $PM$  soit  $> 1$ , cette série diverge.

Le nombre d'électrons créés est indépendant de  $N$  c'est-à-dire de  $E$ . : c'est le régime Geiger-Müller où la décharge, par l'intermédiaire des photons, se propage tout le long de l'anode dans tout le volume du compteur.

e/ - Fin de la décharge -

Le nombre d'ions créés n'est pas infini car la décharge s'arrête d'elle-même ; en effet, l'ionisation s'effectue essentiellement au voisinage de l'anode où le potentiel est très élevé. Il se forme autour de celle-ci une gaine d'ions dont le déplacement vers la cathode est très lent.

Cette gaine forme rapidement ( $10^{-7}$  S) un écran électrostatique qui abaisse le potentiel interélectrodes.

$M$  devient inférieur à 1.

La multiplication cesse et la décharge prend fin.

f/ - Réinitiation - Rôle des traces de vapeur organique -

Les ions argons positifs se déplacent vers la cathode où ils arriveraient après  $10^{-4}$  s environ. Ces ions se neutraliseraient mais les molécules ainsi formées auraient une énergie d'excitation (I - F) qui s'élimineraient par émission de photons.

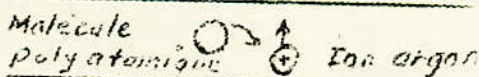
I potentiel d'ionisation du gaz

F travail d'extraction des électrons de la cathode

Ces photons arracheraient par effet photoélectrique des électrons à la cathode qui "réinitieraient" une autre décharge.

Pour éviter ce phénomène on ajoute au gaz rare des traces de vapeur polyatomique (alcool). Pendant, le transit des ions positifs argon vers la cathode, le potentiel d'ionisation des molécules polyatomiques étant plus faible que celui de l'argon les électrons sont transmis à la suite de chocs, de la molécule polyatomique à l'ion positif argon.

L'énergie excédentaire est absorbée sous forme de photons peu énergiques par les molécules polyatomiques.



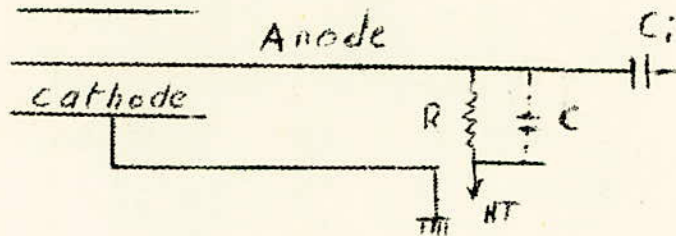
Ce transfert est total si bien que seuls des ions polyatomiques atteignent la cathode. Ils s'y neutralisent en formant une molécule excitée (I - F) qui a une vie très courte (10-13 s) et se dissocie sans provoquer d'émission de nouveaux électrons.

Il y a donc consommation de vapeur polyatomique. Le compteur s'use : il a une durée de vie.



II-3. - COLLECTION DES ELECTRONS : ALLURE DE L'IMPULSION -

a/ - Circuit R. C. -



Une résistance R permet de transformer l'impulsion de courant due à la collection des électrons en une impulsion de tension.

On choisit sa valeur de telle sorte que la constante de temps RC (C capacité interélectrodes du compteur) soit de l'ordre du temps de collection des électrons et de disparition des ions positifs ( $10^{-4}$  s) c'est-à-dire de la durée de l'avalanche.

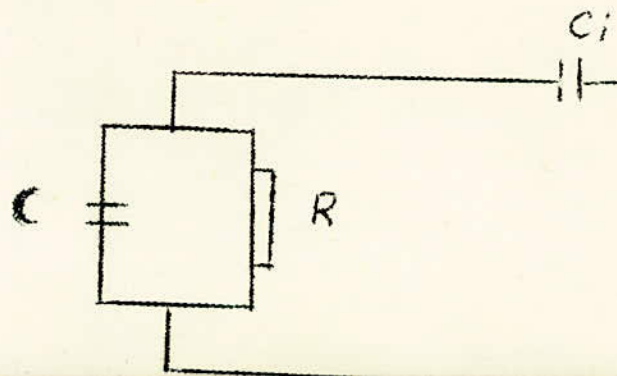
En général : C de l'ordre de 10 pF

C de l'ordre de 10 pF (9 pF) dans le cas du tube G.M. 10 C8

R de l'ordre de 10 M (8,3 M)

RC =  $10^{-4}$  s 0, 1 ms

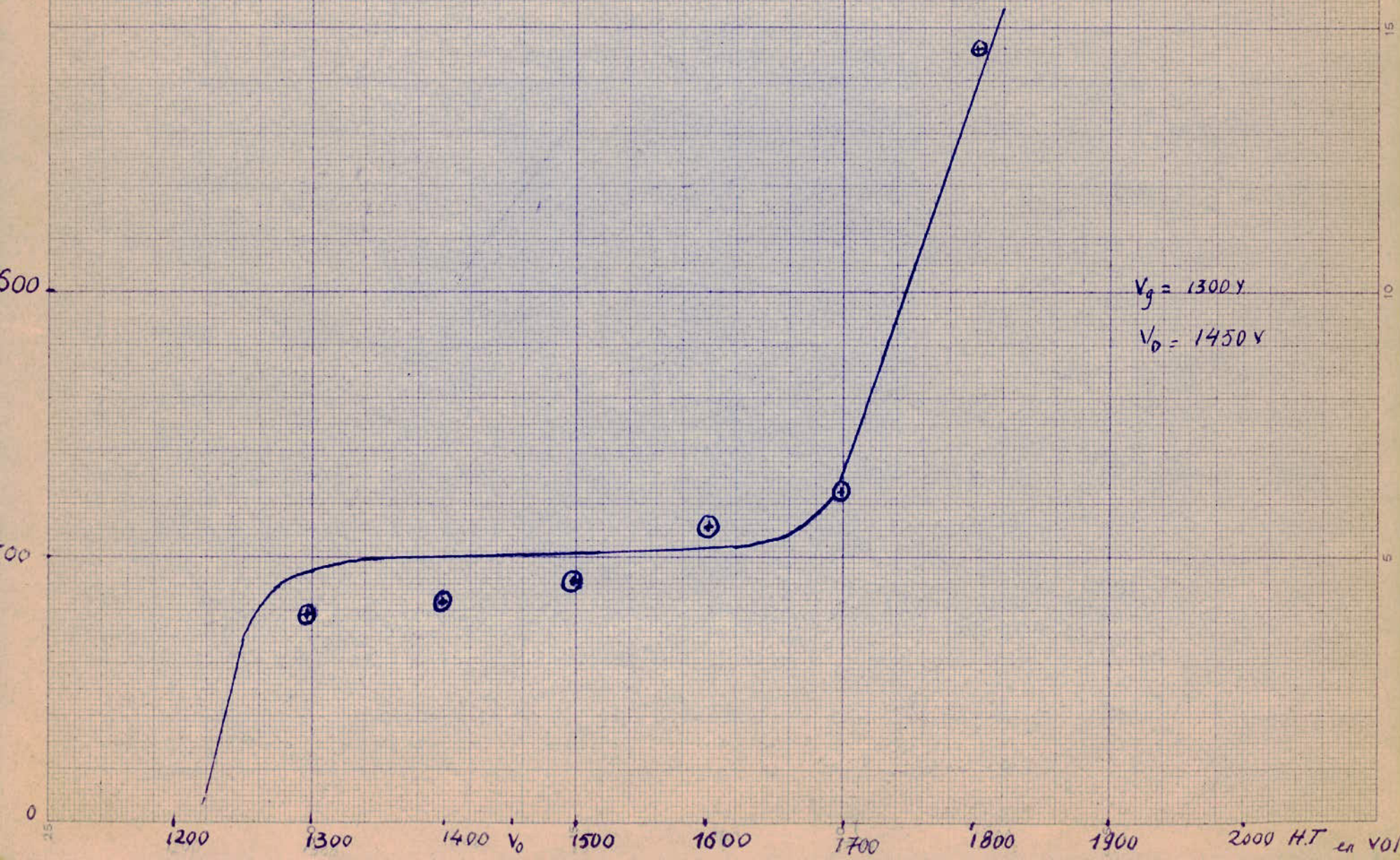
La capacité  $C_i$  isole les circuits électroniques faisant suite, de la tension de polarisation. Elle doit donc être fortement isolée. Elle est en série avec le circuit RC précédent.  $C_i$  doit donc être grande vis-à-vis de C pour ne pas la modifier.





Coups/mn

tracé du palier ✓



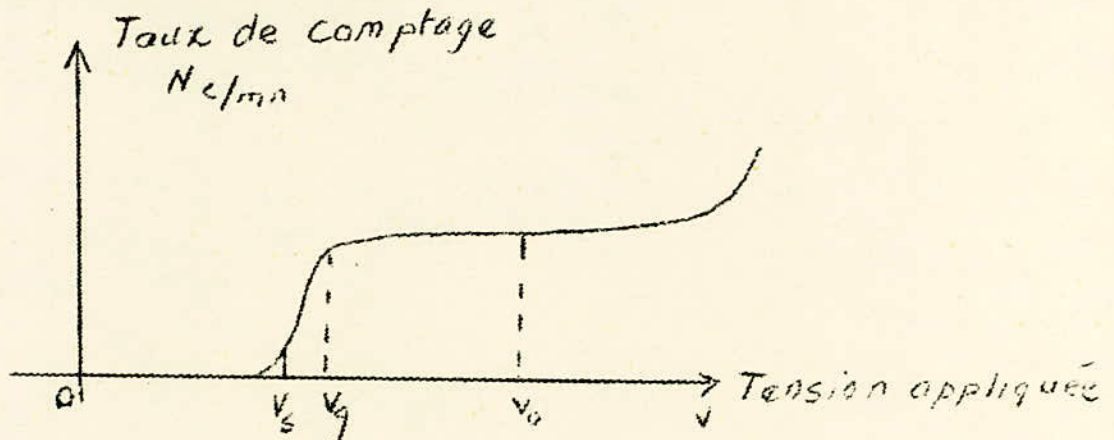


b/ - Amplitude des impulsions, conséquence : palier -

En régime G.M. toutes les impulsions ont même amplitude quel que soit le nombre d'ions primaires. Cette amplitude est fonction :

- 1°). du temps de collection des électrons, c'est-à-dire du temps de parcours dans le compteur de la gaine d'ions positifs, donc des dimensions du compteur ;
- 2°). du coefficient de multiplication, c'est-à-dire de la valeur de la tension entre les électrodes.

- CONSEQUENCE : PALIER -



a/ - Le comptage démarrera au moment où les impulsions seront supérieures au seuil de l'électronique associée.

b/ - A partir d'une tension  $V_G$  entre électrodes, le compteur fonctionnera en régime G.M. et toutes les impulsions seront de même amplitude et supérieures au seuil de 1 électron.

Un accroissement de la tension  $V$  augmentera l'amplitude des impulsions mais non leur nombre. La caractéristique  $N = f(V)$  présentera un palier.

.../...

c/ - Au-dessus d'une tension  $V_{\max}$  des impulsions parasites viennent augmenter le comptage ; le régime G.M. est dépassé.

REMARQUE :

On chiffre la qualité du compteur en mesurant la pente  $p$  du palier. En effet, ce palier n'est pas rigoureusement plat car le volume utile du compteur croît légèrement avec la tension interélectrodes.

$$p = \frac{\Delta N}{N} \quad \text{pour } \Delta V = 100 \text{ volts}$$

c/ - Temps mort, temps de résolution, conséquences : pertes au comptage -

Immédiatement après l'ionisation créée par le passage d'une particule dans le compteur, une autre particule ne peut pas être comptée car la charge d'espace due aux ions positifs annule le champ au voisinage du fil.

Au bout d'un temps  $T_m$  appelé temps mort, la gaine positive a suffisamment dérivé vers la cathode pour qu'une particule puisse produire une nouvelle impulsion.

Ce n'est qu'au bout d'un temps  $T_R$  nettement plus long, qu'une impulsion égale en amplitude à l'impulsion initiale peut être produite. C'est le temps de restitution du compteur. Le temps de résolution est défini par le seuil de l'installation  $V_S$ . Toute impulsion inférieure à  $V_S$  ne sera pas comptée.

