

## **Amplificateur opérationnel :**

### **QUELQUES MONTAGES SIMPLES**

par E. de ZERBI

Lycée d'Estienne d'Orves, 06000 Nice

---

Voici quelques réalisations très faciles à reproduire, s'intégrant à notre programme de seconde I.E.S. et pouvant trouver des prolongements en Première et Terminale.

Ces montages viennent d'être utilisés en classe pour cette nouvelle leçon «Amplificateur opérationnel» et ils ont bien atteint leur but, en suscitant de façon satisfaisante l'intérêt des élèves.

Chaque montage est présenté en trois versions :

- un montage tout prêt, pour lequel les composants ont été soudés sur les circuits imprimés, et les bornes d'entrées et sorties montées directement sur ces mêmes circuits : ce type de montage, de petites dimensions, a pour but de maintenir présente à l'esprit l'échelle de l'électronique.
- du matériel de T.P. pour que les élèves reproduisent les montages en implantant les composants (montés sur supports) dans des douilles réparties sur des plaques de connexions, selon la méthode bien connue dans d'autres manipulations.
- un panneau-exemple, vertical, assez grand pour être vu de loin, de tracé analogue à celui des plaques de T.P., pour que le professeur puisse guider la recherche des élèves (Annexe 1).

D'autre part, il a été intéressant d'avoir pour le professeur, une alimentation à tensions symétriques réglables :

- en régime linéaire, elle a permis de montrer que l'amplification ne dépend pas de ces tensions, et, en régime de saturation, de mettre en évidence le rôle de ces tensions sur celle de la sortie.

## 1. COMPAREUR

### 1.1. Principe de cette manipulation

Après avoir présenté cette fonction de l'A.Op de la manière habituelle, c'est-à-dire en appliquant sur les entrées diverses tensions et constaté les deux états possibles de la sortie, on a proposé de remplacer ces générateurs à réglage manuel par un nouveau générateur qui allait assurer la commutation automatique de la sortie.

### 1.2. Le générateur

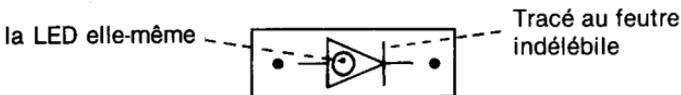
C'est un multivibrateur astable, construit à partir de deux portes Nand (Fig. 1). La période, donnée par la relation  $T \approx 2,2 R_2 \cdot C_1$ , est d'environ 1 seconde avec les composants utilisés. On obtient des signaux en créneaux dont la troisième porte améliore la forme. Ces trois portes sont incluses dans un circuit intégré de 14 broches, un 4011, de technologie CMOS (Fig. 2). La quatrième porte de ce composant, non utilisée, doit avoir alors ses entrées reliées à un niveau bien défini, pour un bon fonctionnement ; on a pris celui de la broche 7. Le pont diviseur  $R_3/R_4$  permet d'appliquer seulement 100 mV à l'entrée  $e^-$  du 741.

Ce générateur a été réalisé et utilisé sous deux formes principales : modèle à fréquence fixe et modèle à fréquence réglable (Annexe 2).

### 1.3. Expérience

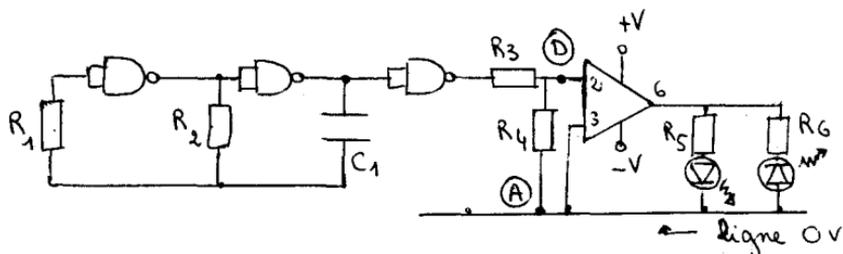
Ayant réalisé le montage comme sur la Figure 3, on voit les LED clignoter automatiquement.

Pour rattacher cette constatation à l'étude de l'amplificateur opérationnel en comparateur, les élèves analysent à l'oscilloscope la tension de sortie du générateur en créneaux TBF : on relie les plaques de déviation verticale à D et à la ligne OV ; selon les possibilités en vitesse de balayage de l'oscilloscope, on voit les créneaux, ou bien seulement le trait horizontal monter et descendre au-dessus et au-dessous de la ligne de tension nulle, au rythme du clignotement des LED. L'interprétation sur le basculement du niveau de la sortie de l'A.Op est immédiate. Il est intéressant de remarquer que les créneaux agissant sur l'entrée inverseuse  $e^-$ , la sortie de l'A.Op est «basse» pour un niveau «haut» de D, donc de  $e^-$  et inversement : cela se voit bien en cachant l'une des LED et en suivant le clignotement de l'autre par rapport aux montées et descentes de la trace sur l'écran (il est essentiel que le sens des diodes soit indiqué par un graphisme sur le porte-composant).



