

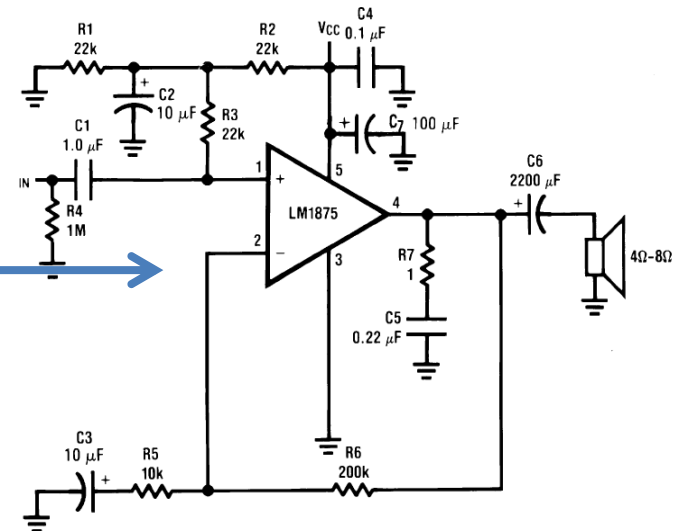
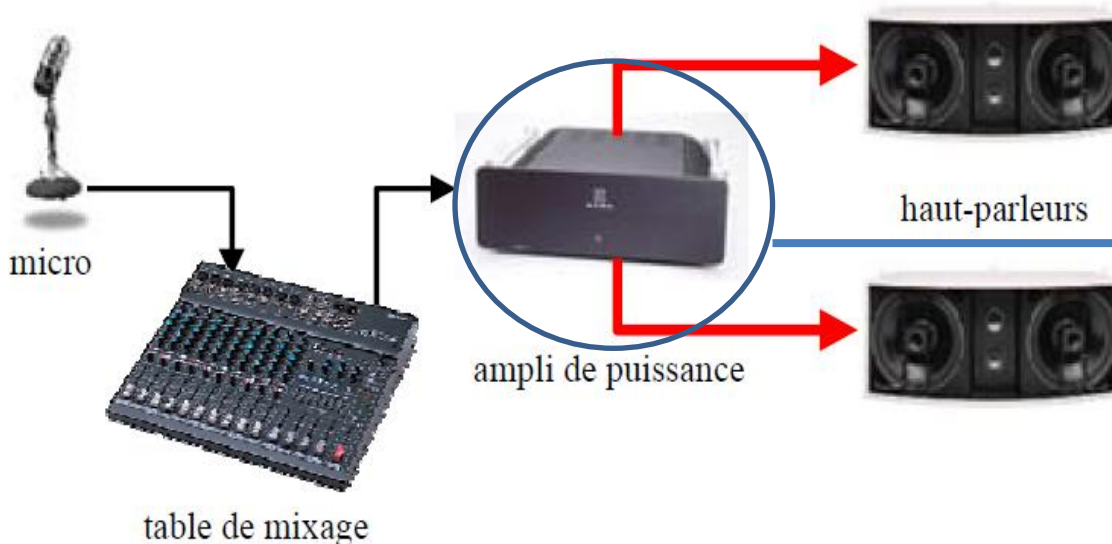
Fonction

Amplification de Puissance

Généralités

● Pourquoi amplifier un signal en puissance?

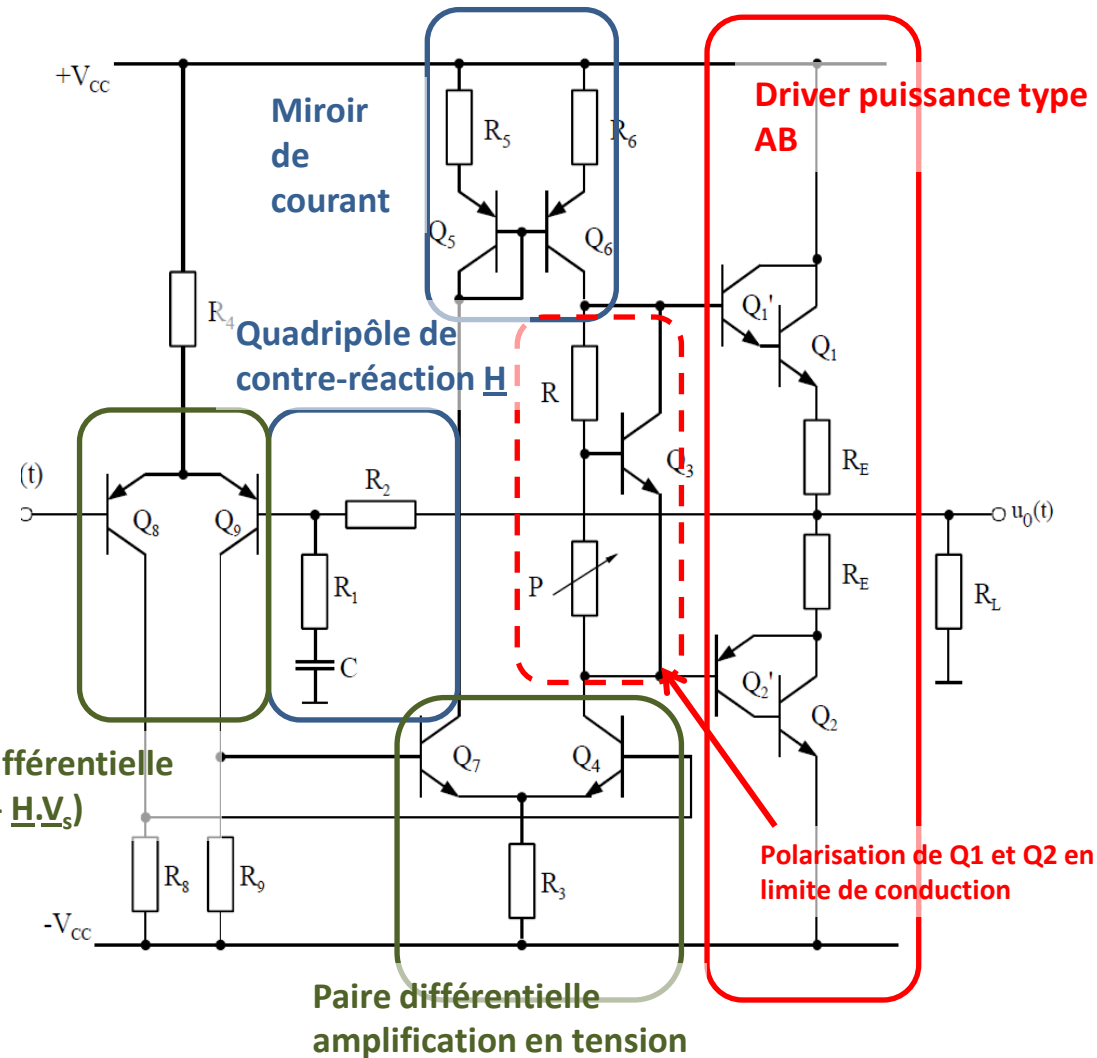
- **Entrée** : Signal issu d'un transducteur
 - signal en mV ou V et $mA \Rightarrow \mu W$ ou mW en entrée
- **Sortie** : Dispositif Electromécanique (Haut parleur 100W)
 - signal en V et qq centaines de mA voir $qq A \Rightarrow W$



