

## Multivibrateur astable

par E. DE ZERBI\*  
Lycée d'Estienne D'Orves, 06000 Nice

---

Le matériel et les expériences décrits ont été mis au point pour le programme de Terminale de la rentrée 89. Ils ont été utilisés au cours des stages de préparation à ces programmes.

### 1. LES PLAQUES DE T.P.

Elles sont constituées d'un circuit imprimé double-face (figure 1). Le composant principal est un circuit intégré 74HC00, comprenant quatre portes NON-ET. Son brochage est rappelé figure 2. Il est alimenté par une tension continue de 6 V, à travers une diode 4148 qui le protège des inversions accidentelles de polarité. Les pistes recto et verso conduisent aux douilles, dans lesquelles seront insérés les autres composants, au pas de 19 mm. Le tracé des symboles des portes a été prévu en pistes de cuivre lors de la réalisation du circuit imprimé, avec une interruption de ces pistes aux entrées et sorties. Ces tracés ont été repassés au feutre indélébile avec des couleurs différentes, puis les deux faces du circuit ont été vernies.

Les portes A et B sont déjà prêtes en inverseur et le circuit du multivibrateur astable est en partie constitué ; il reste à insérer les autres composants - résistance et condensateur. La résistance  $R_p$  n'intervenant pas directement dans le principe du montage, a été soudée au verso.

Les portes C et D ont été prévues pour d'autres essais (figures 4 à 9). Une résistance talon de  $12 \Omega$  a été, elle aussi, soudée au verso, et la piste interrompue au recto.

---

\* Les plaques de T.P. ont été mises au point et réalisées par Monsieur P. GUIDONI, notre aide de laboratoires.

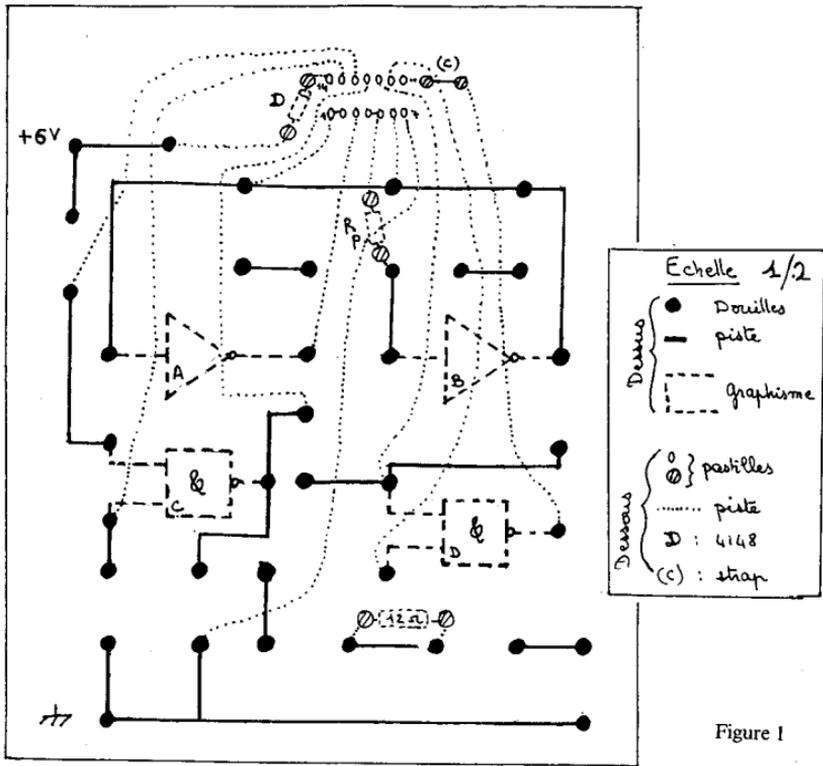


Figure 1

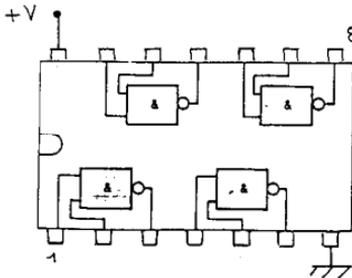


Figure 2

## 2. PRINCIPALES EXPÉRIENCES

### 2.1. Vérifier la table de vérité d'un inverseur logique

On peut réaliser le montage de la figure 3 ; selon que l'interrupteur K est ouvert ou fermé, on a l'entrée de l'inverseur au niveau logique 1 et sa sortie ou niveau zéro ou l'inverse. Il faut utiliser la porte B ; l'utilisation de la porte A appliquerait un niveau 1, donc une tension +V, directement

sur la sortie de B dans l'un des deux cas. La résistance évite à la source d'être en court-circuit quand K est fermé.

