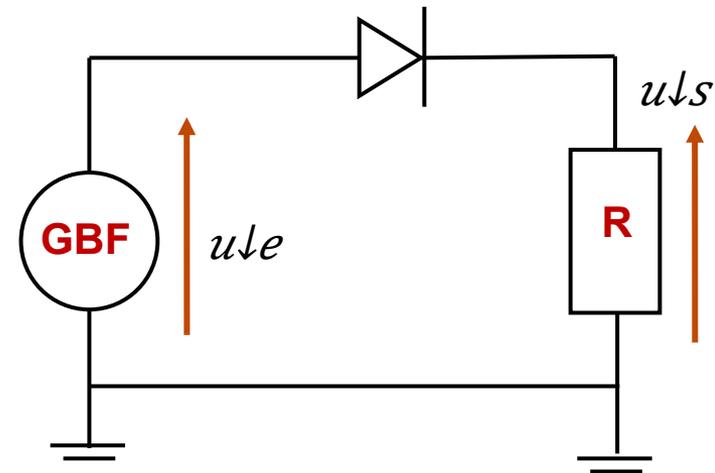


# Debriefing du TP n° 2 : Redressement de tension monoalternance

- Le GBF (considéré comme une source de tension parfaite, i.e. avec une impédance de sortie quasi nulle) génère une tension  $u_{le}(t)$  sinusoïdale d'amplitude 15 V
  - Dessinez la forme du signal  $u_{le}(t)$
- Le GBF est connecté au circuit suivant :
  - Dessinez la forme du signal en sortie  $u_{ls}(t)$
  - Pourquoi parle-t-on de redressement Monoalternance
  - Comment est modifié le signal si l'on ajoute un condensateur en parallèle de la résistance ?

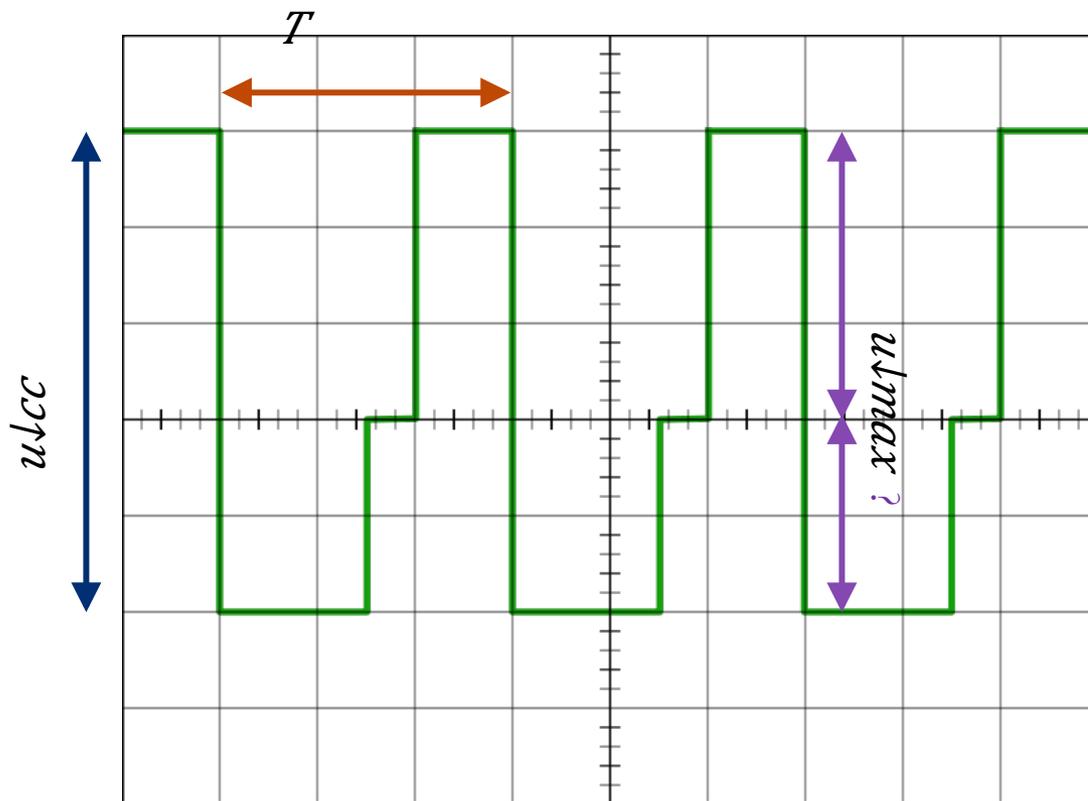


# Debriefing du TP n° 2

- Signal alternatif périodique de période  $T$  :  $u(t)$  (AC ou CA)
  - Un signal alternatif (au sens strict) est à moyenne nulle :  
$$\langle u(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt, a \text{ quelconque}$$
  - Une autre grandeur importante pour caractériser une tension alternative est sa valeur efficace
    - Elle correspond à la valeur d'une tension continue qui fournirait la même puissance sur une résistance (rappel  $\langle P \rangle = u_{\text{eff}}^2 / R = U_{\text{équivalent}}^2 / R$ )  
$$u_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$
  - Pour définir sans ambiguïté une tension alternative, il est préférable d'utiliser la tension crête-à-crête :  $U_{\text{CC}}$ , que la tension maximale (0 à crête)

