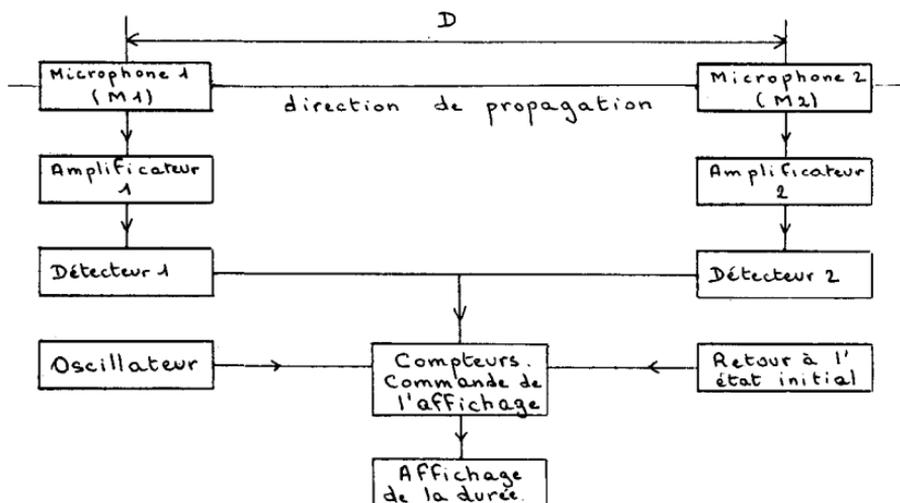


## Amplificateurs opérationnels et célérité d'un signal sonore

par Christophe HERNANDEZ  
Lycée de Montgeron, 91230 Montgeron

L'étude de l'amplificateur opérationnel récemment introduite dans les classes du second cycle, peut donner lieu à diverses réalisations. Dans ce cadre il est intéressant de rassembler quelques montages de base afin de rendre plus aisée l'approche expérimentale d'un phénomène. Ainsi le montage décrit ci-après permet-il une mesure rapide de la célérité d'un signal sonore.

Le schéma synoptique est le suivant :



Le signal atteignant M1 amplifié et détecté déclenche le fonctionnement du chronomètre constitué par l'oscillateur et l'ensemble de comptage et d'affichage. Les compteurs sont arrêtés par un processus similaire lorsque le signal arrive en M2.

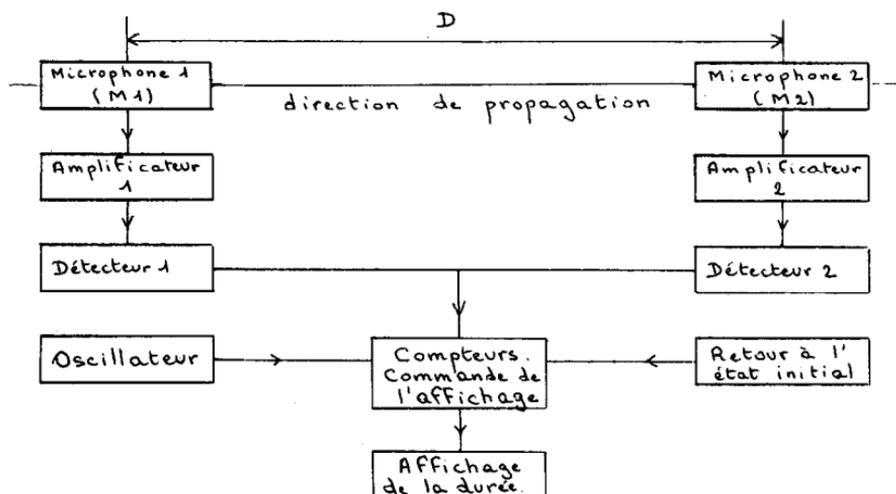
La durée de parcours affichée permet de calculer la célérité :  $c = D/T$ . Compte tenu de la nature du signal, T peut être connue à  $10^{-4}$  s près pour une distance de quelques mètres.