$T_M$  = temps mort

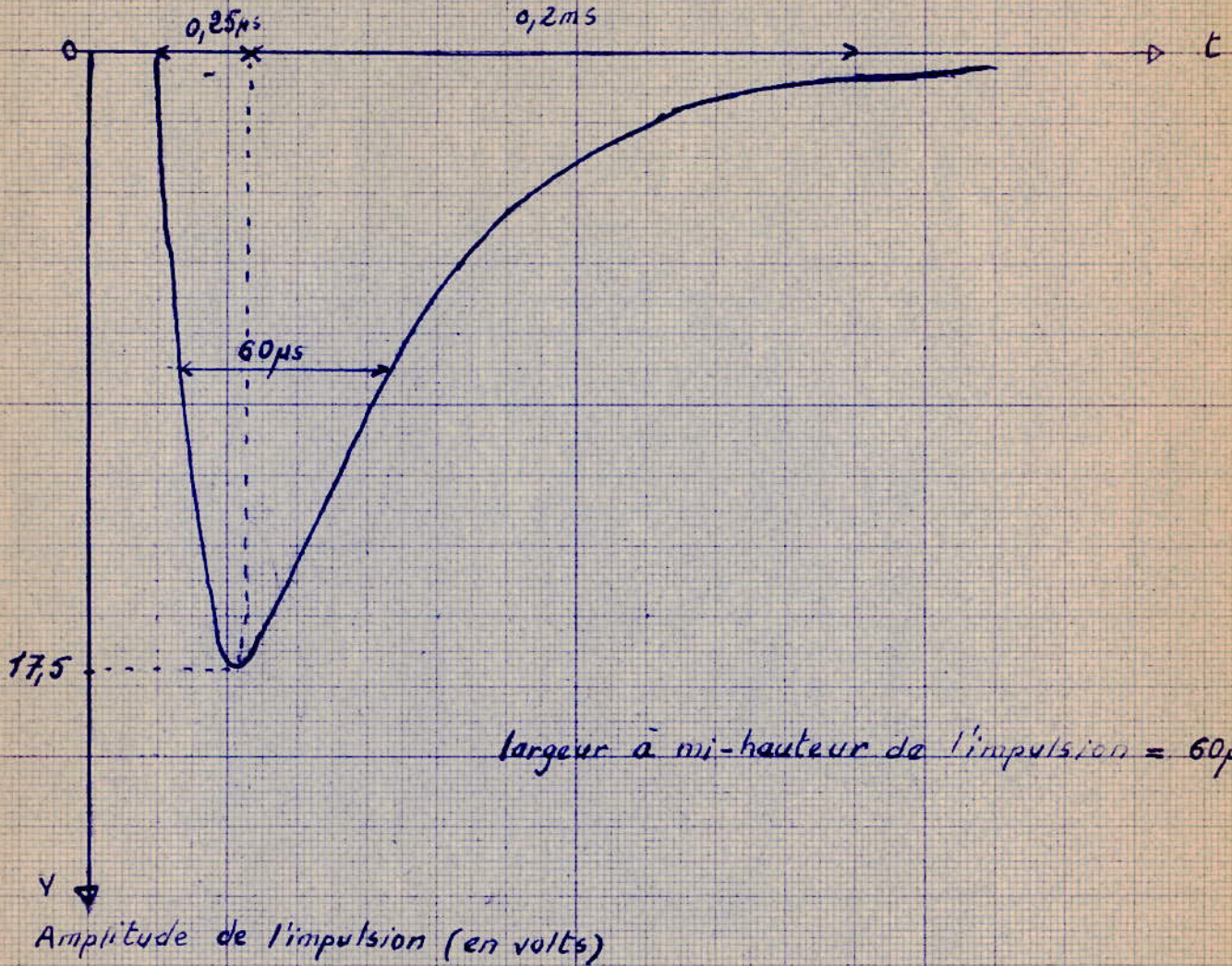
$t_r$  = temps de résolution

$T_R$  = temps de restitution

.../...



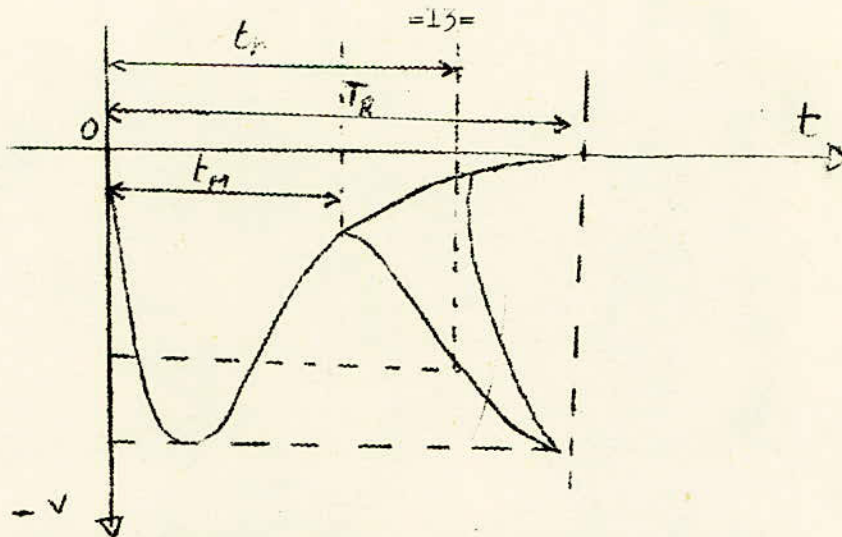
# Forme de l'impulsion



largeur à mi-hauteur de l'impulsion = 60µs

frequence maximum de recurrence =  $\frac{1}{T} \approx 40\text{kHz}$





- CONSEQUENCES : PERTES AU COMPTAGE -

La présence du temps mort (ou du temps de résolution si le seuil de l'électronique est suffisamment faible) entraîne des pertes de comptage importantes.

Soit  $m$  le nombre d'impulsions réellement comptées par unité de temps. Le temps total pendant lequel le compteur reste insensible est  $mt$ . Si  $n$  est le nombre de particules émises par la source, la perte due au temps de résolution est :

$$n - m \text{ encore égale à } n. m. t.$$

d'où l'on tire :

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

o

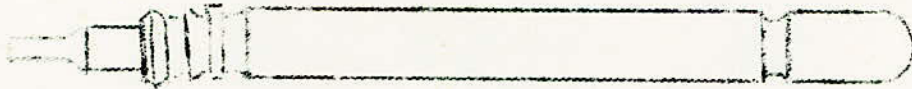
o o

.../...



III-1 - COMPTEUR GEIGER-MULLER -

- Type 10 C 8
- Seuil G.M. en volts 1100 V
- Palier  $> 300$  V
- Pente ( % par 100 v)  $\leq 7$
- Temps mort à 200 V au dessus du seuil ( s) = 210
- Mélange de remplissage = He - Argon vapeur organique
- Diamètre extérieur : 25 mm
- Longueur totale : 685 mm
- Longueur utile : 500 mm
- Épaisseur de la paroi (mm) 0,5 mm



II-2 - ALIMENTATION HAUTE TENSION -

--- PRECAUTIONS FONDAMENTALES ---

Un compteur Geiger-Müller doit être manipulé avec soin.

- Evitera de contaminer le compteur avec des matières radioactives.
- Eviter d'appliquer une tension trop élevée. En particulier au cours du tracé du palier du compteur, dès que l'on aura atteint la tension de décrochement, couper immédiatement la haute tension.

.../...

B) - Arrêt de l'installation -

On arrête dans l'ordre :

- l'alimentation de l'échelle ;
- la haute tension ;
- l'alimentation chauffage de la haute tension.

o  
o o



## 7 CIRCUIT ADAPTATEUR D'IMPEDANCE

LA Transformation de l'impulsion de courant en impulsion de tension à travers une très grande résistance ( $3, M$  ) nécessite un adaptateur d'impédance qui est constitué par un montage à plaque commune d'un transistor à effet de champs.

### I/ TRANSISTOR A EFFET DE CHAMPS

A/Présentation, les montages principaux, caractéristiques

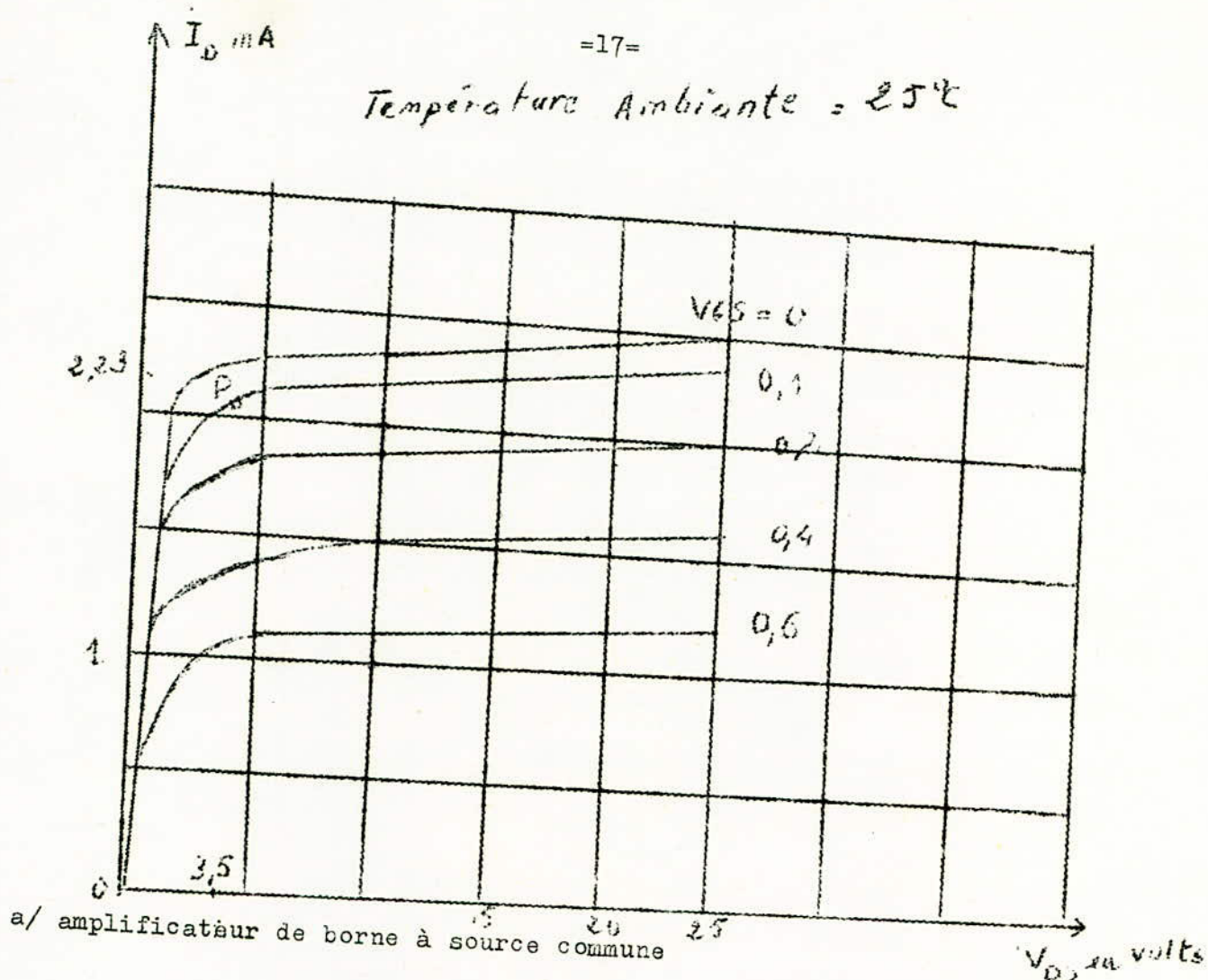
Le transistor à effet de champs, désigné également par l'expression "transistor unipolaire" a été décrit pour la première fois sous sa forme actuelle en 1952 par Shockley. Ce n'est cependant que depuis peu de temps que son emploi est devenu général, d'une part parce que sa fabrication est difficile et peut être d'autre part à cause des progrès très rapides de la réalisation et de l'utilisation des divers variétés des transistors bipolaires à jonctions, qui tendaient à reléguer au second plan les applications possibles du (T E C ). Cependant, le FET possède certaines avantages propres parmi lesquels la possibilité d'obtenir une impédance d'entrée très grande, des gains très élevées en courant en puissance, et un faible bruit.

B/ Les principaux montages:

IL serait préférable de reproduire un tableau comparatif des différents montages.

- Source commune ( équivalente à l'emetteur commun pour un transistor à 2 jonctions)
- Plaque ; commune.
- Grille commune.