# Debriefing du TP n°2

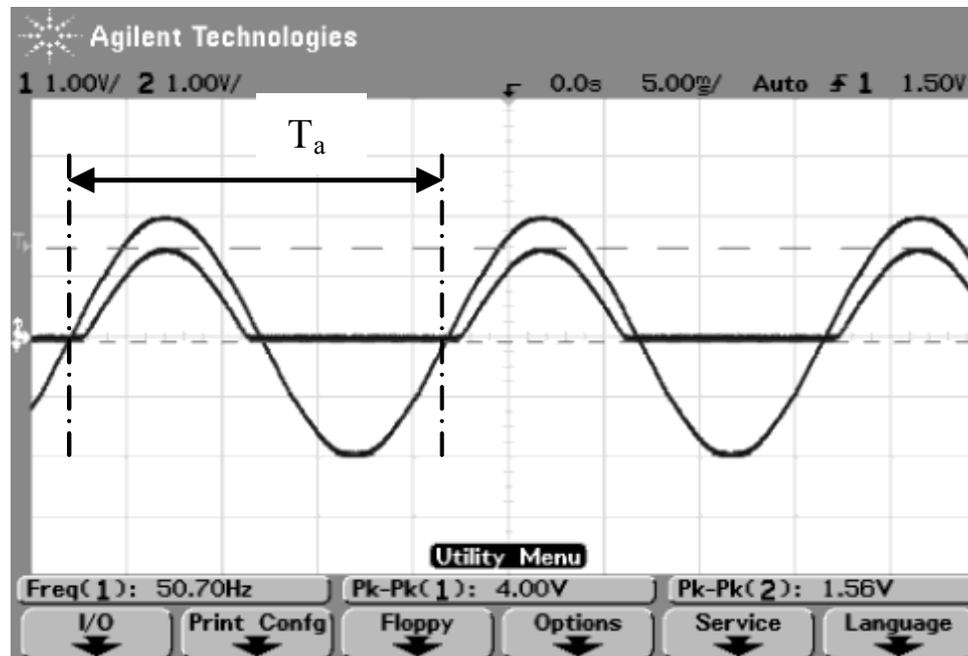
- Signal alternatif périodique de période  $T$  :  $u(t)$  (AC ou CA)



- Période  $T$  : 3 carreaux
- Moyenne sur une période : nulle (3 carreaux en positif et 3 carreaux en négatif)
- Tension crête-à-crête  $u_{cc}$  : 5 carreaux
- Tension zéro à crête : on voit que pour cet exemple non symétrique par rapport à l'axe des temps, il ne peut être défini sans ambiguïté
- Tension efficace  $u_{eff}$  :  $\sqrt{12}$  carreaux

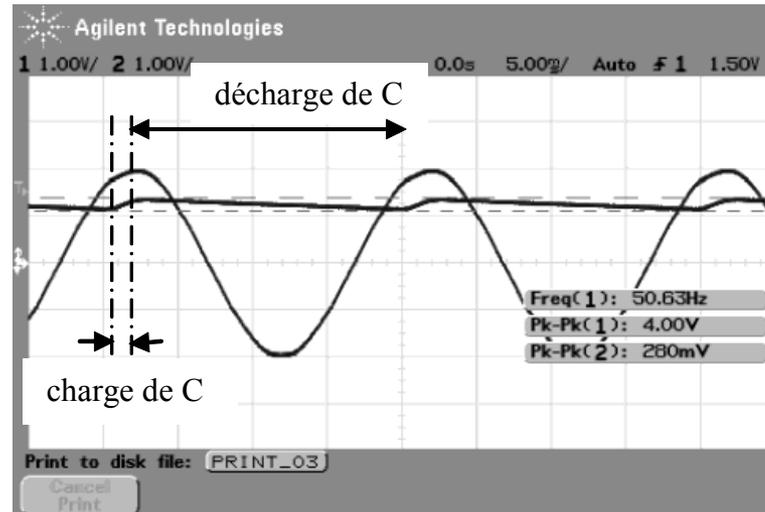
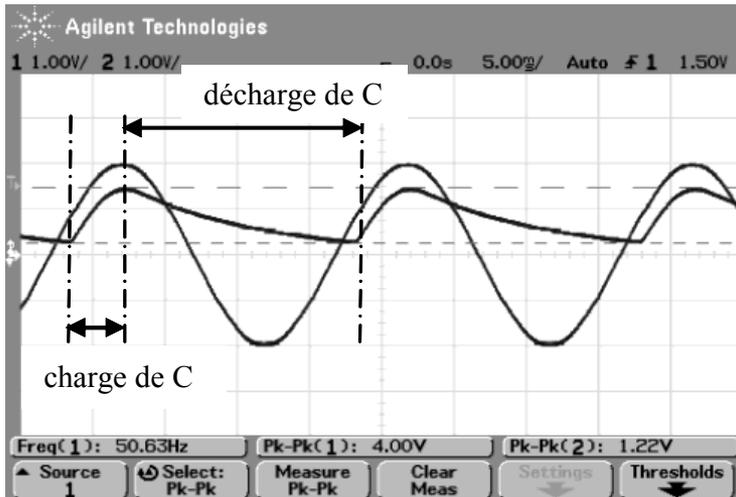
# Debriefing du TP n°2

- Redressement monoalternance
  - Sans condensateur « réservoir »
    - Décalage avant conduction du à la tension seuil
    - Diminution au maximum dépendant de la tension d'entrée du à la résistance interne de la diode



