

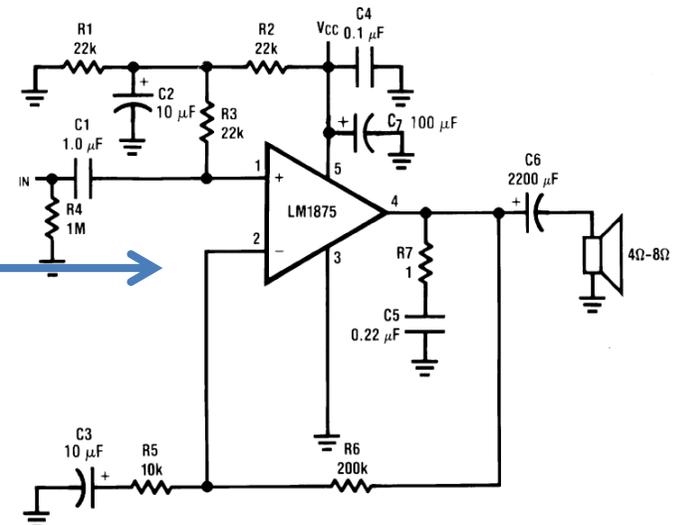
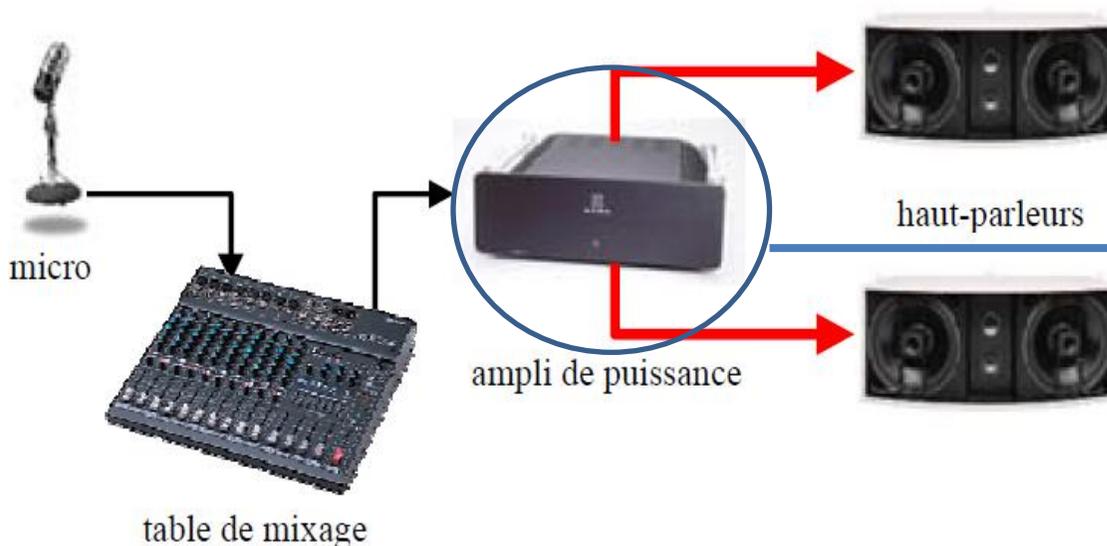
# **Fonction**

## **Amplification de Puissance**

# Généralités

## ● Pourquoi amplifier un signal en puissance?

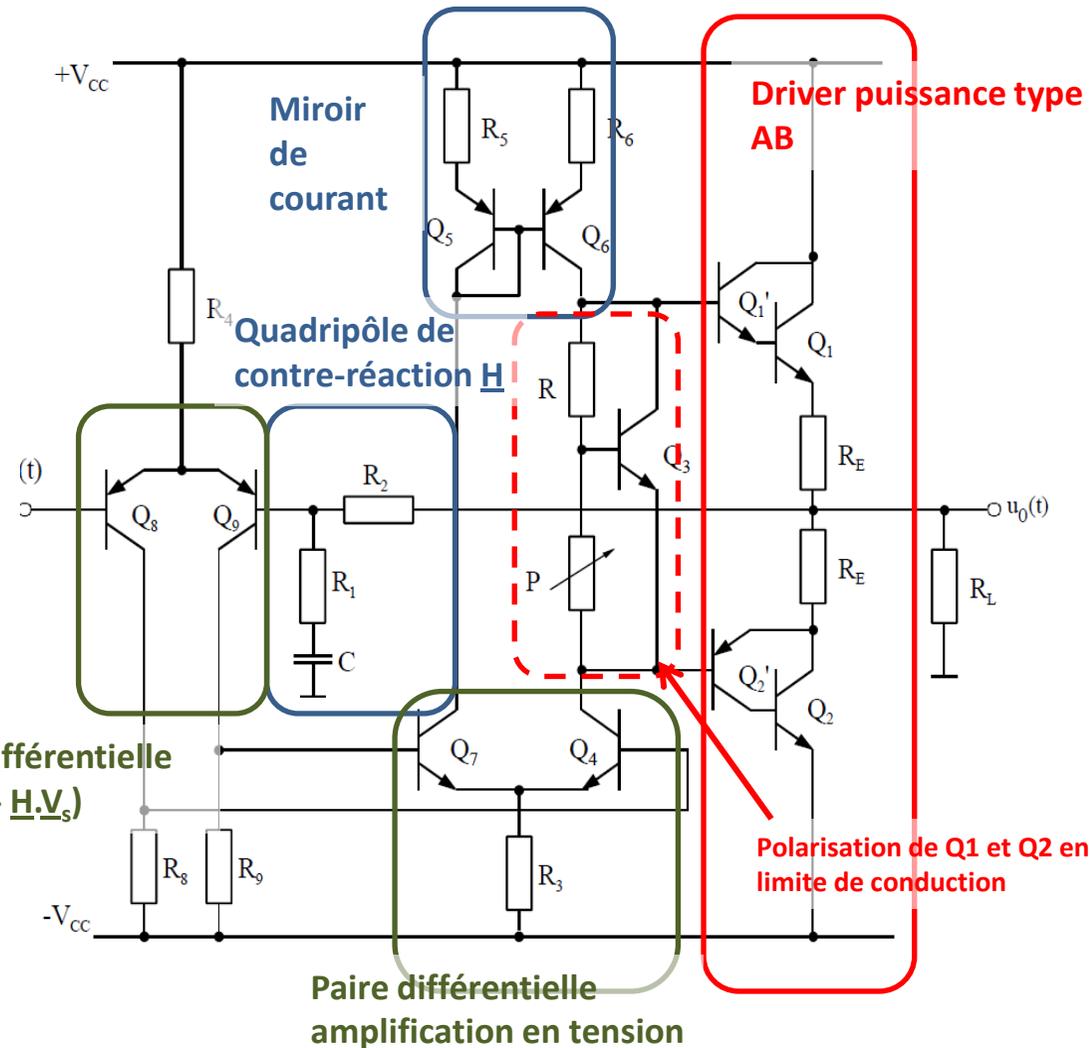
- **Entrée** : Signal issu d'un transducteur
  - signal en  $mV$  ou  $V$  et  $mA \Rightarrow \mu W$  ou  $mW$  en entrée
- **Sortie** : Dispositif Electromécanique (Haut parleur 100W)
  - signal en  $V$  et  $qq$  centaines de  $mA$  voir  $qq A \Rightarrow W$



# Généralités

## Architecture typique d'un ampli de puissance

- *Etage d'entrée: amplificateur de tension*
  - Impédance d'entrée élevée
  - Gain en tension élevée indépendant de la source d'entrée en entrée
- *Etage de sortie : amplificateur de courant*
  - Impédance de sortie
    - Adaptation d'impédance vis-à-vis de la charge
  - Amplification en courant
    - Transistor de puissance
    - Classification de la structure en fonction de la durée de conduction