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
 - ❖ α 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**

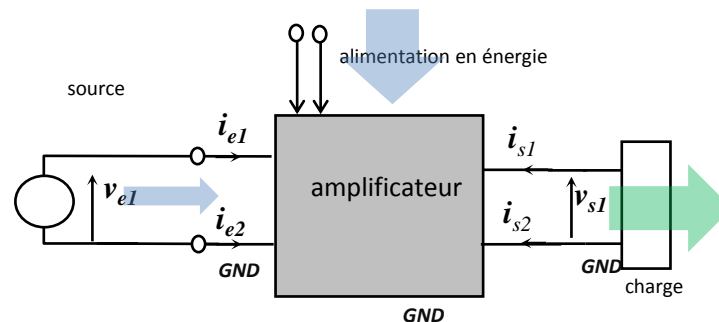
Puissances

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
 - $P_U = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta v(t) \Delta i(t) dt = V_{eff} I_{eff} \cos \varphi = \frac{1}{2} \text{Re}(\underline{V} \cdot \underline{I}^*)$

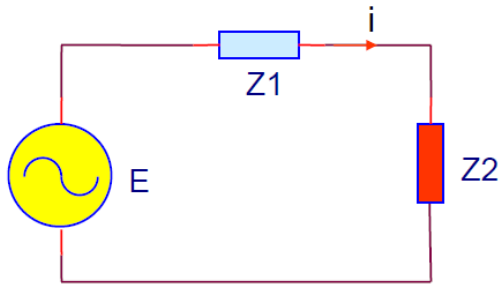
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T (V_0 + \Delta v(t)) (I_0 + \Delta i(t)) dt$$

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

Impédances

● Adaptation d'impédance

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



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

$$Z_1 = R_1 + jX_1$$

$$Z_2 = R_2 + jX_2$$

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

P est maximale pour $X_1 + X_2 = 0$



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

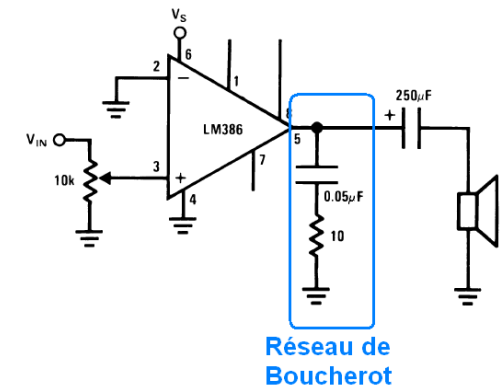
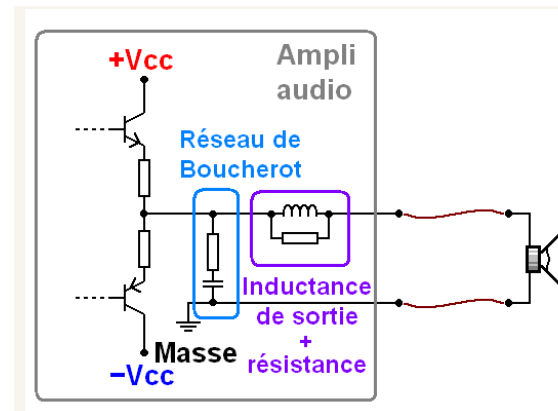
$$\Rightarrow \frac{dP}{dR_2} = E^2 \left[\frac{(R_1 + R_2)(R_1 - R_2)}{(R_1 + R_2)^4} \right] = 0$$



Solution : $R_1 = R_2$

● 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

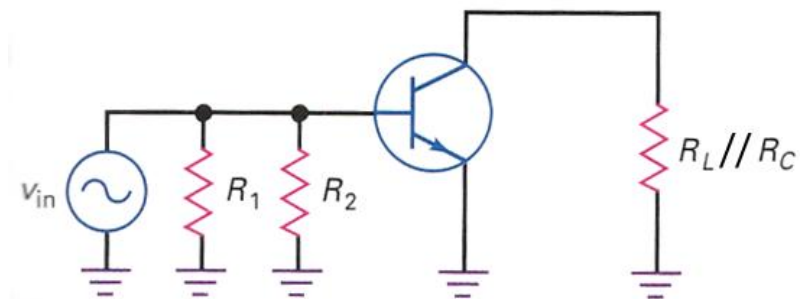
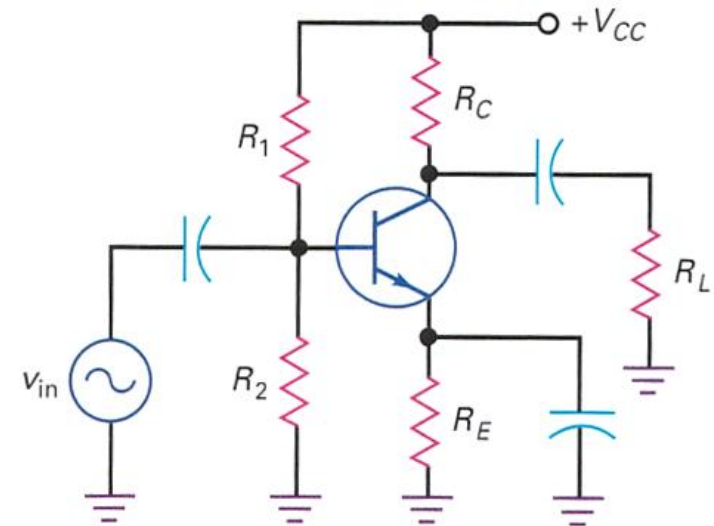
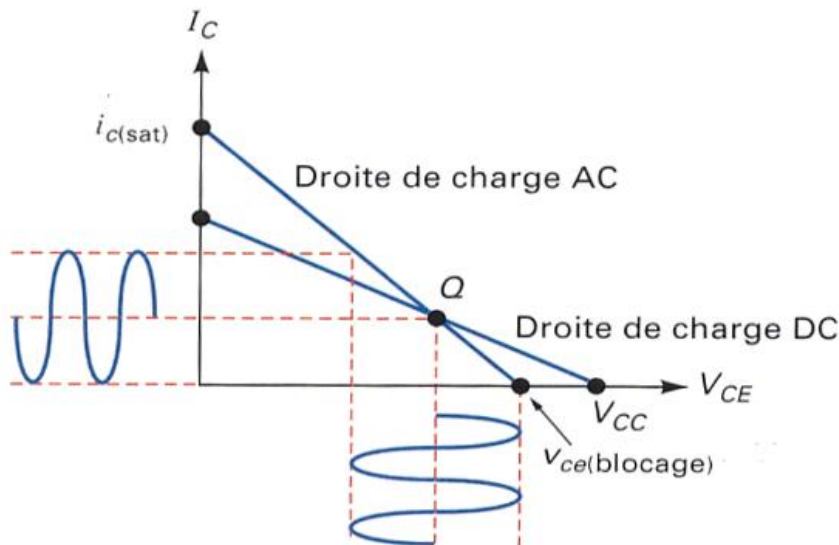
● Droite de charge

