

UTILISATION DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL

par B. FAGOT.

A) INDICATIONS PRATIQUES

I. CHOIX DE L'AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL.

Le fonctionnement des montages utilisant l'A.O. sera étudié en se référant au modèle de l'amplificateur opérationnel idéalisé (dit parfait).

Amplification infinie, d'où :

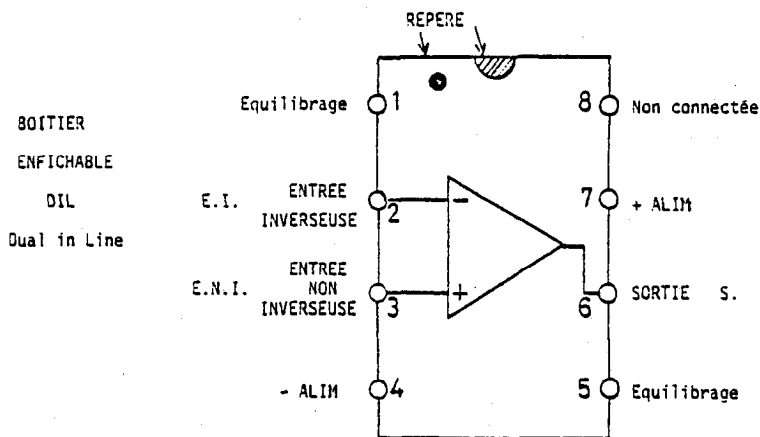
En régime linéaire : $U_{E+} = U_{E-}$.

En régime saturé : $(U_{E+} \neq U_{E-})$, $U_S \simeq +U_{AL}$ ou $-U_{AL}$.

Résistances d'entrée infinies d'où $I_+ = I_- = 0$.

Résistance de sortie nulle.

Dans ces conditions, tous les A.O. devraient être équivalents. Ce n'est pas tout à fait exact : certains se rapprochent davantage du modèle idéal et c'est pourquoi nous proposons de choisir un A.O. dont les entrées soient constituées en utilisant des transistors à effet de champ (JFET ou BIFET) et, dans cette famille le TL 081 ou le TL 071 ou le LM 351.



Caractéristiques principales :

Amplification en tension A : de l'ordre de $3 \cdot 10^5$ en continu.

Impédance d'entrée : de l'ordre de $10^{12} \Omega$.

Tension d'alimentation maximale : ± 18 V.

La sortie est protégée contre les court-circuits par limitation de l'intensité du courant de sortie qui ne peut dépasser une valeur maximale I_{max} de l'ordre de 20 mA.

Avec une alimentation ± 15 V, la puissance maximale fournie est donc :

- en continu : de l'ordre de 300 mW,
- en alternatif : de l'ordre de 150 mW.

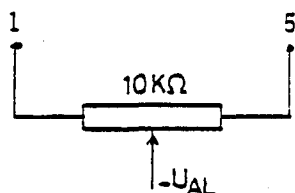
Pour assurer la stabilité de leur fonctionnement, ces A.O. sont compensés en fréquence : le produit gain-bande est constant, de l'ordre de 3 MHz ; si le gain d'un montage amplificateur est de 100, la fréquence de coupure sera de l'ordre de 30 kHz. Elle ne sera plus que de 3 kHz si le gain est de 1 000.

Tension de décalage à l'entrée :

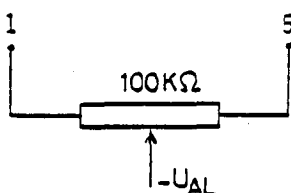
Les transistors d'entrée de l'A.O., même réalisés en technique intégrée, ne sont jamais identiques. Il en résulte, lorsque l'A.O. est alimenté, une tension de décalage à l'entrée (dite aussi tension d'offset) variable avec chaque A.O., de l'ordre de quelques mV, et dépendant de la température.

Des dispositifs extérieurs de correction sont prévus par les constructeurs en utilisant les deux bornes d'équilibrage.

Pour le 351 :



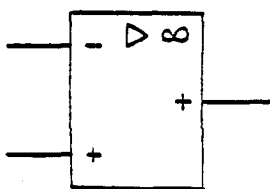
Pour le 081 ou le 071 :



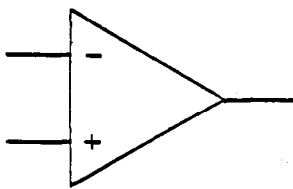
1 et 5 : bornes d'équilibrage de l'A.O.