# Généralités

## ● Classification

- On classe les amplificateurs en fonction de l'**angle de conduction** des transistors : les caractéristiques essentielles sont le **rendement** et la **distortion**
  - ❖  $T$  est la période du signal à reproduire
  - ❖  $\alpha$  est l'angle d'ouverture c'est l'angle électrique pendant lequel le transistor est actif sur une période

**Classe A :**  $\alpha = 360^\circ \Rightarrow$  **très faible distorsion - mauvais rendement**

**Classe B push-pull :**  $\alpha = 180^\circ \Rightarrow$  **distorsion importante - bon rendement**

**Classe AB push-pull :**  $\alpha = 180^\circ + \varepsilon, \Rightarrow$  **distorsion faible - bon rendement**

**Classe C :**  $\alpha < 180^\circ, \Rightarrow$  **distorsion très importante - très bon rendement**

**Classe D :**  $\alpha \approx 0^\circ, \Rightarrow$  **Transistor en commutation- très forte puissance, très bon rendement**

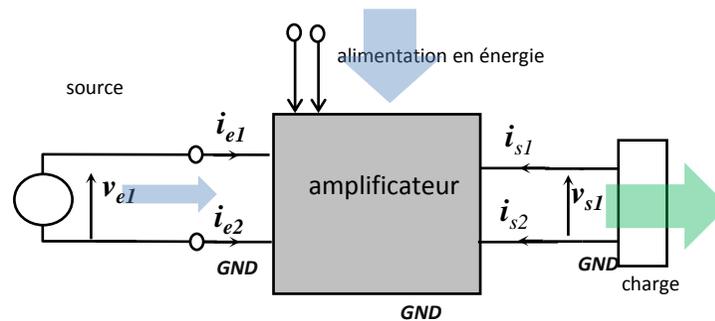
# Puissances

## Bilan de puissance d'un amplificateur

- La puissance active fournie par l'alimentation :  $(V_{cc}, I_{alim})$  en monotension
- La puissance fournie par la source d'entrée: négligeable en général
- La puissance délivrée à la charge qui se décompose en 2 termes:
  - Une puissance 'de polarisation' (non utile):  $P_{DC}$
  - Une puissance utile:  $P_U$

Le rendement est défini par:

$$\eta = \frac{P_U}{P_{TOTAL}} \approx \frac{P_U}{P_{alim}}$$



Ne pas confondre le bilan de puissance avec le gain en puissance de la source d'entrée par rapport à la sortie  
 $G_{pdB} = 10\log(A_v A_i)$

## calcul d'une puissance active

- Soit des signaux électriques  $X(t)$  décomposable en
  - une composante continue :  $X_0$
  - une composante **alternative** :  $\Delta x(t)$ 
    - Valeur moyenne **NULLE!**
- Pour des grandeurs sinusoïdales
  - $P_U = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta v(t) \Delta i(t) dt = V_{eff} I_{eff} \cos\phi = \frac{1}{2} \text{Re}(\underline{V} \cdot \underline{I}^*)$

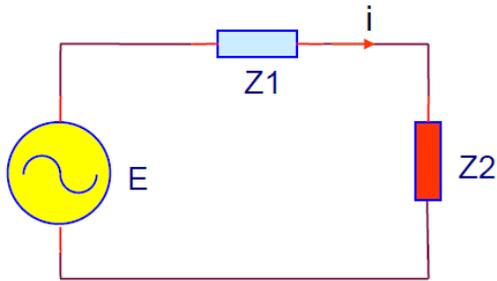
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (V_0 + \Delta v(t)) (I_0 + \Delta i(t)) dt$$

$$P = \underbrace{V_0 I_0}_{P_{DC}} + \underbrace{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta v(t) \Delta i(t) dt}_{P_{AC} = P_u}$$

# Impédances

## ● Adaptation d'impédance

- $P_s$  est maxi lorsque  $Z_1 = Z_2^*$



$$|I| = \frac{E}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

$$Z1 = R1 + jX1$$

$$Z2 = R2 + jX2$$

$$P = R_2 I^2 = \frac{R_2 E^2}{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

P est maximale pour  $X1 + X2 = 0$  →

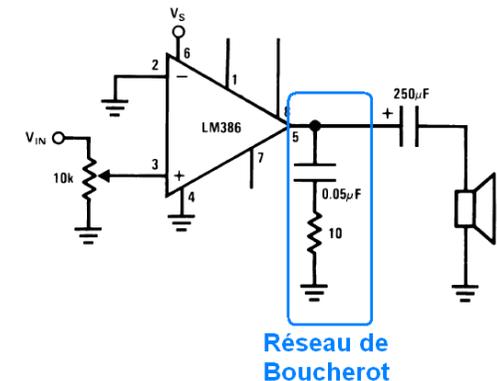
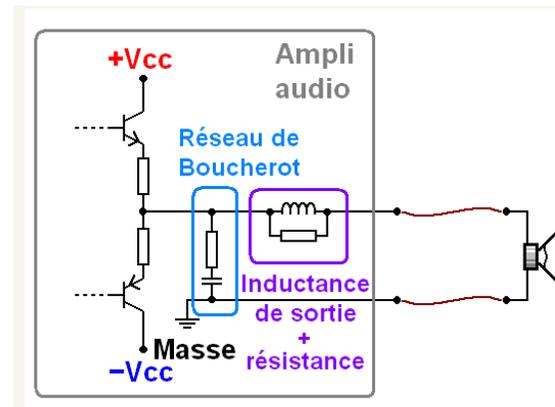
$$P = \frac{R_2 E^2}{(R_1 + R_2)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dR_2} = E^2 \left[ \frac{(R_1 + R_2)(R_1 - R_2)}{(R_1 + R_2)^4} \right] = 0 \Rightarrow$$

**Solution : R1=R2**

## ● Correcteur d'impédance

- Se rapprocher de l'adaptation d'impédance pour une bande de fréquence
- Assurer la stabilité des ampli qui sont rebouclés en général



# Dynamique de sortie

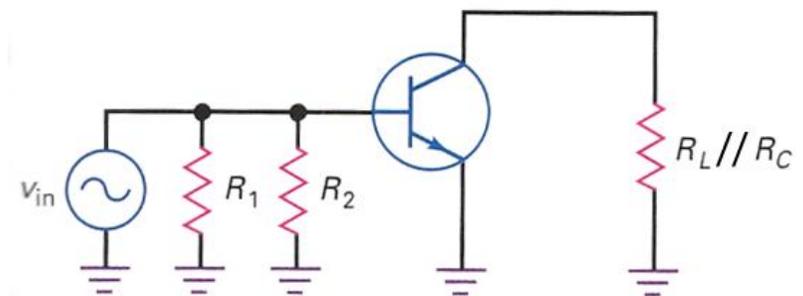
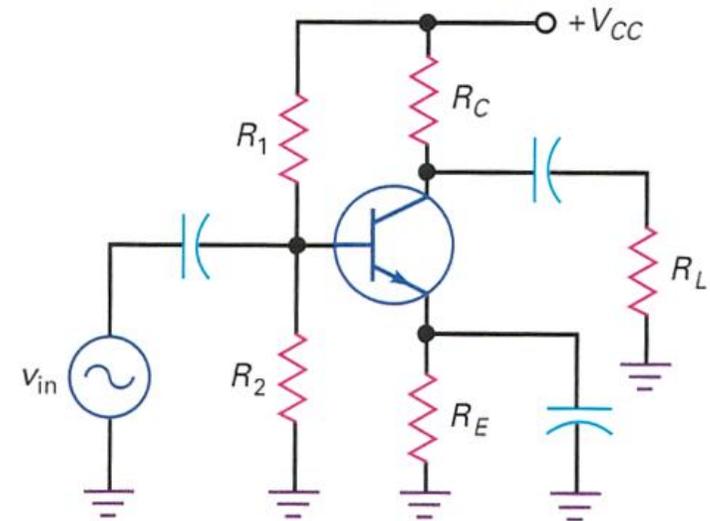
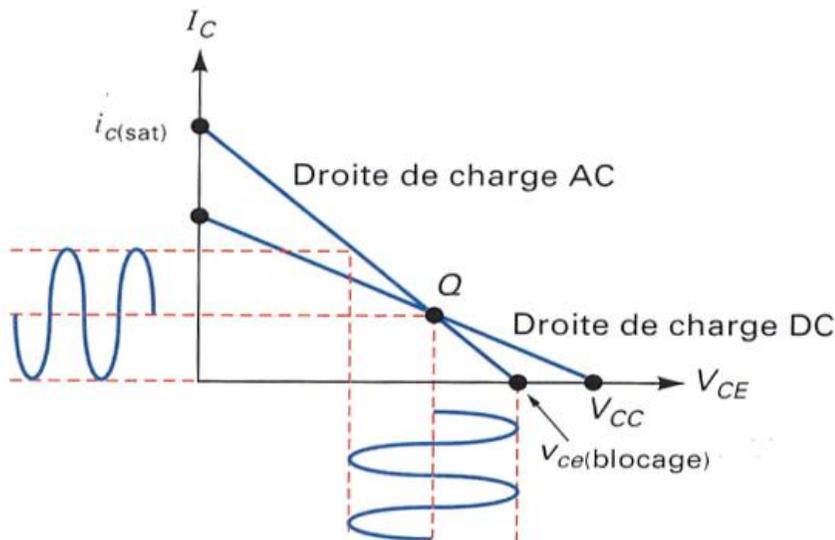
## ● Droite de charge