Température Ambiante = 25°C



$$A_v = -G_m \frac{R_p R_l}{R_p + R_l}$$

$C_{gp}$  et  $C_{gs}$  ayant l'impédance inférieure comparée à  $R_g$

l'impédance de sortie  $Z_0 = R_p R_l$   
 " d'entrée  $Z = R_g \frac{R_p + R_l}{R_p + R_l}$

aux fréquences élevées, la situation est plus complexe

b/ l'amplificateur à grille commune

$$A_v = \frac{R_l (1 + \mu)}{R_l + R_p}$$

$$Z_{in} = R_l + R_p \frac{1 + \mu}{1 + \mu}$$



DONNEES SUR LE TRANSISTOR FET

TYPE 2N 422I

Faible capacité d'entrée inférieure à 6pF  
Faible courant grille-source inférieure à 0,1 nA  
Faible capacité de transfert inverse, inférieure à 2 pF  
Faible distorsion d'intermodulation  
Gain élevé

LIMITES ABSOLUES D'UTILISATION AC 25°C.

Dissipation admissible en régime continu dans le drain	300 mW
Tension inverse grille-source $V_{gs} = 30$ V	
Tension drain-source =	30 V
Tension drain-grille	30 V
Courant grille $i_g$	10 mA
Courant drain	15 mA
Température de la jonction en fonctionnement	175°C
Température de stockage	200°C

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES A 25°C

Tension de claquage grille-source ( $I_G = -10$ mA , $V_{DS} = 0$ V )	- 30 V
Tension des seuil grille-source ( $V_{ds} = 15$ V , $I_d = 200$ mA )	- 5 V
Tension de blocage grille-source ( $V_{ds} = 15$ V , $I_d = 0,1$ nA )	-6 V
Courant inverse grille-source ( $V_{gs} = -15$ V , $V_{DS} = 0$ V )	-0,1 nA
Courant inverse grille source à 150°C ( $V_{gs} = -15$ V , $V_{DS} = 0$ V )	- 100 nA
Courant de saturation drain source ( $V_{DS} = 15$ V , $V_{GS} = 0$ V )	6 mA

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES

Admittance de transfert direct ( Source commune )	5000 mm MHOS
Capacité de transfert inverse ( $V_{DS} = 15$ V , $V_{GS} = 0$ V )	2 pF
Capacité d'entrée même conditions	6 pF
Facteur de bruit ( $V_{DS} = 15$ V , $V_{GS} = 0$ V ) $R_s = 150$ ohm	5 dB
bande passante 10 Hertz , fréquence = 100 Hertz.	

Remarque: Le FET a une résistance d'entrée variant de  $10^{10}$  à  $10^{16}$  car l'électrode d'entrée est essentiellement connectée à une jonction polarisée en inverse .

... A l'inverse du transistor classique le FET est attaqué en tension. ...

Une stabilisation du point de fonctionnement d'un TEC est nécessaire.

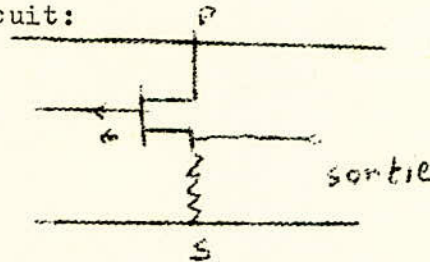
En général la température agit de 2 manières différentes sur le TEC

- la résistivité du canal conducteur
- le courant partant de l'électrode grille à Polarisation... inverse

c/L'amplificateur à plaque commune

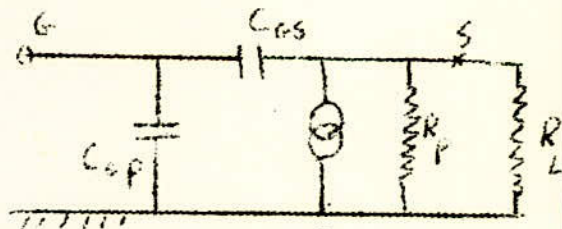
Un FET utilisé dans le montage à plaque commune est caractérisé par une impédance d'entrée élevée, une impédance de sortie faible, et une gain en tension un peu inférieur à l'autre

Considerons le circuit:



Aux fréquences modérées pour lesquelles ( ) est très supérieur à  $R_p, R_l$  les tensions d'entrée et de sortie sont liées par la relation

$$V_i = V_{GS} + V_o = V_o \left( 1 + \frac{1}{g_m(R_p R_l) / R_p + R_l} \right)$$



Et par conséquent le Gain  $A_v$  est donné par  $A_v = -\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + \frac{1}{g_m(R_p R_l) / R_p + R_l}}$

$$\Rightarrow A_v = \frac{g_m R_l}{1 + g_m R_l} \quad / \text{ pour toutes les valeurs } > 0 \text{ de } g_m R_l$$

avec  $R_l = \frac{R_p R_l}{R_p + R_l}$



L'impédance de sortie =  $Z_o = \frac{R_1^1}{1 + gmR_1^1}$

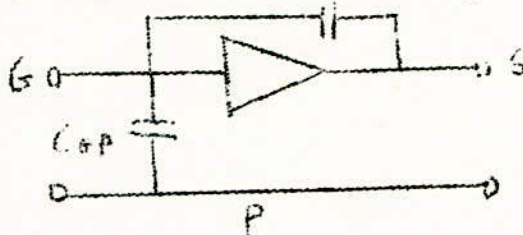
On notera que si  $R_1 \rightarrow \infty \Rightarrow R_1^1 \rightarrow R_p$  et  $gmR_1 \rightarrow gmR_p =$  coefficient d'amplification du transistor FET

On a par conséquent  $A_v \leftarrow \frac{1}{1 + A_v} \Rightarrow Z_o \frac{R_p}{A_v + 1}$

Ou si ( ce qui est vrai pour tous les transistors à effet de champs connus)

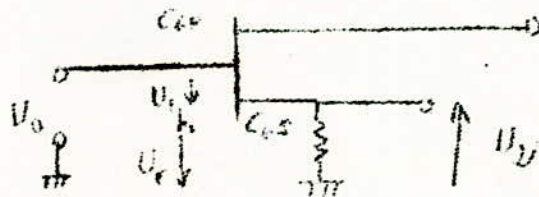
$Z_o \approx \frac{1}{gm}$  avec une bonne approximation

pour l'impédance d'entrée, on peut redessiner la figure (1) sous la forme:



Centrée =  $C_{gp} + (1 - A_v)C_{gs}$

IL EST très important de trouver l'influence de la réaction sur l'impédance d'entrée dans un montage d'un tec à plaque commune



$V_1 = V_0 - V_2 \Rightarrow$  par la capacité V a passer le courant

$I_{gs} = p \beta_{gs} (V_0 - V_2) = p C_{gs} (1 - A_v) V_0 \Rightarrow C'_{gs} = C_{gs} (1 - A_v)$

Capacité d'entrée du(cathodyne)  $C_{gs} + C_{ga} = C_{g1} \Rightarrow C_{gp} + C_{gs}(1 - A_v) = C_{g1}$

Une contre réaction diminue l'influence de  $C_{gp}$ . La tension aux bornes de  $C_{gs}$  est divisée par  $(1-A_v)$  le courant qui la traverse par une valeur donnée de la tension  $v$  est divisée par le même facteur, par conséquent la capacité apparente est réduite dans le même rapport

Exemple:  $C_{gp} = 2 \text{ pF}$   $C_{gs} = 4 \text{ pF}$   $g_m = 2 \text{ mA/V}$  ,  $R_p = 50 \text{ K}$  si  $R_L = 5 \text{ K}$

$$R'_L = 4,55 \text{ K}$$

$$A_v = 0,9$$

$$Z_o = 455$$

$$C_{\text{entrée}} = 2 + 4(1 - 0,9) = 2,4 \text{ pF}$$

à la fréquence de 100 kHz elle présenterait une impédance de 650 K  $\Omega$ .

Si l'on choisit une résistance de charge de 50 K

$$C_{\text{entrée}} = 2 + 4(1 - 0,98) \text{ pF} = 2,08 \text{ pF}$$

$$Z_o = 430 \text{ } \Omega$$

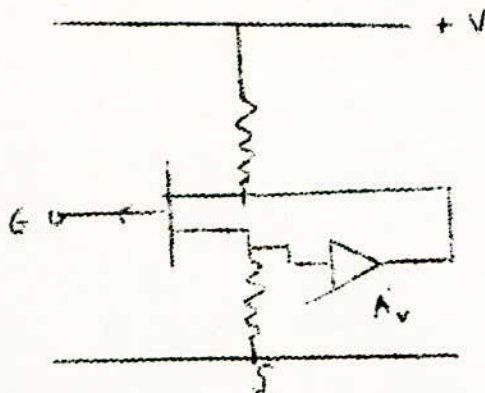
Une augmentation de la valeur de résistance de charge dans la source rapproche d'avantage le gain de l'unité mais n'a qu'un effet l'unité sur la capacité d'entrée qui est principalement influencée que par la capacité grille plaque ( $C_{gp}$ )

Cependant un artifice simple permet de réduire considérablement ce terme.

La tension de plaque n'a pas besoin d'être constante, à condition que la force



électromotrice de la source dans la plaque soit suffisante pour maintenir le transistor à effet de champs dans la région de puicement, et il est possible d' la plaque en phase avec la gulle, de façon à diminuer la tension alternative aux bornes de la capacité gulle-plaque. Le circuit est représenté par le circuit suivant



On branche un amplificateur ayant un gain en tension  $A_v$  inférieur à 1 est de faible impédance de sortie entre la sortie de l'étage à plaque commune et la plaque du transistor à effet de champs on peut montrer facilement, par une démonstration semblable à  $C_{en} = C_{gp} + C_{gs}(1 - A_v)$  que la nouvelle capacité d'entrée est égale à :

$$C_{en} = C_{gp}(1 - A_v^1) + C_{gs}(1 - A_v)$$

à condition que  $A_v$  et  $A_v^1$  soient  $A_v^1$  de l'unité cette valeur peut être très petit

L'amplificateur de gain  $A_v^1$  peut être constitué par un étage supplémentaire à plaque commune est transistor à effet de champs mais il est en général plus commode d'utiliser un transistore amplificateur monté en collecteur commun.

Un transistor de ce type sera moins couteux qu'un transistor à effet de champs et son gain en tension sera plus proche de l'unité son impédance d'entrée sera nettement inférieur à celle d'un transistor à effet de champs à plaque commune mais cela n'a aucune importance dans la présente application, puisque

est excitée par une source à faible impédance.

Ce circuit aura la position représentée sur la figure ci-dessus sur laquelle on a intercalé une dans la connexion reliant l'emeteur du transistor bipolaire à la grille du transistor à effet de champs

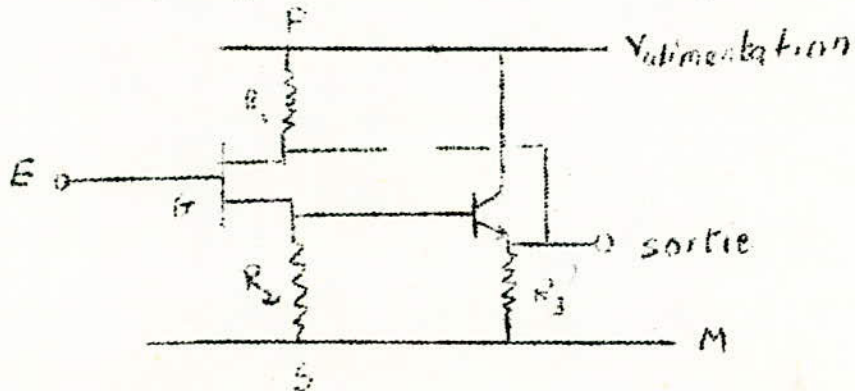
Dans ce cas, l'effet de la diminution de la capacité d'entrée s'étend jusqu'à la fréquence . Cependant, la capacité d'entrée n'est en général gérante qu'aux fréquences élevées, si bien qu'on peut si on le desir, remplacer le diode zenir par un conduisateur ayant une impédance négligeable aux fréquences en questions

Exemple:

considerons l'etage à plaque commune à transistor *2N4221* de l'exemple précédent avec une charge de  $1000\Omega$  suivie d'un transistor *2N2222* monté en collecteur commun. Le gain d'un amplificateur à collecteur commun est bien connu et donné

$$\text{par } \Delta I = \frac{1}{1 + (R_e + R_b (1 - \alpha)) / R_c}$$

Relation dans laquelle  $R_e$  et  $R_b$  sont les resistances d'émetteur et de base du transistor dans la circuit équivalent en T, est la gain en courant dans le montage à base commune, et  $R_c$  est la résistance de charge branché dans le circuit emetteur





Si l'on admet que  $R_e + R_b(1-\alpha)$  on a  $R_e \approx 3000 \Omega$   $A_v = \frac{1}{1+(1/60)} = 0,98$

On notera que pour cette valeur de  $R_e$  l'impédance d'entrée de l'étage à collecteur commun peut être bien supérieure à 100 000  $\Omega$  dans ces conditions, elle ne chutera pas de façon appréciable l'étage précédent.