Schématisation de l'A.O. :

Représentation normalisée :



Représentation usuelle :



II. ALIMENTATION.

On utilise une alimentation symétrique, dont le point milieu constitue l'origine des potentiels (masse) pour le montage.

La valeur maximale est ± 18 V, mais l'A.O. fonctionne aussi avec des valeurs inférieures. Toutefois, la tension de sortie ne pouvant pas dépasser la tension d'alimentation (elle est même inférieure d'un ou deux volts sur chaque voie), il vaut mieux ne pas choisir des valeurs trop faibles.

Diverses solutions sont envisageables :

— A partir de piles :

2 piles de 9 V ou deux fois trois piles de 4,5 V en série.

— Utiliser l'alimentation ± 15 V du C.E.M.S. livrée avec les pH mètres. (Le schéma ci-contre indique une possibilité de remplacement du régulateur de tension).

— Construire une alimentation ± 15 V avec :

1 transformateur secondaire à point milieu 2×15 V ou 2×18 V.

1 pont de diodes.

2 condensateurs $470 \mu\text{F}$ ou $1\,000 \mu\text{F} - 25$ V.

1 régulateur positif 7815.

1 régulateur négatif 7915.

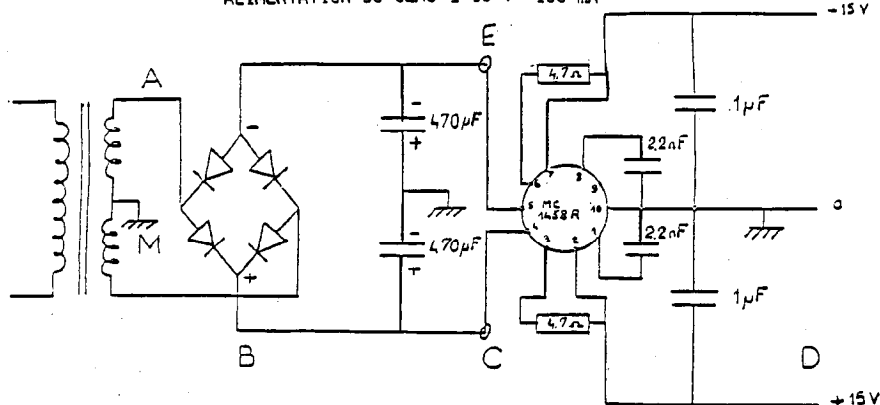
2 condensateurs $1 \mu\text{F}$.

Remarque :

Parce que l'alimentation ± 15 V est indispensable au fonctionnement de l'A.O., les électroniciens ne la font pas figurer sur les schémas. Il nous paraît préférable, dans un premier temps, de la représenter.

ALIMENTATION DU C.E.M.S. : ± 15 V - 100 mA

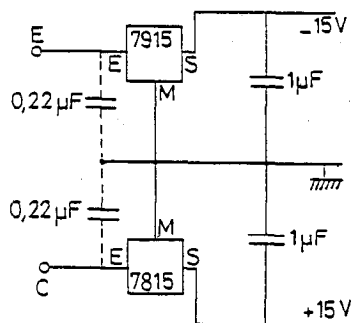
ALIMENTATION DU CEMS ± 15 V - 100 mA



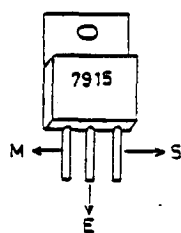
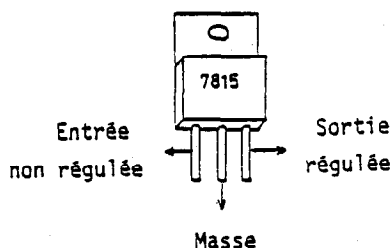
Remplacement du régulateur :

Si le régulateur double MC 1468 est hors d'usage, on peut le remplacer par un régulateur positif + 15 V (7815) et par un régulateur négatif - 15 V (7915) ou équivalent.

(Les condensateurs $0,22\ \mu\text{F}$ qu'on peut placer sur les entrées non régulées sont susceptibles d'éviter des oscillations intempestives).



Brochage des régulateurs (Boîtier TO 220).