■ 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

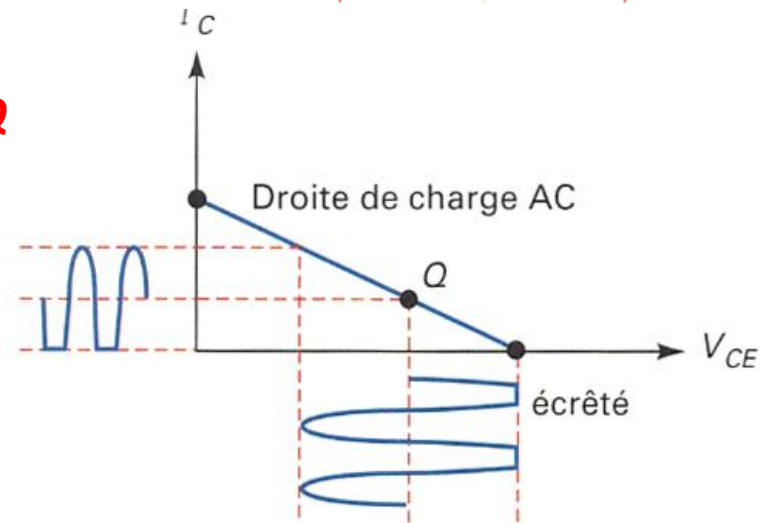
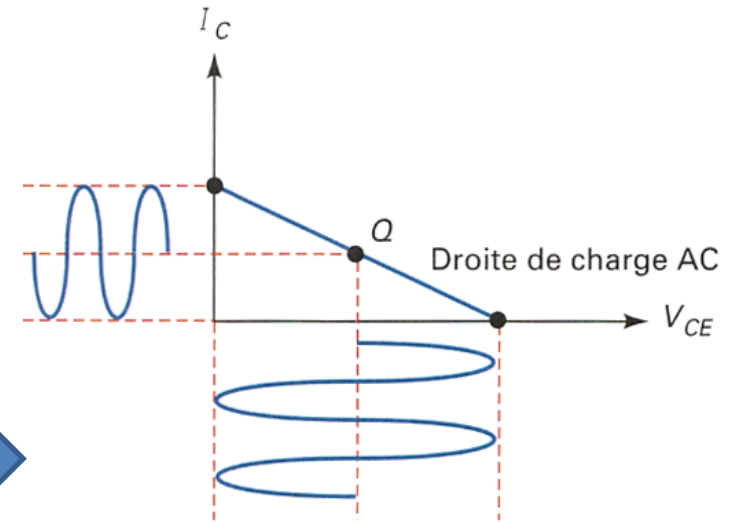
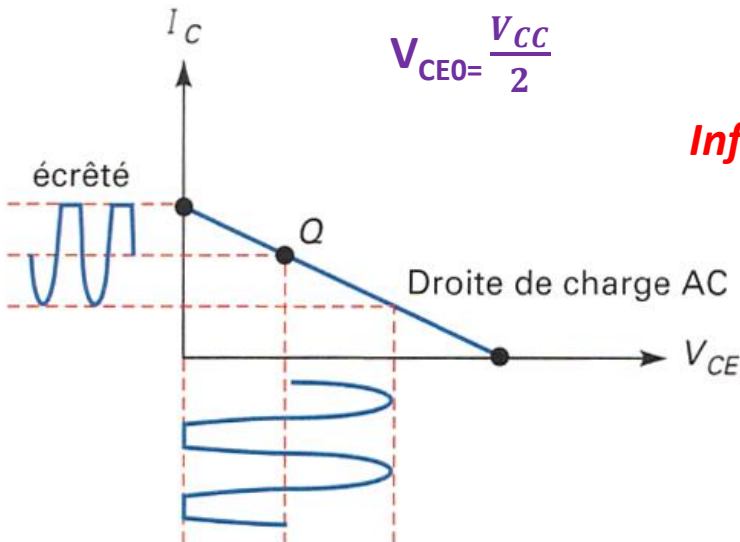
$$I_C=0$$

$$V_{CE}=0$$

- Point optimal pour un maximum d'excursion

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

Influence du point Q



Classe A

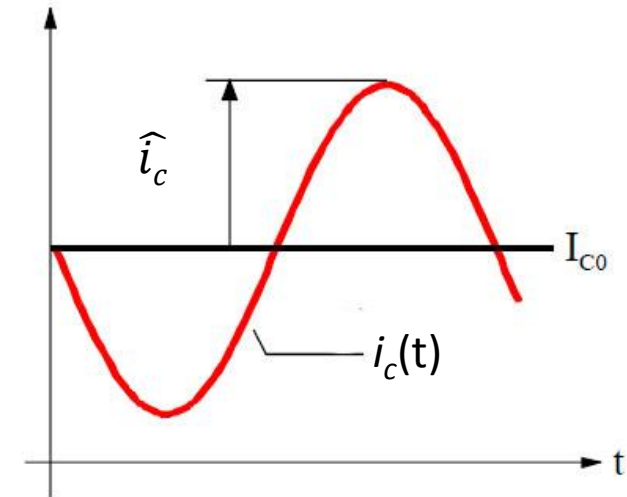
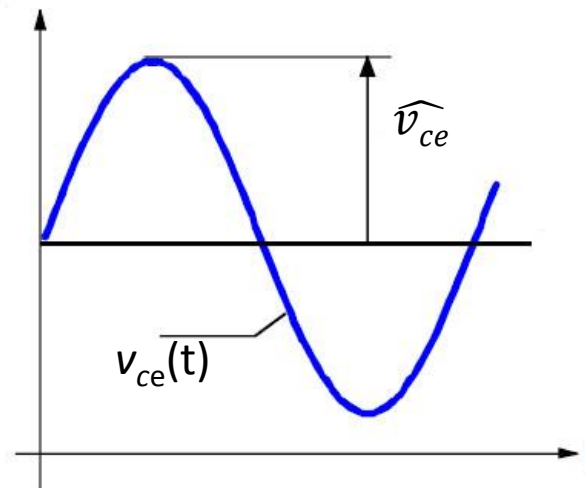
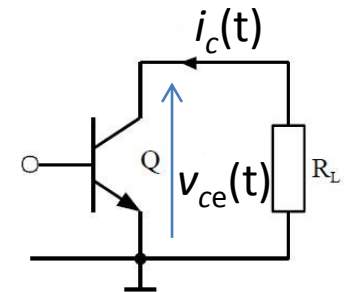
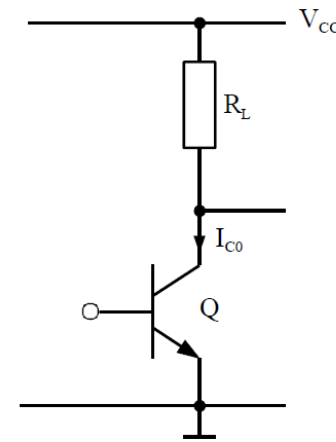
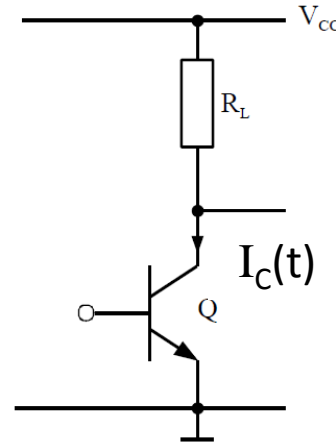
● Structure de base