## Amplificateurs opérationnels et célérité d'un signal sonore

par Christophe HERNANDEZ  
Lycée de Montgeron, 91230 Montgeron

L'étude de l'amplificateur opérationnel récemment introduite dans les classes du second cycle, peut donner lieu à diverses réalisations. Dans ce cadre il est intéressant de rassembler quelques montages de base afin de rendre plus aisée l'approche expérimentale d'un phénomène. Ainsi le montage décrit ci-après permet-il une mesure rapide de la célérité d'un signal sonore.

Le schéma synoptique est le suivant :



Le signal atteignant M1 amplifié et détecté déclenche le fonctionnement du chronomètre constitué par l'oscillateur et l'ensemble de comptage et d'affichage. Les compteurs sont arrêtés par un processus similaire lorsque le signal arrive en M2.

La durée de parcours affichée permet de calculer la célérité :  $c = D/T$ . Compte tenu de la nature du signal, T peut être connue à  $10^{-4}$  s près pour une distance de quelques mètres.

Lorsque le signal atteint M1, il permet la transition de  $V_D$  vers l'état haut et simultanément de  $V_F$  vers l'état bas, la diode  $D_2$  limitant  $V_F$  à une valeur nulle.

L'amplificateur AO3 doit impérativement avoir une grande impédance d'entrée, aussi utilisera-t-on un AOP constitué d'entrées à transistors à effet de champ. Les quatre AOP pourront d'ailleurs être rassemblés en un seul circuit tel que le TL 084 (voir B.U.P. n° 687 p. 1336 pour le brochage).

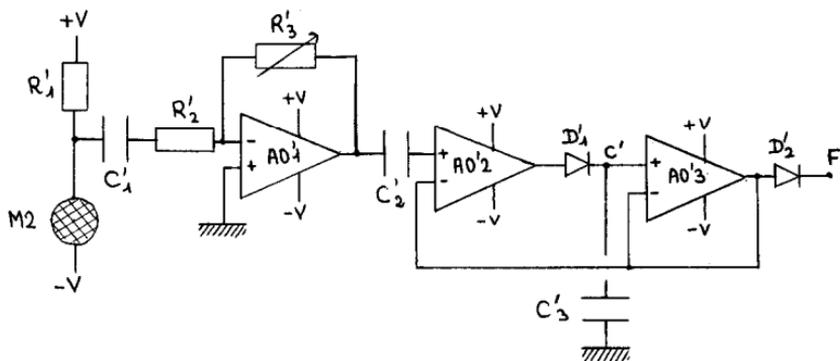
On pourra prendre  $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$  ;  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  ;  $R_3 = 1 \text{ M}\Omega$  (résistance ajustable) ;  $R_4 = R_5 = 1 \text{ k}\Omega$  ;  $C_1 = C_2 = 10 \text{ nF}$ .

$C_3 = 1 \text{ nF}$  (afin d'obtenir une durée de charge inférieure à  $10^{-6}\text{s}$ ).

$C_3$  devra être de bonne qualité (diélectrique en polycarbonate ou mylar métallisé).

## 2. ARRÊT DU COMPTAGE

Un montage semblable à celui décrit au paragraphe précédent en omettant le deuxième comparateur permet de ramener le potentiel du point F à une valeur positive lorsque le signal atteint M2.



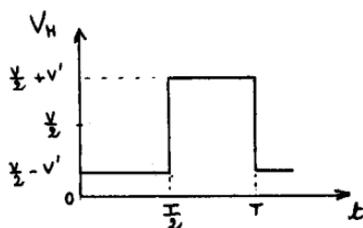
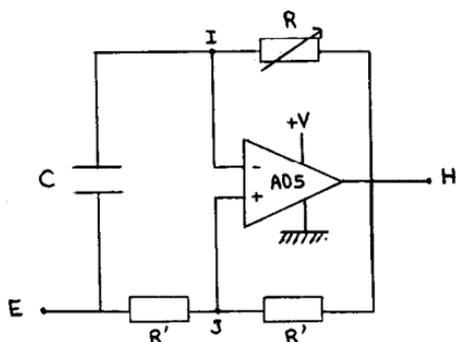
Les composants homologues auront les mêmes valeurs sauf pour  $R'_2$  qui devra être plus faible pour obtenir un plus grand gain, M2 étant plus éloigné de la source sonore que M1.