**III. MAQUETTES D'UTILISATION.**

Divers types de réalisation sont possibles :

- Plaquette plexiglas sur pieds avec bornes vissées $\varnothing 4\text{ mm}$.
- Plaquette de circuit imprimé sur lesquelles sont soudées des bornes de $\varnothing 4\text{ mm}$.
- Circuit imprimé sur lequel on soude les composants, etc.

Quelques suggestions :

- Bien séparer et repérer les bornes d'alimentation pour éviter toute confusion avec les entrées.
- Garder une disposition des bornes rappelant le schéma de l'A.O. - (E.I. - E.N.I. - S).

— Prévoir des dimensions assez grandes pour avoir des montages aérés : plusieurs bornes pour un même contact ; des bornes supplémentaires, non reliées, qui serviront de relais de branchement.

— Monter l'A.O. sur un support pour pouvoir le remplacer.

Eventuellement :

— Placer des diodes de protection en série avec les bornes de l'alimentation.

— Monter à demeure sur la maquette des condensateurs de découplage entre $+U_{AL}$, $-U_{AL}$, et la masse pour éviter des risques d'oscillation parasite, ou un seul condensateur entre le $+U_{AL}$ et le $-U_{AL}$, le plus près possible des broches de l'A.O. (valeur : 100 nF à 1 μ F).

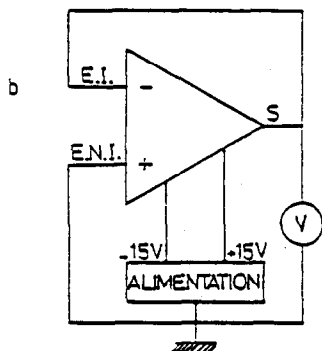
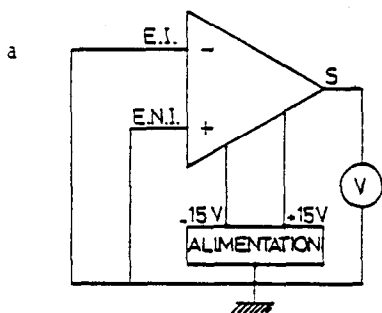
IV. TEST DE FONCTIONNEMENT DE L'A.O.

On peut être conduit, lorsqu'un montage ne « marche » pas, à douter du bon fonctionnement de l'A.O.

Voici une procédure simple de vérification :

a) On place en sortie un voltmètre continu (calibre élevé). On relie les deux entrées à la masse (point milieu de l'alimentation). On alimente l'A.O.

La sortie de l'A.O. doit être bloquée et la tension de sortie sensiblement égale à $+U_{AL}$ ou à $-U_{AL}$, suivant le signe de la tension de décalage à l'entrée.

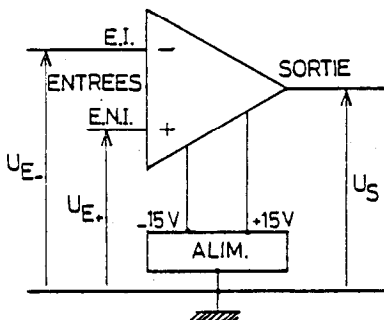


b) On relie maintenant l'entrée inverseuse à la sortie (montage suiveur). Le voltmètre doit indiquer 0. (Il mesure la tension de décalage à l'entrée, de l'ordre du mV, quelques mV au maximum).

— Si des instabilités se manifestent lorsqu'on travaille en continu, penser à des oscillations parasites. Vérifier à l'oscilloscope. Si c'est le cas, placer des condensateurs de découplage de l'alimentation.

B) FONCTIONNEMENT EN « TOUT PLUS OU TOUT MOINS » - COMPARATEUR

L'amplificateur opérationnel amplifie la différence des tensions U_{E+} et U_{E-} appliquées sur ses deux entrées.



La tension de sortie U_S est donnée par la relation :

$$U_S = A(U_{E+} - U_{E-}).$$

Mais :

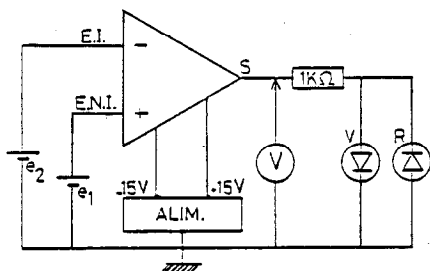
- le coefficient d'amplification en tension A est très grand, supérieur à 10^5 ;
- la tension U_S ne peut pas dépasser la valeur de la tension d'alimentation U_{AL} .