# Debriefing du TP n°2

- Redressement monoalternance
  - Avec condensateur réservoir
    - Permet de lisser la tension produite par la diode au niveau de la résistance



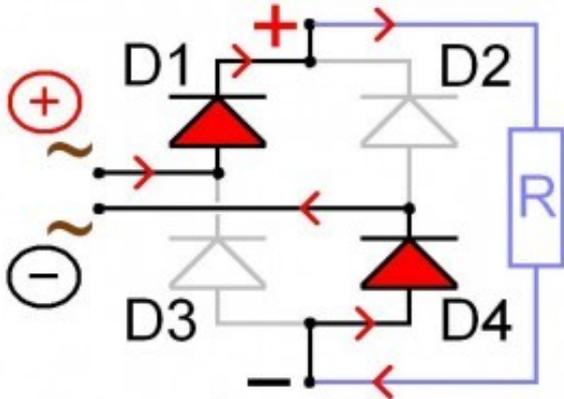
- Expliquer le résultat observé sur les figures ci-dessus
  - ➔ Pour vous aider faite un schéma équivalent du circuit dans le cas où la diode est passante puis dans le cas où elle est bloquée.
  - ➔ Pour ces deux courbes, laquelle utilise le condensateur de plus grosse capacité

# Debriefing du TP n°2

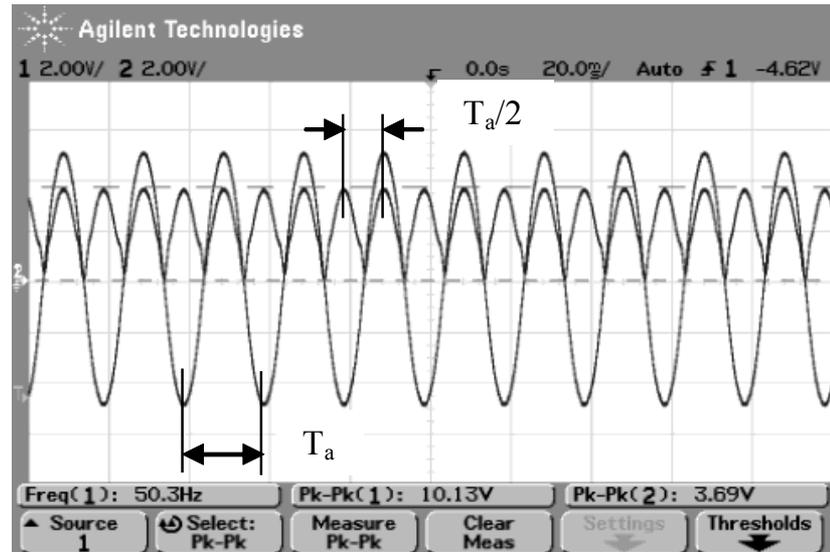
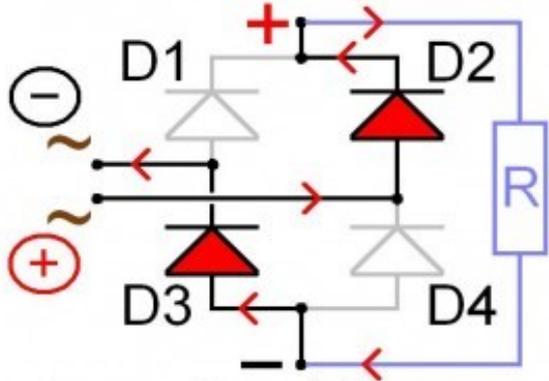
- Redressement double alternance :