Notons aussi que M1 et M2, sensibles à l'environnement devront être reliés au montage par du fil blindé.

### 3. LE CHRONOMÈTRE

#### 3.1. L'oscillateur

Les compteurs avancent au rythme des impulsions délivrées par l'oscillateur. Celui-ci est conçu à partir d'un amplificateur opérationnel monté en multivibrateur et présente une bonne stabilité en fréquence.



Le potentiel de référence est celui du point E :  $\frac{V}{2}$ .  $V_H$  peut donc prendre les valeurs  $\frac{V}{2} + V'$  ou  $\frac{V}{2} - V'$ , AO5 comparant  $V_I$  et  $V_J$ .

Pour  $V_H$  minimale le condensateur se décharge à travers R, le potentiel de I étant régi par l'équation différentielle :

$$\frac{dV_I}{dt} + \frac{1}{RC} V_I = \frac{1}{RC} \left( \frac{V}{2} - V' \right) \text{ dont la solution est } V_I = \frac{3}{2} V' e^{-\frac{t}{RC}} + \frac{V}{2} - V'$$

Un rapide calcul donne alors la période des oscillations :

$$T = 2 RC \ln 3.$$

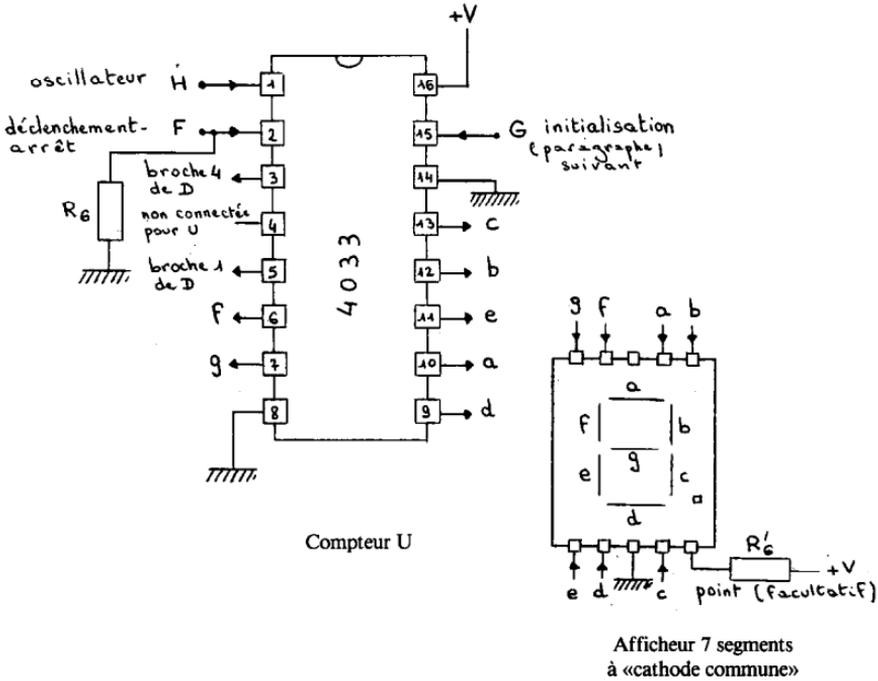
Ce résultat cependant est établi en supposant les tensions de butée symétriques et en négligeant l'effet du «slew rate».

En choisissant  $T = 10^{-4}$  s, on pourra prendre  $C \approx 50$  pF et  $R = 1$  M $\Omega$  (résistance ajustable à vis), la période étant ajustée de façon précise à l'oscilloscope.

#### 3.2. L'ensemble de comptage et d'affichage

Il est réalisé simplement par l'utilisation d'un circuit numérique spécialisé : le 4033 à technologie MOS. On dispose d'un compteur noté U pour les unités ( $10^{-4}$  s) et d'un autre noté D pour les dizaines ( $10^{-3}$  s),

chaque compteur étant associé à un afficheur à diodes électroluminescentes. Un troisième ensemble compteur - afficheur peut être ajouté.



Les oscillations électriques sur la broche 5 de U ont une fréquence dix fois moins grande que celles de H et leur application sur la broche 1 de D permet l'affichage des dizaines.