Aussi, dès que la différence $\Delta U = U_{E+} - U_{E-}$ est supérieure à 0,1 mV environ, la tension de sortie U_S n'est plus proportionnelle à ΔU : la sortie de l'A.O. se bloque à une valeur voisine de $+U_{AL}$ ou $-U_{AL}$, le signe étant celui de ΔU .

Si la tension U_{E-} est nulle, $U_S = A U_{E+}$ a le signe de la tension appliquée sur l'entrée marquée (+) que l'on appelle entrée non inverseuse (E.N.I.).

Si la tension U_{E+} est nulle, $U_S = -A U_{E-}$ a le signe opposé à celui de la tension appliquée sur l'entrée marquée (—) que l'on appelle entrée inverseuse (E.I.).

Comparaison de deux f.é.m. :



$$U_{E+} = e_1, \text{ pile dite } 1,5 \text{ V,}$$

$$U_{E-} = e_2, \text{ pile dite } 1,5 \text{ V.}$$

$$U_{E+} - U_{E-} = e_1 - e_2 = \Delta U.$$

On visualise l'état de la sortie de l'A.O. à l'aide de deux diodes électroluminescentes (LED) l'une verte V, l'autre rouge R, montées « tête-bêche » en série avec une résistance de 1 k Ω .

On peut aussi mesurer la tension U_S avec un voltmètre (à zéro central de préférence).

Si $e_1 > e_2$ $\Delta U > 0$, $U_S \simeq 15$ V la LED verte brille,

Si $e_2 > e_1$ $\Delta U < 0$, $U_S \simeq -15$ V la LED rouge brille.

On détecte ainsi avec une grande sensibilité l'inégalité des deux f.é.m. e_1 et e_2 et le sens de cette inégalité.

Si on retourne les deux piles $U_{E+} = -e_1$ et $U_{E-} = -e_2$, le fonctionnement est symétrique du précédent :

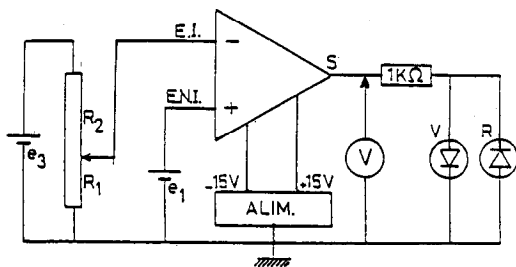
V brille si $e_2 > e_1$, R brille si $e_1 > e_2$.

L'énergie fournie au montage par les piles e_1 et e_2 est pratiquement nulle. L'énergie consommée par les LED provient de l'alimentation continue ± 15 V.

On peut modifier le montage précédent pour comparer une tension continue variable à une tension de référence.

U_{E+} tension de référence fournie par la pile e_1 de 1,5 V,

U_{E-} obtenue à partir d'une pile e_3 de 4,5 V suivie d'un montage potentiométrique $R = R_1 + R_2 = 10$ k Ω ou 100 k Ω .



On cherche, en déplaçant le curseur du potentiomètre, à réaliser l'égalité des tensions U_{E-} et U_{E+} :

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} e_3 = e_1$$

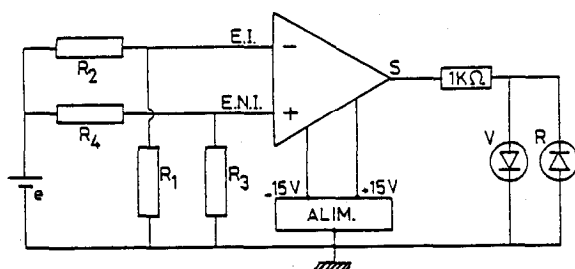
qui se traduirait par l'extinction des deux LED à la fois.

C'est difficile à obtenir, mais on peut repérer le basculement de la tension de sortie et déterminer une « fourchette » de quelques mV.

