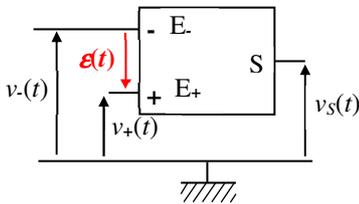


# ALI – Amplificateur linéaire intégré

AO – Amplificateur opérationnel

OA – Operational amplifier

## 📖 Symboles – Bornes



- ✓ 3 bornes d'entrée :
  - entrée non inverseuse  $E_+$  (notée +) ;
  - entrée inverseuse  $E_-$  (notée -) ;
  - masse notée  $M$ .
- ✓ 2 bornes de sortie :
  - sortie  $S$  ;
  - masse.
- ✓ 3 bornes d'alimentation non représentées : **+15 V / masse / -15 V**  
(+15V désigné par  $V_{CC}$ ,  $+V_{supply}$ ...).

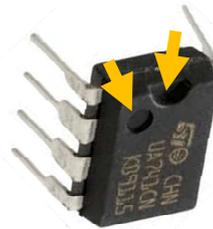
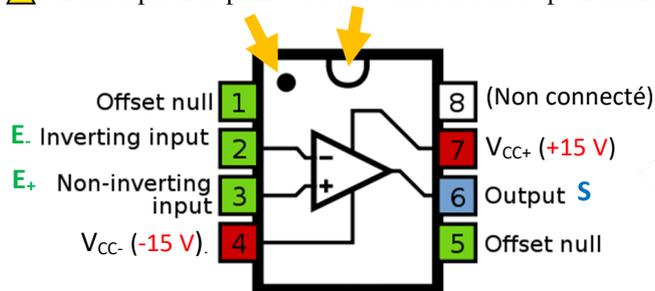
La tension  $\epsilon = V_+ - V_-$  est appelée **tension différentielle d'entrée**.

Les tensions  $v_+$ ,  $v_-$  et  $v_S$  sont mesurées par rapport à la masse, le potentiel de la masse est pris nul par convention  $V_M = 0$ .

**Remarque** :  $v_+ = V_+ - V_M = V_+ - 0 = V_+ \Rightarrow$  la tension  $v_+$  est égale au **potentiel**  $V_+$  puisque le potentiel de la masse est choisi nul (de même pour  $v_-$  et  $v_S$ ).

## 🔗 Alimentation – Brochage (741 ou 081)

- ⚠ La masse du montage est commune aux tensions d'entrée, de sortie et au point milieu de l'alimentation : **les masses de l'oscilloscope, du GBF et de l'alimentation doivent être reliées**.
- ⚠ **Aucune des pattes de la puce n'est reliée à la masse sur ce schéma** (les flèches désignent des tensions et non des fils !). Dans certains montages, il pourra néanmoins arriver qu'une patte soit reliée à la masse.
- ⚠ **Avant toute autre chose, il convient de relier l'ALI à son alimentation +15 V/-15 V (via les pattes  $V_{CC+}$  et  $V_{CC-}$  à ne pas confondre avec  $E_+$  et  $E_-$  !) et mettre celle-ci sous tension.**
- ⚠ Bien repérer le point ou l'encoche sur l'A.O. pour identifier les pattes.



En TP, veiller à choisir le modèle **TL081** et non LM741.

## 📖 ALI idéal

### Modèle de l'ALI idéal de gain infini

- Impédances des entrées infinies  $\Rightarrow$  courants d'entrée nuls :  $i_+ = i_- = 0$ .
- Impédance de sortie nulle  $Z_S = 0 \Rightarrow$  **sortie équivalente à un générateur idéal de tension**.

- ⚠ Le composant réel possède des limitations
  - Saturation en tension de sortie : diminuer la tension d'entrée si la tension de sortie est écrêtée (la tension de sortie ne peut pas être supérieure ou égale à la tension d'alimentation, en pratique elle doit rester inférieure de quelques volts).
  - Saturation en courant de sortie : diminuer la tension d'entrée ou augmenter l'impédance de la charge connectée en sortie de l'ALI si la tension de sortie est écrêtée (alors que la saturation en tension n'est pas atteinte).
  - Limitation en vitesse de balayage (slew rate) : diminuer la fréquence d'entrée si les signaux sont déformés en sortie (« triangularisation » du signal de sortie due au temps de réponse fini de l'ALI).
  - Présence d'un « offset » : la tension de sortie n'est pas nulle alors que la tension d'entrée l'est (compensation grâce à un montage potentiométrique entre les deux pattes offset du composant et l'alimentation négative).