### ■ STATIQUE

- Défini le point de repos

### ■ DYNAMIQUE

- trajectoire du point de fonctionnement instantané
  - Passe par  $(V_{CE0}, I_{C0})$
  - Défini l'excursion des signaux



# Dynamique de sortie

## Excursion maximale de sortie

- Influence du point de repos
  - Ecrêtage au blocage du transistor
  - Ecrêtage à la saturation du transistor

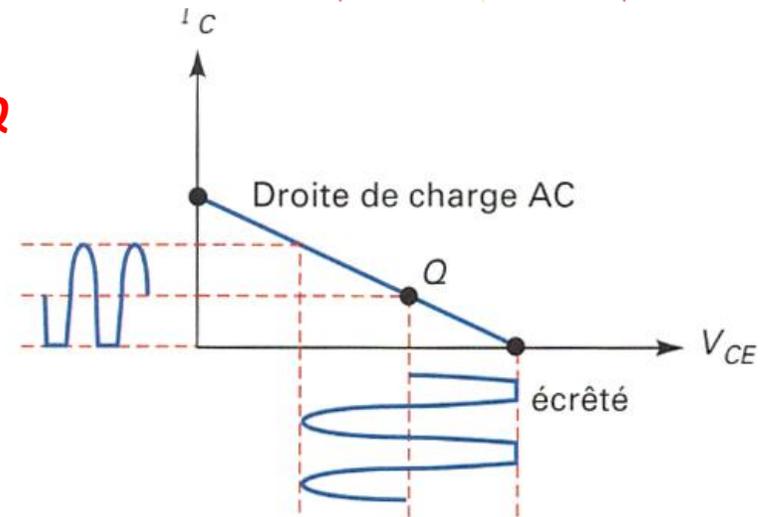
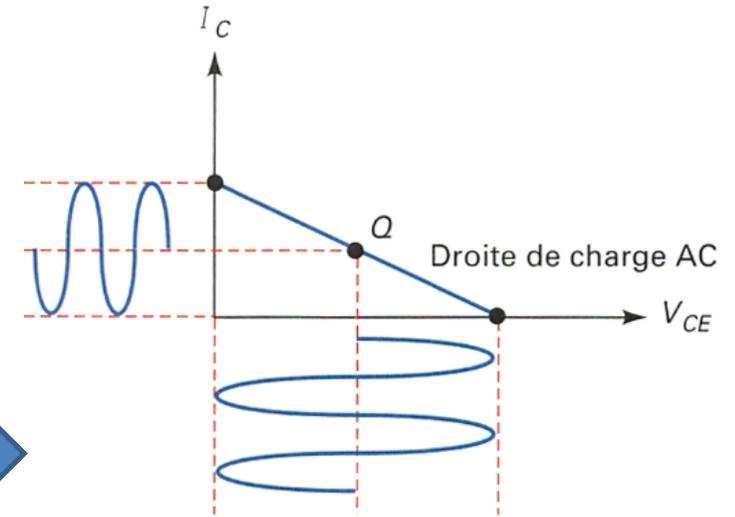
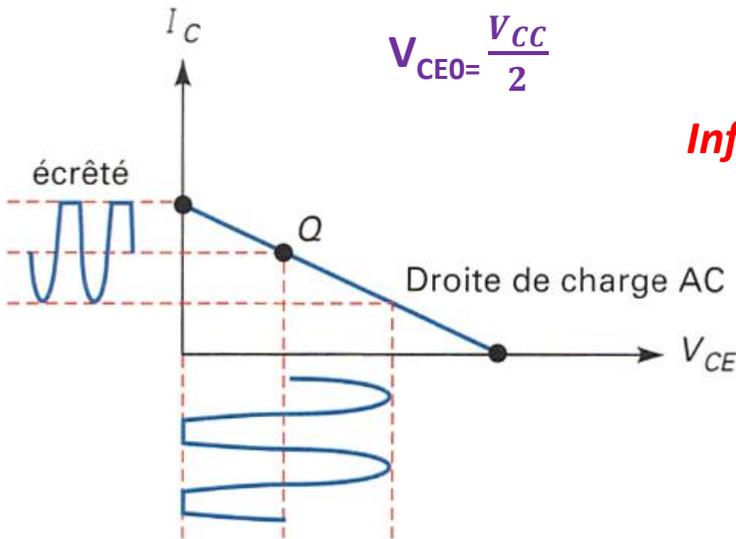
$$I_C=0$$

$$V_{CE}=0$$

- Point optimal pour un maximum d'excursion

$$V_{CE0} = \frac{V_{CC}}{2}$$

**Influence du point Q**



# Classe A

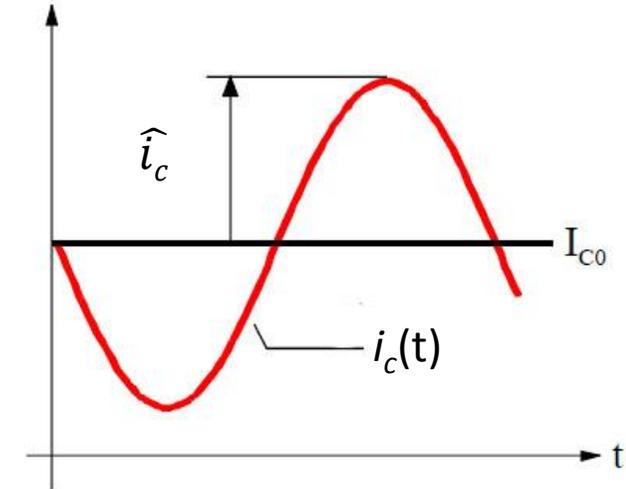
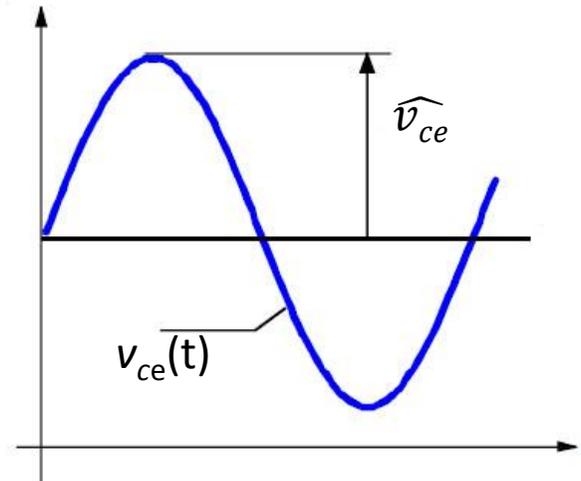
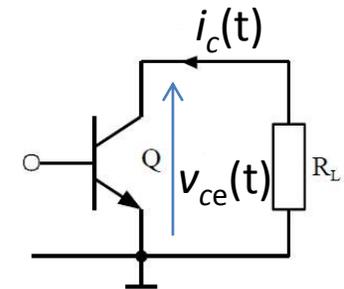
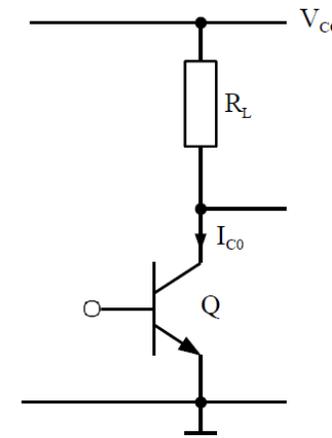
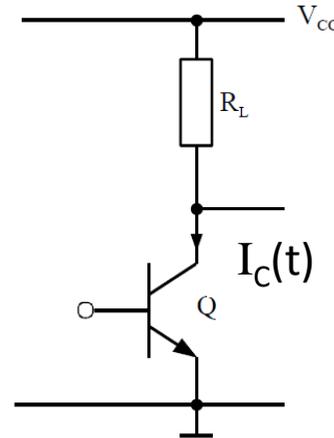
## ● Structure de base