Comparaison de résistances :

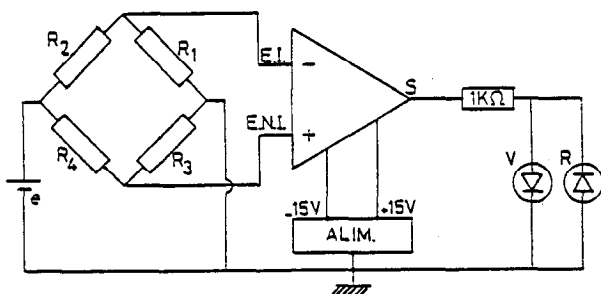
La tension U_{E-} est obtenue à partir d'une pile $e = 1,5$ V par un pont diviseur constitué des deux résistances R_1 et R_2 . La tension U_{E+} est obtenue à partir de la même pile e par le pont diviseur R_3 , R_4 .

$$U_{E-} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} e \quad U_{E+} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} e$$



Le basculement de la sortie a lieu lorsque ces deux tensions sont égales, soit pour $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$ ou $R_1 R_4 = R_2 R_3$.

On retrouve le pont de Wheatstone et on peut présenter différemment le schéma pour le faire apparaître :



L'A.O. est placé dans la diagonale du pont et remplace le galvanomètre.

L'expérience a été conduite en utilisant des résistances au carbone à 5 % (type radio) $R_2 = 100$ k Ω , $R_1 = 10$ k Ω , $R_4 = 10$ k Ω et pour R_3 des boîtes A.O.I.P. $\times 1\,000$, $\times 100$, $\times 10$, $\times 1$, $\times 0,1$ Ω . L'équilibre du pont se manifeste par l'extinction des deux LED : il a été obtenu pour $R_3 = 1003,4$ Ω avec une sensibilité de $\pm 0,1$ Ω .

Pour $R_3 = 1003,5 \, \Omega$ la LED verte se rallume,

Pour $R_3 = 1003,3 \, \Omega$ la LED rouge se rallume.

Il suffit de toucher d'un doigt l'une des résistances pour détruire l'équilibre :

Si la température de R_1 ou R_4 augmente, la LED verte s'allume : R_3 est devenu trop grand, donc la résistance de R_1 ou de R_4 a diminué.

Si la température de R_2 augmente, la LED rouge s'allume : R_3 est devenu trop faible, donc la résistance de R_2 a diminué.

La valeur d'une résistance au carbone diminue lorsque sa température s'élève (coefficient de température négatif).

Attention : Pour que la mesure de R_3 soit exacte, il faudrait que la tension de décalage à l'entrée de l'A.O. soit annulée.

Détecteur d'élévation de température :

Dans le montage précédent, l'une des résistances peut être remplacée par une résistance variable avec un paramètre extérieur : lumière, température, pression.

Pour réaliser un détecteur d'élévation de température, on remplace R_3 par une thermistance (C.T.N.) R_T .

Avec $R_T = 1\,300 \, \Omega$ à 25°C , on peut prendre $R_2 = 100 \, \text{k}\Omega$, $R_1 = 10 \, \text{k}\Omega$, $R_4 = 10 \, \text{k}\Omega$.

A la température ambiante : $U_{E+} > U_{E-}$, $U_S \simeq 15 \, \text{V}$ et la LED verte est allumée.

Si l'on chauffe la thermistance, R_T décroît, la LED verte s'éteint et la LED rouge s'allume.

On peut choisir des températures de consigne différentes en remplaçant R_4 par un rhéostat de $10 \, \text{k}\Omega$ par exemple.

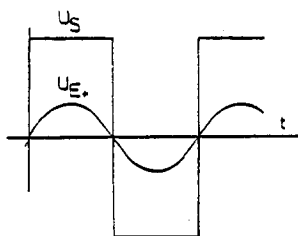
N.B. — Dans ce montage, l'élévation de température se manifestait par l'allumage de la LED rouge. D'autres dispositifs « d'alarme » peuvent être utilisés :

- un vibreur (buzzer) dont la résistance équivalente est de quelques $\text{k}\Omega$ peut être branché sur la sortie en respectant sa polarité. Une diode doit être placée en série pour éviter une polarisation inverse ;
- un relais $12 \, \text{V}$, enclenchant pour $I < 20 \, \text{mA}$, peut être utilisé pour commander un circuit auxiliaire.

Mise en forme de signaux :

On relie à la masse l'entrée inverseuse. On applique sur l'entrée non inverseuse un signal sinusoïdal 50 Hz d'amplitude réglable, obtenu par un transformateur abaisseur 220 V - 6 V par exemple, suivi d'un montage potentiométrique.