■ 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

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

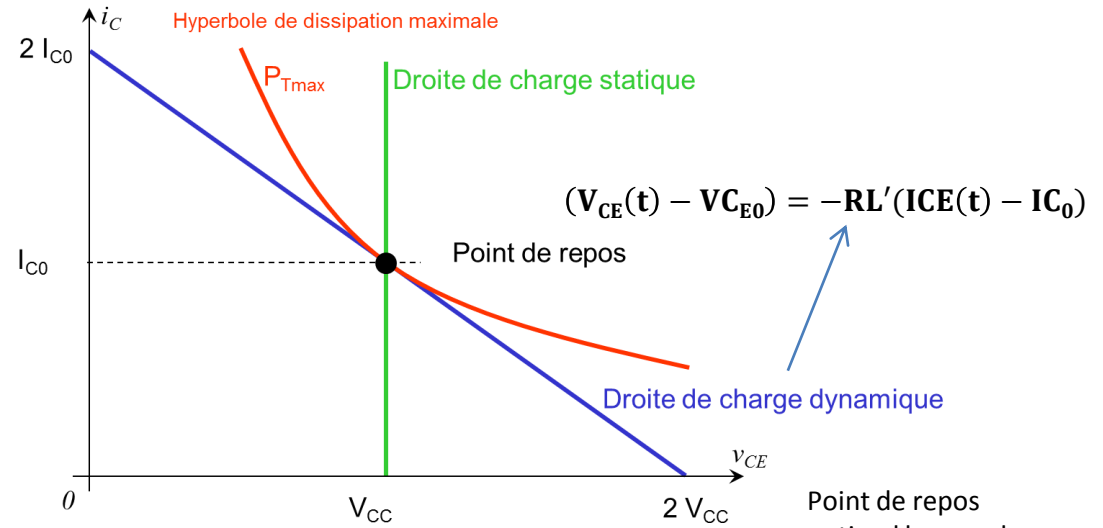
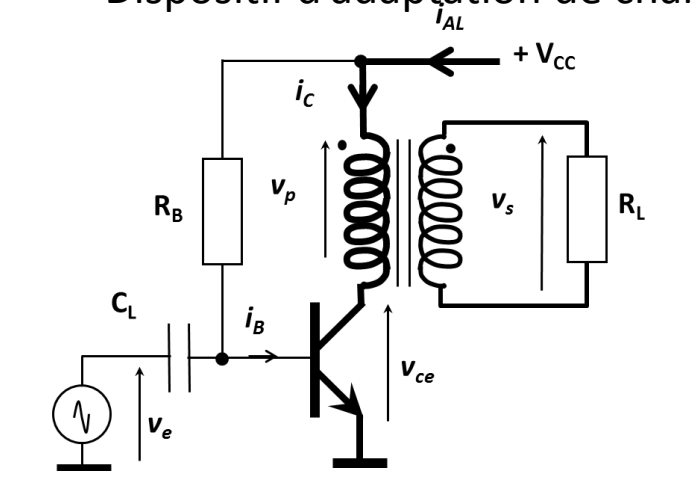
- Conclusion