### ■ Point de repos

- fixer par la droite de charge STATIQUE
- Un optimum:  $\frac{V_{CC}}{2}$

### ■ Dynamique de sortie

- $V_{CE}(t) \in [0; V_{CC}]$   
 $I_C(t) \in [0; 2I_{C0}]$
- $\widehat{v}_{ce}$  dépend de la droite de charge dynamique
- Un optimum:  $\widehat{v}_{ce} = \frac{V_{CC}}{2}$



## Calcul de rendement

### ● Bilan de puissance

- Puissance utile 
$$P_{RL} = \frac{1}{T} \int_0^T (V_{CC} - V_{CE}(t)) \cdot I_C(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (V_{CC} - V_{CE0} - v_{ce}(t)) \cdot (I_{C0} + i_c(t)) dt$$

$$P_{RL} = (V_{CC} - V_{CE0}) I_{C0} + \frac{v_{ce} \cdot i_c}{2}$$

$$P_U = \frac{v_{ce} \cdot i_c}{2}$$

- Rendement

$$\eta_{\max} \quad \square \quad \frac{P_{U\max}}{P_{\text{alim}}} = \frac{\frac{V_{CC}}{2} \cdot I_{C0}}{V_{CC} \cdot I_{C0}} = \frac{1}{4} = 25\%!$$

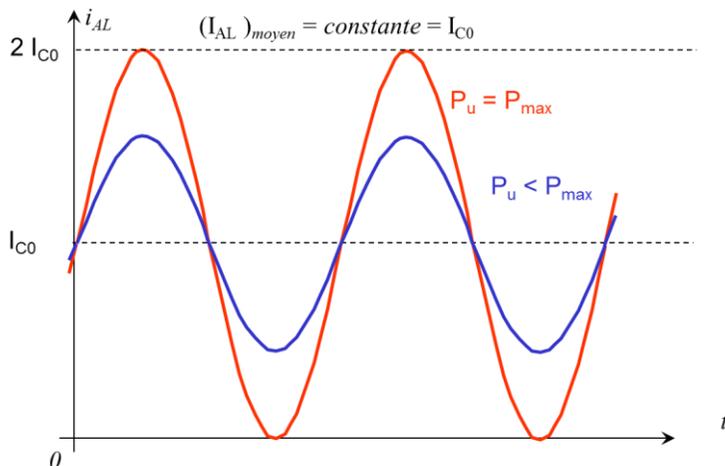
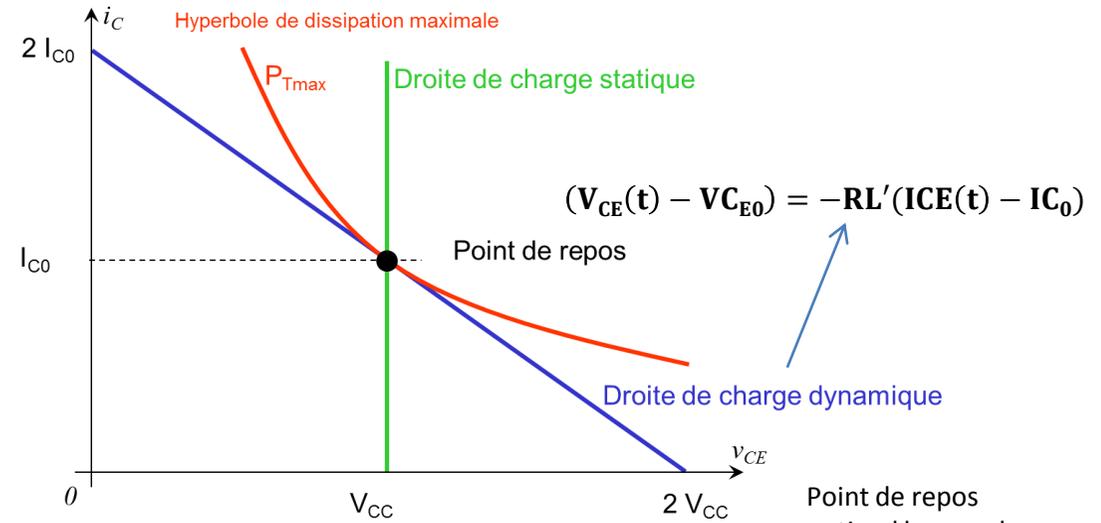
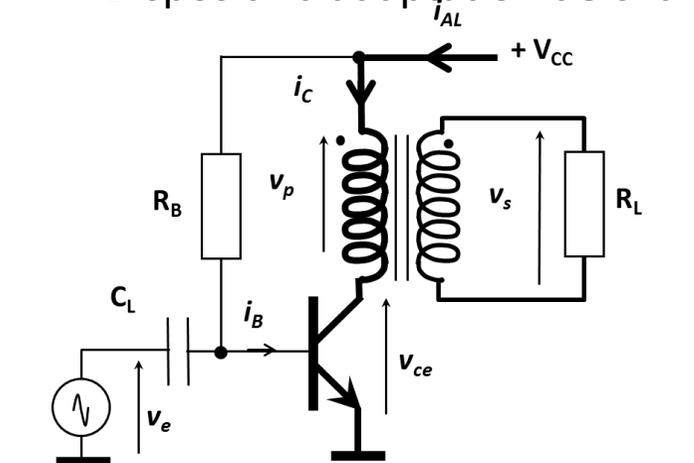
- Conclusion

- Montage assez peu utilisé car rendement exécrable
- Impossible à utiliser pour de très forte puissance (perte transistor trop grande)

