

## AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL “IDÉAL” EN MODE LINÉAIRE - corrigé du TP1

### 2. Réglage préalable ; montage “suiveur de tension”

◊ remarque : l'expérience montre que, sur l'ensemble des boîtiers d'A.O. mis à la disposition des groupes de TP, il y en a presque toujours quelques uns déréglés (mais avec un montage suiveur de tension, il suffit d'agir sur la vis de réglage de l'A.O. pour ramener la tension à zéro).

### 3. Montage “amplificateur non inverseur”

#### 3.1. Tracé automatique de la caractéristique ( $v_e$ ; $v_s$ )

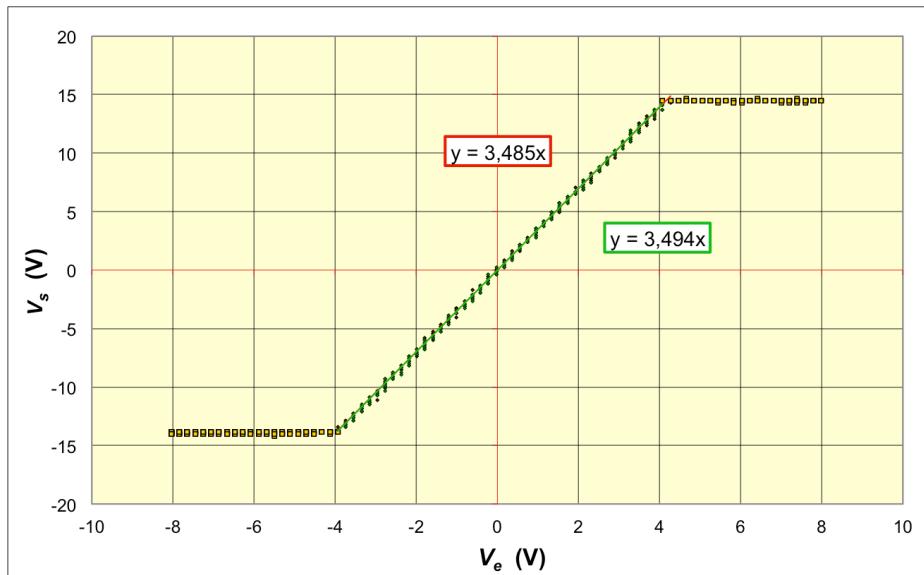
• Le montage est réalisé avec un générateur B.F. réglé sur la fréquence  $N = 995,3 \pm 5,2$  Hz (mesurée avec le fréquencemètre incorporé). Les signaux enregistrés sur l'ordinateur correspondent à  $N = 1017,6 \pm 5,1$  Hz. L'écart montre que les incertitudes sont un peu sous-estimées, mais cela importe peu pour ce montage.

• Les résistances doivent être supérieures à  $1\text{ k}\Omega$  pour limiter le courant de sortie ; quand  $v_s \approx \pm A \approx \pm 15$  V (à la saturation) le courant maximum de sortie est ainsi  $i_s \approx 15$  mA (en deçà de la saturation).

Elles doivent être inférieures à  $100\text{ k}\Omega$  pour négliger le courant dans les entrées  $e_+$  et  $e_-$  (donc la résistance est généralement d'au moins  $10\text{ M}\Omega$ ) en comparaison de celui dans les résistances du montage.

• Les résistances utilisées sont  $R_1 = 81,58 \pm 0,43\text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 32,33 \pm 0,18\text{ k}\Omega$ .

• Les mesures correspondent à une variation linéaire, mais seulement jusqu'à une limite de saturation.



La pente de la partie linéaire correspond à un gain  $G = 3,49 \pm 0,01$  ; le modèle proposé est tout à fait compatible :  $\frac{R_1+R_2}{R_2} = 3,523 \pm 0,027$ .

On peut en effet considérer en mode linéaire :  $V_e = V_{e+} = V_{e-}$  ; or, puisque  $I_- = 0$ , le branchement en sortie est un pont diviseur de tension :  $V_{e-} = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_s$  ; inversement :  $V_s = \frac{R_1+R_2}{R_2} V_e$ .

