

## Une progression pour l'étude du multivibrateur astable en Terminale C

Marcel MANCINI

Lycée I. Dauphin, 84300 Cavaillon

*La difficulté essentielle dans la présentation de cette leçon n'est pas, à mon sens, de nature conceptuelle, mais se situe sur le plan pédagogique. Elle réside, je crois, dans le fait qu'il faut avoir en permanence en mémoire l'essentiel des résultats successifs des déductions opérées de manière progressive, et il importe donc de trouver un moyen permettant à l'auditoire de ne pas perdre le «fil» au cours des diverses investigations.*

*L'article qui suit n'a d'autre prétention que de présenter une méthode que j'ai expérimentée dans une classe de Terminale et qui diminue l'effort de concentration des élèves tout en les rendant très actifs.*

*Nous ne nous étendrons pas sur des points bien connus de tous et nous nous contenterons de donner le libellé du paragraphe dans ce cas.*

### 1. PORTES LOGIQUES ET, OU, NON-ET, NON

Cette étude fait partie du programme des classes de cinquième des collèges, on pourra concrétiser l'étude - car certains élèves n'en ont jamais entendu parler auparavant - par l'introduction de modèles avec interrupteurs (figure 1).

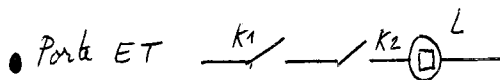
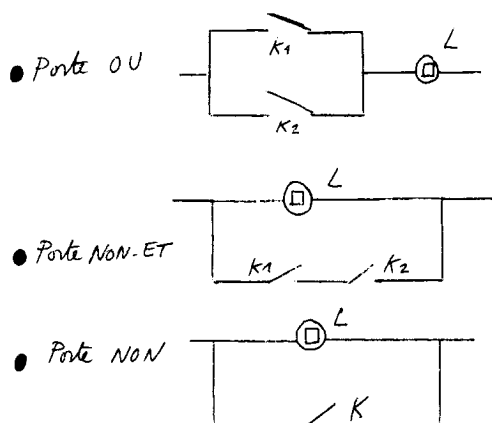


Figure 1



Au niveau du collège, les modèles avec interrupteurs se limitent aux portes ET et OU.

On confectionne sans peine les tables de vérité correspondantes.

## 2. CARACTÉRISTIQUE DE TRANSFERT D'UN INVERSEUR NON

L'étude expérimentale peut être faite au multimètre ou à l'oscilloscope. La caractéristique réelle n'est pas très éloignée de la caractéristique idéalisée (SN 74 HCOO N) (figure 2).

$v_s$  : tension de sortie

$v_E$  : tension d'entrée

L'ensemble peut être alimenté par une pile de 4,5 V

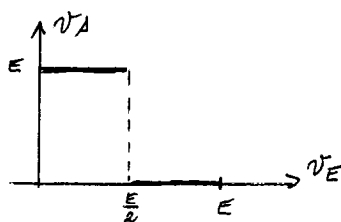


Figure 2

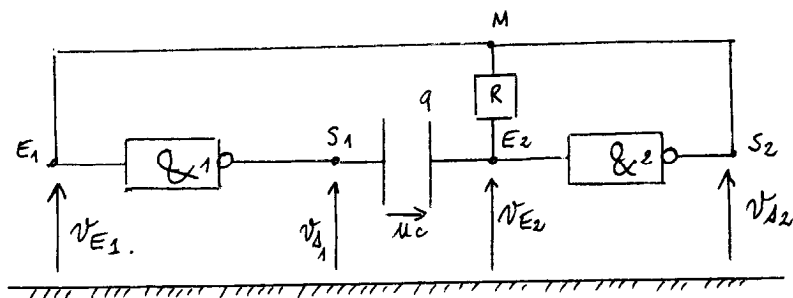
### 3. CHARGE D'UN CONDENSATEUR À TRAVERS UNE RÉSISTANCE

Voir à ce sujet la fiche «Multivibrateur astable» élaborée par l'Inspection Générale ou l'article de M. MOREAU dans le B.U.P. n° 719 - page 1439.

