

# Amplificateur opérationnel

L'objectif de ce TP est de présenter et de mesurer quelques uns des défauts d'un amplificateur opérationnel (AO) notamment dans des montages classiques.

Ce TP s'appuie principalement sur le travail effectué lors du chapitre § ELCT 4 Amplificateur opérationnel. De plus quelques résultats vus dans le chapitre § ELCT 6 Filtres seront utilisés. Les relations notées (\*) sont celles qu'il faut savoir retrouver et les heures mentionnées sont données à titre purement indicatif de façon à permettre l'évaluation de l'importance relative des différentes parties.

Matériel utilisé :

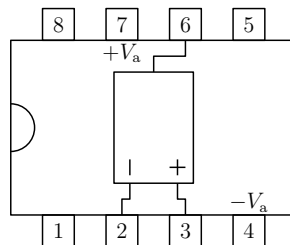
- |                                  |  |   |
|----------------------------------|--|---|
| > deux GBF<br>> un AO $\mu A741$ | > un condensateur réglable<br>> une boîte à décade | > un oscilloscope numérique<br>> une résistance de 1,0 k $\Omega$ |
|----------------------------------|--|---|

## I) L'amplificateur opérationnel

### 1°) Présentation

L'amplificateur opérationnel est un circuit intégré relié à l'extérieur par 8 bornes :

- bornes 2 et 3 : entrée respectivement inverseuse et non inverseuse ;
- bornes 4 et 7 : alimentation respectivement négative et positive ;
- borne 6 : borne de sortie
- bornes 1 et 5 : servent à corriger une tension de décalage ;
- borne 8 : non connectée.



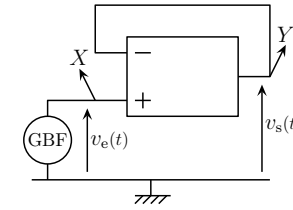
Il faut faire attention lors du branchement de l'AO : toute inversion des bornes d'alimentation peut provoquer la destruction immédiate de l'AO. Il en est de même pour l'utilisation d'un AO non alimenté.

Il existe deux grands types de circuits intégrés d'AO : les  $\mu A741$  et les TL081. Ces circuits intégrés diffèrent par la technologie des transistors employés : les  $\mu A741$  ont des transistors « bipolaires » alors que les TL081 utilisent des transistors « à effet de champ ». Ces derniers étant plus performants, les défauts mis en évidence dans cette partie le seront avec un  $\mu A741$  (ou « 741 »).

### 2°) Premier montage, premiers défauts

#### i. montage

Ce montage a été étudié en cours §ELCT4-I.



- Réalisez le montage dit « suiveur » correspondant au schéma ci-dessus avec  $v_e(\sin ; 1,0 \text{ kHz} ; 1,0 \text{ V} ; 0,0 \text{ V})^1$ .

Dans le cas d'un AO idéal nous avons  $v_s(t) = v_e(t)$  (\*).

- Visualisez X et Y sur l'oscilloscope en mode DUAL puis en mode XY et imprimez les écrans obtenus.

#### ii. slew rate

En fait,  $\left| \frac{dv_s}{dt} \right|$  ne peut pas excéder une certaine valeur  $\sigma$ , c'est le *slew rate*. Pour mesurer cette valeur  $\sigma$ , nous allons utiliser le montage suiveur avec une tension rectangulaire à l'entrée. Si l'AO était parfait,  $v_s(t)$  serait une tension rectangulaire donc avec  $\left| \frac{dv_s}{dt} \right| = +\infty$  lors des basculements. Du

fait du slew rate,  $\left| \frac{dv_s}{dt} \right|$  atteindra sa valeur maximum qu'il ne restera plus qu'à « lire » en déterminant la pente de  $v_s(t)$  sur l'écran de l'oscilloscope.

- Réglez l'amplitude de  $v_e(t)$  à environ 5,0 V avec une tension rectangulaire.
- Réglez la fréquence à 10 kHz puis à  $1,0 \cdot 10^5$  Hz et observez l'allure de  $v_s(t)$  dans les deux cas.
- Imprimez les écrans obtenus sur l'oscilloscope en mode DUAL et en mode XY lorsque la fréquence est de  $1,0 \cdot 10^5$  Hz.
- Déterminez la valeur du slew rate :



Ce phénomène est appelé la « triangularisation » du signal.