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

Classe A modifiée

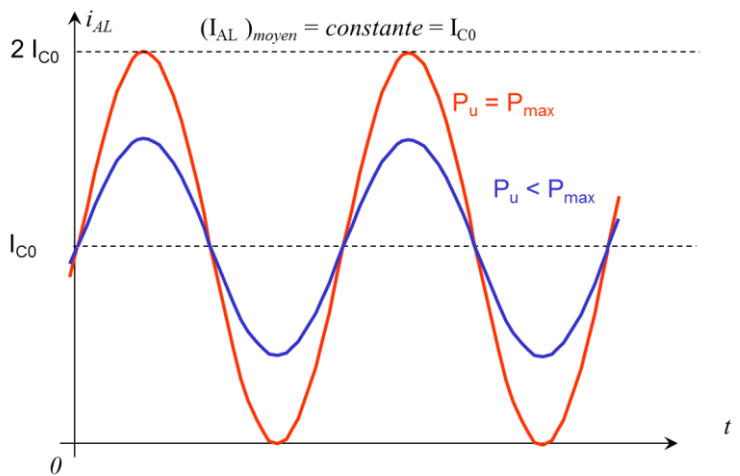
● Variante Classe A

- Dispositif d'adaptation de charge



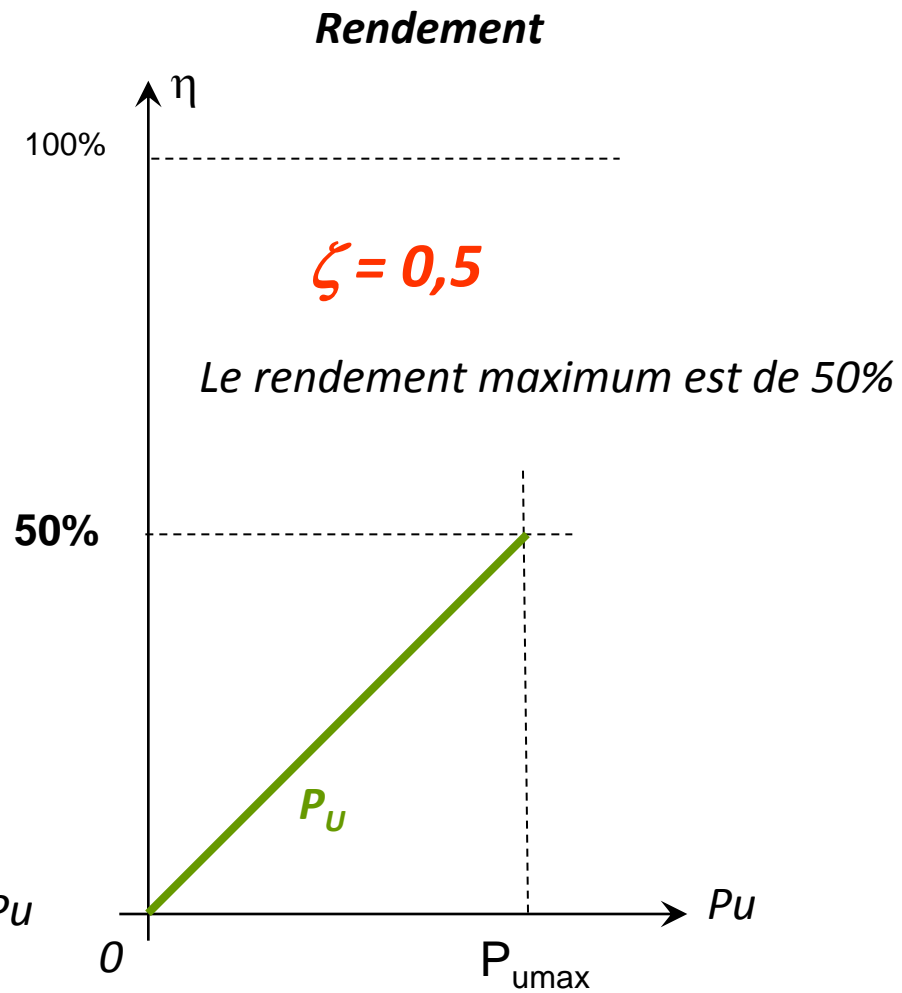
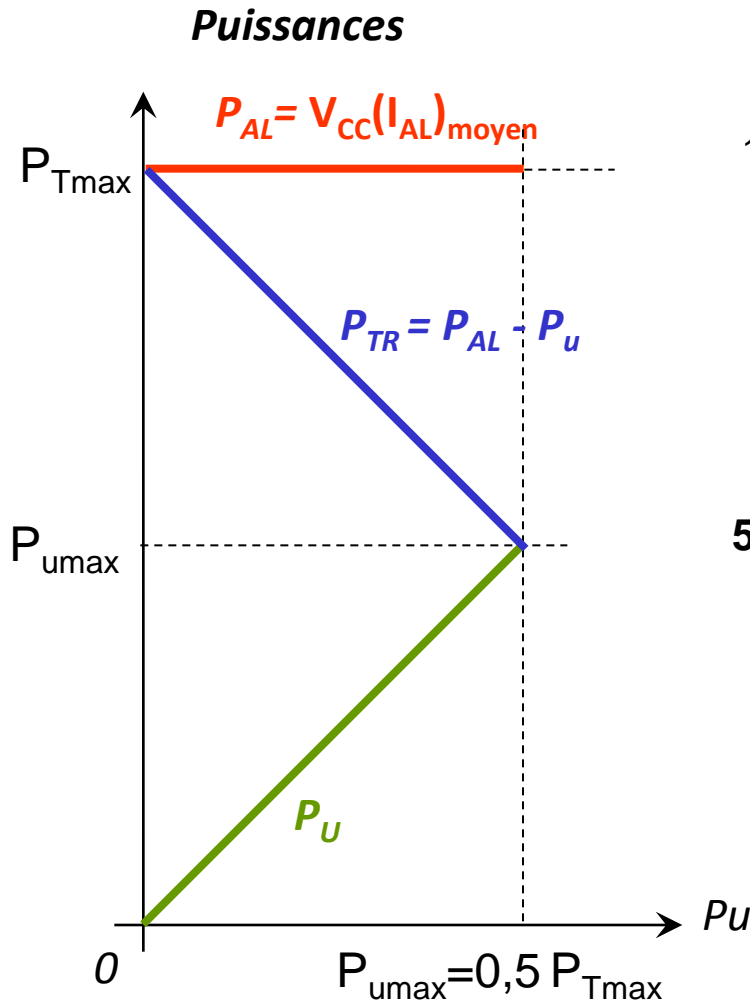
Point de repos optimal lorsque la droite dynamique coupe l'axe V_{ce} en $2V_{CC}$
 $\Rightarrow V_{CC} = R_L' I_{C0}$

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





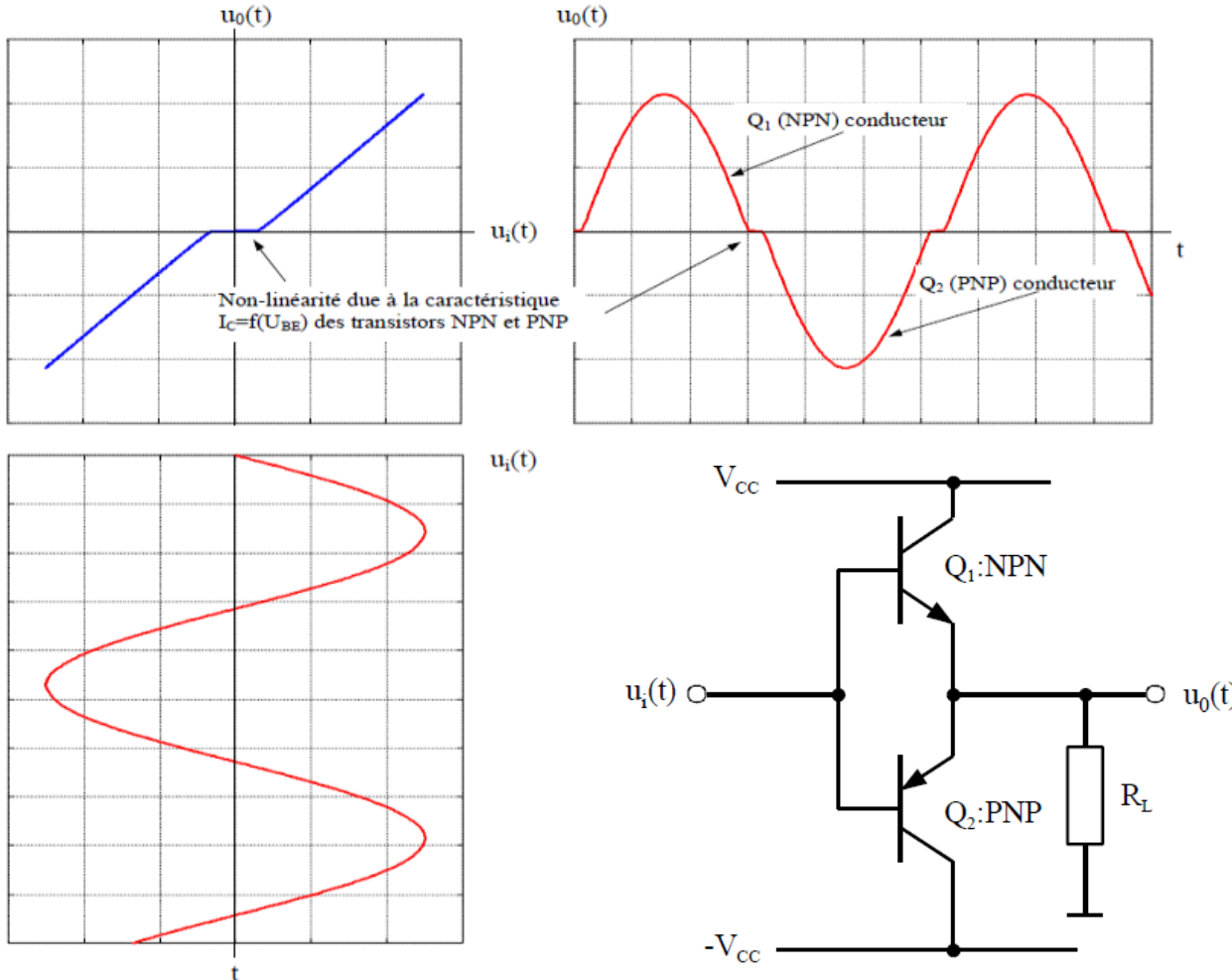
Classe A modifiée: courbes de puissances