# Classe A modifiée

## ● Variante Classe A

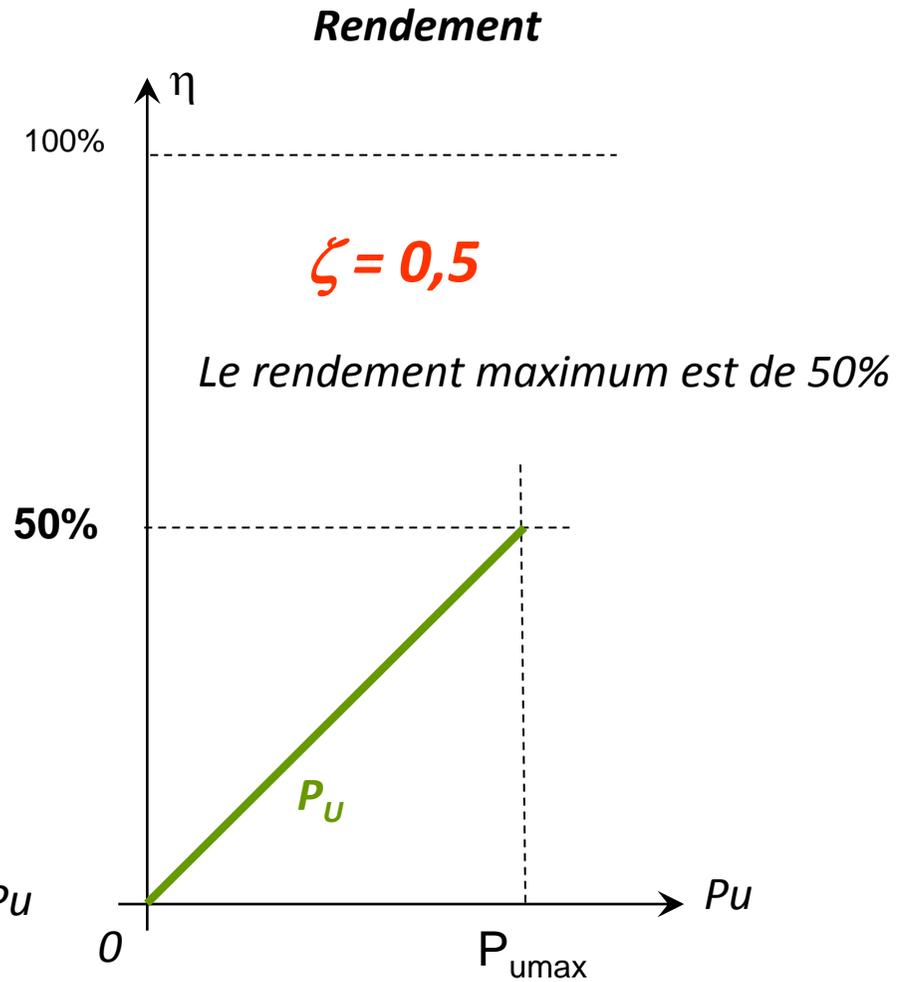
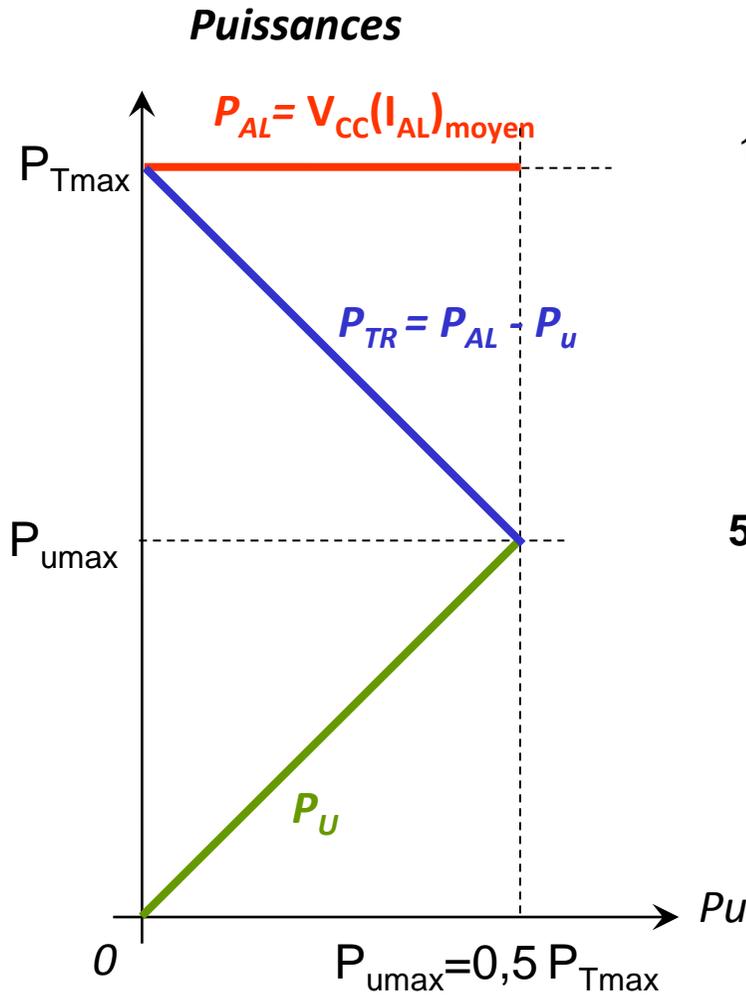
- Dispositif d'adaptation de charge



$$P_{u\max} = \frac{(V_{\text{Seff}})^2}{R_L} = \frac{\left(\frac{mV_{p\max}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R_L} = \frac{(mV_{cc})^2}{2R_L}$$

Point de repos optimal lorsque la droite dynamique coupe l'axe  $V_{ce}$  en  $2V_{cc}$   
 $\Rightarrow V_{cc} = R_L' I_{C0}$

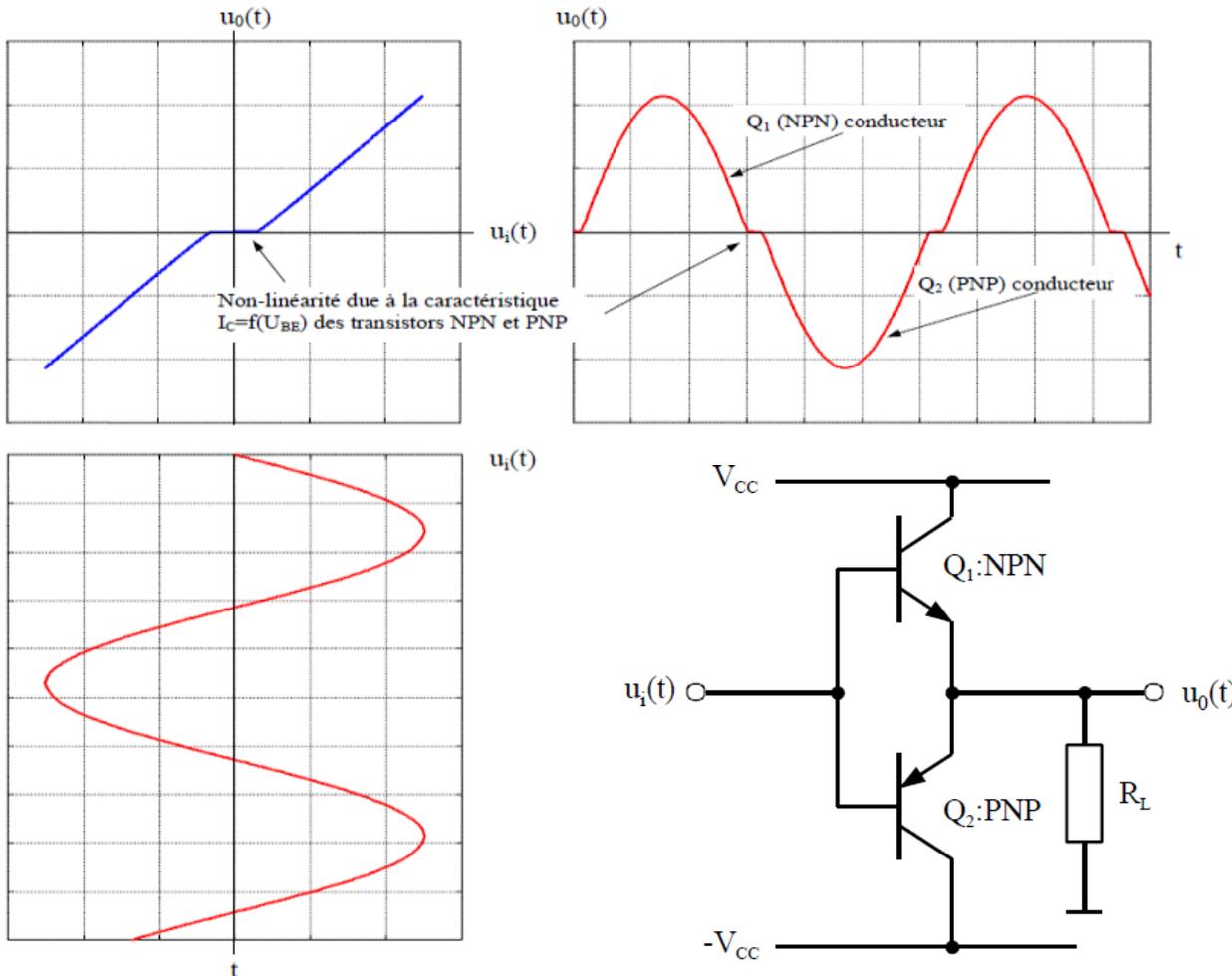
# Classe A modifiée: courbes de puissances