- Pont de Graëtz à diodes

- Alternance positive



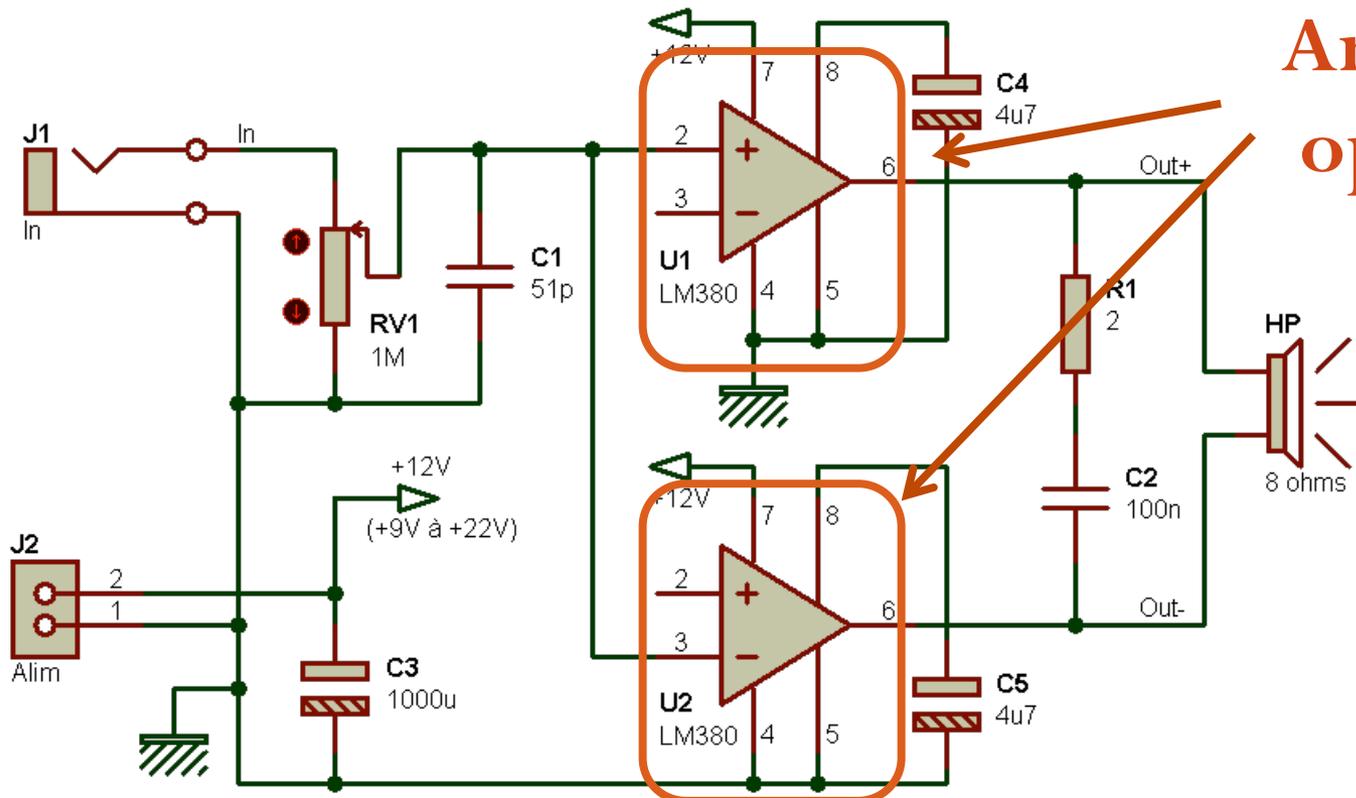
- Alternance négative



➔ Le courant parcourt  $R$  toujours dans le même sens pour les deux alternances

# 2<sup>ème</sup> partie : Amplification

- D'un signal faible inutilisable ( $> 1 \text{ mW}$ ) à un signal suffisamment puissant pour faire fonctionner un haut parleur (de  $20 \text{ W}$  à  $> 100 \text{ W}$ )



**Amplificateur  
opérationnel  
(AO)**

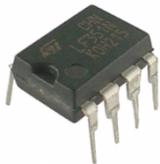
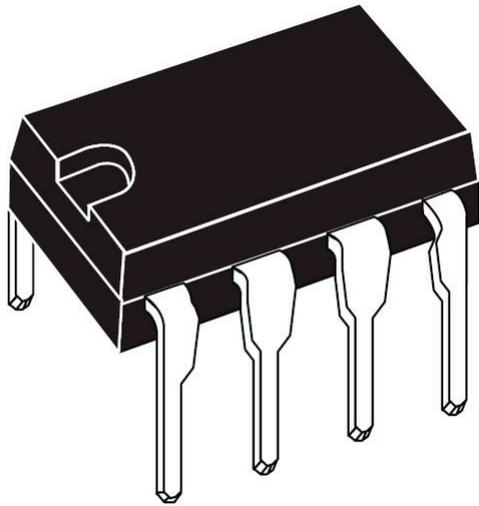
## 2<sup>ème</sup> partie : Amplification

- Pour qu'il y ait amplification il faut apporter de l'énergie (de la puissance) de l'extérieur !!
  - Une résistance transforme de « l'énergie électrique » en chaleur (effet Joules)
  - Une capacité et une inductance permettent de stocker l'énergie électrique (sous différentes formes) et de la restitué par la suite, mais elles n'apportent pas d'énergie au circuit
  - La diode consomme de l'énergie mais n'en apporte pas
  - ➔ On parle de composants passifs.
  - ➔ Un circuit composé seulement de ces composants est par extension un circuit dit passif.

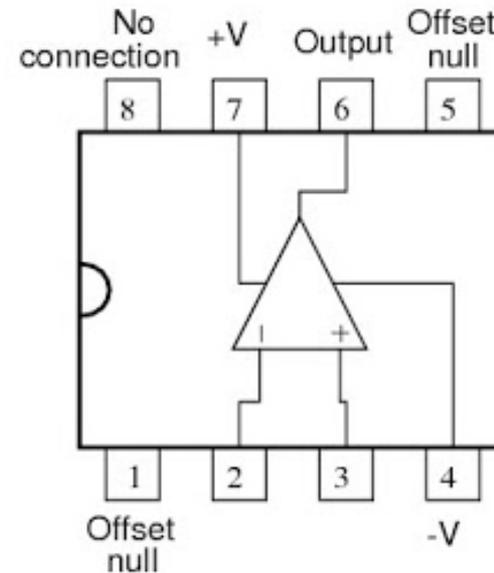
Un amplificateur opérationnel, lui utilise une source d'énergie extérieure pour