C'est au repos que le transistor chauffe le plus

push-pull classe B

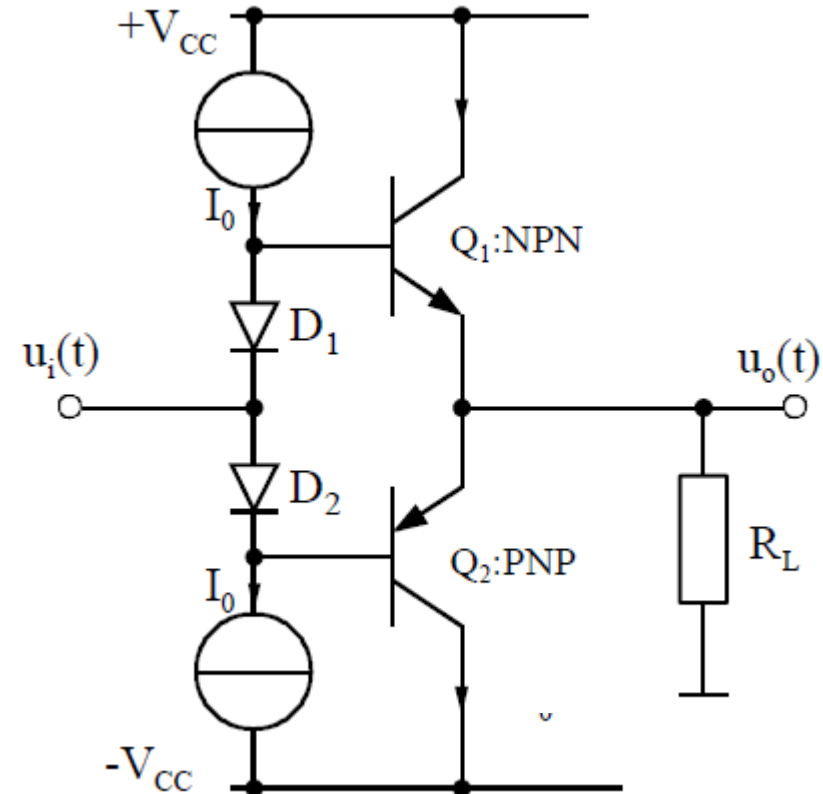
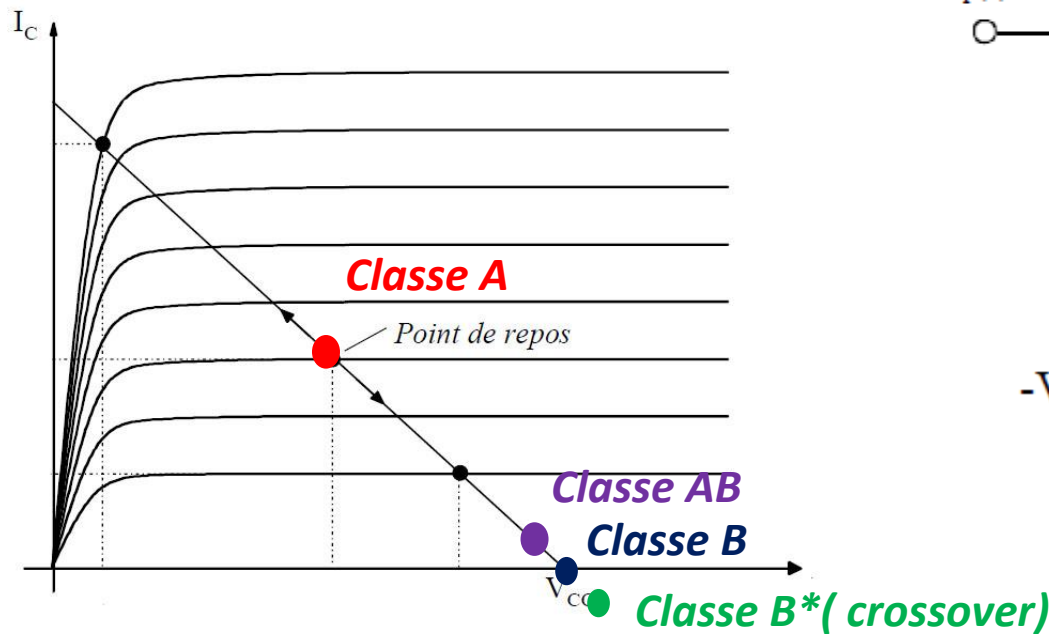
● Fonctionnement PUSH-PULL



**Grosse distorsion:
PEU utilisé**

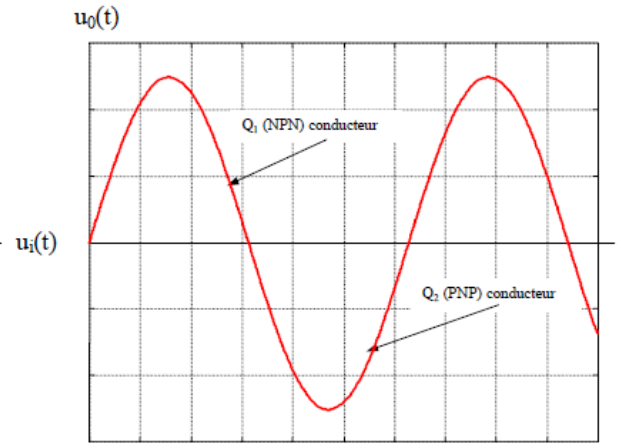
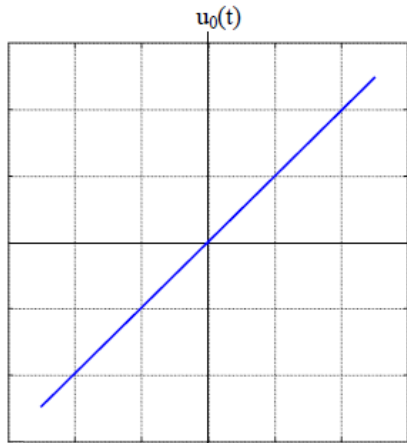
Influence du point de repos

- 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 ($\alpha = 180^\circ + \epsilon$)