#### iii. courant limité en sortie

- Réglez  $v_e(t)$  ( $\sin ; 1,0 \text{ kHz} ; 5,0 \text{ V}$ ).
- Ajoutez une résistance réglable  $R = 4,0 \cdot 10^2 \Omega$  entre la borne de sortie de l'AO et la masse et observez  $v_s(t)$  avec et sans la résistance.
- Diminuez la valeur de la résistance de 50  $\Omega$  en 50  $\Omega$  jusqu'à environ 50  $\Omega$ .  
 Ce que vous observez est dû à la limitation du courant de sortie :  $|i_s(t)|$  ne peut pas dépasser la valeur limite  $I_s$  et donc la tension  $v_s$  est limitée à  $|v_s| \leq R I_s$ .
- Imprimez l'écran  $v_s(t)$  lorsque  $R = 4,0 \cdot 10^2 \Omega$  puis représentez dessus à la main l'allure de  $v_s(t)$  pour 3 ou 4 valeurs remarquables de  $R$ .
- Déterminez  $I_s$  :

<sup>1</sup>Désormais nous noterons la tension délivrée par un générateur de fonction de la manière suivante : (forme ; fréquence ; amplitude ; offset). Lorsque l'offset sera nul (ce qui sera souvent le cas) nous omettrons la dernière donnée et écrirons simplement (forme ; fréquence ; amplitude). Sans précisions supplémentaires, le signal sera symétrique.

$$I_s =$$

Cette limitation est pénible lorsqu'il s'agit de mesurer l'impédance de sortie de l'AO avec la méthode dite « de la tension moitié » utilisée pour déterminer la résistance de sortie d'un GBF (cf. TP-Cours ELCT2 *GBF et Oscilloscope*) et ci-dessous.

**iv. impédance d'entrée** ⚙️

- Reprenez le montage initial avec  $v_e(t)$  (sin ; 1,0 kHz ; 5,0 V) et branchez une boîte à décade entre le GBF et l'entrée non inverseuse de l'AO initialement réglée à 1,0 kΩ.
- Laissez la voie X en sortie du GBF.
- Faites varier la résistance R de façon à diminuer la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée.
- Déduisez-en un minorant de la résistance d'entrée.

$$R_{e,min} =$$

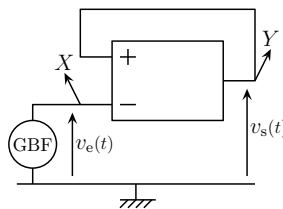
**v. impédance de sortie** ⚙️

- Reprenez le montage initial avec  $v_e(t)$  (sin ; 1,0 kHz ; 5,0 V) et branchez une boîte à décade entre la sortie de l'AO et la masse initialement réglée à 1,0 kΩ.
- Faites varier la résistance R de façon à diminuer la tension de sortie mais sans atteindre la limitation en courant (le signal de sortie ne doit pas être déformé) ; baissez la tension de sortie sinon.
- Faites en sorte de diminuer la tension de sortie par rapport à la tension d'entrée et déduisez-en un majorant de la résistance de sortie.

$$R_{s,max} =$$

**vi. stabilité** ⚙️

- Inversez les bornes d'entrées + et - de l'AO, autrement dit : branchez sur l'entrée non inverseuse tous les fils initialement branchés sur l'entrée inverseuse et réciproquement, conformément au montage ci-dessous.



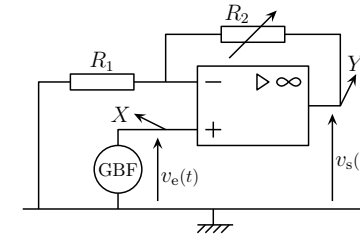
¿? Que devient  $v_s(t)$  ? Était-ce prévisible ?

**3°) Autre montage, autres défauts**

**i. amplificateur non inverseur** ⚙️

Ce montage a été étudié en cours [§ELCT4-II]. Dans le cas d'un AO idéal, nous avons :

$$v_s(t) = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) v_e(t) \stackrel{\text{not}}{=} A_0 v_e(t) \quad (*)$$



- Réalisez le montage ci-contre avec  $v_e(t)$  (sin ; 1,0 kHz ; 1,0 V) ;  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  et  $R_1 = 1,0 \text{ k}\Omega$ .
- Visualisez X et Y sur l'oscilloscope et imprimez l'écran.
- Vérifiez numériquement la valeur du coefficient d'amplification.

$$\begin{matrix} R_1 = & R_2 = \\ A_0^{\text{th}} = & A_0^{\text{mes}} = \end{matrix}$$