$R_e$  est égale dans le circuit de la figure ci-dessus aux résistances reelles  $R_1$  et  $R_3$  en parallèle puisqu'elles sont en fait branchées de cette manière en courant alternatif.

Des valeurs appropriées seraient  $R_1 = 10k\Omega$ ,  $R_3 = 5k\Omega$ . Ensuite, en choisissant pour la résistance de charge du transistor à effet de champs comme dans l'exemple précédent, on obtient un gain de  $A_v = 0,99$  et la capacité d'entrée vaut  $C_{en} = 0,24 + 4(1 - 0,99) = 0,54 pF$

Si l'on avait utilisé une résistance de plus grande valeur dimique dans le circuit de source de l'étage à plaque commune, l'amélioration aurait été encore plus marquée. Si l'on utilise par conséquent une valeur de  $50000 \Omega$  comme dans l'exemple précédent on obtient pour  $A_v = 0,97$  est on a dans ce cas  $C_{en} = 0,26 pF$

Ceci correspondrait à une impédance de  $18M\Omega \approx 40k\Omega$ . On notera que si l'on utilise ce procédé avec contre-réaction pour diminuer l'influence de  $C_{gp}$ , une valeur élevée (autrement dite très voisine de l'unité) du gain en tension  $A_v$  réduit considérablement la capacité d'entrée. Pour obtenir ce résultat, il faut une résistance de charge de valeur dimique très élevée dans le circuit de la source du transistor à effet de champs. Ce qui signifierait normalement une chute de tension et une puissance dissipée assez importante.

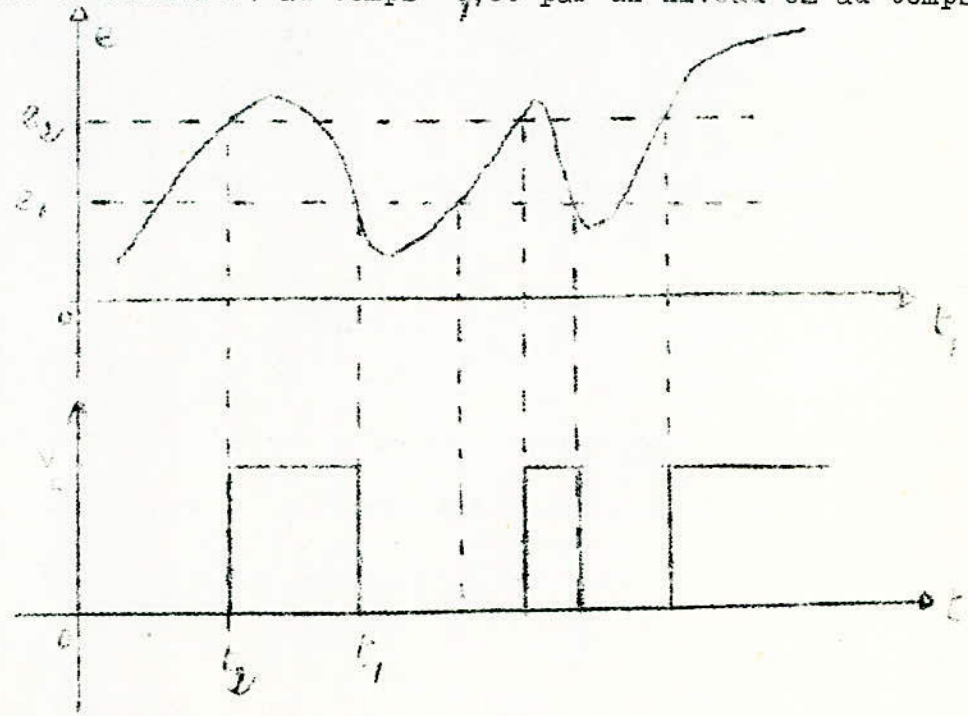
7) MISE EN FORME  
--o--

L'impulsion qui provient de l'étage précédent nécessite nécessairement une mise en forme, aussi avons nous utilisés pour cela un trigger de Schmitt et d'un univibrateur monostable

1/ TRIGGER DE SCHMITT:

C'est un dispositif que nous pouvons classer parmi les multivibrateurs, il fournit des impulsions rectangulaires à sa sortie lorsque nous leur injectons un signal  $S(t)$  à l'entrée.

Le signal passe par un niveau  $e_1$  au temps  $t_1$ , et par un niveau  $e_2$  au temps  $t_2$

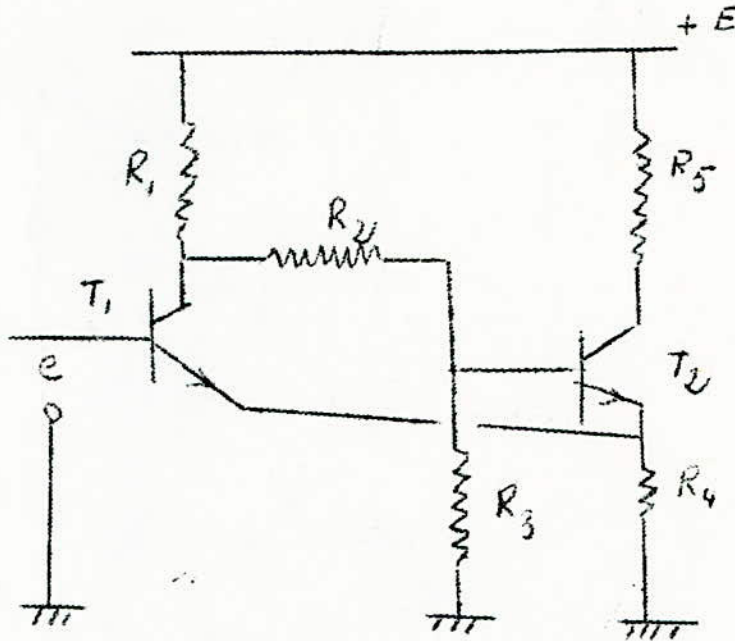


On appelle  $e_1$  et  $e_2$  seuils caractérisant le trigger de Schmitt  
A la sortie, le trigger délivre un signal rectangulaire, d'autre part il ne comporte pas de condensateurs donc là <sup>5'</sup> il existe une quelconque déformation cela proviendrait certainement que des transistors seuls.



A/Fonctionnement.

Voyons a présent le fonctionnement et le calcul des éléments du multivibrateur soit ,le schéma ci-dessous:

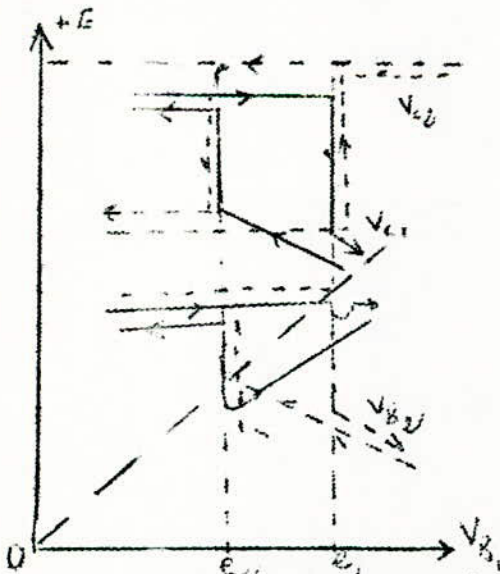


Ce montage présente beaucoup d'analogies avec un univibrateur.il y a en effet un couplage entre les deux transistors: par l'emetteur et un couplage du collecteur de T<sub>1</sub> à la base de T<sub>2</sub> ; toutefois ce dernier couplage est continu Supposons que la tension d'entrée "e" étant très faible (par exemple nulle) le transistor T<sub>1</sub> soit bloqué .La chaîne de résistances R<sub>1</sub>,R<sub>2</sub>,R<sub>3</sub>, portera donc la base de T<sub>2</sub> ( en negligent la consommation de courant base de ce transistor) au potentiel:

$$E_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

La base du transistor T<sub>2</sub> étant à ce potentiel (en réalité un petit peu plus bas en raison de sa consommation propre) ,son émetteur se trouvera à un

à un potentiel légèrement inférieur. Ceci suffit à bloquer le transistor "T<sub>1</sub>".  
Augmentons maintenant la valeur de la tension "e" de la base de T<sub>1</sub>.  
Quand cette dernière arrive à un potentiel suffisamment élevé pour que T<sub>1</sub> commence à débiter, l'abaissement du potentiel collecteur de T<sub>1</sub>, transmis à la base de T<sub>2</sub> par le pont R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, provoquera par effet cumulatif le basculement du système : T<sub>1</sub> débitera alors tandis que T<sub>2</sub> sera bloqué.  
Si les valeurs des résistances sont correctes, nous pourrions diminuer le potentiel base de T<sub>1</sub> en-dessous de la valeur qui a provoqué le basculement (seuil montant) sans que le basculement inverse intervienne immédiatement. Ce n'est que pour une valeur plus faible de "e" que ce second basculement interviendra nous aurons franchi le seuil "descendant" ou seuil inférieur.  
Pour rendre compte plus clairement de tout ce qui se passe dans le montage précédant le mieux est de tracer, comme ci-après des "cyclogrammes".



Il s'agit de courbes représentant, en fonction de la tension d'entrée "e", les variations des tensions des différentes électrodes du montage. Elles se présentent sous la forme de cyclogrammes puisque pour une valeur donnée de la tension "e", le montage peut se trouver dans deux états différents, suivant que "e" est arrivé à la valeur en question en montant ou en descendant.

Les deux seuils correspondant au basculement sont respectivement e<sub>1</sub> seuil supérieur (ou seuil montant) et "e<sub>2</sub>" seuil inférieur (ou descendant).

Si "e" est supérieur à "e<sub>1</sub>", le montage se trouve obligatoirement dans l'état qui correspond au blocage de T<sub>2</sub> et à la conduction de T<sub>1</sub>; réciproquement



si "e" est inférieur à  $e_2$ , c'est  $T_1$  qui est bloqué et  $T_2$  qui conduit.

Supposons que nous partions de ce dernier état et que nous fassions croître "e" pour pouvoir comparer le potentiel base de  $T_1$  au potentiel de son émetteur nous avons tracé la variation de "e" en ordonnée (droite pointillée maigre) la droite correspondante est tout simplement la bissectrice des axes de coordonnées;

Quand "e" atteint la valeur " $e_1$ ", très légèrement supérieure au potentiel de repos des émetteurs (courbe inférieure en trait plein), il y a basculement. Le transistor  $T_1$  se mettant à débiter, le potentiel de son collecteur (courbe supérieure en trait plein) diminue brusquement, entraînant une variation proportionnelle du potentiel de la base de  $T_2$  (courbe inférieure en trait discontinu).

Si nous augmentons encore " $e_1$ ", le potentiel du collecteur de  $T_1$  diminuera encore, tandis que celui des émetteurs augmente.

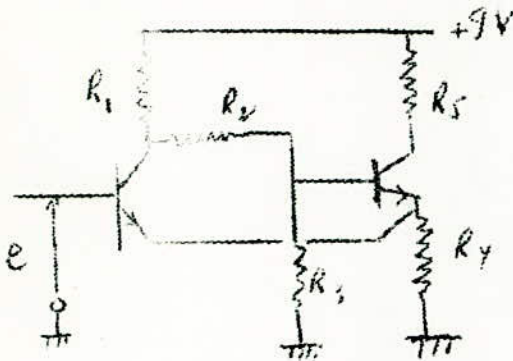
Diminuons maintenant "e" : nous franchirons d'abord le seuil " $e_1$ " sans que rien ne se passe, le potentiel de la base de  $T_2$ , en train de remonter étant toujours inférieur à celui des émetteurs.