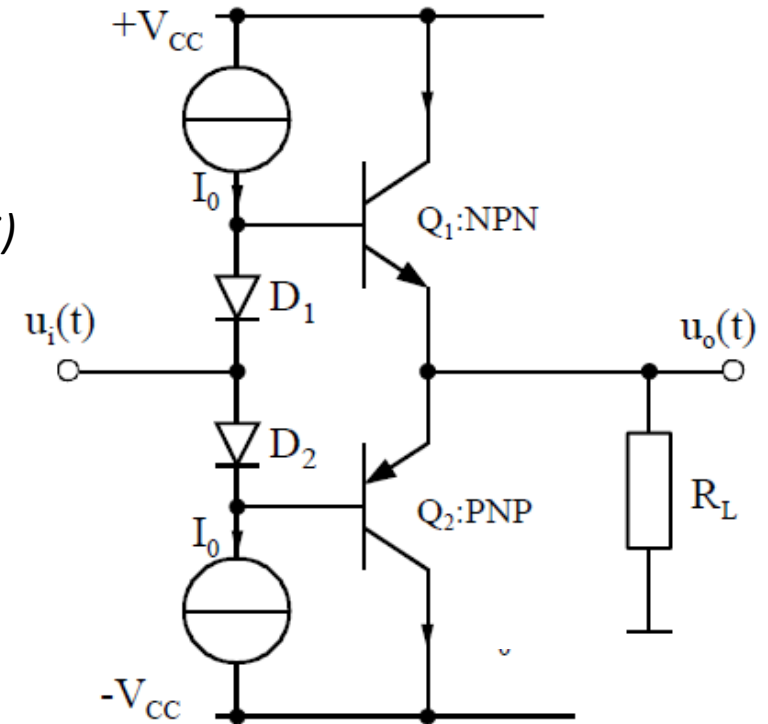
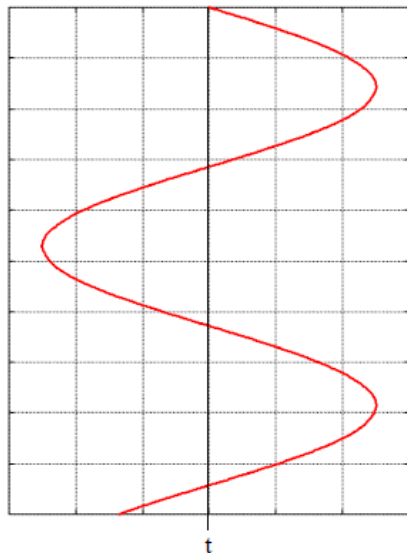


Difficulté de polariser en classe B

Principe de fonctionnement



Source: Marc Correvo (HES)



Calcul du rendement

- Puissance en classe B ou AB

P_Q ← $Q=Q_1+Q_2$

Intégrale calculée pour 1 transistor

$$P_Q = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} (V_{CC} - u_0(t)) \cdot i_0(t) \cdot dt$$