• La saturation est observée pour :  $v_s = V_{sat+} = 14,50 \pm 0,27$  V ;  $v_s = V_{sat-} = -13,91 \pm 0,27$  V. Ceci est à comparer aux tensions d'alimentation :  $A_+ = 15,08 \pm 0,08$  V ;  $A_- = -15,23 \pm 0,08$  V.

On observe une très légère dissymétrie, mais raisonnablement compatible avec les incertitudes de mesure.

On constate que la saturation intervient (en valeur absolue) environ 1 V au dessous de la tension d'alimentation ; ceci donne bien l'ordre de grandeur, mais montre une dépendance par rapport aux détails des circuits intégrés des A.O..

### 3.2. Rétroaction et stabilité du montage

- L'interversion des branchements en  $e_+$  et  $e_-$  peut sembler n'avoir aucune importance dans le calcul théorique si on suppose l'A.O. parfait : on raisonne avec  $\varepsilon = 0$  dont le changement de signe est sans effet.

Au contraire, on vérifie expérimentalement que cette intervention rend le montage "inopérant" : il ne fonctionne plus selon le mode "amplificateur non inverseur" mais bascule toujours en saturation.

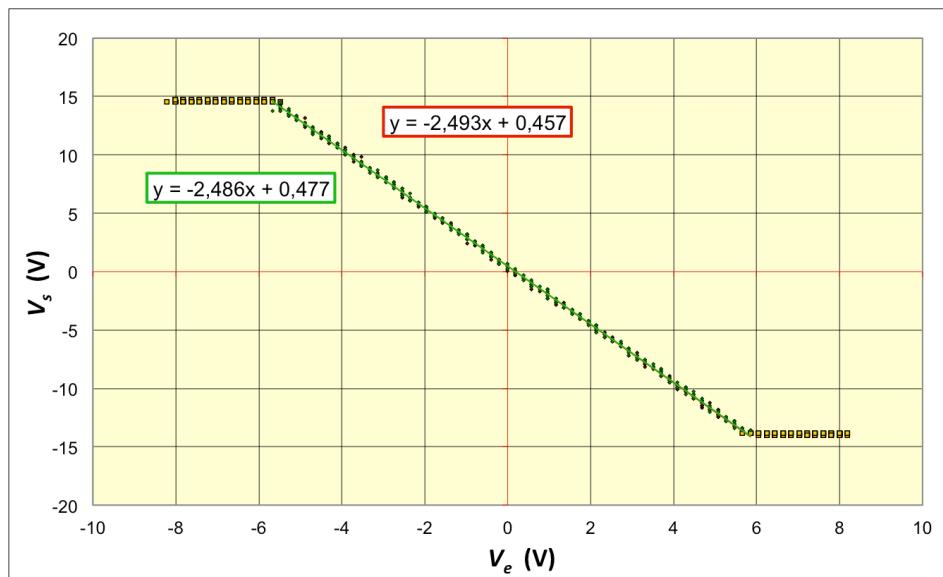
- En pratique, la "stabilité" des montages avec "réaction" (branchement entre la sortie et une entrée) nécessite d'effectuer la réaction sur l'entrée  $e_-$ .

Ceci vient du fait que l'A.O. réel a des caractéristiques moins simples que l'A.O. idéal ; l'équation obtenue pour le modèle simplifié correspond en fait à un "équilibre électrique" stable pour  $\varepsilon \approx 0$  ; si on intervertit les entrées il y a toujours "équilibre" pour  $\varepsilon \approx 0$  mais cela devient un équilibre instable et le moindre signal parasite conduit à la "déstabilisation" du montage et à la saturation de la sortie à  $\pm V_{sat} \approx \pm A$ .