On observe à l'oscilloscope bicourbe les tensions U_{E+} et U_S .

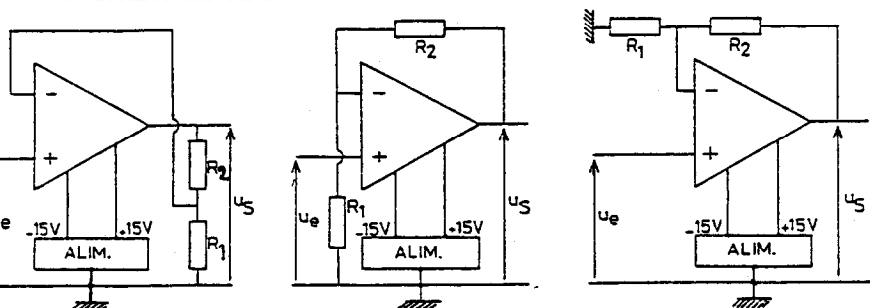


La tension U_S est un signal carré de fréquence 50 Hz, d'amplitude constante, compris entre $+U_{AL}$ et $-U_{AL}$, indépendante de l'amplitude du signal de commande.

(Ne pas utiliser de tensions d'entrée supérieures à U_{AL}).

C) FONCTIONNEMENT EN AMPLIFICATEUR

L'amplification en tension de l'A.O. est tellement grande que, dès que la tension d'entrée est supérieure à $\approx 0,1$ mV, la sortie sature en atteignant la valeur $+U_{AL}$ ou $-U_{AL}$. Pour réaliser un montage amplificateur, dans lequel la tension de sortie est proportionnelle à la tension d'entrée, on doit réduire l'amplification de l'A.O. en réinjectant sur l'entrée inverseuse une fraction de la tension de sortie (on réalise ainsi une contre-réaction ou réaction négative). Le schéma du montage peut être dessiné sous l'une des formes suivantes :



On calcule le gain du montage $G = \frac{u_s}{u_e}$ en utilisant le modèle de l'A.O. parfait, dans lequel on considère l'amplification de l'A.O. comme infinie.

La tension u_e est appliquée sur l'entrée non inverseuse d'où $U_{E+} = u_e$.

L'A.O. en régime linéaire maintient la tension U_{E-} égale à U_{E+} , en faisant passer dans R_2 et R_1 une intensité $i = \frac{u_s}{R_1 + R_2}$ telle que $R_1 i = U_{E-} = U_{E+}$.

On a donc :

$$u_e = U_{E+} = U_{E-} = R_1 i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_s.$$

D'où le rapport d'amplification du montage :

$$G = \frac{u_s}{u_e} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

G est toujours supérieur ou égal à 1.

u_s a le même signe que u_e : ce montage est dit amplificateur non inverseur.

L'impédance d'entrée du montage est celle de l'entrée non inverseuse. Elle est infinie et $I_+ = 0$.

Remarques :

1) Cette expression n'est valable que dans le domaine de fonctionnement linéaire de l'A.O. :

u_s doit rester inférieur à U_{AL} ,

i_s doit rester inférieure à $I_{max} \simeq 20$ mA.

De plus, lorsque u_e est une tension sinusoïdale, la fréquence de coupure est donnée par la relation :

$$fc = \frac{\text{Produit Gain Bande}}{G} \quad \text{soit} \quad fc \simeq \frac{3 \text{ MHz}}{G}.$$

2) Le gain ne dépend que du rapport des résistances R_2 et R_1 . Ces résistances servent uniquement à polariser l'entrée inverseuse qui ne consomme pas de courant ($I_- = 0$). On a donc intérêt à leur donner des valeurs suffisamment importantes pour que l'intensité qu'elles dérivent reste négligeable devant l'intensité maximale que peut fournir l'A.O.

PROPOSITIONS D'ETUDE EXPERIMENTALE**1. A GAIN CONSTANT.**

R_1 et R_2 fixes. Gain de 11 avec, par exemple, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ et $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$.

u_e est fournie par une pile de 1,5 V suivie d'un montage potentiométrique permettant de faire varier u_e entre 0,1 V et 1 V.

Tracé de $u_s = f(u_e)$.

Vérification graphique de la valeur du gain.

Mise en évidence du fonctionnement symétrique de l'A.O. en inversant les polarités de la pile.