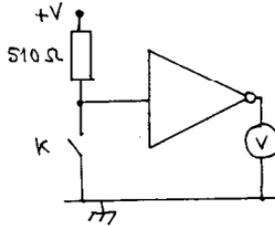
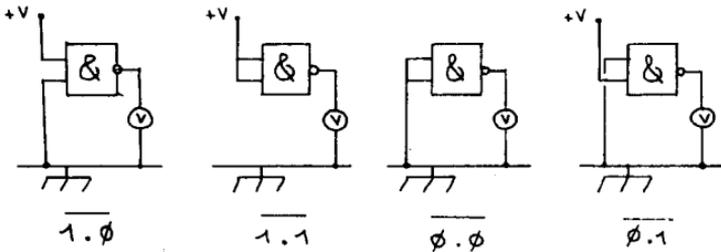


Figure 3

**2.2. Table de vérité d'une porte NON-ET et réalisation d'un inverseur logique à partir de cette fonction**

On utilise les portes C ou D ; des cavaliers ou des fils courts permettront d'avoir les montages suivants (figures 4).



Figures 4

**2.3. Tracé de la caractéristique de transfert en tension  $U_s$  ( $U_e$ ) pour un inverseur logique**

L'implantation des composants a été prévue autour de la porte C, entrées réunies. Le montage de la figure 5 a permis les mesures suivantes :

$U_e$ (V)	0	0,5	1	1,5	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3...
$U_s$ (V)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	3,2	2,7	2,4	0	0...

D'où le tracé de la courbe figure 6 qui peut conduire à un tracé idéalisé, avec une tension de basculement à peu près égale à  $\frac{V}{2}$  (ici 2,5 volts environ).

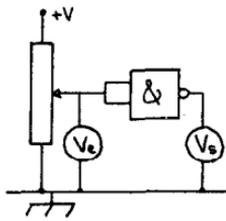


Figure 5

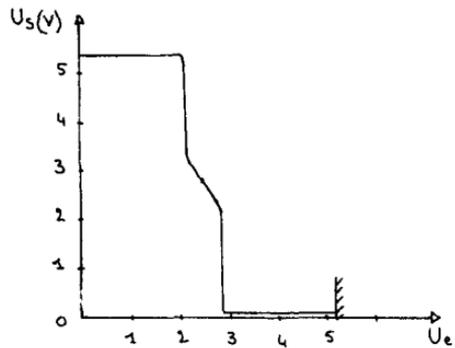


Figure 6

On pourra remarquer que la porte présente souvent une hystérésis : si on cherche à refaire le tracé par valeurs décroissantes de  $U_e$  après avoir obtenu le basculement par valeurs croissantes, on n'obtient pas tout à fait les mêmes couples  $(U_e, U_s)$ , autour de  $\frac{V}{2}$

#### 2.4. Caractéristique de sortie $U_s(I_s)$ avec la sortie à l'état haut

Montage autour de la porte C, figure 7.

R est une boîte de résistances à décades (x 1000 ; x 100 ; x 10) ; r est la résistance talon de 12  $\Omega$  signalée au début.

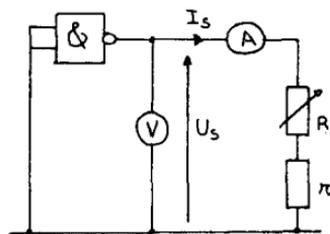


Figure 7

On obtient les résultats du tableau suivant :

$I_s$ (mA)	1	2	4,5	8	13	20	24	30	35	38	42
$U_s$ (V)	5,4	5,2	5,1	4,9	4,7	4,2	4,0	3,8	3,2	2,8	2,1

