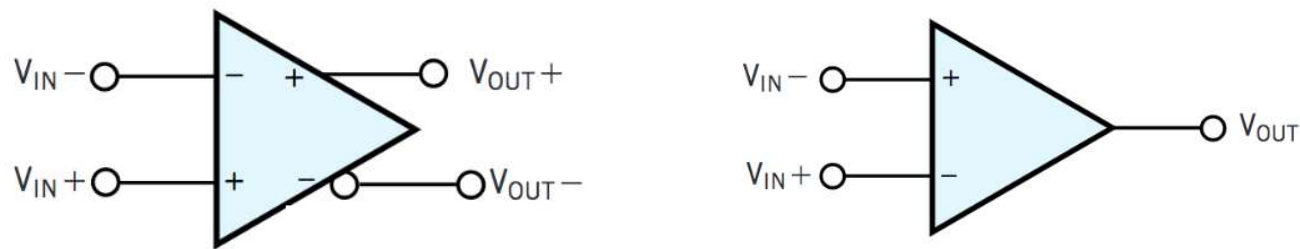


# Bipolaire: Amplificateur Différentiel en Circuits Intégrés



Electronique II  
Adil Koukab

---

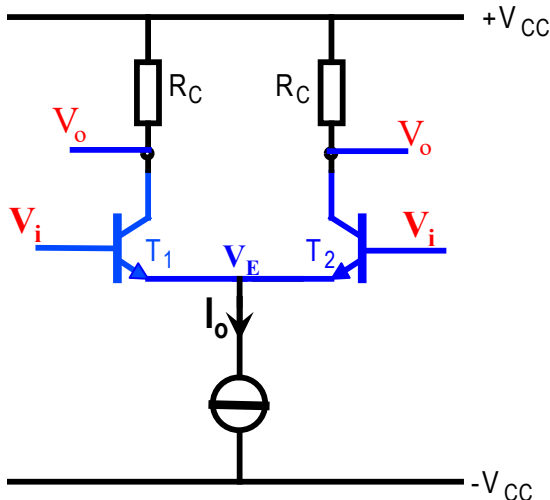
# Table des matières

---

- Ampli diff: Fonctionnement et Polarisation DC
- Analyse petits signaux
  - Gain différentiel
  - Gain mode commun
    - Due à une source de courant non-idéale.
    - Due à un défaut de symétrie
- Ampli diff à charges actives et à sortie asymétrique

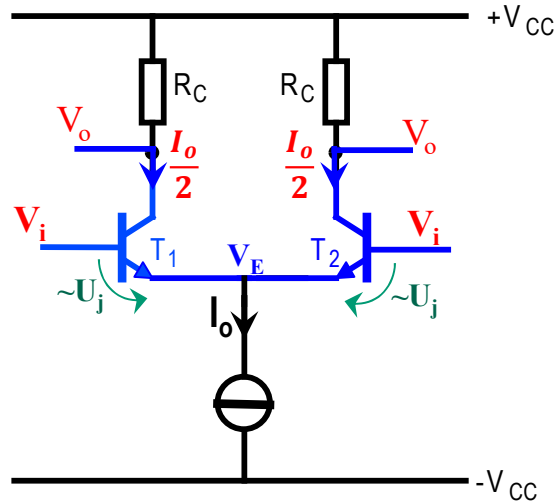
## Ampli diff: topology

- L'Ampli diff est largement utilisé en circuits intégrés essentiellement pour sa capacité à rejeter les signaux parasites du mode commun.



- L'ampli différentiel est constitué de deux transistors identiques qui constituent la paire différentielle, (possible seulement en CIs)
  - d'une charge passive ou active.
- Il est polarisé par une source de courant
- Ceci permet un couplage direct avec l'étages précédent (sans capacité de couplage) qui fixe aussi le potentiel DC des bases c.à.d.  $V_i$ .