Le branchement de la broche 3 de U sur la broche 4 de D et la mise à la masse de la broche 3 de D évite l'affichage des «zéros» non significatifs (ex : 00). Si un troisième compteur est utilisé c'est la borne 3 de ce dernier qui est mise à la masse.

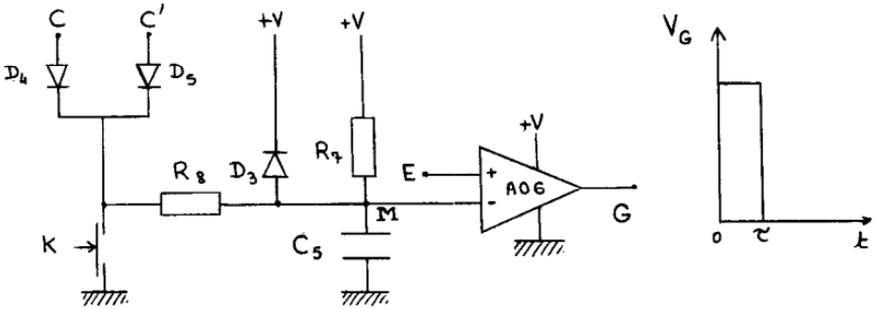
Pour que D fonctionne, sa broche 2 sera bien sûr ramenée à l'état bas.

Enfin  $R_6 \approx 1 \text{ M}\Omega$  stabilise le potentiel de F et si l'allumage du point est souhaitée sur un afficheur on pourra prendre  $R'_6 = 180 \Omega$ .

#### 4. INITIALISATION

Dès la mise sous tension ou avant une mesure, le système doit être initialisé par la remise à zéro des compteurs et la décharge de  $C_3$  et  $C'_3$ .

Pour les compteurs, une brève impulsion sur leurs broches 15 suffit à les conduire dans cet état :



Aussitôt le circuit activé, le condensateur  $C_5$  se charge à travers  $R_7$ . Tant que  $V_M$  reste inférieur à  $V_E = \frac{V}{2}$ , AO6 étant monté en comparateur,  $V_G$  est maximal.  $V_G$  passe rapidement à un état bas en une durée  $\tau$  telle que :

$$\frac{V}{2} = V \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{R_7 C_5}} \right)$$

soit  $\tau = R_7 C_5 \ln 2$ . Avec  $R_7 = 100 \text{ k}\Omega$  et  $C_5 = 10 \text{ nF}$  elle est de  $6.10^{-5} \text{ s}$ .

Pour effectuer une nouvelle mesure on décharge  $C_5$  via  $R_8$  par l'intermédiaire de l'interrupteur  $K$  et quand  $C_3$  et  $C'_3$  se sont déchargés à travers les diodes  $D_4$  et  $D_5$ , le phénomène décrit ci-dessus se reproduit et initialise les compteurs.

La diode  $D_3$  permet lors de la mise hors tension la décharge de  $C_3$ ,  $C'_3$  et  $C_5$ .

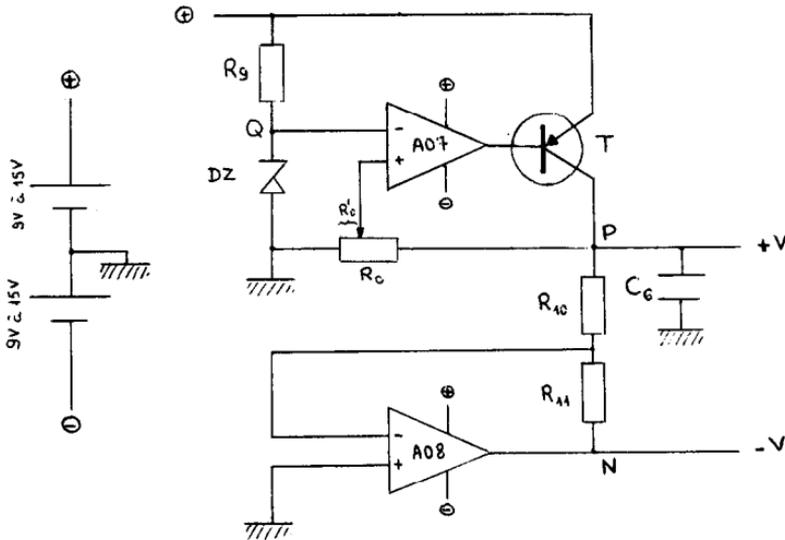
**Remarque :** AO5 et AO6, référencés à la masse du montage, pourront être rassemblés en un seul circuit tel que le LM 1458 ou le TL 082. (Brochage : voir B.U.P. n° 687 p. 1270). On pourra prendre  $R_8 = 2,2 \text{ k}\Omega$ .