Le potentiel des émetteurs diminue, tandis que celui de la base de  $T_2$  augmente quand "e" arrive à la valeur " $e_2$ " la base de  $T_2$  arrive à un potentiel légèrement supérieur à celui des émetteurs. Il y a rebasculement. Le potentiel collecteur de  $T_1$  remonte brusquement jusqu'à sa valeur maximale. Celui des émetteurs en fait autant, tandis que le potentiel collecteur de  $T_2$  diminue brusquement.

Les cyclogrammes que nous avons tracés ne sont en réalité distincts à l'aller et au retour (pendant la montée ou la descente de "e") que pour les valeurs de "e" comprises entre " $e_1$ " et " $e_2$ ". Nous avons représenté ces cyclogrammes très

légèrement dédoublés les flèches tracées indiquant dans quel sens évoluerait les tensions des différentes électrodes pendant les relevés.

B/ Calcul du TRIGGER DE SCHMITT



Nous avons choisi comme seuil de déclenchement du trigger 1 V. Il faudra donc que l'émetteur de T<sup>1</sup>, donc celui de T<sub>2</sub> soient polarisés à une tension légèrement inférieure. Or la base de T<sub>2</sub> est à un potentiel légèrement supérieur à son émetteur.

Nous devons avoir  $V_{B2} = 1 \text{ V}$

$$\text{soit } V_{B2} = \frac{9}{R_1 + R_2 + R_3} R_3 = 1 \text{ V}$$

Nous avons choisi comme transistor des 2N2222 qui, pour un courant I<sub>c</sub> de 10 milliampères ont un β de 50

pour que I<sub>c</sub> = 10 mA il faut que  $\frac{V_{cc}}{R_4 + R_5} = 10^{-2}$  soit

$$R_4 + R_5 = 900 \text{ ohms; puisque } V_{cc} = 9 \text{ V.}$$

D'autre part,  $V_e = R_4 I_c = 0,3 \text{ V}$ , D'où  $R_4 = 30 \text{ Ohms}$ ; donc

$$R_5 = 870 \text{ Ohms et } R_1 = 870 \text{ Ohms}$$

$V_e =$  potentiel émetteur .

$V_e = V_{B2} - 0,7 \text{ V} = 1 - 0,7 \text{ V} = 0,3 \text{ V}$ ;  $0,7 \text{ V} =$  Tension base émetteur des transistor donnée par les caractéristiques.

On doit donc avoir:

$$\frac{9 R_3}{0,87 + R_2 + R_3} = 1$$

$$\frac{R_3}{0,87 + R_2 + R_3} = \frac{1}{9}$$

$$9R_3 = 0,87 + R_2 + R_3$$

$$8R_3 = 0,87 + R_2 \text{ d'où:}$$

$$\underline{\underline{R_2 = 8R_3 - 0,87}}$$



On choisit  $R_2$  et on déduit  $R_3$ . On aura certainement à retoucher  $R_3$  pour obtenir une bonne saturation de  $T_2$  (grâce au courant base de  $T_2$ ) ou inversement.

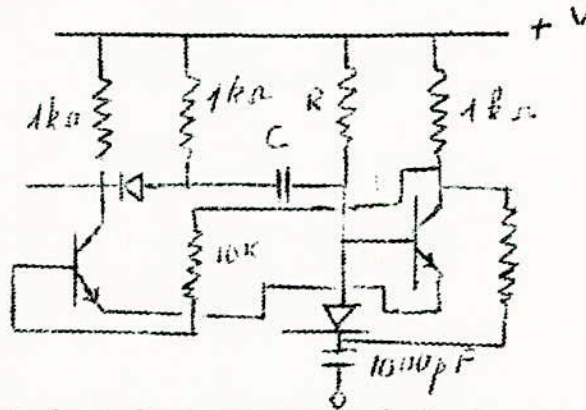
Remarque:

Si le trigger ne marche pas convenablement il n'y a lieu de porter des modifications que sur  $R_3$  et  $R_2$ .

## II/MULTIVIBRATEUR MONOSTABLE.

Une bascule monostable est formée de deux transistors dont l'un est conducteur et l'autre bloqué.

Le montage est le suivant:



Une chute du signal d'entrée  $e$  de la valeur 1 à 0, envoie une impulsion négative à la base du transistor conducteur. Ce dernier se bloque alors ce qui a pour effet de bloquer immédiatement l'autre transistor dont le collecteur  $M$  est brusquement porté à une valeur proche de 0 volt.

Le condensateur  $C$  dont l'armature gauche se trouvait primitivement portée à un potentiel positif voit son armature droite portée à un potentiel négatif ce qui maintient le transistor droite dans l'état bloqué.

Pendant le basculement, comme  $V_{C_2}$  est tombé de  $+V$  à  $\sim 0$  v, et que la capacité  $C$  n'a pu que transmettre intégralement le phénomène étant rapide  $V_{b_2}$  est tombé lui aussi de  $+V$ , passant de  $V_{be}$  saturé à  $(V_{be}$  saturé  $- V)$  -  $V$  on a donc au borne de  $R$  une tension de  $V - (-v) = 2V$  donc va passer un courant dans  $R$  où peut-il aller ? Pas vers  $M$  puisque le transistor de droite

est bloqué. Il va donc charger C - On a le processus classique de charge d'une capacité à travers une résistance.

Donc  $V_{b_2}$  va remonter de  $(-V + V_{be} \text{ saturé})$  et tendre exponentiellement vers  $+V$   
Quand  $V_{b_2}$  va atteindre  $V_{be} \text{ seuil}$  0,6 v (pour le 2N 2222) . On aura de nouveau le phénomène de basculement à primitif c'est à dire  $T_2$  conducteur et  $T_1$  Bloqué:

on voit en effet q'au repos  $T_2$  est saturé sa base étant relié à E.

Tandis que  $T_1$  est bloqué car  $V_{b_2}$  est négatif.

Calcul de la période.

$$T = 0,7 RC$$

On connaît T et R on détermine C.

$$C = \frac{T}{0,7 R}$$

$$\frac{1}{T} = 40 \text{ kHz} \Rightarrow T = \frac{1}{40 \cdot 10^3} \text{ s}$$
$$R = 50 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow C = \frac{10^{-6}}{0,7 \cdot 40 \cdot 50} = \frac{100}{2,8} \cdot 10^{-9} \approx 4 \text{ nF}$$



PORTE E T

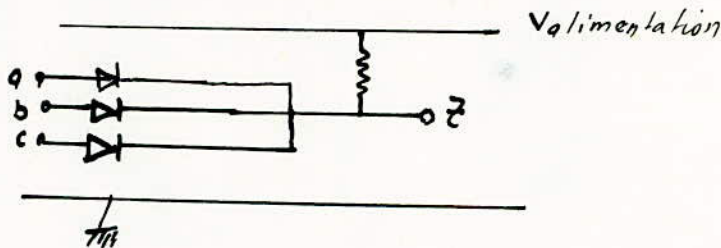
--o--

La fonction ou porte (gate) peut comme, la fonction OU, être réalisée par un circuit à diodes semi conductrices.

Soit a, b, et c, trois entrées et z la sortie du bloc fonctionnel ET. La sortie ne doit valoir 1 que lorsque a et b et c ont simultanément la valeur 1

a	b	c	z = a b c
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Le circuit électronique est donné sur la figure ci-dessous.



Si toutes les entrées sont portées au potentiel +9 Volts par exemple, la sortie vaut +9 Volts.

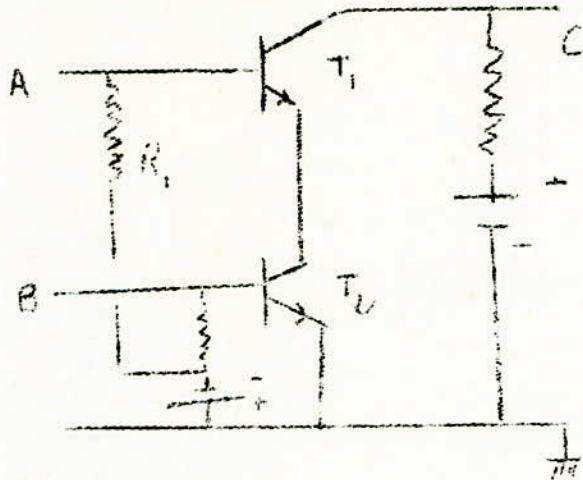
Dès que l'une au moins des entrées vaut 0 Volts, la diode correspondante est conductrice, et porte la sortie z à 0 Volts, à la chute de tension aux bornes, de la diode semi-conductrice près.

Remarquons que dans ce circuit électronique, une même valeur "1" est attribuée à une variable d'entrée, que cette entrée soit nonconnectée ou portée à un potentiel de +9 Volts. L'expression logique algébrique du circuit ET s'écrit:

$$z = a.b.c \text{ ou } z = abc$$

Nous constatons d'autre part que la sortie vaut 0 dès que l'une ou l'autre des entrées a la valeur 0.

PORTE " ET " A TRANSISTORS



Les transistors  $T_1$  et  $T_2$  sont polarisés de manière à être en régime de coupure par la tension négative  $V_1$ .

Lorsqu'on applique des impulsions positives aux bornes A et B en même temps, les deux transistors sont amenés dans la région de saturation, et la tension de sortie à la borne C s'abaisse à une valeur presque nulle. Toutefois des impulsions appliquées séparément à la borne A ou B n'auraient aucune action sur la tension de sortie en C puisque l'un des transistors reste dans la région de coupure.



### COMMANDE DU COMPTEUR DECIMAL:

Pour commander les impulsions qui arrivent à partir du compteur Geiger-Müller après avoir été mises en forme nous plaçons la porte ET que l'on étudié auparavant qui va servir d'interrupteur. En effet, on suppose qu'au point "a" il y a une impulsion et au point "b" le commutateur (interrupteur mécanique) est fermé a la sortie de la porte on recueillera l'impulsion. Mais si l'interrupteur est ouvert a la sortie il n'y aura aucune impulsion. Sous l'action de l'ouverture et de la fermeture du commutateur, il y a des effets de rebondissement en saut de tensions qui sont dus à l'effet transitoire.

Si leurs amplitudes sont suffisantes au point "b" ces impulsions parasites sont transmises à la sortie de la porte ET, d'où le comptage est faussé. Pour y remédier à cet inconvénient on place un multivibrateur bistable entre le commutateur et la porte ET. L'existence des impulsions néfastes fera basculer le bistable d'un état à l'autre.

## SCHEMME DE COMPTAGE ( COMPTEUR DECIMAL)

### Généralités

La représentation d'un nombre par des chiffres exige un code, constitué par un système de numération déterminé. Dans un système de numération de base B, un nombre entier x à N positions peut être représenté par :

$$x = \sum_{n=0}^{N-1} x_n B^n$$

Les  $x_n$  sont les chiffres du nombre x et sont compris entre 0 et B

$$0 \leq x_n < B$$

Le système décimal, correspond au cas particulier B = 10 Afin de permettre la représentation des divers nombres, il faut que l'on ait B > 2 Par ailleurs, on utilise dans un système de numération de base B, B chiffres différents (0, 1, 2, 3, ..., B-1)

Exemples: B=10  $\Rightarrow$  (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9)

B=2  $\Rightarrow$  (0, 1)

Dans les calculatrices électroniques, on utilise principalement le système de numération binaire, le système décimal ou encore le système dit "décimal codé binaire". Chacun de ces systèmes présente des avantages et des inconvénients en ce qui touche la conversion du système dans un autre, ou d'un système autre vers le système décimal, à l'enregistrement, à la vitesse de calcul et à la vérification du calcul.

Définissons maintenant ce qu'est un compteur.

Un compteur selon le système de numération de base B est un montage qui peut prendre B états stables différents; ces états se produisent successivement lorsque l'on applique B impulsions à l'entrée. Puis à chaque Bième impulsion l'impulsion de retenue est délivrée à la sortie,



Les compteurs décimaux ( $B=10$ ) sont fréquemment utilisés dans les calculatrices fonctionnant selon le système décimal sans conversion de code le compteur binaire peut être décomposé en cellules de structures identiques ayant chacune une sortie et une ou deux entrées selon le fonctionnement choisi. Dans notre cas il s'agit d'une seule entrée et d'une seule sortie. Nous remarquons que le nombre apparaissant aux sorties d'un compteur binaire dépend de l'état antérieur du compteur et par conséquent de son évolution passée: c'est donc un opérateur séquentiel.