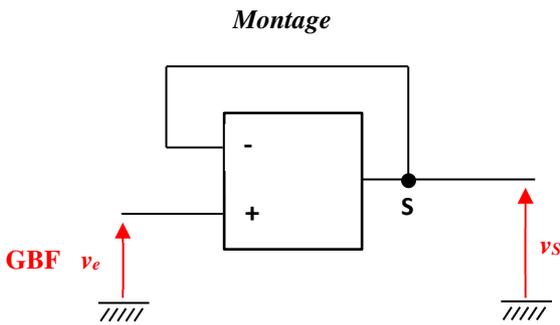
**En régime linéaire** (i.e. les tensions d'entrée et de sortie sont liées par une équation différentielle linéaire) la tension différentielle d'entrée  $\varepsilon = V_+ - V_-$  est nulle :  $\varepsilon = V_+ - V_- = 0$ .

- 💡 Avec ce modèle, la relation entre  $v_S$  et les tensions  $v_+$  et  $v_-$  appliquées aux entrées **ne dépend que du montage** et non de l'ALI lui-même.  
On établit cette relation en utilisant les lois de l'électrocinétique.

**Autrement dit, il n'est pas nécessaire de connaître le fonctionnement interne de l'ALI.**

**Les seules relations ci-dessus et les lois de Kirchhoff appliquées au circuit contenant l'ALI suffisent pour déterminer la relation entre  $v_S$  et les tensions appliquées aux entrées.**

### Montage suiveur



### Fonction de transfert

$$H = \frac{v_S}{v_e} = 1$$

Réglage GBF (tension sinusoïdale  $v_e$ )

- ✓ Décalage (offset) : 0 V (valeur moyenne nulle)
- ✓ Amplitude < 12 V
- ✓ Fréquence de l'ordre du kHz

Oscilloscope

- ✓ Visualiser les deux tensions  $v_e(t)$  et  $v_S(t)$ .

Vérifier que :

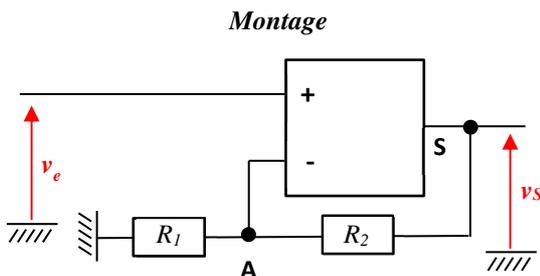
- $v_S(t) = v_e(t)$  : courbes en phase et de même amplitude (avec des sensibilités égales sur les deux voies) en mode balayage ;
- $v_S = v_e$  : droite de pente 1 (1<sup>ère</sup> bissectrice) en mode XY (bouton « Horiz » à côté de la base de temps).

### Applications

- ✓ Test du bon fonctionnement de l'ALI.
- ✓ Isolation (filtres en cascade)



### Montage amplificateur non inverseur



$R_1$  de l'ordre de 1 kΩ et  $R_2$  de l'ordre de 10 kΩ

### Fonction de transfert

$$H = \frac{v_S}{v_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Réglage GBF (tension sinusoïdale  $v_e$ )

- ✓ Décalage (offset) : 0 V (valeur moyenne nulle)
- ✓ Amplitude de l'ordre de 1 V
- ✓ Fréquence de l'ordre du kHz

Oscilloscope

- ✓ Visualiser les deux tensions  $v_e(t)$  et  $v_S(t)$ .