# Cours n° 3 : L'amplificateur opérationnel (AO)

- Présentation externe



*Typical 8-pin "DIP" op-amp integrated circuit*

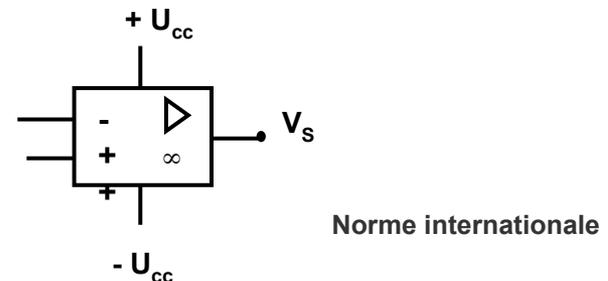
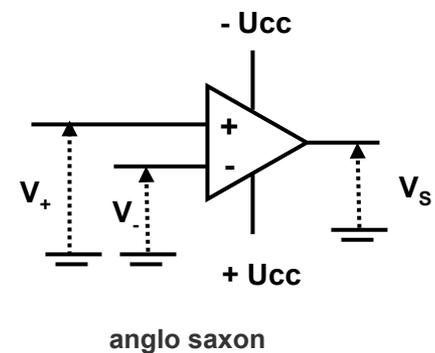
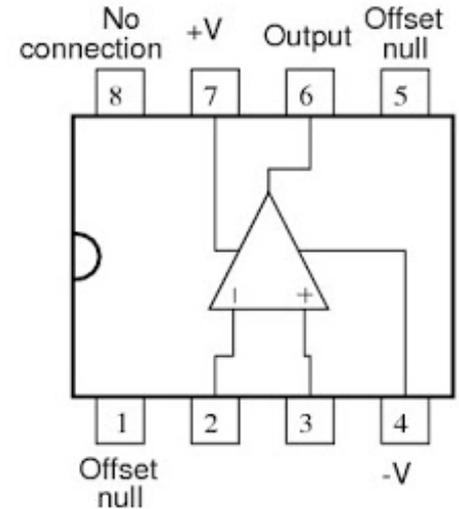


- Remarques :

- Ce circuit existe également en boîtier 16 broches et en boîtier rond (métal) 8 broches
- Dans certaines applications particulières, l'alimentation peut être asymétrique
- Les broches 1 et 5 permettent de corriger un défaut de l'AOp (tension de décalage)

# Cours n° 3 : L'amplificateur opérationnel (AO)

- Alimentation (à quoi ça sert à votre avis ?)
  - Une entrée  $+U_{cc}$  (certains schémas  $+V$ )
  - Une entrée  $-U_{cc}$  (certains schémas  $-V$ )
  - Si  $+U_{cc} = -U_{cc}$  on dit que l'alimentation est symétrique
- « Offset null », on oublie, c'est pour corriger des défauts de l'amplificateurs
- Les entrées du (des) signaux à amplifier correspondent aux broches 2 et 3. On prendra par la suite les notations :
  - $V_{\downarrow+}$  pour la broche 3 dite entrée non-inverseuse
  - $V_{\downarrow-}$  pour la broche 2 dite entrée inverseuse
  - $\varepsilon = V_{\downarrow+} - V_{\downarrow-}$  dite tension différentielle
  - $V_{\downarrow S}$  : tension de sortie pour la broche 6



# Caractéristiques de transfert (entrée-sortie) de l'AO idéal

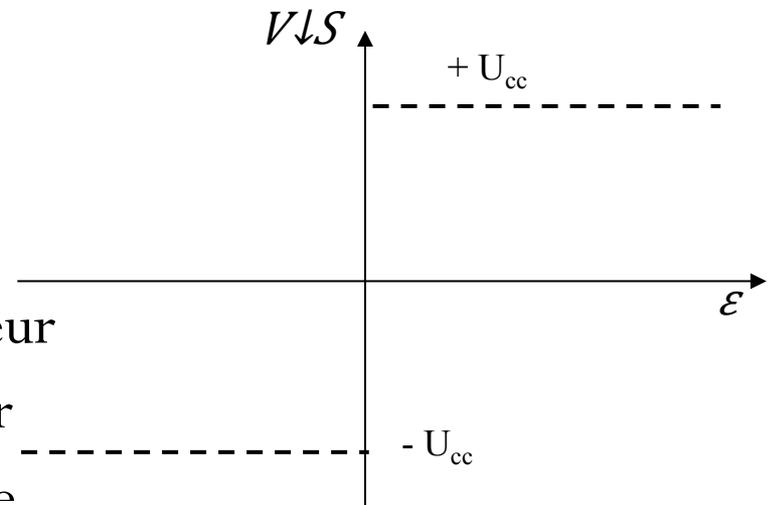
- La caractéristique de transfert, idéale, présentée ci-contre permet de définir le mode de fonctionnement de l'AO

- Si  $\varepsilon \neq 0 \rightarrow$  la sortie est en régime de saturation, ie  $V_{\downarrow S} = \pm cte \approx \pm U_{cc}$
- Si  $\varepsilon = 0 \rightarrow$  l'AO est en régime linéaire

$V_{\downarrow S}$  est déterminé par le circuit extérieur

S'il n'y a pas de rétroaction (amplificateur

En boucle ouverte) le gain est alors infini



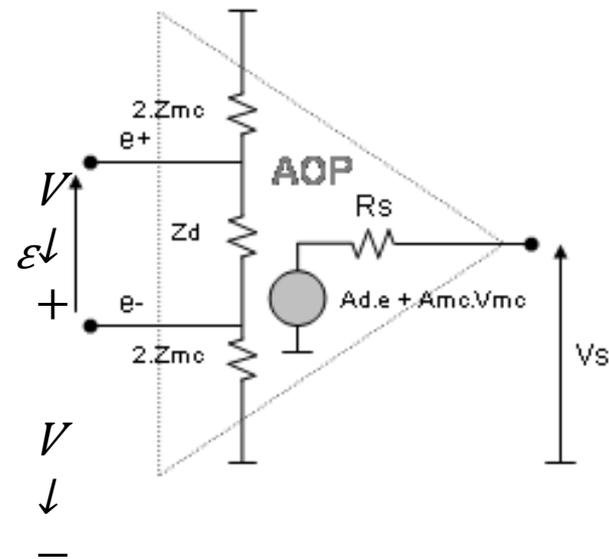
- Remarque : en régime de saturation, la tension différentielle d'entrée  $\varepsilon$ , est déterminée par le circuit extérieur