La courbe de la figure 8 montre que pour des valeurs suffisamment faibles de l'intensité débitée par la porte, celle-ci se comporte comme une source de tension  $E = 5,4 \text{ V}$  en série avec une résistance  $r_0$  facile à déterminer par le coefficient directeur de la portion rectiligne de la caractéristique :

$$r_0 = \frac{5,4 - 4,2}{20} \cdot 10^3 = 60 \Omega$$

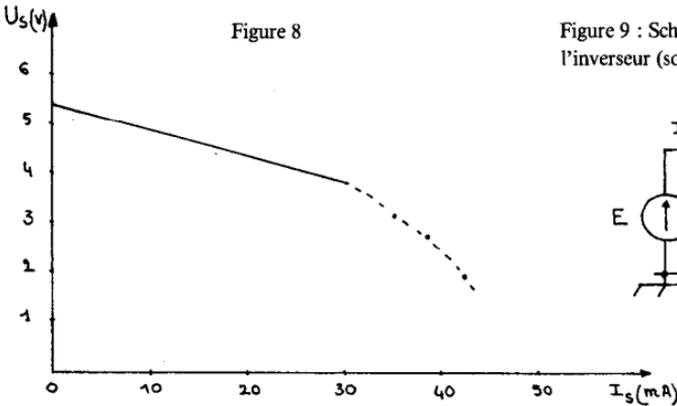
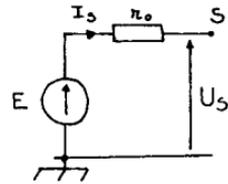


Figure 8

Figure 9 : Schéma équivalent de l'inverseur (sortie à l'état haut).



2.5. Caractéristique de sortie  $U_s(I_s)$ , avec la sortie à l'état bas

Montage de la figure 10, autour de la porte C.

$I_s$ (mA)	2	4	6	7	8	10
$U_s$ (V)	0,07	1,5	2,2	2,5	2,9	3,6

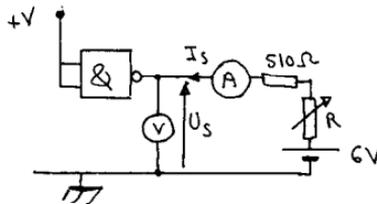
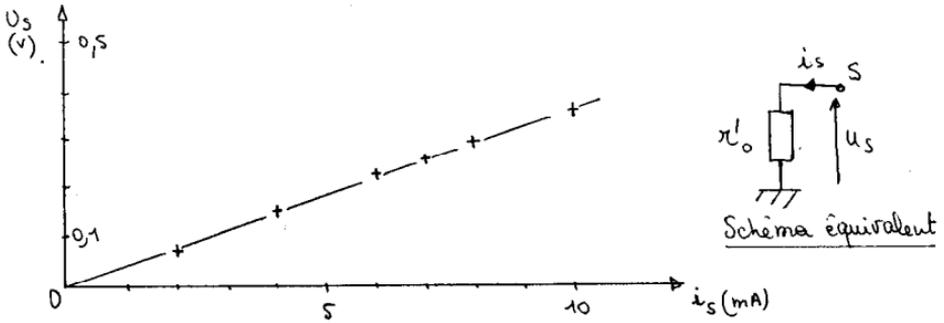


Figure 10



La courbe tracée permet de constater que l'inverseur se comporte dans ce cas comme un conducteur ohmique de résistance :

$$r'_0 = \frac{0,3}{8} \cdot 10^3 = 37,5 \Omega$$

Ces deux dernières séries de mesure et les deux rôles de l'inverseur ainsi soulignés, peuvent être utilisés pour expliquer le sens du courant lors du fonctionnement du multivibrateur astable. On peut en effet s'attendre encore aux mêmes questions pertinentes qu'avec l'A.Op : « Mais ce courant, d'où il vient ? » ; ou bien « Et ce courant, après, où il va ? ».

Le fait qu'un inverseur soit tantôt générateur lorsque l'autre est conducteur ohmique, vu l'alternance d'états de leur sortie, le fait aussi que le courant d'entrée soit à peu près nul et qu'il existe la polarisation du composant entre zéro volt et +V, permettent de suivre le sens du courant comme sur la figure 11, pour la charge du condensateur par exemple. Pour la décharge, il suffit d'échanger les rôles des portes et de flécher l'intensité dans l'autre sens.

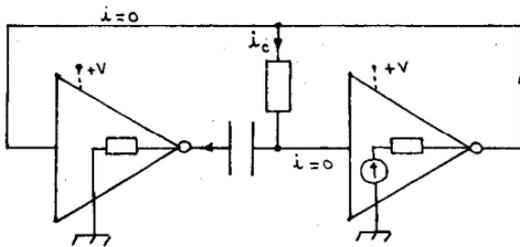


Figure 11

## 2.6. Autres utilisations des portes C et D

On vérifierait aisément avec ces plaques le fonctionnement d'une bascule monostable et celui d'une bascule bistable.