Possibilité de fonctionnement en alternatif (jusqu'à des fréquences de l'ordre de 30 kHz. Décroissance du gain au-delà de cette valeur due à la bande passante du montage).

2. A GAIN VARIABLE.

On peut prendre u_e fixe = 0,1 V.

On réalise un amplificateur dont le gain est réglable entre 1 et 100, en prenant :

R_1 fixe =	10 k Ω	R_2 variable de	0 à 1 M Ω
ou R_1	= 1 k Ω	R_2 variable de	0 à 100 k Ω

ou bien :

R_2 fixe =	100 k Ω	R_1 variable de	l'infini à 1 k Ω .
--------------	----------------	-------------------	---------------------------

3. MONTAGE SUIVEUR.

Le montage suiveur est un cas particulier dans lequel $G = 1$.

On peut prendre pour cela :

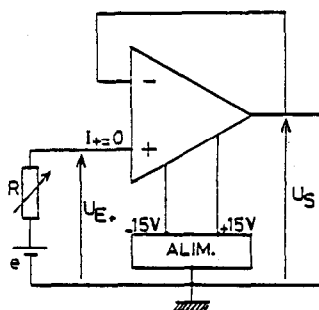
$R_1 = \infty$ et R_2 quelconque,
ou $R_2 = 0$ et R_1 quelconque,
ou $R_1 = \infty$ et $R_2 = 0$.

L'intérêt du montage suiveur réside dans l'adaptation d'impédance qu'il réalise.

Il transforme une mauvaise source de tension (résistance interne importante) en source de tension parfaite (résistance interne nulle) parce que la résistance de sortie de l'A.O. est nulle (ou presque...).

La source de tension ne débite aucun courant ($I_+ = 0$), la sortie de l'A.O. peut débiter un courant jusqu'à la valeur $I_{max} \simeq 20 \text{ mA}$ sans que la tension de sortie ne soit affectée.

L'énergie consommée par le circuit d'utilisation est apportée par l'alimentation ± 15 V de l'A.O.



e est une pile de 1,5 V, montée en série avec une résistance R variable entre 0 et 1 M Ω . La tension de sortie u_s est égale à la tension d'entrée u_e quelle que soit la valeur de R , même si on fait débiter la sortie.

Ce montage pourra être repris en classe de Première à l'occasion de l'étude des sources de tension : on pourra vérifier que la tension de sortie est indépendante de l'intensité du courant débité (à condition que $I_s < I_{max} \approx 20$ mA).

Ce montage pourra également servir d'introduction à l'étude du pH mètre.

D) EXEMPLE DE CHAÎNE ELECTRONIQUE

Les divers dispositifs de reproduction ou de transmission des sons peuvent fournir un exemple de chaîne électronique familière aux élèves, que ce soit sous la forme du baladeur (lecteur de cassettes ou récepteur radio avec casque d'écoute), magnétophone, électrophone, récepteur radio ou « chaîne » Hi-Fi. Une structure commune se dégage :

- Production par un capteur d'un signal électrique contenant l'information sonore.
- Amplification du signal électrique.
- Conversion du signal électrique en signal acoustique par un haut-parleur.

Cette structure peut être affinée en observant et en analysant les différences entre les diverses réalisations.

Ces appareils font partie de la vie quotidienne des élèves et peuvent éveiller leur curiosité : une première approche est inté-

ressante, même si la compréhension profonde de leur fonctionnement nécessite bien des connaissances qui ne sont pas encore à leur disposition.

La réalisation et l'étude de montages progressivement plus compliqués peuvent être proposées :

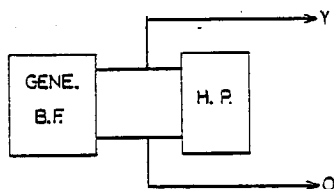
Transformation d'un signal électrique en signal acoustique,

Amplification d'un signal alternatif,

Utilisation d'un microphone,

Construction d'un récepteur radio.

1. TRANSFORMATION D'UN SIGNAL ELECTRIQUE EN SIGNAL ACOUSTIQUE.



Avec un générateur B.F. d'impédance de sortie 50Ω , on peut utiliser directement un haut-parleur d'impédance 4Ω (résistance en continu $2,5 - 3 \Omega$).