# Caractéristiques de supplémentaires de l'AO idéal

- Les impédances des entrées  $V_{\downarrow+}$  et  $V_{\downarrow-}$  sont infinie

- $Z_{\downarrow mc} = 0$

- $Z_{\downarrow d} = 0$



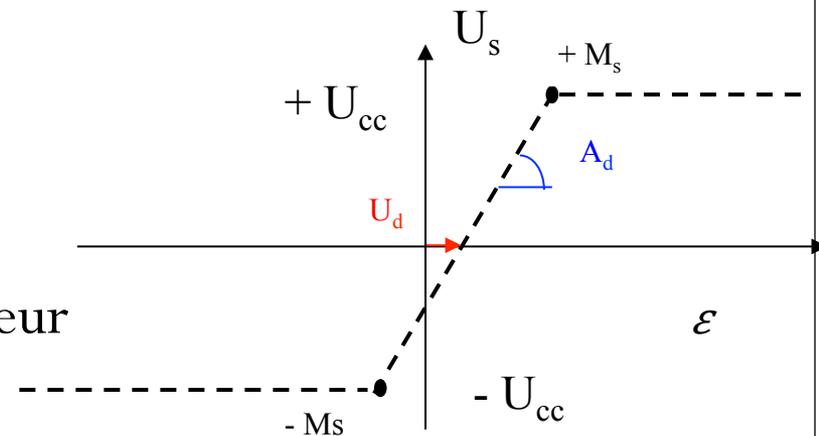
→  $I_{\downarrow+} = I_{\downarrow-} = 0$ . Vous considérez que c'est toujours le cas dans les calcul que vous ferrez

- L'impédance de sortie est nulle :  $R_{\downarrow s} = 0$

# Caractéristiques de transfert (entrée-sortie) de l'AO réel

- La caractéristique de transfert, idéale, présentée ci-contre permet de définir le mode de fonctionnement de l'AO

- Si  $\varepsilon \neq 0 \rightarrow$  la sortie est en régime de saturation, ie  $V \downarrow S = \pm cte \approx \pm U \downarrow cc$
- Si  $\varepsilon = 0 \rightarrow$  l'AO est en régime linéaire  
 $V \downarrow S$  est déterminé par le circuit extérieur  
S'il n'y a pas de rétroaction le gain est  
Alors infinie



- Remarque : en régime de saturation, la tension différentielle d'entrée  $\varepsilon$ , est déterminée par le circuit extérieur

# Comment utiliser l'AO

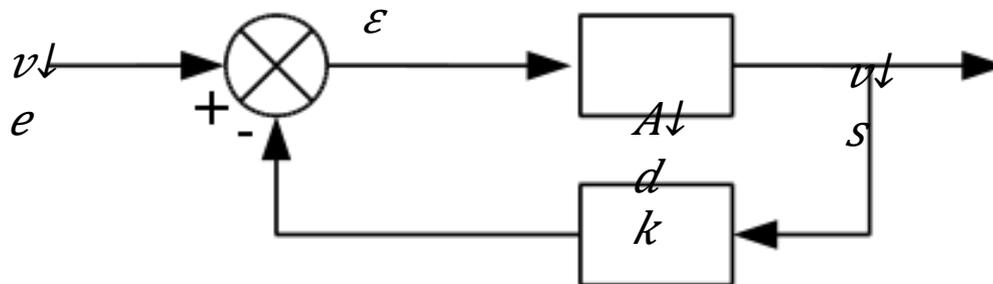
- Que doit faire un amplificateur en tension ?
  - Définition :  $v_{\downarrow S}(t) = G(t, \omega, v_{\downarrow e}) * v_{\downarrow e}(t)$ 
    - $G(t, \omega, v_{\downarrow e})$  est le gain en tension
    - Le but est de faire de l'amplification linéaire  $G(t, \omega, v_{\downarrow e}) = G$ 
      - note : en pratique on verra qu'il y a une limite  $G(\omega)$
- Comment réaliser cette fonction avec un AO ?
  - On a vu que le régime linéaire n'est possible que sur le segment  $[-M_s, +M_s]$  donc pour des valeurs très (**TROP**) faibles de  $\varepsilon$ .  
On ne pourra obtenir le régime linéaire sans une intervention « extérieure » : c'est l'objectif des montages en réaction qui permettent de maintenir le point de fonctionnement du circuit entre  $-M_s$  et  $+M_s$ .