Vérifier que :

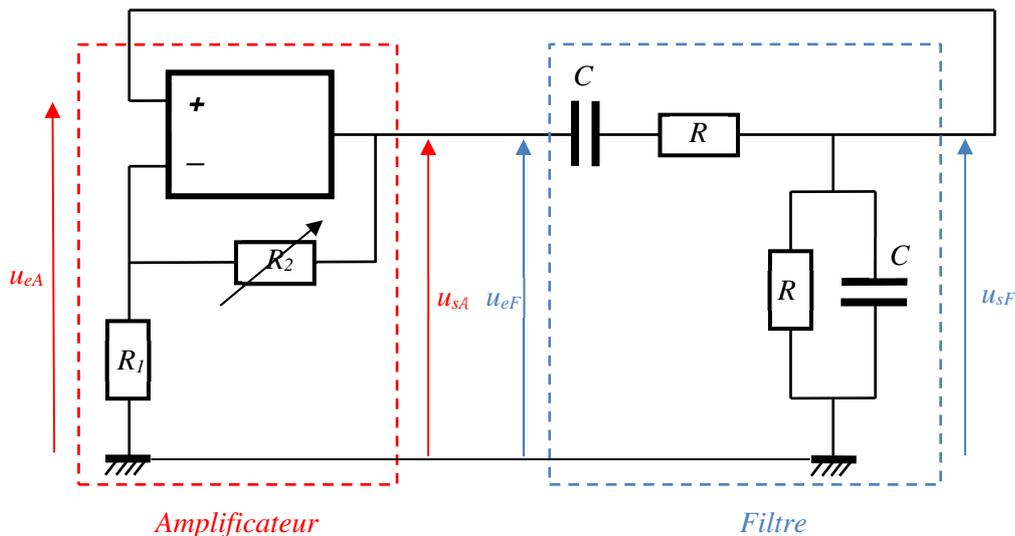
- $v_S(t) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_e(t)$  : courbes en phase d'amplitudes différentes (avec des sensibilités égales sur les deux voies).
- Droite de pente  $1 + \frac{R_2}{R_1}$  en mode XY.
- Augmenter l'amplitude du GBF et constater l'apparition d'une saturation en tension en mode balayage et en mode XY.

### Applications

- ✓ Amplification d'un signal.
- ✓ Réalisation d'oscillateurs (ci-après page 3).

## Application – Oscillateur à pont de Wien

Ce montage oscille seul (lorsque  $R_2 \geq 2R_1$ ) : il n'y a aucun GBF dans le circuit.



$R_1$  et  $R$  de l'ordre de 10 k $\Omega$

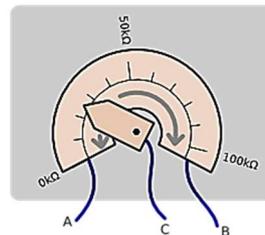
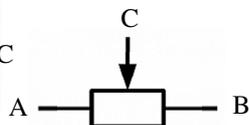
$R_2$  résistance variable / potentiomètre de résistance totale supérieure à  $2 \times R_1$ .

$C = 10$  nF.

### Complément - Résistance variable / potentiomètre

Résistance variable / potentiomètre rotatif : la patte C est reliée à un curseur mobile se déplaçant (à l'aide d'un petit tournevis) sur une piste conductrice mais résistive entre A et B.

La résistance entre les pattes A et C est constante mais la résistance entre les pattes A et C d'une part et entre les pattes B et C d'autre part est variable.



Utiliser les pattes A et C ou bien B et C (résistances variables) et non les pattes A et B (résistance totale fixe).

### Protocole

- Réaliser l'amplificateur seul et le tester (cf. montage précédent page 2).
- Réaliser séparément le filtre passe-bande et le tester (cf. protocole dans le document « Circuit RLC série »).
- Supprimer le GBF, relier les deux montages, observer la tension en sortie de l'ALI en voie 1 de l'oscilloscope : faire varier la résistance  $R_2$  de façon à faire apparaître les oscillations, visualiser la déformation de cette tension lorsque  $R_2$  augmente.