**C'est au repos que le transistor chauffe le plus**

# push-pull classe B

## ● Fonctionnement PUSH-PULL

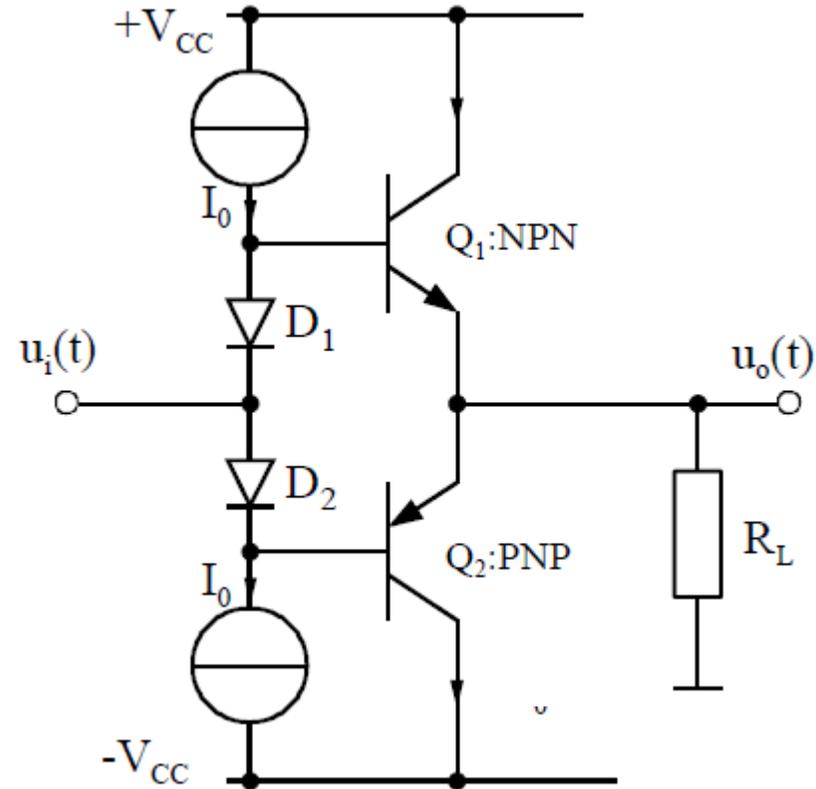
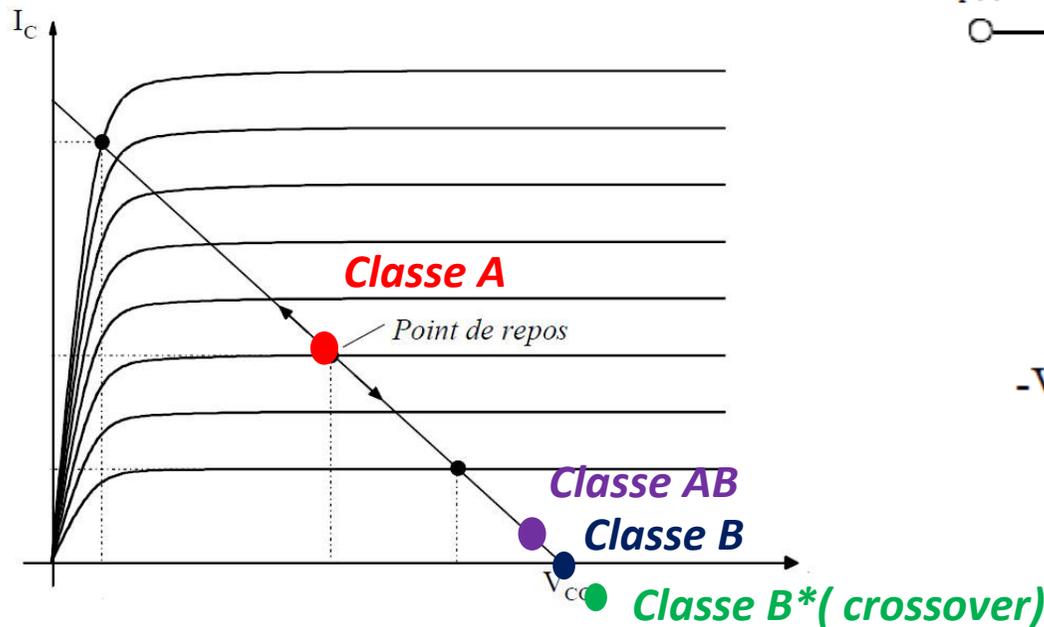


**Grosse distorsion:  
PEU utilisé**

# Influence du point de repos

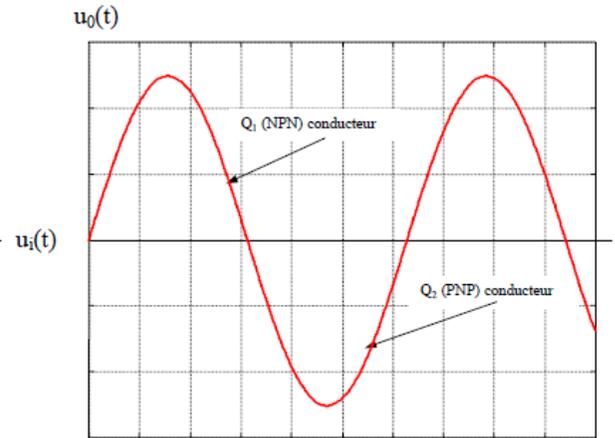
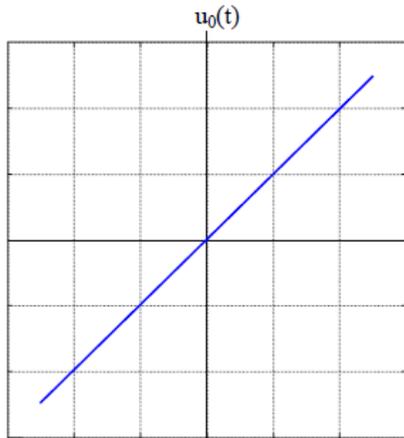
## ● Push-Pull en classe B ou AB

- En fonction de  $I_0$ 
  - Transistor en limite de conduction
    - classe B ( $\alpha = 180^\circ$ )
  - Transistor légèrement passant
    - Classe AB ( $\alpha = 180^\circ + \epsilon$ )