## 2.7. Le multivibrateur astable

Avec le circuit préparé autour des portes A et B : en plus de l'étude simple des tensions et de la période en fonction de la résistance R et de la capacité C, on peut réaliser les mêmes essais qu'avec d'autres modèles de plaques équivalents.

### a) Réglage du rapport cyclique des créneaux (figure 12) :

$$\alpha = \frac{t_1}{T}$$

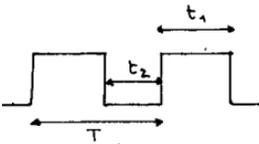
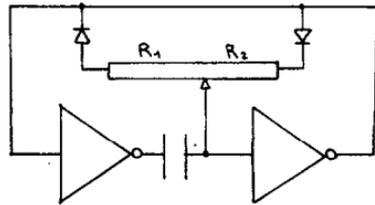


Figure 12



La charge s'effectue à travers  $R_1$  et la décharge à travers  $R_2$  ; leurs durées  $t_1$  et  $t_2$  sont inégales et réglables par la position du curseur de ( $R_1$ ,  $R_2$ ).

b) Expériences utilisant la facilité de réglage de la période : à partir du montage de base, la plaque permet de remplacer la résistance R, par une résistance variable  $R'$  en série avec une résistance talon  $r'$  (figure 13).

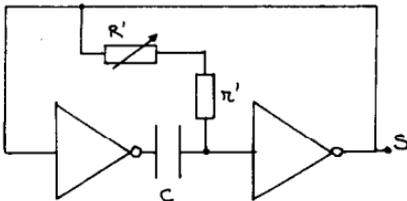


Figure 13

Avec  $r' = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 0,1 \mu\text{F}$ ,  $R'$  étant une boîte à décades utilisée sur la gamme  $\times 1000$ , on va pouvoir générer une fréquence audible capable d'exciter un haut-parleur ; on jouera diverses notes sur le rythme de son choix en modifiant  $R'$ ... Toutefois, le courant en sortie serait trop faible pour le haut-parleur ; voici un exemple (figure 14) d'amplificateur rudimentaire, mais qui donne de bons résultats avec cette forme de signaux oscillant entre zéro volt et  $+V$ .

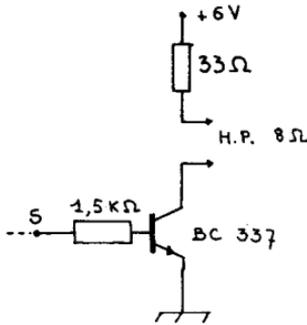
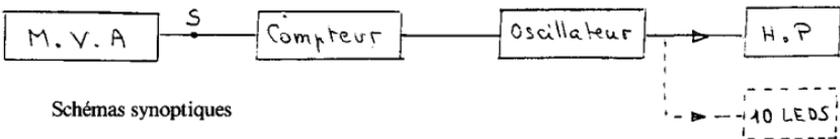


Figure 14

En remplaçant la boîte à décades par une C.T.N. ou par une photorésistance, ce montage produit un effet de sirène, selon la température ou l'éclairement.

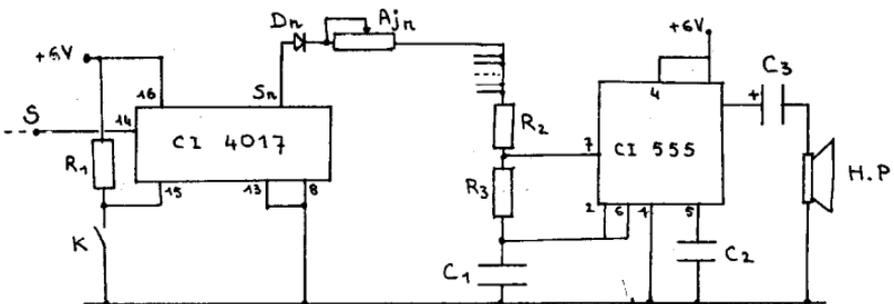
### 3. RÔLE D'UN MULTIVIBRATEUR ASTABLE DANS UNE CHAÎNE ÉLECTRONIQUE

Il peut paraître intéressant de montrer le véritable rôle d'un M.V.A., qui constitue une horloge, donc impose la cadence de déroulement d'une série d'opérations. Voici dans ce but deux montages simples, utilisant, il est vrai, des composants non connus des élèves, mais qui illustrent facilement le sujet. Le premier montage consiste à obtenir une séquence musicale répétitive, le second une séquence lumineuse par des LEDS.