## II/ Montage compteurs.

Un compteur électronique est formé par une cascade de multivibrateurs bistables, reliés ensemble d'une certaine manière. Les montages bistables offrent, entre autres avantages, la sécurité de fonctionnement nécessaire chaque état du compteur s'établit d'après la position des éléments bistables individuels, et selon une combinaison d'indications binaires de sortie. Le chiffre donné par une suite d'impulsions est affiché selon le code. La propriété la plus marquante d'un compteur, est sa vitesse de fonctionnement. Celle-ci est elle-même fonction des éléments utilisés pour la construction. Nous connaissons deux procédés fondamentaux différents pour le comptage des impulsions selon le premier procédé, les impulsions sont comptées en binaire et dans ce cas, chaque étage du compteur commande une position binaire et les positions des étages individuel ("0" ou "1") donnent alors le nombre des impulsions comptées.

Selon le second procédé les impulsions sont comptées par le compteur que l'on appelle des compteurs en anneau dans ce cas, on ne trouve chaque fois qu'un élément binaire dans la position "1" et, après chaque impulsion d'entrée, cet unique état "1" est transmis successivement par chaque étage au suivant jusqu'au moment où après  $B$  impulsions d'entrée cet état "1" est affiché sur le premier étage.

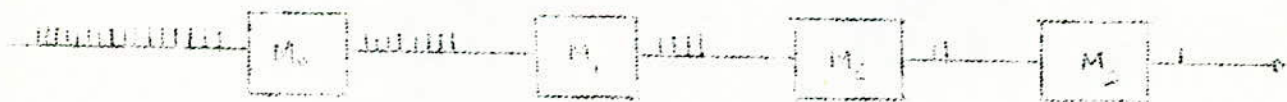
Avec le comptage binaire, on ne peut établir que directement que des systèmes de numération à base  $2_n$  ( $n$ , étant le nombre d'éléments binaires).

Il est donc nécessaire de disposer de principes de montages supplémentaires

pour opérer avec le système decimal .Cette difficulté ne s'offre pas avec le compteur en anneau.En effet ,s'il comprend ~~n~~ N éléments,il peut prendre n état différent.

En dehors des éléments bistables constituant des montages compteurs decimaux par leur liaison électrique,il existe aussi un certain nombre de tubes compteurs decimaux qui prennent directement les dix etats stables différents. Il s'agit des tubes compteurs à remplissage gazeux de ce genre conviennent jusqu'à des fréquences de récurrence d'impulsions superieurs à 100 khz. L'un de ses tubes est à cathod froide muni d'une anode, de 20 grilles et de 10 cathodes .Le tube compteur ( à vide poussé ) E I T est un tube à rayons cathodiques spécial à 10 positions stables de faisceau électronique.IL permet de faire le comptage des impulsions jusqu'à une fréquence de recurrence de 100 khz.Enfin il existe,un tube à champ magnétique( le trochotron) tournant, qui compte les impulsions jusqu'à une fréquence de recurrence superieure à 1Mhz.

LE compteur étudié dans ce projet est un compteur décimal à couplage rétro-actif.Voyons brièvement son principe comme nous le montre le figure ci-dessous .Le comptage se fait par une cascade binaire, comprenant quatre multi-



vibrateurs bistables  $M_0$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ , et  $M_3$ . Chaque étage fonctionne en diviseur de fréquence à  $1/2$  après 16 impulsions , le compteur  $M_3$  Fournit à la sortie une impulsions négative et, par conséquent, la cascade binaire constitue simultanément un diviseur de fréquence à  $1/16$  et en général ,avec une cascade de n élément binaires, une division de  $1/2^n$

Afin d'établir un compteur décimal à partir d'un tel diviseur de fréquence à quatre étages, nous devons faire en sorte qu'au lieu de prendre 16 états



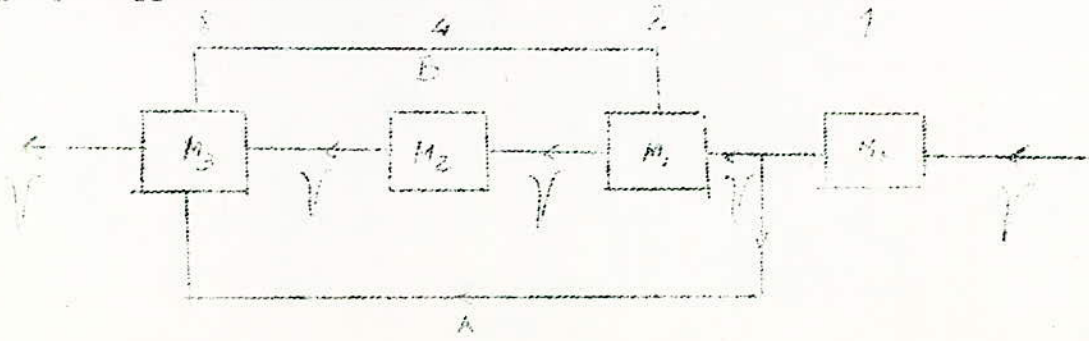
la cascade n'en prenne que 10. Cela veut dire, qu'il faut "sauter" par dessus six impulsions. Cela peut être obtenu en produisant une rétroaction correcte entre les derniers étages et les premiers, ce que nous pouvons faire de plusieurs manières différentes.

Nous pouvons, par exemple, compter normalement jusqu'à 7 puis laisser agir la rétroaction à partir de la huitième impulsion. Celle-ci fait basculer l'étage  $M_3$  de 0 à L. Nous utilisons l'impulsion engendrée par ce basculement pour porter les étages  $M_1$  et  $M_2$  dans l'état "L", à l'aide de la connexion de rétroaction le compteur se trouve alors dans l'état "1110" (c'est à dire le binaire 14). Ainsi après deux impulsions, le compteur a déjà atteint l'état nul.

$M_3$	$M_2$	$M_1$	$M_0$	
0	0	0	L	→ Etat après 8 impulsions sans rétroaction
0	L	L	L	→ Etat après 8 impulsions avec rétroaction sur $M_1$ et $M_2$
L	L	L	L	→ Etat après 9 impulsions
0	0	0	0	→ Etat après 10 impulsions

Le codage du nombre décimal, grâce à cette rétroaction, est binaire de 0 jusqu'à 7, tandis que 8 correspond au binaire 14 et 9 au binaire 15. Grâce à ce procédé de rétroaction, il est également possible de donner aux étages individuels un "poids" fixe.

la rétroaction indiquée dans le schéma ci-dessous fournit au contraire, une indication de l'état du compteur en codage binaire direct. Ce compteur fonctionne donc complètement jusqu'à la 9ème impulsion. A la 10ème impulsion, nous devons sauter par dessus les six positions restantes et remettre le compteur sur la position nul. Cela est obtenu à l'aide des deux connexions de couplage supplémentaires A et B.



-Compteur décimal avec codage binaire direct.

La connexion A relie la sortie de l'étage  $M_0$  à l'étage  $M_3$  et en ce point le couplage se produit de telle sorte qu'une impulsion positive reste sans action. Une impulsion négative agit seulement lorsque  $M_3$  se trouve dans la position "L".

Le montage fonctionne jusqu'à la 9 ième impulsion selon l'état "LOOL" car jusqu'à là les connexions de couplages restent sans influence. A la dixième impulsion,  $M_0$  bascule de L à O, et l'impulsion négative ainsi produite reste sans influences sur  $M_1$  en raison du blocage sur B, mais elle produit par A un retour de position de  $M_3$  à O (d'où la production d'une impulsion à la sortie) et tous les étages se trouvent alors sur la position O (0000).

Un autre compteur, fonctionne suivant le codage d'Aiken sera décrit plus loin. D'ailleurs ce sera ce montage qui a été étudié plus spécialement en vue de sa réalisation pratique.

Jusqu'à présent nous nous sommes efforcés d'étudier les compteurs binaires avec leur rétroactions respectives, maintenant il est intéressant de passer à l'étude théorique et surtout du principe de fonctionnement des compteurs en anneau.

#### Compteur en anneau.

Ce type de compteur est un groupement en anneau fermé d'éléments bistables cette disposition est caractérisée par le fait qu'il y a seulement un des N éléments bistables qui se trouve dans la position "L" et tous les autres sont dans l'état "O".

Après chaque impulsion d'entrée l'état "L" passe sur l'élément suivant. Dans cette telle disposition, il faut que les éléments bistables employés présentent les propriétés suivantes.

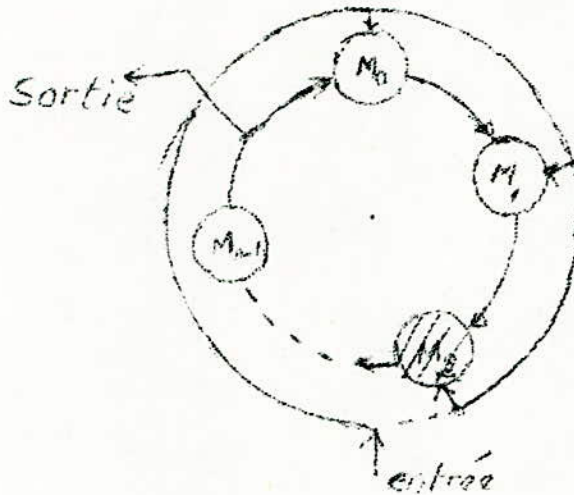
a/l'impulsion d'entrée n'influe pas sur l'élément qui se trouve dans la position "O"

b/l'impulsion d'entrée fait basculer de nouveau l'élément, qui se trouve sur la position "L" dans l'état "O"

c/l'impulsion ainsi engendrée (retenue  $L \rightarrow O$ ) bascule l'élément suivant et le met dans l'état "L"



d/l'impulsion de sarrtie qui correspond à ce basculement (retenue C → L) ne modifie pas l'élément suivant.



On ut lise. dans ce cas, pour former une décade, dix éléments bistables (au lieu de quatre pour le comptage binaire) .On donne alors à chaque étage un "POIDS" 0,1,2,3,4,...,9 et l'on établit le compte des impulsions d'entrée avec une représentation à "un sur dix" .L'état d'un compteur se dit donc facilement;

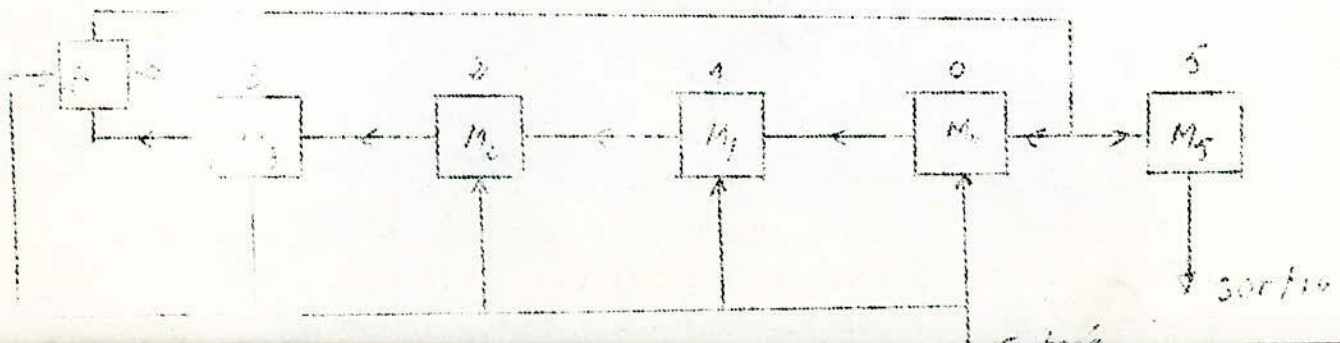
L'indication donnée par des lampes à néon ou à d'autres gaz luminescents.

Nous pouvons par cette méthode réduire le nombre d'éléments bistables en remplaçant "la représentation à un sur dix" par une représentation biquinaire. Celle-ci comme son nom l'indique se divise en deux parties

a/une partie quinaire occupant cinq places, affectées de poids 4,3,2,1, et 0.

b/une partie binaire à deux places affectées des poids 5 et 0

Il ne faut pour reconstituer une décade que six éléments bistables comme le montre la figure ci-dessous:



Compteur biquinaire en anneau.

L'anneau de comptage, proprement dit, comporte ici cinq éléments (de  $M_0$  à  $M_4$ ) qui ont la série des poids de 0 à 4, l'élément bistable supplémentaire donnant le "POIDS" 5.