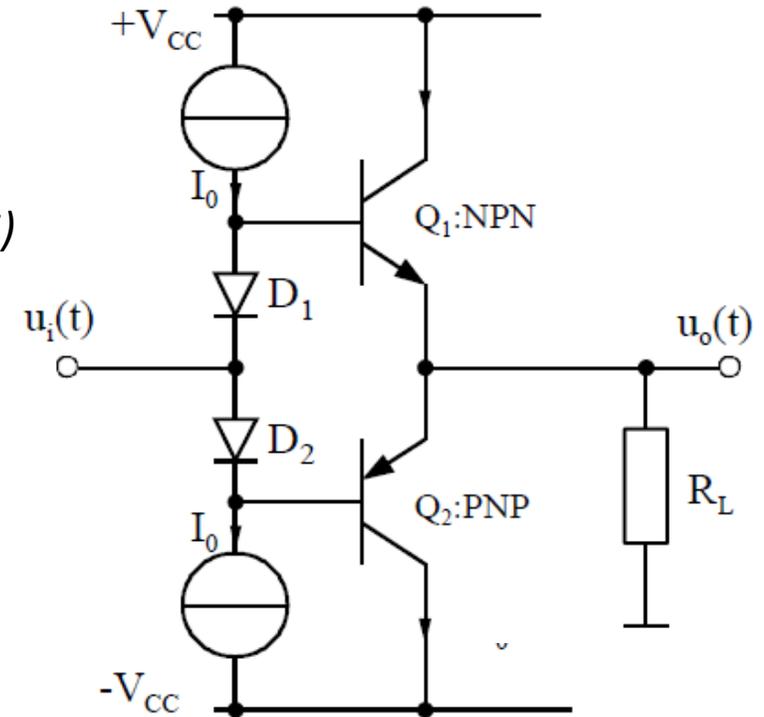
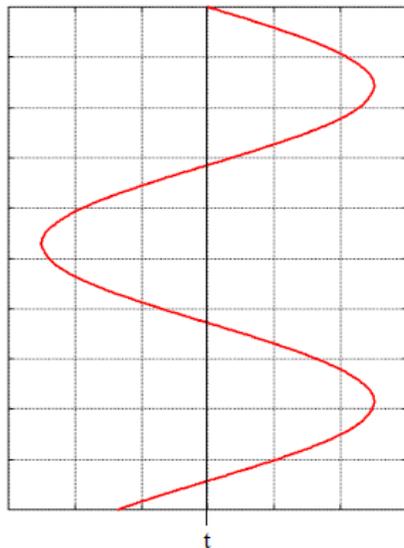


Difficulté de polariser en classe B

# Principe de fonctionnement



Source: Marc Correvon (HES)



## Calcul du rendement

- Puissance en classe B ou AB

$P_Q$  ←  $\frac{2}{T} \int_0^{T/2} (V_{CC} - u_0(t)) \cdot i_0(t) \cdot dt$  **Intégrale calculée pour 1 transistor**

$Q=Q_1+Q_2$

$$= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} (V_{CC} - u_0(t)) \cdot \frac{u_0(t)}{R_L} \cdot dt$$

$$= \frac{2}{T} \left[ \int_0^{T/2} \frac{V_{CC} \cdot \hat{U}_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)}{R_L} \cdot dt - \int_0^{T/2} \frac{\hat{U}_0^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t)}{R_L} \cdot dt \right]$$

$$= \frac{2 \cdot V_{CC} \cdot \hat{U}_0}{\pi \cdot R_L} - \frac{\hat{U}_0^2}{2 \cdot R_L}$$

$$P_{RL} = \frac{\hat{U}_0^2}{2 \cdot R_L}$$

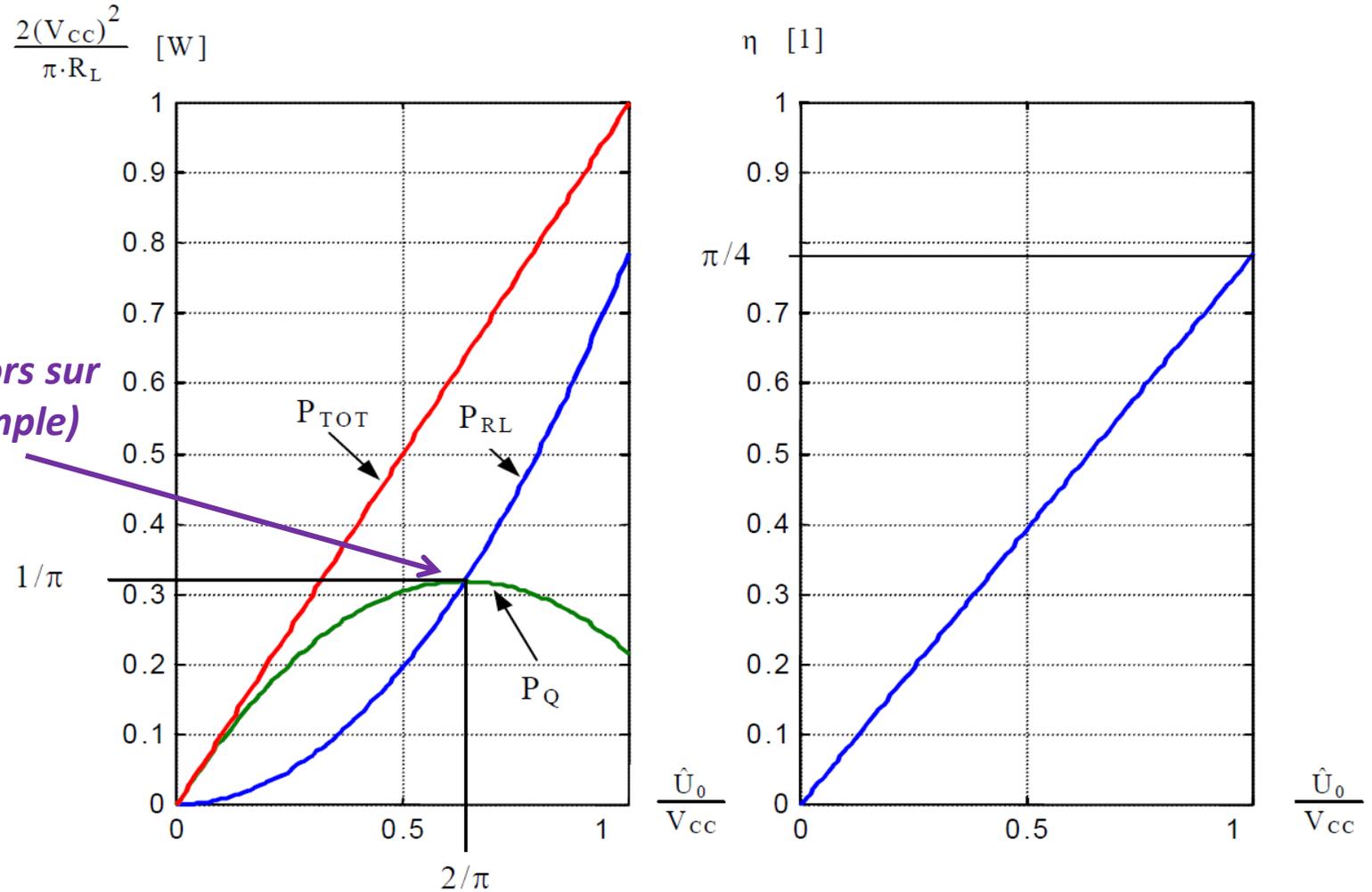
**Puissance fournie par l'alim**

$$P_{TOT} = P_{Q_1+Q_2} + P_{RL} = \frac{2 \cdot V_{CC} \cdot \hat{U}_0}{\pi \cdot R_L}$$

- rendement

$$\eta = \frac{P_{RL}}{P_{TOT}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\hat{U}_0}{V_{CC}} \rightarrow \eta_{\max} = \frac{\pi}{4} \quad (78.5\%) \quad \text{pour } \hat{U}_0 = V_{CC}$$