Expérience classique de visualisation de la tension  $u_c$  aux bornes du condensateur à l'oscilloscope. Continuité de  $u_c$  (ou de la charge  $q$  du condensateur).

#### 4. ASTABILITÉ DU SYSTÈME ÉTUDIÉ ET CONFECTION D'UN TABLEAU PORTANT $v_{s2}$ , $v_{E2}$ , $v_{s1}$ , $u_c$ ET $v_{E1}$ À DIVERS INSTANTS

Rappelons le croquis du montage.



### Figure 3

Au lieu d'étudier, avec de longs développements, les deux premiers basculements successifs des inverseurs NON... etc. et de faire à la fin de la leçon un tableau récapitulatif, on n'étudie que le premier basculement et on dresse immédiatement un tableau qui sera rempli méthodiquement et que l'auditoire va avoir constamment sous les yeux.

Supposons qu'à  $t = 0$ ,  $v_{s2} = E$ . Donc  $v_{E1} = E$  aussi. Par suite  $v_{s1} = 0$  et  $v_{E2} \leq \frac{E}{2}$ . Comme  $u_c = v_{E2} - v_{s1}$ , on remarque que le condensateur est, dans le cas le plus général, partiellement chargé à  $t = 0$  ;  $u_c \leq \frac{E}{2}$  à cet instant.

A partir de  $t = 0$ , il va circuler un courant d'intensité  $i$  - le courant électrique descend le potentiel - de  $s_2$  vers  $E_2$  à travers la résistance  $R$ . La charge  $q$  du condensateur va donc augmenter, à partir de  $t = 0$  et corrélativement,  $v_{E_2}$  augmente également ... jusqu'à  $\frac{E}{2}$ , il y a alors basculement de l'inverseur 2 qui entraîne simultanément le basculement de l'inverseur 1.

Nous appellerons  $t_0$  (ne pas confondre avec  $t = 0$ ) l'instant précis où ces premiers basculements ont lieu,  $t_0^-$  l'instant qui les précède et  $t_0^+$  l'instant qui succède à ces basculements.

A ce stade, on distribue à la classe le tableau suivant dont toutes les cases sont vides. Seules figurent la ligne des dates de  $t = 0$  à  $t_0^+$  et la colonne des tensions  $v_{s2}$ ,  $v_{E2}$ ,  $v_{s1}$ ,  $u_c$  et  $v_{E1}$ .

**Remarque :** le problème de savoir pourquoi le système continue à évoluer après le basculement est certes intéressant pour le professeur, (cf. article de M. MOREAU déjà cité), mais devant les élèves, il n'est pas utile, je pense, de le soulever, et une attitude pragmatique s'impose.

Les élèves remplissent en général les quatre premières cases de  $v_{s2}$ , puis les quatre premières de  $v_{E1}$  et enfin les quatre premières de  $v_{s1}$ . Ensuite, c'est le tour des trois premières cases de la ligne  $v_{E2}$  et des mêmes cases de la ligne de  $u_c$ . Sont encore vides alors les quatrièmes cases de  $v_{E2}$  et de  $u_c$ . En demandant à l'auditoire laquelle de ces deux on pourrait remplir d'abord, c'est  $u_c$  qui est donnée (continuité de cette tension). La case  $v_{E2}$  sera telle que  $v_{E2} = \frac{E}{2} + E = \frac{3E}{2}$ . La colonne correspondant à  $t_0^+$  est entièrement remplie.

Le système va-t-il en rester là ? Observation du croquis du montage, qui figure sur la même feuille que le tableau distribué ainsi que la caractéristique de transfert d'un inverseur NON.

$v_{E2} > v_{s2}$ . Donc - d'après la règle des potentiels - un courant  $i$  va traverser  $R$  depuis  $E_2$  jusqu'à  $S_2$ . Ce faisant, le condensateur va se décharger et il le sera complètement quand  $v_{E2} = E$ . Mais  $v_{E2}$  continue à décroître et lorsque cette tension atteint  $\frac{E}{2}$ , c'est le début du second basculement dont la date sera appelée  $t_1$ .