#### 1.4. Le montage à petite échelle

L'ensemble générateur et comparateur équipé des deux LED tient sur un seul circuit imprimé de  $8\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  ; il permet de rappeler les dimensions usuelles d'un montage d'électronique.



$R_1$  : 220 K $\Omega$  -  $R_2$  : 1 M $\Omega$  -  $R_3$  : 47 K $\Omega$  -  $R_4$  : 330  $\Omega$  -  $R_5$  et  $R_6$  : 330  $\Omega$  -  $C_1$  : 0,47  $\mu\text{F}/16\text{V}$ .

Fig. 1

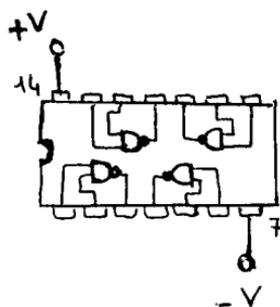


Fig. 2

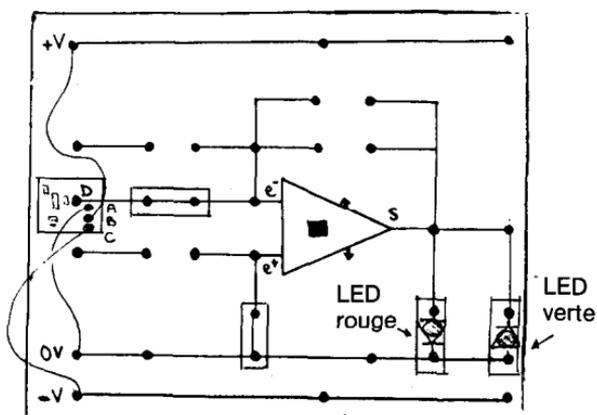


Fig. 3

Les LED sont placées tête-bêche ; leurs résistances de protection sont montées à l'arrière des porte-composants. Ce sont des LED doubles (diamètre 1 cm) dont une seule anode est utilisée. Elles ont l'avantage d'être très visibles de loin pour le panneau du professeur.

## 2. MONTAGE AMPLIFICATEUR : UTILISATION D'UN MICRO ELECTRET

### 2.1. But recherché

Un diapason, non muni de sa caisse de résonance, doit être tenu près de l'oreille pour être entendu. Puisque pour les élèves la notion d'amplificateur paraît, dans une première approche, liée à celle d'audition, on peut chercher à entendre de plus loin cette vibration du diapason en la captant, puis en l'amplifiant et en la réémettant.

### 2.2. Schéma de principe (Fig. 4)

- l'A.Op est monté en amplificateur inverseur ( $A = -100$ ).
- le condensateur de  $10 \mu\text{F}$  placé à la sortie filtre la tension d'offset amplifiée (composante continue). Le but étant didactique, des simplifications volontaires ont été faites dans «l'amplificateur de puissance» qui précède le haut-parleur (en particulier, pour en rendre la compréhension plus facile aux élèves, la contre-réaction n'a pas été prise sur les émetteurs des transistors comme on doit le faire normalement).

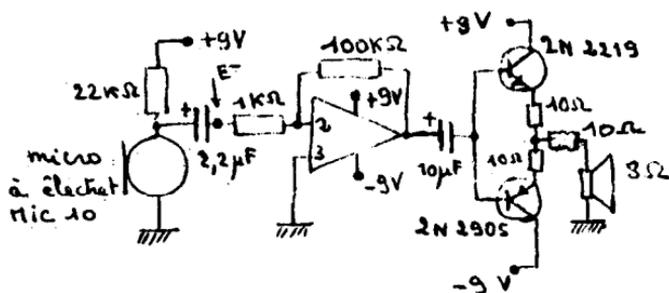


Fig. 4

### 2.3. La réalisation sur plaque de connexion

C'est toujours la même plaque, évidemment (Annexe 1).

Les élèves doivent avoir, de plus, le «module-micro», c'est-à-dire le circuit imprimé de la Fig. 5, sur un porte-composant de taille adaptée, le «module ampli de puissance» (Fig. 6) et un H.P. 8 Ω. Le montage est à faire comme sur la Fig. 7.