**ii. tension de saturation** ⚙️

- Augmentez l'amplitude de  $v_e(t)$  jusqu'à environ 10 V. Ce que vous observez est dû à la limitation de la tension de sortie :  $-V_{\text{sat}} \leq v_s(t) \leq +V_{\text{sat}}$ .
- Visualisez X et Y sur l'oscilloscope en mode DUAL et XY et imprimez les écrans obtenus.
- Mesurez les tensions de saturation :

$$V_{\text{sat}}^- = \quad V_{\text{sat}}^+ =$$

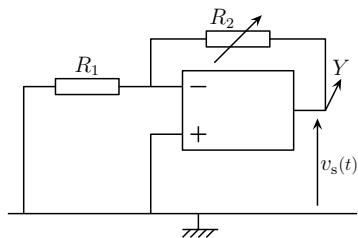
¿? Pourquoi la tension de saturation haute est-elle différente de la tension de saturation basse ?

**iii. tension de décalage** ⚙️

Ce protocole est étudié dans l'exercice [ELCT4-8].

- Reliez l'entrée non inverseuse à la masse.

Le montage est alors équivalent au schéma ci-dessous et ainsi :  $v_s = - \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) V_d \quad (*)$ .



→ Mesurez la tension de sortie et déduisez-en la tension de décalage :

$R_1 =$	$R_2 =$
$v_s =$	$V_d =$

**iv. amplification non infinie** ⚙️

Ce paragraphe a été étudié dans l'exercice ELCT6-9.

→ Réglez l'amplitude de  $v_e(t)$  à environ 100 mV (utilisez le bouton -20 dB).

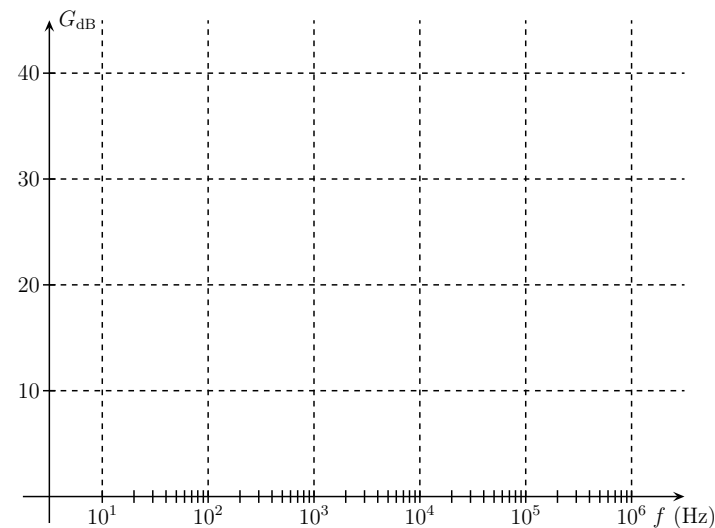
→ Pour 3 valeurs d'amplification (dans l'ordre  $R_2 = 1,0 \cdot 10^5 \Omega$ ;  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $R_2 = 1,0 \text{ k}\Omega$ ) tracez rapidement (sur le graphe fourni) le gain en décibel  $G_{dB}$  de la fonction de la fonction de transfert

$$T = \frac{V_s}{V_e}$$

Pour cela, remplissez le tableau suivant.

☞ *Remarque* : vérifiez (visuellement) à chaque mesure qu'il n'y a pas triangularisation, *ie.* que l'AO n'est pas limité par le slew rate.

	$f$ (Hz)	10	$1,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^6$
$R_2 = 1,0 \cdot 10^5 \Omega$	$V_s$						
	$V_e$						
	$T$						
	$G_{dB}$						
$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$	$V_s$						
	$V_e$						
	$T$						
	$G_{dB}$						
$R_2 = 1,0 \text{ k}\Omega$	$V_s$						
	$V_e$						
	$T$						
	$G_{dB}$						



!? *Que constatez-vous ?*



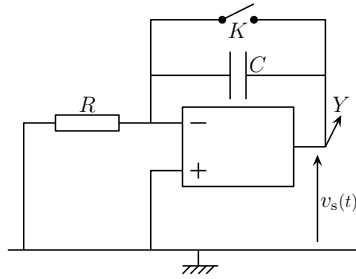
## II) Montage intégrateur

### 1°) Montage théorique

#### i. montage

Ce montage a été étudié en cours §ELCT4-I.