On demande alors aux élèves de compléter la ligne des dates du tableau en mettant des pointillés entre  $t_{0+}$  et  $t_1$  ;  $t_{1-}$  sera l'instant qui précède le début du deuxième basculement.

A partir de là, les élèves se «débrouillent» d'eux-mêmes, l'astabilité du système étant acquise.

Il faut compter une dizaine de minutes, tous s'investissent, j'ai été surpris de constater que c'est parfois ceux qui réussissent le moins bien habituellement, qui trouvent les réponses plus rapidement que les autres. L'ambiance était celle d'une finale de jeu d'échecs !

On notera l'identité des états électriques de  $v_{s2}$  aux instants  $t_k -$  et  $t_k$ , de même pour toutes les autres tensions.

Les cases en traits gras correspondent aux discontinuités pour  $v_{E2}$ .

#### 5. PÉRIODICITÉ DES SIGNAUX ET TRACÉ DES COURBES $v_{s2}$ , $v_{E1}$ , $v_{s1}$ , $u_c$ et $v_{E2}$ EN FONCTION DU TEMPS

Observons notre tableau. Comme on retrouve à  $t_0$  et  $t_2$  les mêmes états pour tous les potentiels et tensions, a priori, il n'y a aucune raison pour que les durées  $\Delta t$  et passage de  $t_0$  à  $t_1$ , de  $t_1$  à  $t_2$ , etc... ne soient pas les mêmes. Les signaux sont périodiques.

La courbe  $v_{E2} = f(t)$  se déduira de  $u_c = v_{E2} - v_{s1} = h(t)$ .

#### 6. CALCUL DE LA PÉRIODE DANS LE CAS SIMPLE OÙ LA TENSION DE BASCULEMENT EST ÉGALE À $\frac{E}{2}$

Le calcul dans le cas général est hors de portée d'un élève de Terminale. On peut, par contre, obtenir le résultat en procédant simplement.

Le tableau confectionné, montre qu'à partir de  $t_0$ ,  $u_c$  varie de  $\frac{E}{2}$  à  $-\frac{E}{2}$ , puis entre  $-\frac{E}{2}$  et  $+\frac{E}{2}$  etc... Le basculement des inverseurs se

faisant de façon périodique, la charge ou la décharge du condensateur seront interrompues périodiquement.

Calculons la durée  $\Delta t$  pour que  $u_c$  passe de  $-\frac{E}{2}$  (à  $t_1$ ) à  $\frac{E}{2}$  (à  $t_2$ ).

D'après l'équation  $V_c = V_f - (V_f - V_i) e^{-\frac{t}{\tau}}$  avec  $\tau = R.C$ , dans laquelle  $V_f$  est la tension « d'attaque » supposée constante aux bornes du dipôle  $R, C$ ,  $V_i$  la tension initiale aux bornes du condensateur et  $V_c$  la tension aux bornes de ce dernier à un instant quelconque  $t$  et d'après

l'équation  $t_0 = \tau \ln \frac{V_f - V_i}{V_f - V_0}$  où  $t_0$  est le temps qu'il faut pour que

$V_0 = \frac{E}{2}$  et  $V_i = -\frac{E}{2}$ , on obtient  $t_0 = \tau \ln \frac{\left[ E - \left( -\frac{E}{2} \right) \right]}{\left( E - \frac{E}{2} \right)}$  soit  $t_0 = \tau \ln 3$ . Par

suite  $T = 2 \tau \ln 3$ .

La manipulation (en plus de tout ce qui a été étudié expérimentalement aux paragraphes 2. et 3.) viendra couronner les prévisions, sans oublier les applications pratiques.

## 7. CONCLUSION

L'analyse physique des phénomènes, ne doit pas être occultée, ici, comme ailleurs, par un traitement formel excessivement rigoureux qui ne peut que rebuter et démobiliser rapidement l'auditoire - et ce faisant - transformer cette leçon si vivante en repoussoir pour les élèves, ce qui serait bien regrettable.