## 4. Montage "amplificateur inverseur"

### 4.1. Tracé de la caractéristique ( $v_e$ ; $v_s$ )

- Les résistances utilisées sont  $R_1 = 32,33 \pm 0,18 \text{ k}\Omega$  et  $R_2 = 81,58 \pm 0,43 \text{ k}\Omega$ .
- Les mesures correspondent à une variation linéaire, mais seulement jusqu'à une limite de saturation.



La pente de la partie linéaire correspond à un gain  $G = -2,49 \pm 0,01$  ; le modèle proposé est tout à fait compatible :  $-\frac{R_2}{R_1} = 2,523 \pm 0,027$ .

On peut en effet considérer en mode linéaire :  $0 = V_{e+} = V_{e-}$  ; or, puisque  $I_- = 0$ , le branchement entre l'entrée et la sortie est un pont diviseur de tension :  $V_{e-} - V_s = \frac{R_2}{R_1+R_2} (V_e - V_s)$  ; inversement :  $V_s = -\frac{R_2}{R_1} V_e$ .

- On constate par contre ici un décentrage : la partie linéaire est décalée de  $0,47 \pm 0,01$  V ; puisque le zéro de l'A.O. a été préalablement réglé avec un montage suiveur de tension, ceci suggère une dissymétrie du circuit intégré : il aurait été intéressant de tester ce réglage avec un montage inverseur (pour  $R_2 = R_1$  ; au cas où le zéro se décale quand on change son signe). Cela montre en fait l'importance de ce type de réglage pour toutes les utilisations ou un comportement linéaire non décalé est indispensable.

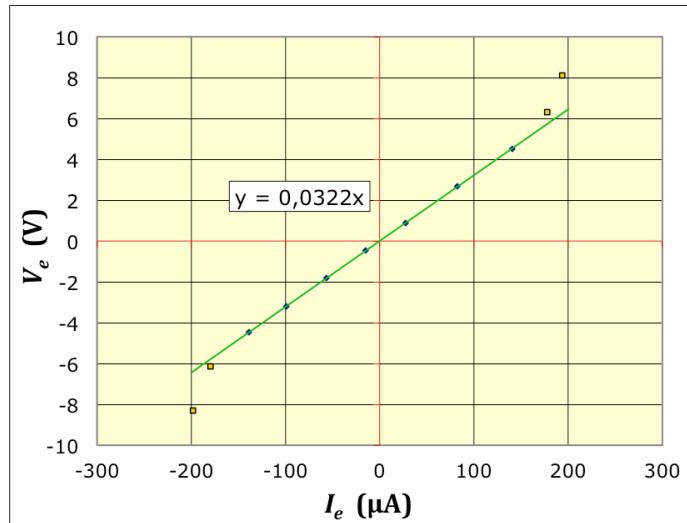
- La saturation est observée pour :  $v_s = V_{sat_+} = 14,55 \pm 0,27$  V ;  $v_s = V_{sat_-} = -13,87 \pm 0,27$  V. Ceci est à comparer aux tensions d'alimentation :  $A_+ = 15,08 \pm 0,08$  V ;  $A_- = -15,23 \pm 0,08$  V.

On observe une très légère dissymétrie, mais raisonnablement compatible avec les incertitudes de mesure.

On constate ici encore que la saturation intervient (en valeur absolue) environ 1 V au dessous de la tension d'alimentation.

#### 4.2. Amélioration à l'aide d'un “suiveur de tension”

- Les mesures du courant d'entrée en fonction de la tension d'entrée montrent une parfaite linéarité (hormis pour les points extrêmes, pour lesquels il y a saturation).



La pente donne la résistance d'entrée :  $R_e = 32,2 \pm 0,1$  k $\Omega$  tout à fait compatible avec  $R_1$ .

On peut en effet considérer en mode linéaire :  $0 = V_{e+} = V_{e-}$  ;  $V_e - V_{e-} = R_1 I_e$ .

- En ajoutant en entrée un “suiveur de tension”, la résistance d'entrée du montage ainsi modifié est quasi-infinie : le courant d'entrée est compatible avec zéro ( $0,02 \pm 0,02$   $\mu$ A).