# Comment utiliser l'AO

- Remarque importante :
  - Un AO dispose de deux entrées  $V_{\downarrow+}$  et  $V_{\downarrow-}$  et bien que, le plus souvent, on n'ait qu'un seul signal d'entrée  $v_{\downarrow e}(t)$  (cas de l'amplification, par exemple), il faudra cependant toujours penser à polariser les deux entrées.
    - ➔ Le signal à amplifier est envoyé sur l'entrée  $V_{\downarrow+}$  ou  $V_{\downarrow-}$ , l'entrée restante est placée à un potentiel de référence (souvent la masse).
    - ➔ Ce qui compte c'est la différence entre les deux entrées  $\mathcal{E}$

# Rétroaction négative

- Comment avoir une amplification pour des signaux d'entrée raisonnable :
  - Objectif : Garder  $\varepsilon$  le plus proche de 0 pour reseter entre  $+M\downarrow S$  et  $-M\downarrow S$
  - Comment : prélever une fraction  $k$  du signal de sortie et la réinjecter au niveau de l'entrée in verseuse (soustraction), comme cela si le signal de sortie devient trop grand, on réduit le signal d'entrée différentielle pour le ramener dans la gamme  $[-M\downarrow S, +M\downarrow S]$ .



# Rétroaction négative

- Effet de la rétroaction :

- En entrée :

$$V_{\downarrow+} = v_{\downarrow e}$$

$$V_{\downarrow-} = k \cdot v_{\downarrow s}$$

$$\varepsilon = (V_{\downarrow+} - V_{\downarrow-}) = v_{\downarrow e} - k \cdot v_{\downarrow s}$$

- En sortie

$$v_{\downarrow s} = A_{\downarrow d} \varepsilon = A_{\downarrow d} (v_{\downarrow e} - k \cdot v_{\downarrow s})$$

- D'où :

$$v_{\downarrow s} = A_{\downarrow d} / (1 + k A_{\downarrow d}) v_{\downarrow e} \rightarrow A_{\downarrow d} \gg 1, v_{\downarrow s} = 1/k v_{\downarrow e} \text{ et } \varepsilon \approx 0$$

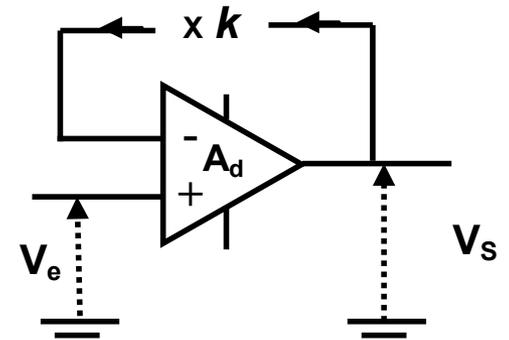
- Le nouveau gain ne dépend que du circuit extérieur :  $G = 1/k$

- L'AO est bien en régime **linéaire** car  $\varepsilon$  **reste très petit** !

- Faites le même raisonnement avec la rétroaction sur l'entrée  $V_{\downarrow+}$  .

- Il semble que cela marche aussi ....

- A votre avis où est le problème ? (regardez ce qui se passe si la sortie est perturbée)



# Comment faire la rétroaction

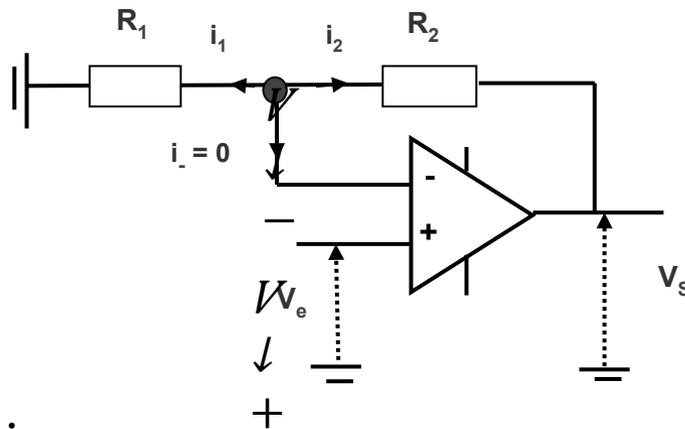
- Comment prélever une fraction d'une tension :

## Le diviseur de tension

- Il existe plusieurs façons de placer le diviseur de tension, ce qui donnera lieu à des relations différentes entre la tension de sortie et la tension d'entrée

# Amplificateur non inverseur

- Montage :



Il y a bien une rétroaction sur l'entrée  $V_{-}$

➔ Régime linéaire :  $V_{+} = V_{-}$

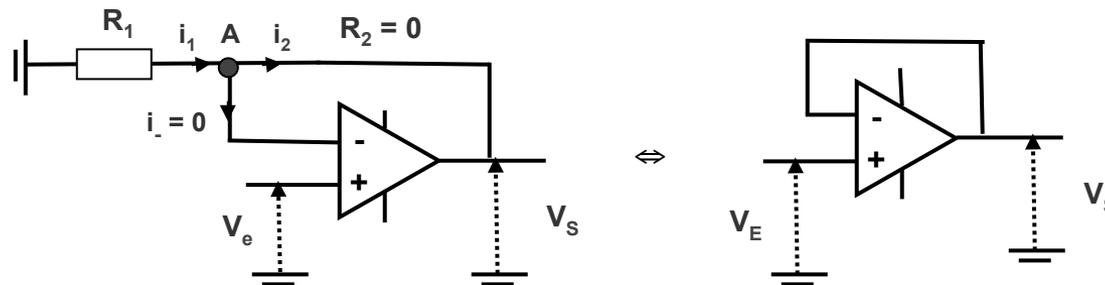
- Gain :