Schémas synoptiques

#### a) Schéma théorique du montage avec haut parleur :



S est la sortie du multivibrateur astable, de fréquence voisine de 1 Hz.

C<sub>3</sub> est facultatif, il n'y a pas, en général de composante continue à la sortie du 555.

Liste des composants :

$R_1$  : 10 k $\Omega$  ;  $R_2$  : 10 k $\Omega$  ;  $R_3$  : 22 k $\Omega$ .

$AJ_n$  : 9 résistances ajustables de 100 k $\Omega$ .

$D_n$  : 9 diodes type 4148.

$C_1$  : 22 nF non polarisée ;  $C_2$  : 10 nF non polarisé ;  $C_3$  : 47  $\mu$ F chimique.

**Remarque :** Pour la sortie  $S_0$ , on a ce détail de montage, différent de ce qui est représenté sur le schéma théorique pour les autres sorties notées  $S_n$ .

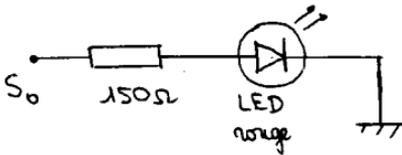
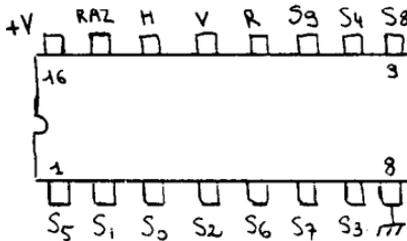


Figure 15

Brochage du C.I. 4017 :



- La broche 12 notée «R» n'est pas utilisée dans ce montage.
- «V» pour la broche 13 signifie «validation» ; elle est ici reliée à la masse.

#### b) Fonctionnement du C.I. 4017 dans ce montage :

Sa broche 14 («entrée d'horloge» H) est reliée à la sortie S du multivibrateur astable. Chaque fois que la tension appliquée à cette broche passe brusquement de zéro volt à +V, l'une des sorties notées de  $S_0$  à  $S_9$  subit la même variation de tension, tandis que la sortie de rang précédent repasse à zéro volt ; ce comptage reprend et se répète tant que la broche 15 (RAZ) est elle-même à zéro volt ; pour l'interrompre, il faut remettre cette broche à +V.

La figure 16 montre les chronogrammes en coïncidence de temps pour les broches 14, 3, 2, 4 ; il est facile de continuer pour les autres sorties.

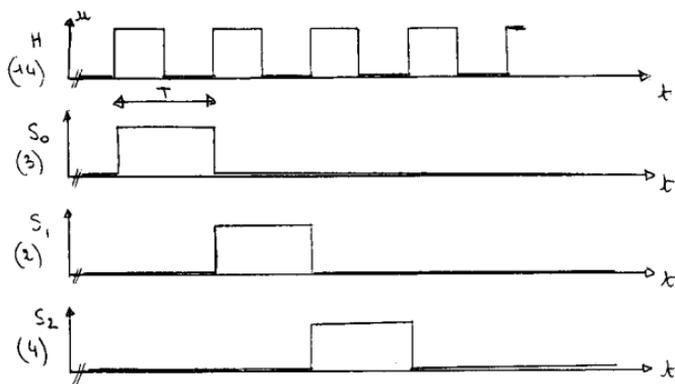


Figure 16

La durée  $T$  d'un niveau de tension  $+V$  sur une sortie est donc égale à la période du multivibrateur astable qui commande la broche 14.

Ensuite, chaque sortie du compteur agit successivement sur un deuxième circuit intégré, le 555, dont le fonctionnement a été décrit en détail dans des précédents numéros du BUP. Ce circuit est monté lui aussi en multivibrateur astable ; mais on n'a pas repris le montage à inverseurs logiques, à cause du faible courant qu'il délivre (10 mA environ) alors que le 555 fournit jusqu'à 200 mA et permet donc d'exciter un haut-parleur sans autre amplification.