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

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

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

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

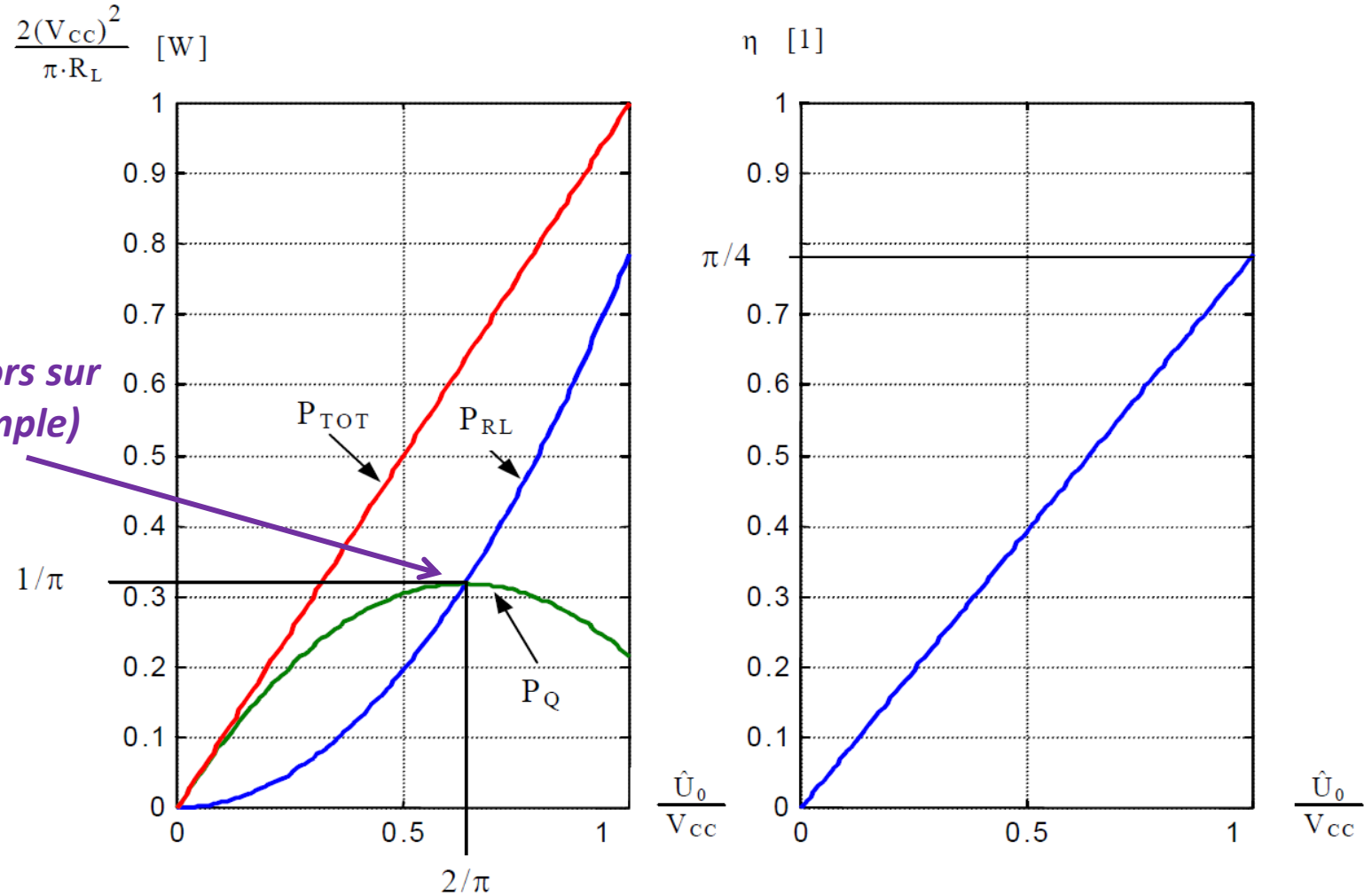
Puissance fournie par l'alim

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

- rendement

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

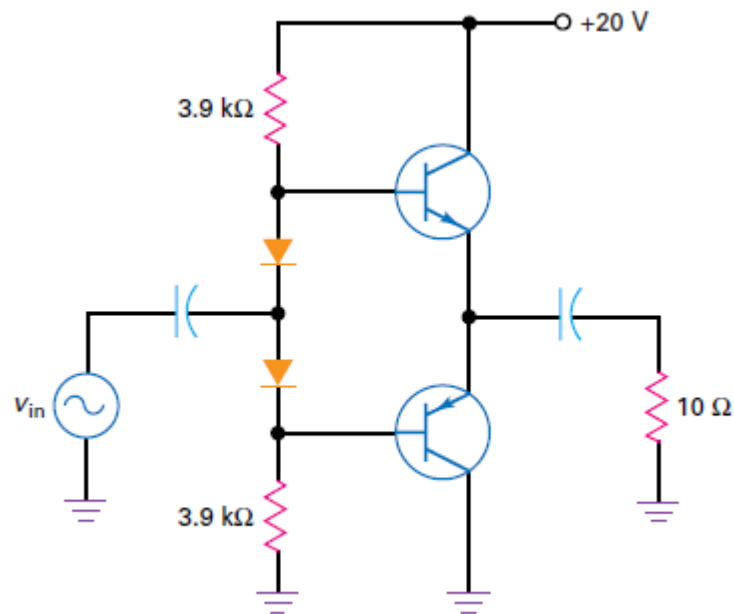
Courbes des puissances



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

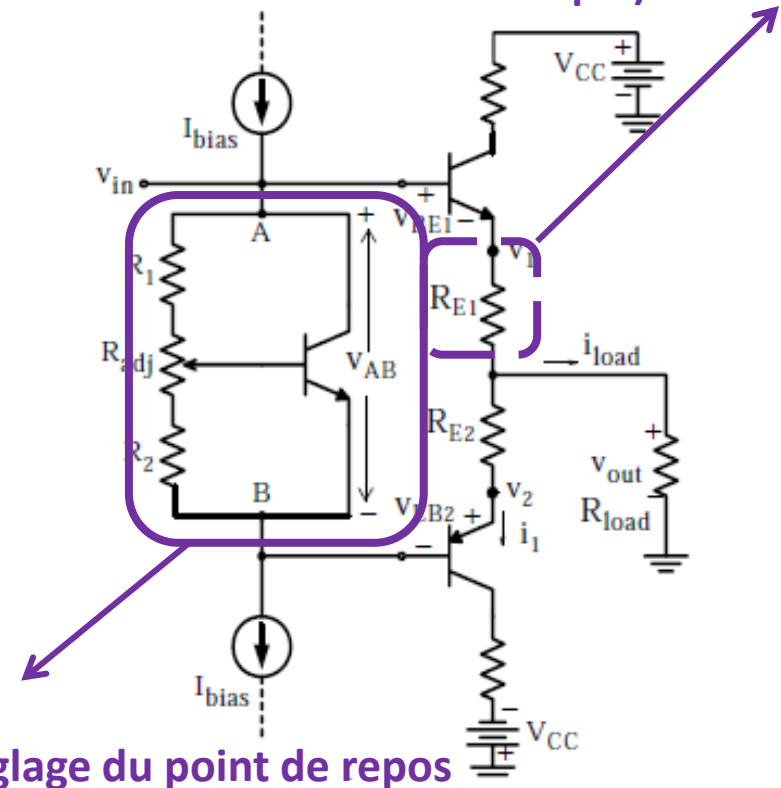
Mise en œuvre

● Réalisations pratiques



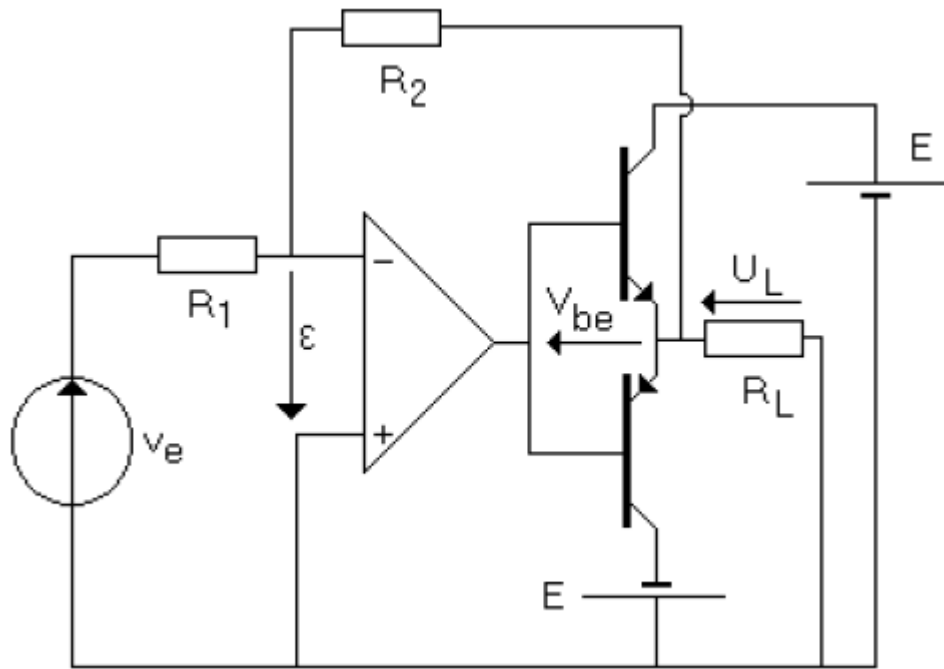
Alimentation mono-tension
Couplage capacitif

Stabilisation en température (anti emballement thermique)

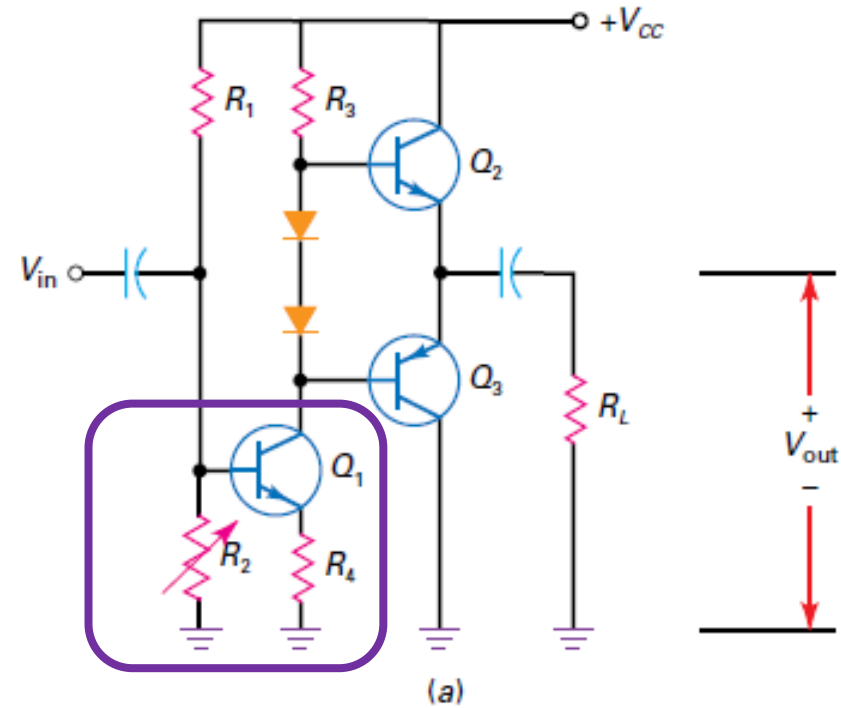


Réglage du point de repos

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