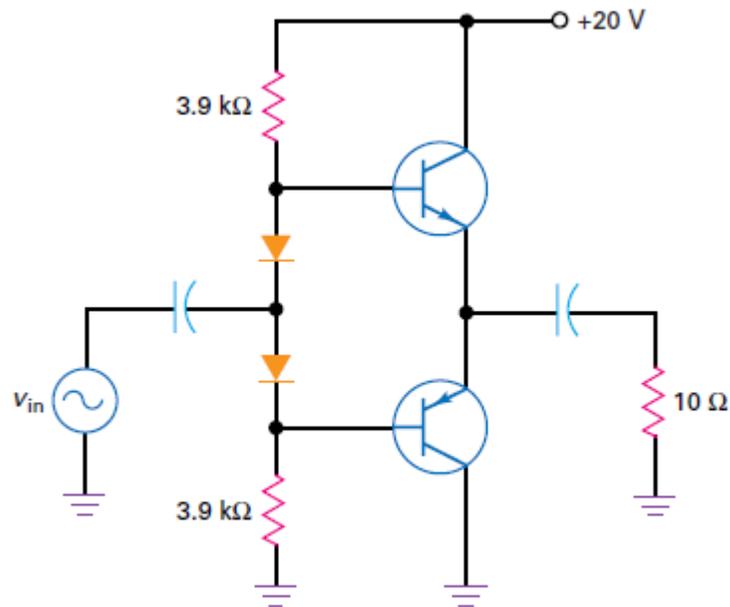
# Courbes des puissances



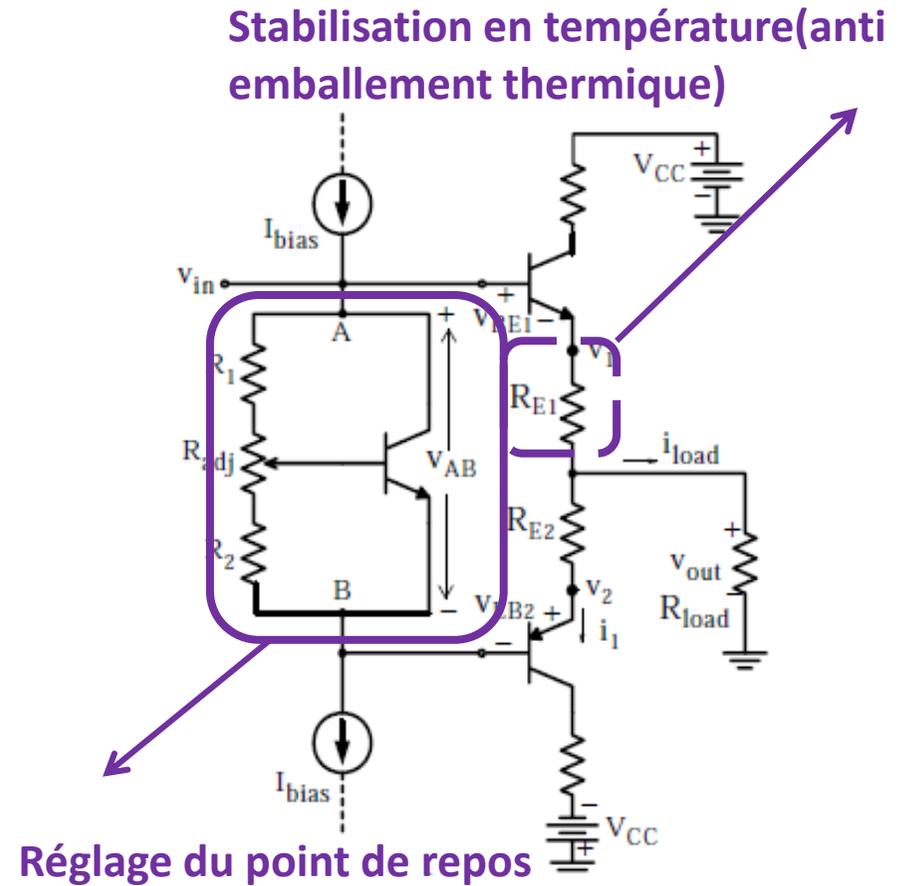
*Dimensionnement du dissipateur (2 transistors sur un dissipateur par exemple)*

# Mise en œuvre

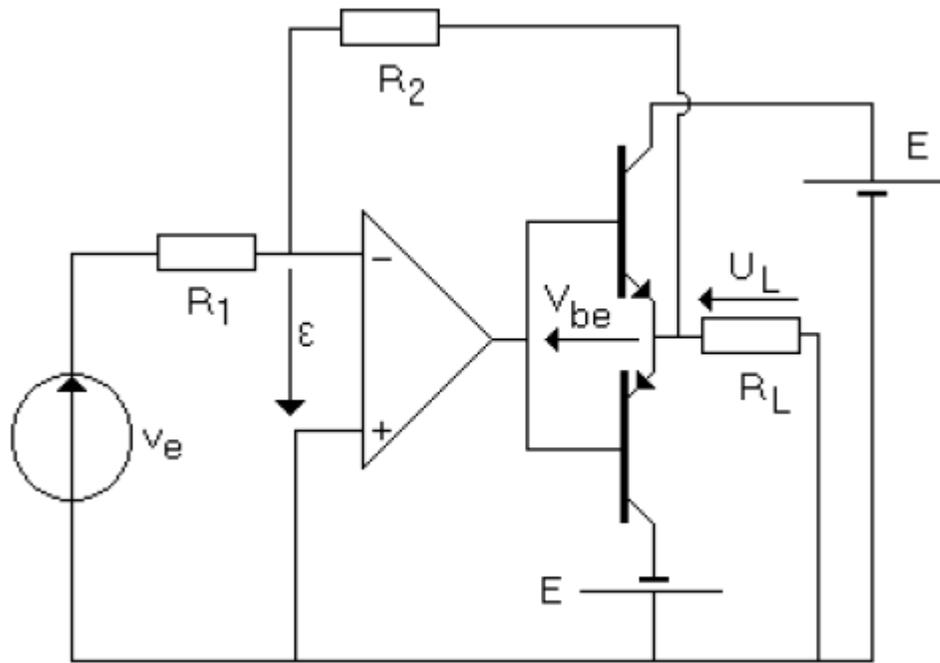
- Réalisations pratiques



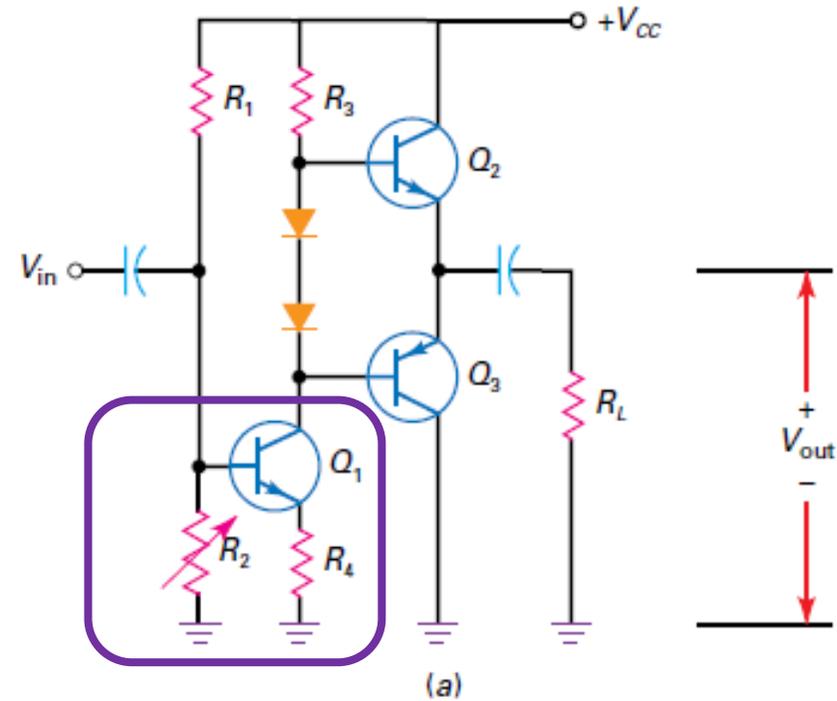
Alimentation mono-tension  
Couplage capacitif



# Mise en œuvre



Polarisation par contre réaction



Préampli de driver push-pull

# Principe de fonctionnement

## Structure

- Transistors en commutation
  - $p(t)=v(t).i(t)=0$  en théorie  $\Rightarrow \eta_{\text{théorique}}=100\%$
  - Commande par Modulation de Largeur d'Impulsions
- Filtre passe-bas
  - Suppression des harmoniques de découpages