### Enregistrement de la naissance des oscillations (Sysam et Latispro)

- Positionner le potentiomètre légèrement en deçà de la position provoquant la naissance des oscillations et retirer les fils qui relient l'oscilloscope au montage (interactions néfastes entre l'oscilloscope et la carte Sysam parfois).
- Relier la voie EA0 à l'entrée  $E_+$  de l'ALI et relier la masse du circuit à la masse de la carte Sysam.
- Prendre au minimum 5000 points pour une durée totale de 100 ms (à ajuster en fonction de la courbe obtenue).
- Déclenchement Sysam : voie EA0 sur front montant avec seuil à 100 mV et prétrig de 25% (ce dernier réglage permet d'enregistrer le signal en permanence, sans que ce soit visible à l'écran, de façon à disposer de points précédant l'instant où le seuil de déclenchement de l'acquisition est atteint).
- Manipuler doucement le potentiomètre dans le sens d'apparition des oscillations, la courbe doit apparaître.
- Peaufiner les réglages jusqu'à obtention d'une courbe satisfaisante (naissance des oscillations puis saturation) ; noter que la courbe diffère en fonction de la rapidité avec laquelle on manipule le potentiomètre.
- Vérifier que la fréquence des oscillations est la fréquence de résonance du filtre passe-bande  $N_0 = \frac{1}{2\pi RC}$  et que la

résistance du potentiomètre entre les deux pattes utilisées est légèrement supérieure à  $2R_1$  à la limite de l'apparition des oscillations (⚠ retirer le potentiomètre du circuit sous peine d'endommager l'ohmmètre).

Le montage suivant va mettre en évidence le rôle essentiel de la **rétroaction négative** (existence d'une **branche entre la sortie S et l'entrée inverseuse E.**).

Attention, les montages suivants fonctionnent en **régime non linéaire** :

- ✓ la tension différentielle d'entrée  $\mathcal{E} = V_+ - V_-$  n'est plus nulle ;
- ✓ **la tension de sortie  $v_s$  ne peut prendre que deux valeurs  $+V_{sat}$  ou  $-V_{sat}$**  (de l'ordre de 15 V en valeur absolue).

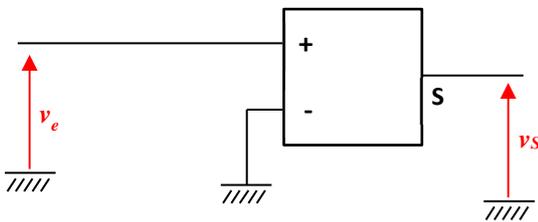
Autrement dit, le montage possède donc deux états en sortie :

- ✓ état haut ( $+V_{sat}$ ) ;
- ✓ état bas ( $-V_{sat}$ ).

L'état de sortie dépend de la valeur de la tension d'entrée (cf. montages ci-dessous).

### Montage comparateur n°1

Montage



Détermination de  $v_s$  en fonction de  $v_e$

$$\mathcal{E} = V_+ - V_- = v_e \Rightarrow \begin{cases} v_s = +V_{sat} & \text{si } v_e > 0 \\ v_s = -V_{sat} & \text{si } v_e < 0 \end{cases}$$

Réglage GBF (tension sinusoïdale  $v_e$ )

- ✓ Décalage (offset) : 0 V (valeur moyenne nulle)
- ✓ Amplitude de l'ordre de quelques V
- ✓ Fréquence de l'ordre du kHz

Oscilloscope

- ✓ Visualiser les deux tensions  $v_e(t)$  et  $v_s(t)$ .

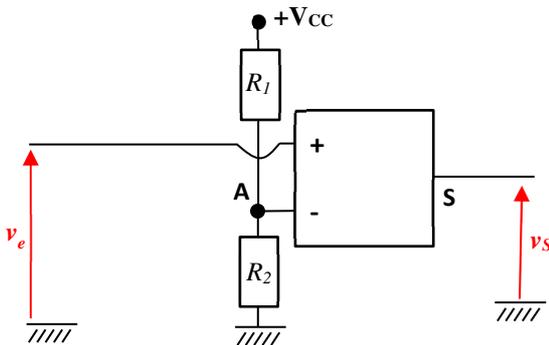
Observer  $v_s$  et  $v_e$  (chronogramme et mode XY) et vérifier que les relations ci-dessus sont vérifiées.

Ce montage est qualifié de « comparateur » car la tension de sortie ne dépend que de la valeur de  $v_e$  par rapport à 0.

Le montage suivant permet de comparer  $v_e$  à une autre valeur que zéro.