Voyons comment fonctionne ce montage

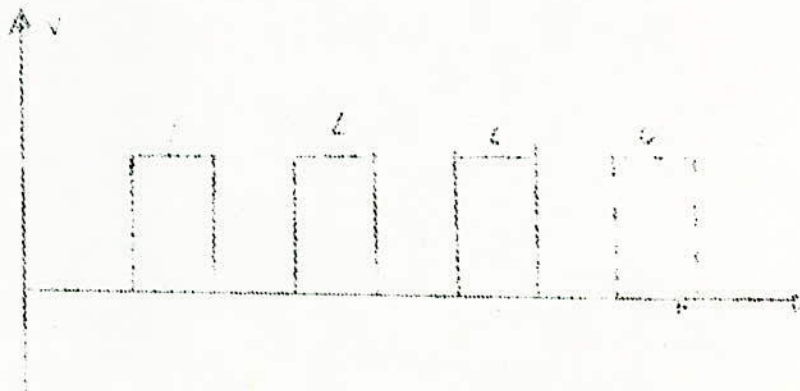
L'impulsion de sortie  $M_4$  alimente en supplément la cellule  $M_5$  qui est bascule par chaque impulsion sortant de  $M_4$ . dans la position nulle,  $M_0$  se trouve dans l'état "L" ET tous les autres éléments, y compris  $M_5$  sont dans l'état "0". Après la cinquième impulsion, la cellule  $M_5$  se trouve de nouveau dans l'état "L". Mais, simultanément, l'étage est placé sur la position "L". La dixième impulsion bascule de nouveau  $M_0$  dans la position nulle. L'impulsion ainsi produite sert d'impulsion de sortie pour ce montage

III/Représentation électrique des nombres .

Dans ce petit paragraphe nous voulons exploiter l'indication binaire donnée par chaque cellule d'un compteur. En effet, jusqu'à présent nous avons mentionné l'existence "d'état" de chaque cellule celle-ci nous fournit deux nombres "0" et "L"

Les deux symboles binaires "0" et "L" correspondent à diverses valeurs de la tension. C'est ce que donne en effet le bistable qui constitue la cellule. D'autre part les deux symboles "0" et "L" sont représentés par la présence ou l'absence d'impulsions en des positions bien déterminées en fonction du temps. Les impulsions se suivent avec un intervalle T, et entre chaque impulsion il existe un temps de repos.

Exemple: représentation du nombre 1110 par un bain d'impulsions





IV/ Compteurs binaires

Nous allons définir et déterminer les modes de fonctionnement des compteurs binaires asynchrones ainsi que leur découpage modulaire. Comme nous l'avons signalé dans les généralités, le compteur binaire est formé d'un ensemble de cellules relatives chacune à un chiffre binaire. On attribue à ces cellules des poids correspondant aux différentes puissances de 2

En effet nous avons attribué aux cellules

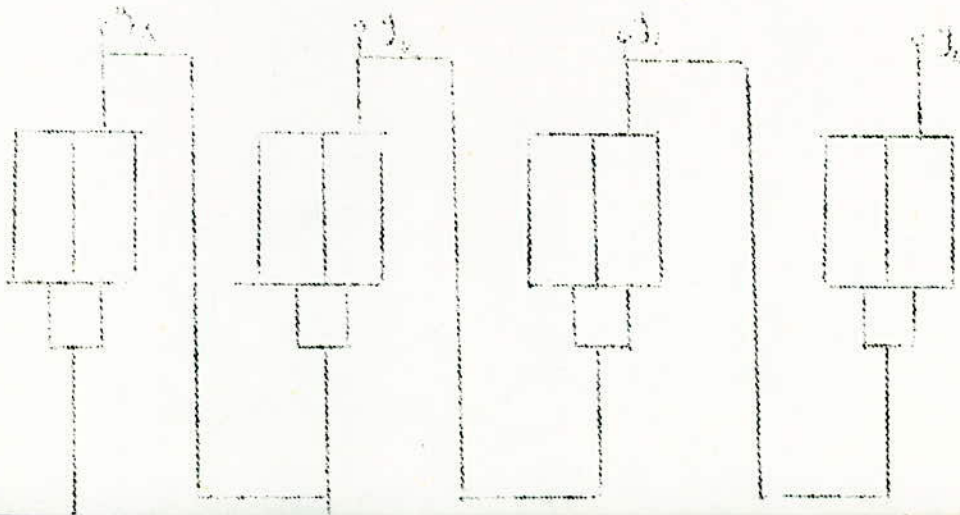
$$\begin{array}{l}
 M_0 \ 2^0 = 1 \text{ (1ere cellule)} \\
 M_1 \ 2^1 = 2 \text{ (2eme cellule)} \\
 M_2 \ 2^2 = 4 \text{ (3ème cellule)} \\
 M_3 \ 2^3 = 8 \text{ (4ème Cellule)} \\
 \hline
 M_j \ 2^j = 2^j \text{ (/j+1/ième cellule)} \\
 \hline
 M_n \ 2^n = 2^n \text{ (/n+1/ième cellule)}
 \end{array}$$

La sortie de chaque cellule ne pouvant prendre que la valeur 0 ou 1, nous obtiendrons l'équivalent decimal du nombre binaire inscrit dans le compteur en effectuant la somme des poids relatifs aux cellules se trouvant dans l'état 1. Prenons comme exemple quatre cellules ayant respectivement les sorties  $y_1, y_2, y_3$  et  $y_4$  à 1011. L'EQUIVALENT decimal est

$$1+0+4+8=13$$

Avec un ensemble de quatre cellules nous pourrions représenter seize chiffres de 0 jusqu'à 15 figure ci-dessous

COMPTEUR ASYNCHRONE



Le compteur binaire asynchrone; les inhibitions de type F n'ont pas été représentées.

Table nous donnant l'état de chaque cellule avec l'équivalent décimal du compteur

Cellule	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	Equivalent
poids	1	2	4	8	decimaux
Nombres	0	0	0	0	0
binaires	1	0	0	0	1
	0	1	0	0	2
	1	1	0	0	3
	0	0	1	0	4
	1	0	1	0	5
	0	1	1	0	6
	1	1	1	0	7
	0	0	0	1	8
	1	0	0	1	9
	0	1	0	1	10
	1	1	0	1	11
	0	0	1	1	12
	1	0	1	1	13
	0	1	1	1	14
	1	1	1	1	15

Examinons séparément le comportement de chaque cellule dans la succession d'états. Nous remarquons que la sortie de la première change chaque fois de valeur en passant d'un nombre à l'autre.

En pratique, dans un compteur asynchrone, c'est bien la chute de la cellule précédente qui commande le changement de valeur, chute ou remontée, de la cellule suivante. De ce fait, nous concevons qu'il existe un état transitoire pendant lequel une cellule vient de passer à la valeur 0 tandis que la



la suivante n'a pas encore eu le temps de changer de valeur. Dans certains cas, ( par exemple, lors du passage du nombre binaire 1110 au nombre 0001) il faudra passer par plusieurs etats transitoires intermediaires en cascade avant d'obtenir le nouvel etat stable du compteur.

Nous obtiendrons donc dans un compteur asynchrone de la table suivante.

$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	Equivalents decimaux
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
0	0	0	0	0
0	1	0	0	2
1	1	0	0	3
0	1	0	0	2
0	0	0	0	0
0	0	1	0	4
1	0	1	0	5
0	0	1	0	4
0	1	1	0	6
1	1	1	0	7
0	1	1	0	6
0	0	1	0	4
0	0	0	0	0
0	0	0	1	8
1	0	0	1	9
0	0	0	1	8
0	1	0	1	10
1	1	0	1	11
0	0	0	1	8
0	0	1	1	12
1	0	1	1	13
0	0	1	1	12
0	1	1	1	14
1	1	1	1	15
0	1	1	1	14
0	0	1	1	12
0	0	0	1	8

Dans cette table nous avons marqués les états instables en caractères normaux par contre les états stables sont signalés par des caractères encadrés. Nous remarquons qu'au cours du comptage, tous les états transitoires (instable) rencontrés ont un équivalent décimal inférieur à celui de l'état stable que nous venons de quitter. Ils correspondent donc à des états stables par lesquels nous sommes déjà passés précédemment. Si l'arrivée dans un certain état stable doit être détectée, nous serons donc certains que cette détection ne se présentera jamais accidentellement pendant un état transitoire survenant avant d'atteindre le nombre voulu.

D'autre part, comme chaque cellule ne bascule qu'aux chutes de la précédente, une montée à la valeur 1 d'une ou de plusieurs cellules n'aura certainement aucune repercussion sur l'état de celles qui les suivent.

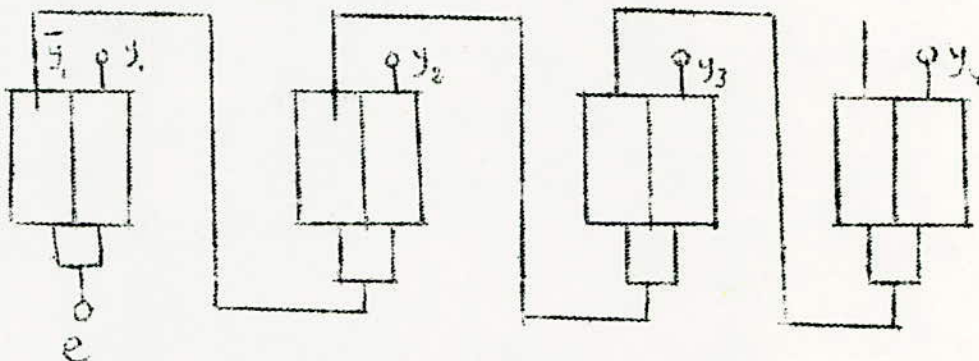
C'est pourquoi comme conditions de départ, nous préférons toujours remettre un compteur asynchrone à la valeur  $y_1, y_2, y_3, y_4 = 1, 1, 1, 1$ , plutôt qu'à la valeur  $0, 0, 0, 0$ . De toutes les manières pour remettre  $y_1, y_2, y_3$  et  $y_4$  respectivement à  $0, 0, 0$  et  $0$  il est nécessaire d'ajouter l'impulsion à l'entrée du compteur.

Nous venons d'expliquer le fonctionnement d'un compteur binaire. Mais lorsque nous désirons réaliser un comptage, il faudra suivre la même séquence des nombres binaires qui lors du comptage, mais cette fois-ci en sens inverse. Les états transitoires seront tout à fait différents. Nous remarquons que la première cellule change toujours de valeur en passant d'un nombre au précédent par contre, la sortie des autres change de valeur chaque fois que la cellule venant immédiatement à sa gauche passe de la valeur 0 à la valeur 1, donc aux remontées de la cellule de poids immédiatement inférieur ou bien, ce qui revient au même, aux chutes de la sortie complètement



De cette cellule. Si on appelle "e" la variable d'entrée d'un compteur ou d'un décompteur, on pourra transformer le compteur en décompteur en reliant l'entrée de chaque cellule non plus à la sortie "y" de la cellule précédente mais au complément y de cette sortie "y"

Voici ci-dessous un décompteur binaire asynchrone comme pour le compteur synchrone, les inhibitions de type T n'ont pas été représentées de toutes les manières nous aurons à étudier plus en détail chaque cellule d'un compteur ou d'un décompteur.



décompteur asynchrone

Donc, le compteur progresse ainsi aux chutes de la variable "e" le décompteur progresse aux montées de "e"

Si nous désirons que le compteur progresse plutôt aux montées de "e" ou bien que le décompteur progresse aux chutes de "e", il suffira d'inverser le signal appliqué à l'entrée générale de l'organe; c'est à dire de remplacer "e" par son complément " $\bar{e}$ " uniquement pour la première des cellules.

Cette opération n'affecte en rien au fonctionnement global du compteur ou du décompteur puis que la première cellule de ces organes change d'état systématiquement à chaque période de signal d'entrée.

Le mode de liaison entre les cellules détermine donc si nous comptons ou si nous décomptons tandis que celui de la première cellule détermine si l'organe est sensible aux chutes ou bien aux montées du signal appliqué

#### V/ Synthèse des circuits d'un compteur binaire

Nous allons constituer la table des états ainsi que la synthèse par niveaux logiques. Comment se présente le problème.

La cellule du compteur binaire présente une entrée "e" et une sortie "y"  
 La sortie "y" doit changer de valeur chaque fois que "e" passe de la valeur 1 à la valeur "0", donc aux chutes de "e"  
 ces règles nous permettent de construire la table des états qui est la suivante.