## 5. ALIMENTATION

L'alimentation de l'ensemble doit être symétrique en tension et la plus stable possible. Elle comporte une partie négative fournissant un courant d'environ 50 mA, continu, et une partie positive qui pourvoit à la consommation de l'affichage et délivre de ce fait un courant voisin de 400 mA mais rapidement variable.

Une solution simple consiste à utiliser des circuits spécialisés dans la régulation des tensions (voir par exemple B.U.P. n° 697, p. 1011).

Pour être conforme à l'esprit du montage, on peut cependant associer des AOP selon la description suivante :



Le résistor  $R_9$  limite le courant traversant la diode Zener DZ qui stabilise le potentiel de Q. AO7 fonctionnant en régime linéaire, on voit aisément que  $V_P = V_Q \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_10}$ .  $V_P$  constitue de ce fait un potentiel réglable au-delà de  $V_Q$ , stable quelque soit le courant délivré par le transistor T. Le condensateur  $C_6$  évite l'oscillation spontanée de  $V_P$ .

Puisque  $\frac{V_P}{V_P - V_N} = \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{11}}$ , si  $R_{10} = R_{11}$  on aura :

$$\frac{V_P}{V_P - V_N} = \frac{1}{2} \quad \text{d'où } V_N = -V_P = -V$$

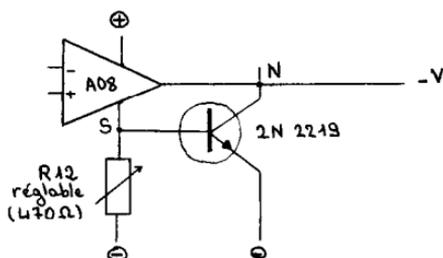
AO8 réalisant une tension parfaitement symétrique.

DZ aura une tension de Zener de 5,3 V qui présente un minimum de dérive thermique. On prendra  $R_9 = 2,2 \text{ k}\Omega$  ;  
 $R_{10} = R_{11} = 22 \text{ k}\Omega$  ;  $R_0 = 1 \text{ M}\Omega$  (potentiomètre) et  $C_6 = 10 \mu\text{F}$ .

T, transistor PNP doit supporter une intensité voisine de 0,5 A. On choisira par exemple le 2N 2905.

AO7 peut être un classique  $\mu A$  741, quant à AO8 sa puissance de sortie devra atteindre 1 W, puissance disponible avec un  $\mu A$  759.

A défaut, on pourra utiliser pour AO8 un  $\mu A$  741 en dérivant une partie du courant par l'intermédiaire d'un transistor NPN :



Lorsque le courant d'alimentation de AO8 qui transite par  $R_{12}$  devient trop important, le potentiel de S alors croissant, appliqué à la base du transistor permet une conduction suffisante de celui-ci.

## 6. CONCLUSION

Pour obtenir de bons résultats, le signal sonore doit avoir une forme simple et la plus nette possible, celle par exemple que l'on obtient lors du choc de deux masses métalliques.

En classe de seconde les élèves pourront difficilement faute de temps, appréhender l'ensemble du montage si ce n'est par une description qualitative. On pourra choisir de privilégier l'étude d'une seule partie ou plus par une répartition des tâches, le professeur présentant l'ensemble complet obtenu sur plaque d'étude ou en circuit imprimé.

Le système pourrait compléter utilement la collection de matériel de l'établissement, et pour l'élève de première S qui verra sa mise en œuvre en cours ou en TP après y avoir participé même de façon partielle, cette réalisation devrait être source d'intérêt.