La période du nouveau multivibrateur astable est donnée par la formule  $T' = 0,7 (R_a + R_2 + 2R_3) C_1$ ,  $R_a$  désignant la résistance d'un ajustable  $AJ_n$  ; un train d'oscillations de période  $T'$  réglable se produit donc chaque fois qu'une sortie du compteur 4017 se trouve au potentiel  $+V$  ; le haut-parleur émet alors des notes de fréquences diverses, chacune pendant la durée  $T$ . Ainsi, il faut que  $T'$  corresponde à des fréquences audibles, et que  $T$  soit de l'ordre de la seconde. Le montage du multivibrateur-horloge est celui de la figure 13 avec pour valeurs :  $r' = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 0,3 \mu\text{F}$  et  $R'$  variable fournie par un potentiomètre de  $1 \text{ M}\Omega$ .

On fait débiter le déroulement de la série de notes en fermant  $K$ , on l'arrête par l'ouverture de ce dernier.

Pour signaler chaque reprise de la séquence des notes, la sortie  $S_0$  n'est pas utilisée comme les autres ; elle est seulement suivie d'une LED (figure 15). Il faut régler les ajustables pour obtenir une succession de notes agréables à entendre.

c) **Réalisation** : l'ensemble (compteur, oscillateur) tient sur un circuit imprimé de 17 cm × 8,5 cm (figure 17). Les bornes ont été directement placées sur les grosses pastilles.

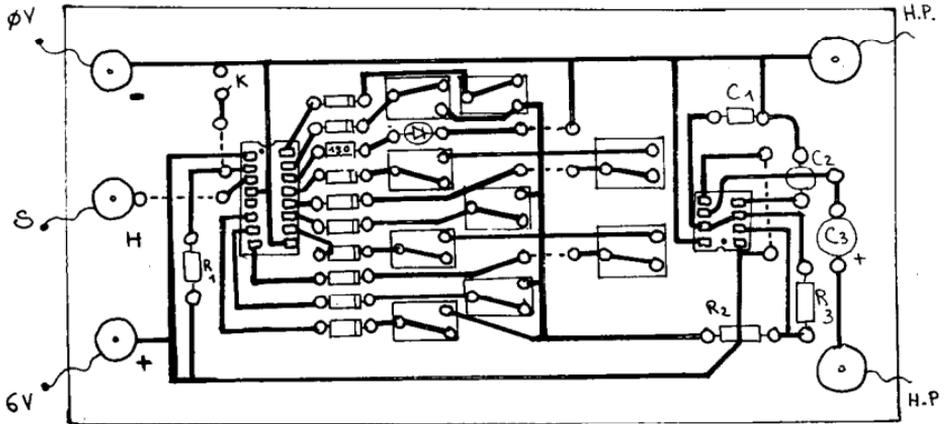


Figure 17 : Tracé vu du côté cuivre.

d) **Animation de la séquence lumineuse :**

Sur le même principe, les sorties successives du compteur 4017 allument des LEDS, selon un ordre déterminé par leur montage (figure 18).

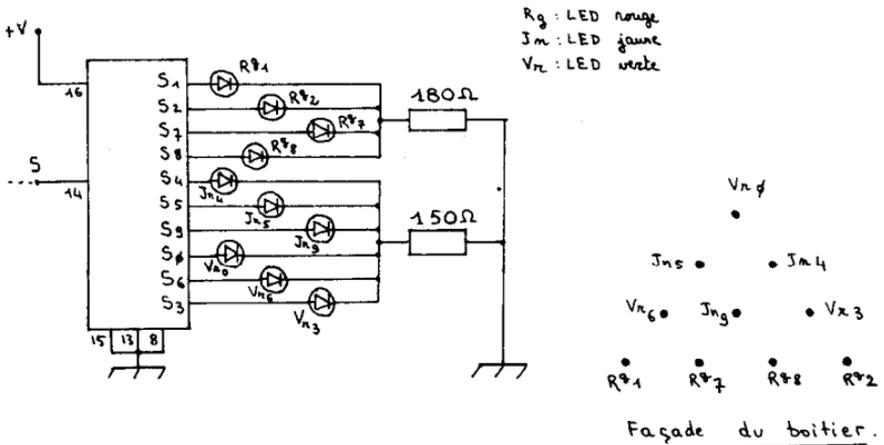


Figure 18

La broche 15 étant toujours à zéro volt, l'enchaînement commence dès la mise sous tension et se répète jusqu'à la suppression de cette tension.