Avec un générateur B.F. d'impédance de sortie plus élevée, on doit adapter l'impédance du H.P. à l'aide d'un transformateur.

Détermination des fréquences audibles.

Tension minimale. Sensibilité de l'oreille.

Influence de l'impédance du haut-parleur sur le transfert de puissance.

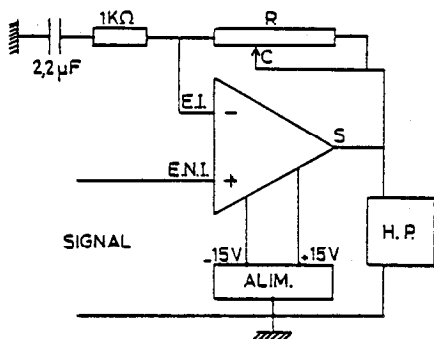
2. AMPLIFICATION D'UN SIGNAL ALTERNATIF.

On réalise un amplificateur à gain réglable en utilisant un rhéostat R et une résistance fixe $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ (fig. p. 1022) :

$$R = 100 \text{ k}\Omega \quad 1 < G < 100$$

$$R = 1 \text{ M}\Omega \quad 1 < G < 1000.$$

Le condensateur de $2,2 \mu\text{F}$ forme avec la résistance de $1 \text{ k}\Omega$ un filtre passe-haut, de fréquence de coupure voisine de 60 Hz , qui évite d'amplifier les tensions continues.



Pour un transfert de puissance maximal, le haut-parleur devrait avoir une impédance de l'ordre de 700 Ω . On peut s'en approcher en associant à un H.P. de 4 Ω un transformateur adaptateur d'impédance (220 V - 18 V ou 220 V - 15 V par exemple).

On peut comparer à l'oscilloscope le signal d'entrée et le signal de sortie et mesurer le gain du montage.

Le signal d'entrée peut être fourni par un générateur B.F. à bas niveau (quelques dizaines de mV) mais on peut aussi aller rechercher le signal de sortie du baladeur ou d'un magnétophone.

3. UTILISATION D'UN MICROPHONE.

Le montage précédent, avec $R = 1 \text{ M}\Omega$, peut être utilisé pour amplifier le signal délivré par un microphone électrodynamique sensible (à haute impédance).

Il peut être aussi intéressant de montrer les similitudes entre un haut-parleur et un microphone : on doit alors associer au H.P. utilisé en microphone un transformateur utilisé en élévateur de tension.

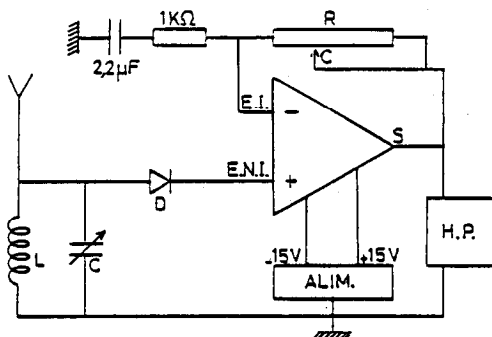
4. CONSTRUCTION D'UN RECEPTEUR RADIO.

Il ne manque plus grand-chose pour aboutir au poste radio (modulation d'amplitude) dans la gamme des ondes moyennes ($\approx 1 \text{ MHz}$).

Le signal complexe recueilli entre l'antenne et la prise de terre est traité par le circuit d'accord L//C, constitué par une bobine : 80 spires sur support $\varnothing 4 \text{ cm}$ ou 40 spires sur support ferrite $\varnothing 1 \text{ cm}$, (*attention* : la fréquence d'antirésonance de la bobine seule doit être largement supérieure à 1 MHz) et par un condensateur variable à air 0-500 pF. On sélectionne l'émetteur en ajustant la valeur de la capacité. On peut observer à l'oscilloscope

la porteuse modulée en amplitude en se branchant après le circuit d'accord.

La diode détectrice (diode à pointe au Ge, faible tension de seuil, faible capacité : OA70, OA90, AA119 etc.) en redressant le signal H.F. laisse apparaître la modulation d'amplitude qui transporte l'information B.F., superposée à une composante continue. On peut observer ce signal après la diode et en sortie de l'A.O. après amplification.



Ce montage extrêmement simplifié donne d'excellents résultats si l'on se trouve assez près d'un émetteur et/ou si l'on dispose d'une bonne antenne.