→ Réalisez le montage ci-contre avec un AO de type  $\mu A741$ ;  $R = 1,0 \cdot 10^5 \Omega$  et  $C = 1,0 \cdot 10^{-7} F$ . (Ne pas oublier d'alimenter l'AO.)



#### ii. étude

→ Fermez l'interrupteur  $K$  (décharge du condensateur) puis ouvrez-le. Observez l'évolution de  $v_s(t)$ . Au bout de combien de temps la tension de saturation est-elle atteinte? (Cela peut être très long avec un TL081 ...)

¿? Comment appelle-t-on ce phénomène?



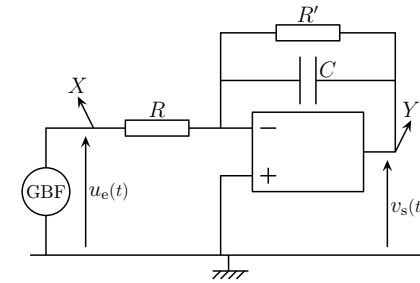
¿? Quel est le défaut de l'AO à l'origine de ce phénomène?



### 2°) Montage amélioré

#### i. montage

Ce montage a été étudié en cours §ELCT4-II et §ELCT6-I.



→ Réalisez le montage ci-dessus avec un AO de type  $\mu A741$ ;  $R = 1,0 \cdot 10^5 \Omega$ ;  $C = 1,0 \cdot 10^{-7} F$ ;  $R' = 1,0 M\Omega$  et  $v_e(\text{rect}; f; 1,0 V)$ . (Ne pas oublier d'alimenter l'AO.)

#### ii. étude

→ Faites varier de décade en décade la fréquence  $f$  de 10 Hz à 10 kHz. Observez et imprimez  $v_s(t)$  uniquement pour deux fréquences remarquables : une pour laquelle l'intégrateur remplit bien son rôle, l'autre pour laquelle l'intégrateur est défaillant.

¿? Sur quelle plage de fréquences peut-on considérer que le rôle d'intégrateur est bien rempli?



→ Réglez le GBF à une fréquence pour lequel le circuit intègre bien et retirez  $R'$ .

¿? Qu'observez-vous? Expliquez.



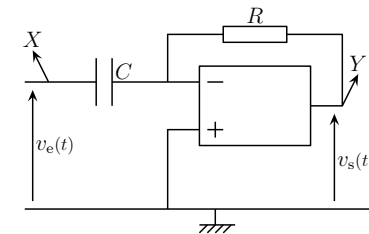
## III) Montage dérivateur

### 1°) Montage théorique

#### i. montage

Ce montage a été étudié en cours §ELCT4-I.

→ Réalisez le montage ci-contre avec un AO de type  $\mu A741$ ,  $R = 1,0 \cdot 10^4 \Omega$ ,  $C = 1,0 \cdot 10^{-7} F$  et  $v_e(\text{triang}; f; 1,0 V)$ . (Ne pas oublier d'alimenter l'AO.)



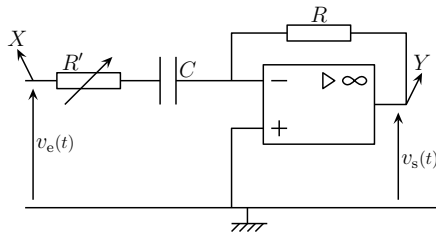
**ii. étude**

→ Pour  $f = 100$  Hz et  $f = 1,0$  kHz, imprimez  $v_s(t)$ .

¿? Que constatez-vous ?

**2°) Montage amélioré** ⌚**i. montage**

Ce montage a été étudié en cours §ELCT6·I.



→ Réalisez le montage ci-dessus avec un AO de type  $\mu A741$ ;  $R = 1,0 \cdot 10^4 \Omega$ ;  $C = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ F}$ ;  $R' = 400 \Omega$  et  $v_e$ (triang;  $f$ ; 0,1 V). (Ne pas oublier d'alimenter l'AO.)

**ii. étude**

→ Pour  $f = 100$  Hz, faites varier  $R'$  jusqu'à ce que  $v_s(t)$  soit le plus proche possible d'une tension rectangulaire.

→ Déterminez alors la plage de fréquences sur laquelle on peut considérer que le montage est bien dérivateur et imprimez  $v_s(t)$  pour deux fréquences remarquables, l'une pour laquelle l'AO joue bien son rôle et l'autre pour laquelle il y a encore des défauts.

¿? Sur quelle plage de fréquences peut-on considérer que le rôle d'intégrateur est bien rempli ?