# Ampli diff: Polarisation et point de fonctionnement



- En régime statique

- Le potentiel DC à l'entrée ( $V_i$ ) est fixé par l'étage précédent.

$$V_{E1} = V_{E2} = V_E \approx V_i - U_j$$

- la symétrie du circuit donne

$$I_{c1} = I_{c2} = \frac{I_o}{2}$$

- Ceci donne à la sortie

$$V_{c1} = V_{c2} = V_o = V_{cc} - \frac{I_o}{2} R_c$$

- Point de fonctionnement → Paramètres ac

$$g_{m1,2} = \frac{I_o}{2U_T} = \beta g_{be1,2} \quad et \quad g_{CE} = \frac{I_o}{2V_A}$$

---

# Table des matières

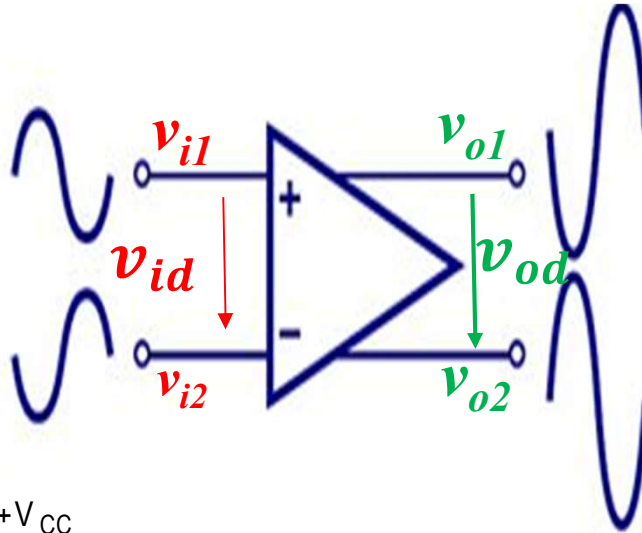
---

- Ampli diff: Fonctionnement et Polarisation DC
- Analyse petits signaux
  - Gain différentiel
  - Gain mode commun
    - Due à une source de courant non-idéale.
    - Due à un défaut de symétrie
- Ampli diff à charges actives et à sortie asymétrique