$Y^w$	$e_0$	1
00	1	2
01	3	2
11	3	4
10	1	4

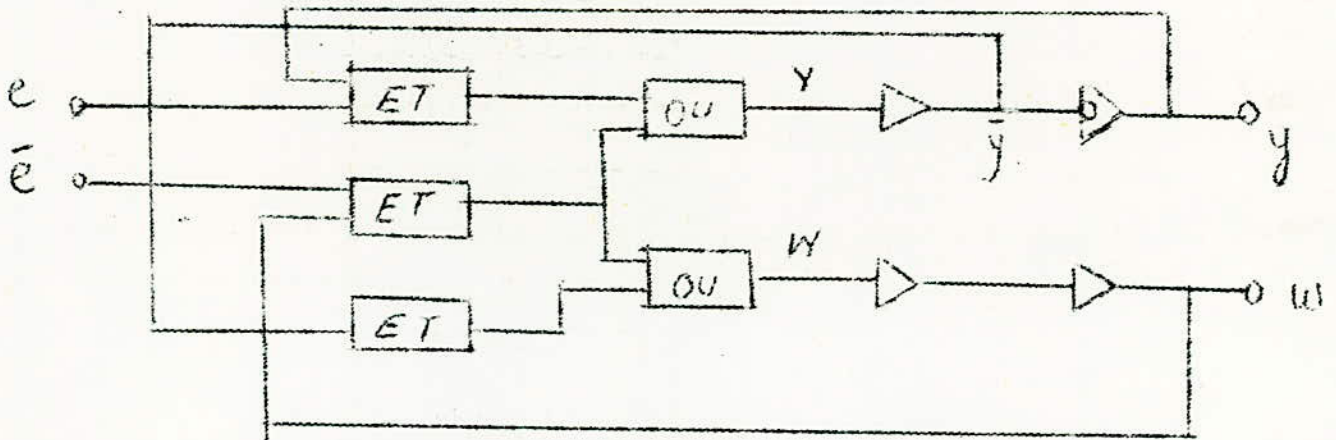
Cette table dont les quatre lignes ne peuvent plus être fusionnées se transformera en une table

$Y^w$	$\bar{e}_0$	1
00	00	01
01	11	01
11	11	10
10	00	10

De cette nouvelle table, nous déduisons immédiatement les équations suivantes et le circuit canonique correspondant.

$$Y = ey + \bar{e}w$$

$$W = e\bar{y} + \bar{a}w$$





Nous remarquons qu'il nous faut une grande quantité d'éléments électronique pour construire notre compteur, à partir de cette cellule aussi est-il plus rentable et plus simple de construire les cellules à partir d'éléments bistable qui sont commandés par variations de niveaux logiques comme "e" est la seule variable d'entrée de la cellule étudiée nous aurons à envisager que l'effet de ses enclenchements

De la table (C), nous déduisons la table ci-dessous

	y	ee	se
	0	2	
	1	4	3
	1	4	1
	0	0	1
	1	1	0
	0	0	ε
	1	1	δ
impulsions Y <sub>S</sub>	0	0	1
	1	1	0
impulsion Y <sub>R</sub>	0	0	0
	1	0	1

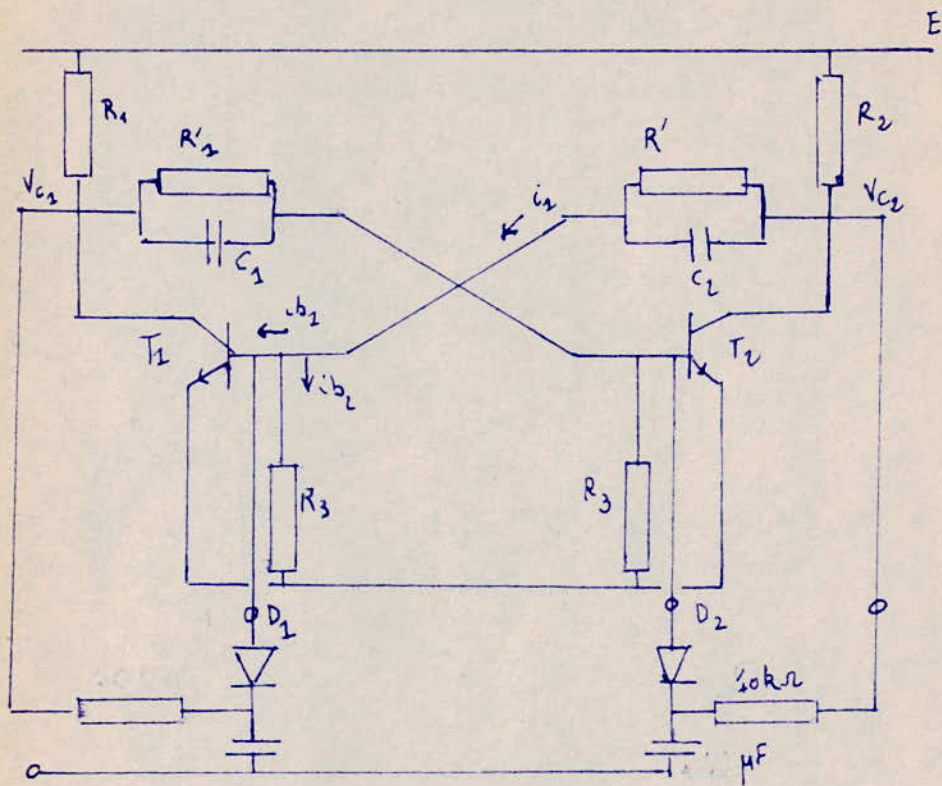
cette table nous donne les équations suivantes

$$\text{Imp}_S Y = \bar{y} se$$

$$\text{Imp}_R Y = y se$$

La cellule se réduit donc à une seule bascule bistable de type T à l'unique entrée active de laquelle est appliquée la variable "e" et dont les inhibitions sont formées par les rétroactions passives y et  $\bar{y}$  la cellule est représentée par le circuit électronique suivant

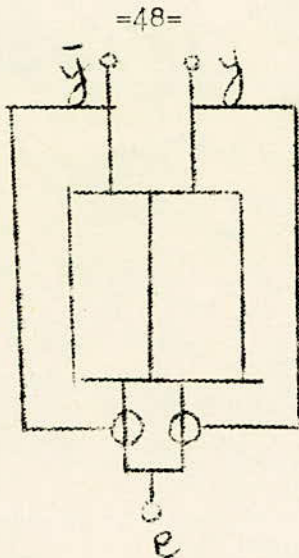
Schéma d'un bistable :



- $R_1 = 1\text{ K}$
- $R_2 = 5,1\text{ K}$
- $R_3 = 2\text{ K}$
- $R_4 = 1,2\text{ K}$
- $R_5 = 0,2\text{ K}$

- $C_1 = 100\text{ pF}$
- $C_2 = 220\text{ pF}$





cellule modulaire de compteur binaire asynchrone

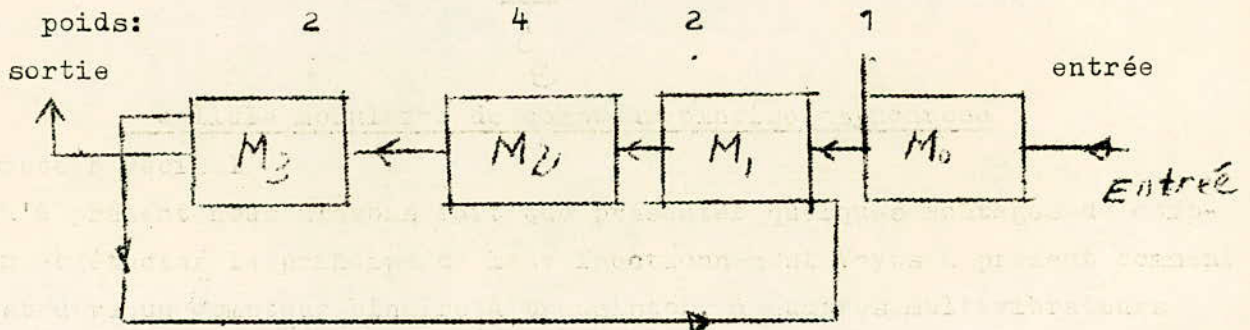
vi VI/ Compteur decimal

Jusqu'à présent nous n'avons fait que présenter quelques montages de compteur et étudier le principe de leur fonctionnement. Voyons à présent comment construire un compteur binaire à transistor, à quatre multivibrateurs bistable.

Là, encore des couplages convenables peuvent faire en sorte que le compteur n'utilise que 10 des 16 positions possibles, c'est à dire qu'il "saute" par dessus 6 positions d'une manière générale, les compteurs de cette façon peuvent atteindre une vitesse approximative de comptage

$$f_{\max} = 0,2 f_{\text{desc}}$$

$f_{\text{desc}}$  = fréquence de coupure des transistors utilisés dans un montage à base commune. La vitesse de comptage maximale est limitée par la durée qui est nécessaire pour "sauter" les 6 positions en surnombre aussi faut-il employer un couplage rétroactif le plus simple pour n'apporter qu'un faible retard. La figure ci-dessous montre le montage étudié dans le projet/



Le mode de couplage entre les étages successifs est telle que l'étage suivant ne peut basculer que lorsque l'impulsion de sortie commute de la position L à la position O.

Le compteur fonctionne jusqu'à "7" (OLLL) suivant le mode binaire (voir la table A) . La huitième impulsion met à zéro  $M_0$ ,  $M_1$  et place  $M_3$  sur la position L . La tension de sortie qui apparaît sur l'autre élément de  $M_3$  fait basculer à travers les connexions de rétroactions, les étages  $M_L$  et  $M_3$  lesquels reviennent de nouveau sur la position L, si bien que nous avons maintenant, dans le compteur, le "8" (LLLO).

Les multivibrateurs individuels sont seulement basculées par une impulsion négative à la base de l'un des deux transistors de chaque étage.

La remise à zéro du compteur, à partir d'une position quelconque peut se faire à l'aide d'un contacteur qui mette hors circuit les transistors de gauche agissant sur les résistances correspondantes . On peut obtenir la remise à zéro électrique, en appliquant une impulsion positive  $V_r$  aux transistors de gauche, à travers les diodes D sur les bases .

A fin d'éviter le retard entre la dixième impulsion d'entrée et l'impulsion de sortie on utilise une porte ET. Elle maintient à la tension de conduction les deux entrées des étages  $M_0$  et  $M_3$  sur la position "9" du compteur .

Donc la dixième impulsion peut être appliquée directement à travers la troisième entrée de la ET et parvenir à la sortie du compteur.

La porte ET formée par les trois diodes et par l'étage adaptateur d'impédance associé constitue l'étage final du compteur.

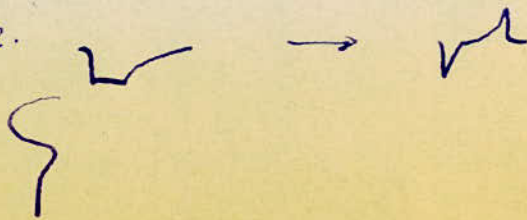


## Conclusion:

Nous ne mentionnerons pas tous les intérêts et les applications possibles, puisque cela a été déjà fait dans l'introduction.

Nous remarquons que l'impulsion délivrée par le tube Geiger-Müller a une période de  $60 \mu s$  à mi-hauteur et son amplitude est de  $-17,5$  Volts; à la sortie de l'étage suivant, en l'occurrence le circuit adaptateur d'impédance, l'impulsion est tronquée vers le bas. Ceci est dû à cause du point de fonctionnement que nous avons choisi. Malheureusement il est impossible de faire un meilleur choix. En effet, le transistor à effet de champ utilisé a des caractéristiques telles qu'il est impossible jusqu'à une tension grille source ( $V_{GS}$ ) égale à  $-10$  V de sortir entièrement l'impulsion.

La période  $T$  sera augmentée ce qui implique une diminution en premier lieu de la vitesse de comptage, d'autre part le front de chute ne sera pas assez raide. Il y a comme même un intérêt certain c'est que le trigger de Schmitt bascule à partir d'un volt d'où la nécessité de réduire l'impulsion. Néanmoins, puisque l'impulsion a besoin d'être "aminée" nous <sup>avons</sup> placé un circuit différentiateur constitué par un diviseur de tension avec une capacité en série.





# Bibliographie

- J.P. OEHMICHEN : Pratique de l'électronique
- J. FLORINE : Automatisation à séquences et  
commande numérique
- G. HAAS : Calculatrices électroniques  
numériques
- Slosiar : Théorie des circuits I - II + III
- KOSLING : Transistor à effet de champs
- H. ARCISZEWSKI : Mesures sur les transistors



# Compteur décimal à couplage RC.