Le circuit imprimé est enfermé dans un boîtier, pour qu'on ne voit que les leds formant un motif sur le couvercle. Bien que le courant en sortie du 4017 soit faible, les leds allumées se voient bien de la classe, pourvu qu'on fasse un peu d'obscurité.

#### 4. CONSTRUCTION DU SCHÉMA DU MULTIVIBRATEUR, À L'AIDE DU RÉTROPROJECTEUR.

On peut essayer de retrouver le montage habituel en raisonnant à partir du but recherché et en utilisant deux acquis :

**but** : obtenir une tension en créneaux, égale tantôt à  $+V$  (ou  $+\xi$ ), tantôt à zéro volt ;

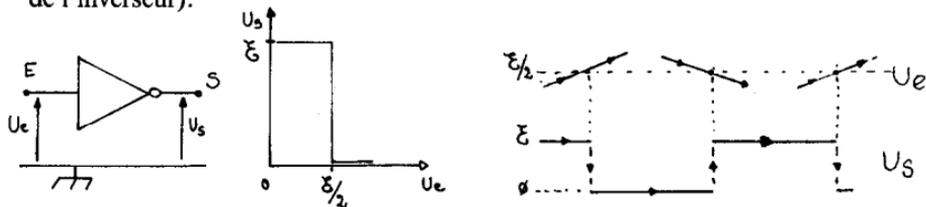
– premier acquis : la forme exponentielle de la tension aux bornes d'un condensateur que l'on charge et décharge à travers une résistance, sous tension constante.

– deuxième acquis : la table de vérité d'un inverseur logique.

Une succession de transparents présentés au rétroprojecteur peuvent aider à cette construction. (figure 19).

##### 4.1. Origine de la tension en créneaux, notée par avance $U_s$

Elle pourrait être celle de sortie d'un inverseur logique dont l'entrée subirait des variations de tension  $U_e$ , autour de la tension de basculement, qu'on va supposer égale à  $\frac{\xi}{2}$  pour simplifier ( $\xi$  est la tension de polarisation de l'inverseur).



##### 4.2. Problème à résoudre

Trouver une commande d'évolution de  $U_e$  ; on pense à des signaux triangulaires, mais on les obtient à partir d'un appareil déjà construit ; si on veut utiliser des notions simples et bien connues des élèves, on peut s'orienter vers les signaux de charge et décharge d'un condensateur dans les conditions signalées ci-dessus.

##### 4.3. Succession des montages

\* **Transparent 0** (il servira de fond) : on place les composants initialement prévus, on définit  $U_e$  et  $U_s$ .

\* **Transparent 1** (à partir d'ici, chaque transparent cité se superpose au n° 0, successivement ; le précédent est retiré).

Supposons d'abord le condensateur non chargé ;  $U_c = 0$ , d'où  $U_s = \xi$ , donc l'inverseur se comporte comme un générateur et on peut s'en servir pour charger C à travers R.

Ainsi  $U_c$  augmente et atteint  $\frac{\xi}{2}$  ;  $U_s$  passe à zéro volt : le condensateur va se décharger, puisque A reste connecté à S, mais  $U_c$ , diminuant, ne pourra plus repasser par  $\frac{\xi}{2}$ , donc il n'y aura plus de basculement de S... il faut améliorer le dispositif.

\* **Transparent 2** (superposé directement au transparent 0). Pour que  $U_c$  repasse par  $\frac{\xi}{2}$  en diminuant, il faudrait qu'elle lui soit supérieure, donc qu'elle ait été brusquement augmentée à la fin de l'étape précédente : on va faire intervenir le potentiel de B puisque toute augmentation instantanée de ce dernier se répercute sur le potentiel de A ( $U_c$  ne pouvant varier instantanément). Pour simplifier, mettons B à  $+\xi$ ,  $U_c$  devient égal à  $\frac{\xi}{2} + \xi$  ; par décharge de C, cette tension peut repasser à  $\xi/2$  en diminuant, d'où faire basculer de nouveau l'inverseur.