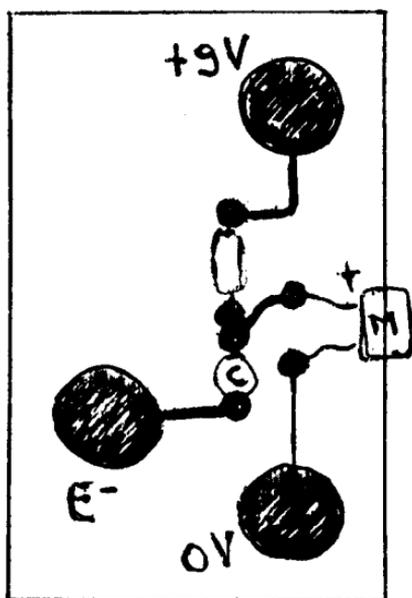


Fig. 5 (côté cuivre échelle 1)

Couleur des bornes :

«+9 V» : jaune

«0 V» : noire

«E<sup>-</sup>» : bleue

«E<sup>-</sup>», qui pourrait être aussi une fiche de panneau, est à brancher à l'entrée d'une des deux lignes bleues (voir Fig. 7).

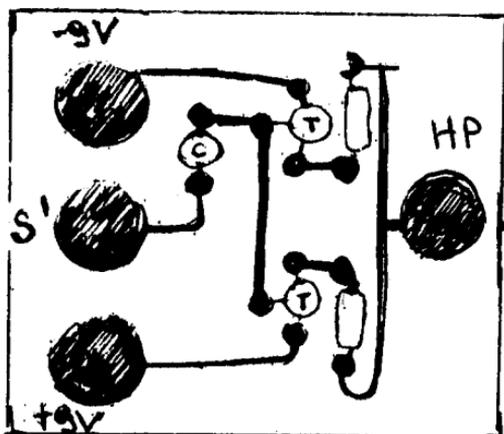


Fig. 6

- La borne S' (verte) est à brancher à la borne de sortie de l'A.Op.
- Les bornes «-9 V» et «+9 V» jaunes sont reliées à l'alimentation symétrique.
- le haut-parleur est connecté entre la borne H.P. (blanche) et une borne «0 V».

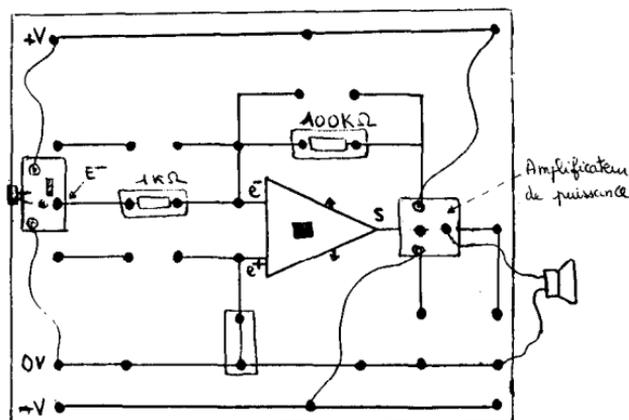


Fig. 7

Un diapason par binôme d'élèves serait souhaitable, mais on entend aussi bien dans le H.P. les murmures aigus puis graves, prononcés très près du micro, donc inaudibles sans ce dispositif. Les résultats sont convenables par rapport à la simplicité de la réalisation.

#### 2.4. Le montage tout prêt

Comme pour le cas précédent, les composants et les bornes sont soudés sur la plaque d'époxy du circuit imprimé. Son tracé est sur la Fig. 8.

L'équivalent de la plaque-élève et du panneau-exemple est entouré de blanc.

Le module "ampli de puissance" est sur une autre plaque (Fig. 6) car il peut être utilisé dans d'autres cas. Le haut-parleur vient d'accessoires d'automobile.

2.5. Ces ensembles sont intéressants pour l'étude des sons (1<sup>ère</sup>) : en branchant un oscillographe directement sur la sortie de l'A.Op, et en reprenant les essais ci-dessus, on met très bien en évidence les notions qualitatives de hauteur, d'intensité et de timbre.

Ces descriptions de réalisations et d'expériences pourront peut-être intéresser quelques collègues. Je remercie M. Moreau qui a eu l'obligeance de lire ces lignes et d'apporter des précisions utiles à leur aspect définitif.