$$G = 1 + R_2 / R_1$$

- Utilité : amplification linéaire de la tension d'entrée sans changer sa phase

# Montage suiveur

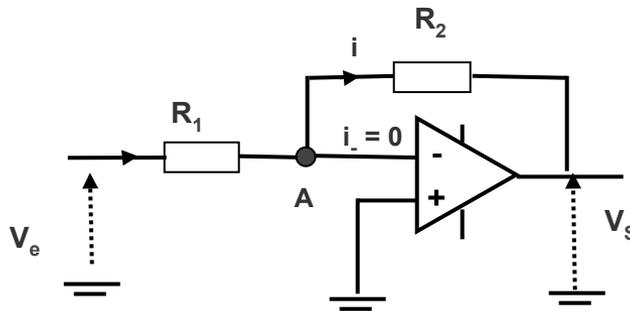
- Schéma du montage



- Gain :  $G=1$
- Utilité : adaptation d'impédance
  - Soit un générateur réel délivrant une tension  $E=1$  V avec une résistance interne de  $50 \Omega$ . Quelle est la puissance délivrée sur une charge de  $10 \Omega$
  - Maintenant placé un montage suiveur entre le générateur réel et la charge de  $10 \Omega$ . Quelle est la puissance délivrée sur la charge
  - Y-a-t-il eu amplification ?

# Amplificateur inverseur

- Schéma du montage :



Il y a bien une  
rétroaction sur  
l'entrée  $V_{\downarrow-}$   
→ Régime linéaire :  
 $V_{\downarrow+} = V_{\downarrow-}$

- Gain

$$G = -R_{\downarrow 2} / R_{\downarrow 1}$$

- Utilité :

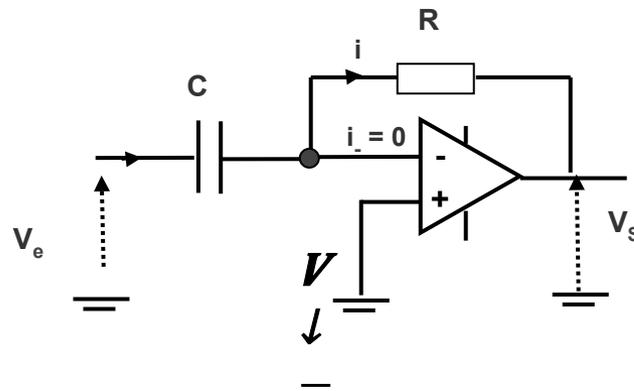
- amplification linéaire de la tension d'entrée et déphasage de  $\pi$
- Possibilité de faire varier le gain linéairement en modifiant  $R_{\downarrow 2}$  (bouton volume de la chaîne stéréo qui actionne une résistance variable)

# Réalisation de fonctions mathématiques

- Montage inverseur-sommeur
  - Montage soustracteur
- Exercice : Proposez un montage pour chacun des cas précédents

# Réalisation de fonctions mathématiques

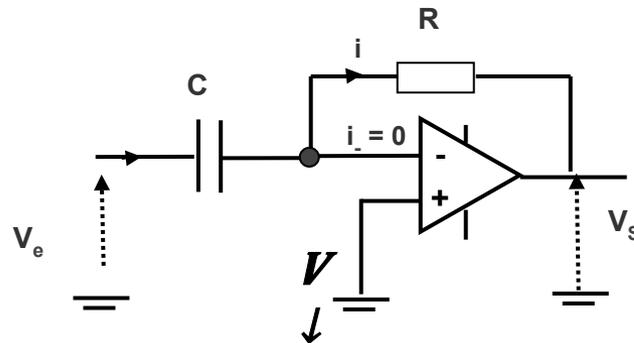
- Montage dérivateur inverseur



- Exercice : calculer le gain en tension de ce montage (sans utiliser le formalisme complexe)
  - ➔ Attention dans ce cas  $G = G(t)$
- Proposer un montage pour réaliser l'intégration

# Convertisseur Courant-Tension

- Schéma du montage



- On parle aussi de masse virtuelle
  - Utilité pour la mesure de la diode
- Proposer un montage pour réaliser l'intégration

# Limites de l'AO en fréquence

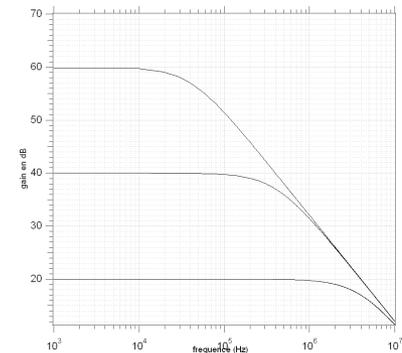
- L'AO présente une bande passante limitée :
  - Au dessus d'une certaine fréquence (pulsation  $\omega$ ) du signal, l'amplificateur ne peut plus assurer le gain qu'il doit normalement avoir. Ce dernier décroît de plus en plus vite plus la fréquence du signal d'entrée devient grande.
  - On appelle fréquence de coupure ( $\omega_c$ ) la fréquence à laquelle le signal de sortie est divisé par  $\sqrt{2}$  par rapport à la valeur qu'il devrait avoir :

$$G(\omega_c) = G_{MAX} / \sqrt{2}$$

- Pour un amplificateur opérationnel la grandeur qui est conservée est appelé le produit gain bande :

$$G * \omega_c (G) = A_{vd} \omega_c (A_{vd}) = cte$$

- ➔ Plus le gain du circuit complet est fort, plus la fréquence de coupure est faible



Fin du TD n°3