### Montage comparateur n°2

Montage



Détermination de  $v_s$  en fonction de  $v_e$

Le pont diviseur de tension permet de fixer le potentiel de l'entrée inverseuse E- ; la tension entre E- et la masse M est :

$$u_{E-M} = V_- - 0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat}$$

Avec  $R_1 = R_2 =$  quelques  $k\Omega$ , et  $V_{sat} \approx 15$  V on obtient  $V_- \approx 7,5$  V.

$$\mathcal{E} = V_+ - V_- = v_e - V_- \Rightarrow \begin{cases} v_s = +V_{sat} & \text{si } v_e > V_- \\ v_s = -V_{sat} & \text{si } v_e < V_- \end{cases}$$

Réglages GBF inchangés sauf amplitude  $\geq 7,5$  V.

$R_1 = R_2 = 10$  k $\Omega$  (ou valeurs proches).

Observer  $v_s$  et  $v_e$  (chronogramme et mode XY) et vérifier que les relations ci-dessus sont vérifiées.

Ce montage est qualifié de « comparateur » car la tension de sortie ne dépend que de la valeur de  $v_e$  par rapport à  $V_+$ .

Une **photorésistance** est un résistor dont la résistance varie en fonction de l'intensité lumineuse reçue ; le vérifier en utilisant un ohmmètre et noter l'ordre de grandeur des résistances dans l'obscurité (placer un doigt sur le composant) et en pleine lumière.



### 💡 Principe d'une alarme de détection de lumière

L'idée consiste à intégrer une photorésistance dans un pont diviseur  $R_{ph} / R_0$  qui déterminera le potentiel de l'entrée inverseuse

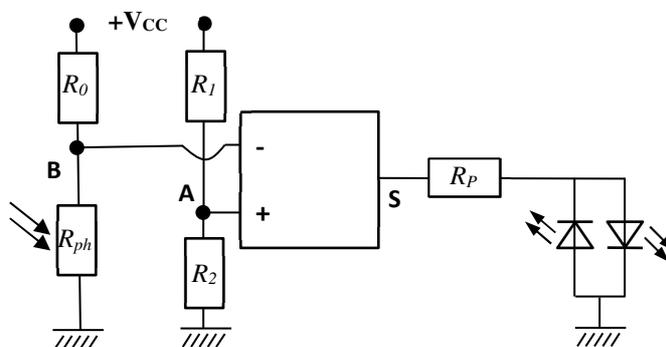
$$E_- \text{ en fonction de l'intensité lumineuse reçue : } u_{E_-M} = V_- - 0 = \frac{R_0}{R_0 + R_{ph}} V_{sat}.$$

Le potentiel de l'entrée non inverseuse  $E_+$  fixée par un autre pont diviseur  $R_1 / R_2$  (principe du comparateur précédent) :

$$u_{E_+M} = V_+ - 0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sat}. \text{ Avec } R_1 = R_2 = \text{quelques k}\Omega, \text{ et } V_{sat} \approx 15 \text{ V on obtient } V_+ \approx 7,5 \text{ V}.$$

Il reste à choisir  $R_0$  de façon à que le potentiel  $V_-$  fluctue autour de  $V_+$  lorsque l'intensité lumineuse varie (les valeurs extrêmes mesurées pour  $R_{ph}$  aident à cette détermination). Choisir  $R_0$  de l'ordre de quelques  $k\Omega$  et vérifier que la tension  $u_{BM}$  prend une valeur supérieure ou inférieure à 7,5V en fonction de l'éclairement de la photorésistance (éclairage / obscurité) ; modifier  $R_0$  si ce n'est pas le cas.

La partie visuelle de l'alarme est constituée par deux diodes électroluminescentes de couleurs différentes montées tête-bêche (en dérivation) et protégées par une résistance  $R_P$  en série afin de limiter le courant (les LED supportent quelques dizaines de mA).



Prendre  $R_P$  de l'ordre de  $300 \Omega$  (la tension de sortie est de l'ordre 15 V en valeur absolue, on limite ainsi le courant à moins de  $15/300 = 50 \text{ mA}$  car la tension disponible aux bornes de  $R_P$  est inférieure à 15 V en raison de la tension de seuil des diodes). Réaliser le montage.

Vérifier son fonctionnement en occultant ou non la photorésistance : l'une des diodes doit briller dans chaque cas.