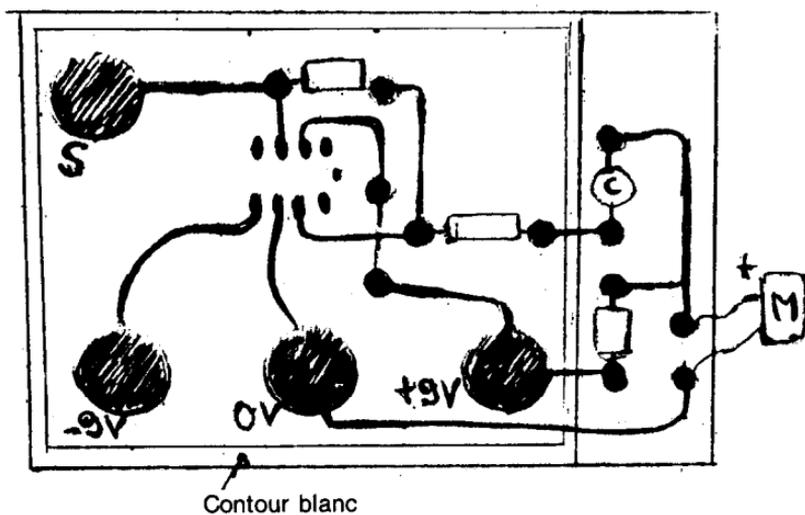


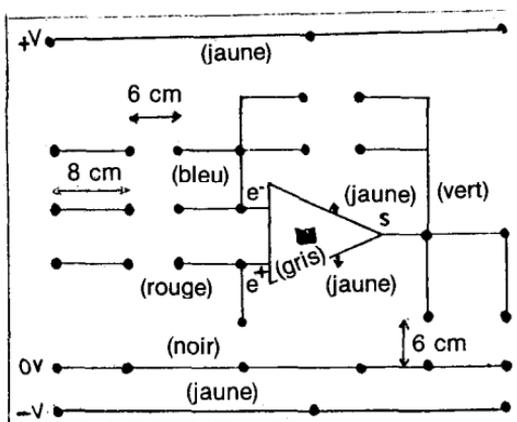
Fig. 8 (côté cuivre échelle 1)

Les couleurs des bornes sont les mêmes que celles des points de connexions du panneau ou de la plaque de T.P.:

«-9 V» et «+9 V»	: jaune
«0 V»	: noire
S	: verte

ANNEXE 1**PLAQUES DE CONNEXIONS**

**1 panneau** de démonstration pour le cours (il pourra être reproduit à échelle réduite pour les T.P.) : contreplaqué de 60 cm × 52 cm sur 5 mm d'épaisseur ; peint en blanc ; des bornes de diverses couleurs sont reliées entre elles sur la face arrière, le tracé correspondant est réalisé sur la face avant aux feutres indélébiles (ou à la peinture pour le gris) (Fig. 1). Il permet de faire les montages de Seconde et les montages intégrateur, dérivateur et oscillateurs pour Première et Terminale.

Fig. 1 - (échelle 1/10<sup>e</sup>)

L'A.O. 741 est fixé (par un porte-composant) sur un petit circuit imprimé (5 cm × 7 cm), ce dernier vissé derrière le panneau, de sorte que l'A.O. soit visible au centre du triangle par une fenêtre de 1,2 cm × 1,2 cm (Fig. 2 et 3).

Les barrettes porte-cavaliers et porte-composants sont réalisées dans des chutes de plastiques colorés, pour une identification plus facile de loin par les élèves, en évitant si possible les couleurs déjà utilisées pour le tracé.