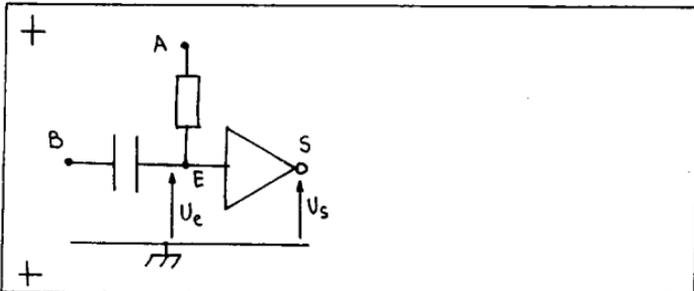
\* **Transparent 3** (sur 0) : le condensateur se charge de nouveau.

Maintenant, nous devons trouver un procédé pour avoir automatiquement et de façon répétitive le tableau de tensions suivant :

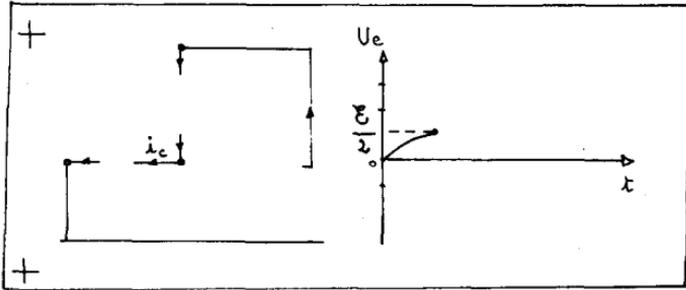
$V_A = V_S$	$V_B$
$\xi$	0
0	$\xi$
etc...	

On voit que si B était la sortie d'un inverseur logique, la première colonne décrirait son entrée ; en quelque sorte, on a formé la table de vérité d'un deuxième inverseur, dont on va relier l'entrée à A ; B sera sa sortie.

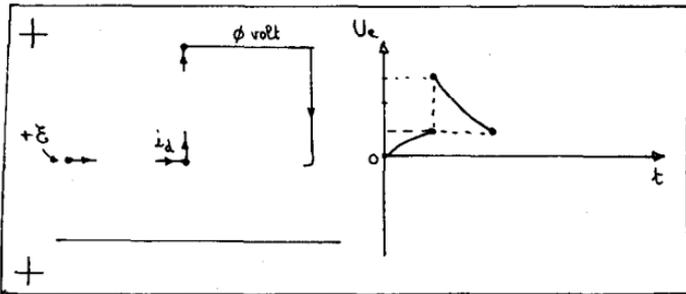
\* **Transparent 4** (sur 0) : l'ensemble a pris l'aspect du montage connu, transformons un peu les notations. Vu leur place dans le schéma, le premier inverseur de notre raisonnement est indicé 2 et le second, 1.



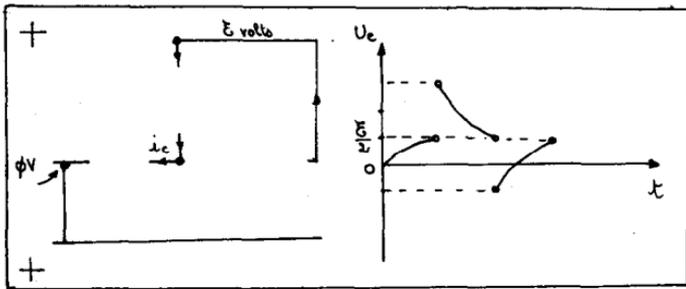
Tr.  $\phi$



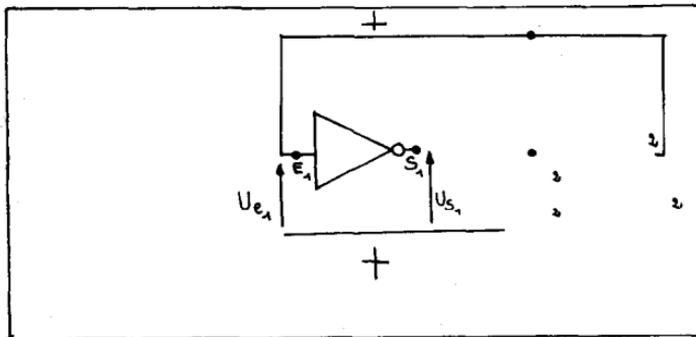
Tr. 1



Tr. 2



Tr. 3



Tr. 4

(faire coïncider les croix de superposition)

Figure 19 : Des couleurs différentes rendent la méthode plus efficace.