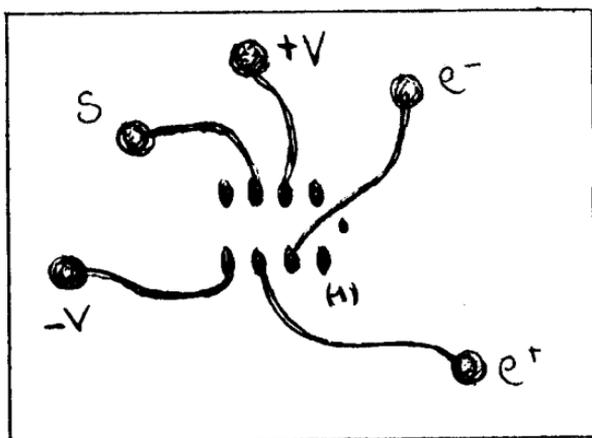


Fig. 2 (côté cuivre) échelle 1

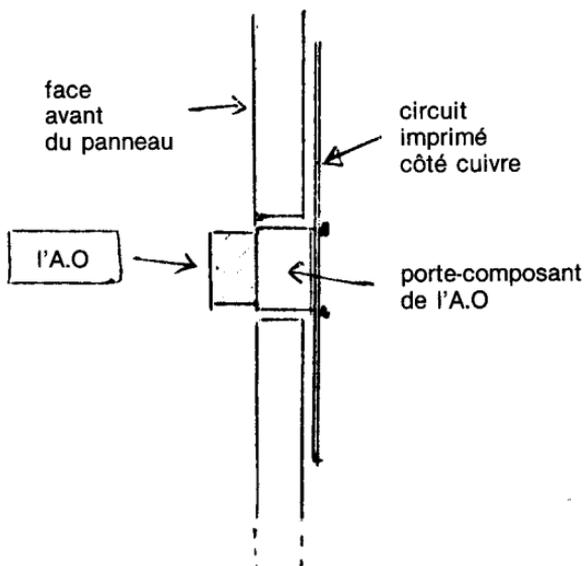


Fig. 3

ANNEXE 2**GENERATEUR TBF DE CRENEAUX****1. MODELE A FREQUENCE FIXE**

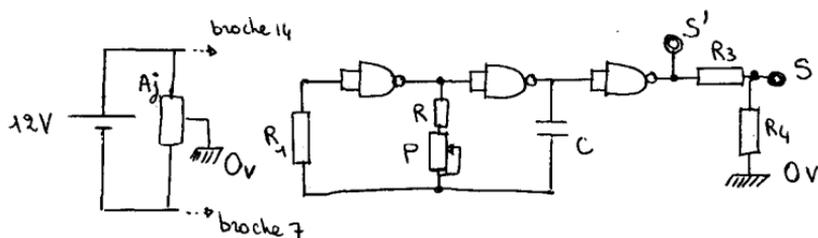
Il découle directement du schéma de principe ; les composants et les bornes sont placés sur un circuit imprimé  $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$  maximum, que l'on implante par une fiche de panneau correspondant au point D de la Fig. 1 dans une borne des lignes bleues (voir Fig. 3). Les bornes reliées aux broches 14 et 7 du circuit intégré 4011 sont jaunes puisque devant permettre l'alimentation par  $+V$  et  $-V$ . Une borne noire reliée au point A de la Fig. 1 est branchée à la ligne «zéro volt».

**2. MODELE A FREQUENCE VARIABLE**

On peut construire aussi un modèle un peu plus évolué, qui pourrait servir dans un T.P. sur l'oscillographe. Il suffit de remplacer  $R_2$  par une résistance et un potentiomètre en série, l'ensemble étant enfermé dans un petit boîtier duquel sortent les quatre bornes (deux jaunes, une noire, une bleue) et l'axe du potentiomètre. On peut également rendre ce générateur indépendant grâce à deux piles 9 V.

Voici un exemple parmi les résultats obtenus (il y a beaucoup d'autres possibilités) :  $R_2$  remplacée par un potentiomètre P de  $2,2\text{ M}\Omega$  linéaire, en série avec  $R = 10\text{ K}\Omega$ , et  $C_1$  valant  $1\ \mu\text{F}$  ont permis d'avoir des périodes comprises entre 20 ms et 5 s. La tension de sortie (100 mV crête à crête) est un peu faible pour l'étude à l'oscillographe ; il vaut mieux prévoir une borne S' avant le pont diviseur.

**Remarque :** On peut souhaiter alimenter ce générateur autrement - par exemple à partir du 12 V continu donné par des redresseurs de T.P. (modèle Jeulin par exemple). Il les faut à masse flottante. Voici le schéma d'un montage essayé dans ce but et les résultats obtenus. Le «zéro volt» est créé grâce à une résistance ajustable  $A_j$  montée en potentiomètre.



$A_j$  :  $220 \text{ k}\Omega$  ;  $R_1 = 2,2 \text{ M}\Omega$ ,  $R = 10 \text{ K}\Omega$  ;  $P$  :  $2,2 \text{ M}\Omega$  (A) ou  $1 \text{ M}$   
 $C$  : entre  $0,47 \mu\text{F}$  et  $1 \mu\text{F}$  ;  $R_3 = 15 \text{ K}\Omega$  ;  $R_4 = 330 \Omega$

Les fréquences obtenues permettent avec l'oscilloscope de T.P. :

- de voir le trait horizontal monter et descendre, avec les plus basses (d'où notion de tension variable).
- de visualiser le chronogramme de cette tension variable, avec les plus hautes fréquences.

Tensions mesurées (« crête à crête ») :  $U_{S'} \approx 11 \text{ V}$  et  $U_S \approx 0,2 \text{ V}$ .