# Analyse petit signaux: Gain différentiel

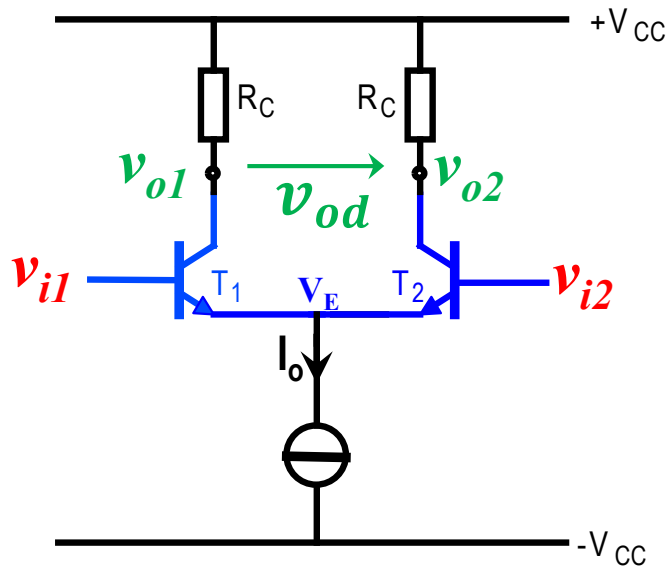
*Signaux diff. in*

$$v_{id} = v_{i1} - v_{i2}$$
$$v_{i1} = -v_{i2} = \frac{v_{id}}{2}$$



*Signaux diff out*

$$v_{od} = v_{o1} - v_{o2}$$
$$v_{o1} = -v_{o2} = \frac{v_{od}}{2}$$



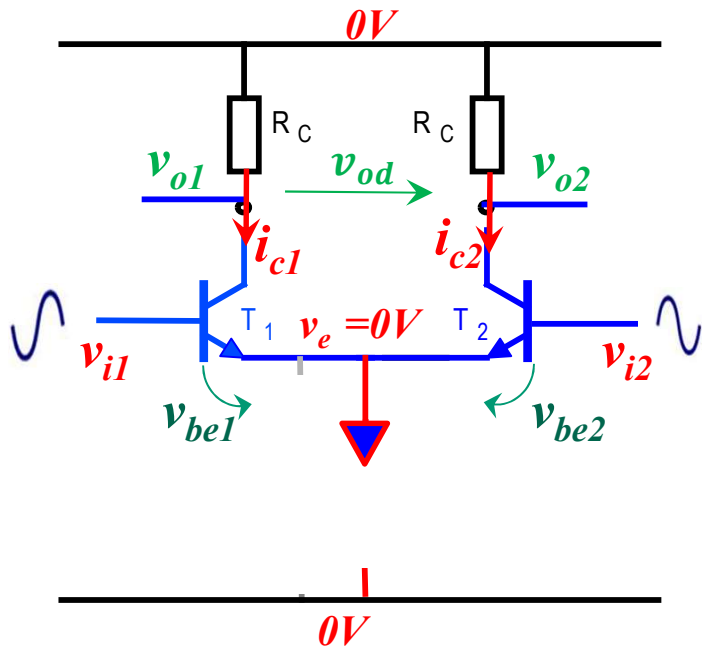
Gain différentiel

$$A_{md} = \frac{v_{od}}{v_{id}} = \frac{v_{o1} - v_{o2}}{v_{i1} - v_{i2}} = \frac{v_{o1}}{v_{i1}} = \frac{v_{o2}}{v_{i2}}$$

➤ Il suffit de connaître  $\frac{v_{o1}}{v_{i1}}$  pour en déduire  $\frac{v_{od}}{v_{id}}$

# Analyse petit signaux: Gain différentiel

## Construction du schémas petit signaux



➤ En ac la source de crt  $\equiv$  sa résistance interne  
(ex:  $r_s = 1/g_{ce}$  dans le cas d'un miroir de courant simple)

➤ Intuitivement:  
Signaux différentiel + Circuit symétrique

$$\Rightarrow v_e = 0$$



➤ *Le nœud e est une masse virtuelle en ac*

### Démonstration:

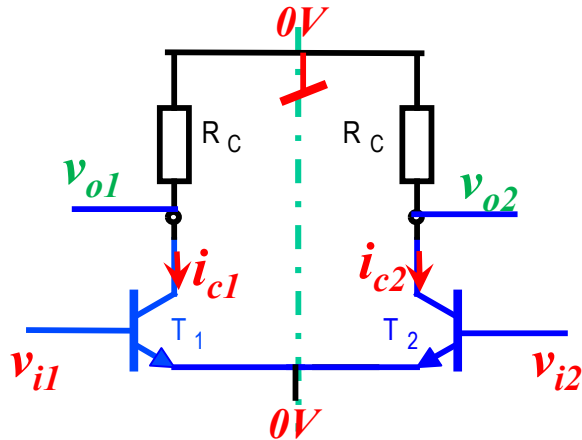
$$\begin{aligned} v_{o1} &= -v_{o2} \Rightarrow i_{c1} = -i_{c2} \Rightarrow g_m v_{be1} = -g_m v_{be2} \\ \Rightarrow g_m (v_{b1} - v_e) &= -g_m (v_{b2} - v_e) \quad \text{or} \quad v_{b1} = v_{i1} = -v_{i2} = -v_{b2} \\ \Rightarrow v_e &= -v_e \Rightarrow v_e = 0 \end{aligned}$$

---

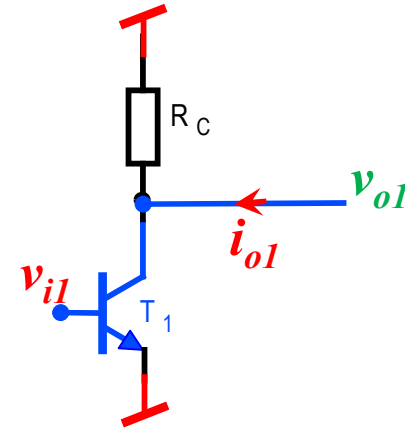
# Gain différentiel: $A_{m,d} = \frac{v_{od}}{v_{id}} = \frac{v_{o1}}{v_{i1}}$

---

*Schémas petit signaux*



*Méthode du demi-circuit équivalent  $\rightarrow$  EC*



Gain en tension  $A_{v,d}$

$$A_v = \frac{v_{o1}}{v_{i1}} = -g_m R_{out} = -g_m \frac{1}{g_{ce1}} // R_C \approx -g_m R_C \rightarrow A_{md} = \frac{v_{od}}{v_{id}} = \frac{2v_{o1}}{2v_{i1}} \approx -g_m R_C$$

Résistance d'entrée différentielle  $R_{in,d}$

$$R_{in1} = \frac{v_{i1}}{i_{b1}} = \frac{1}{g_{be}}$$

$$\rightarrow R_{in,d} = \frac{v_{id}}{i_{b1}} = \frac{2v_{i1}}{i_{b1}} = \frac{2}{g_{be}}$$

Résistance de sortie différentielle  $R_{o,d}$

$$R_{out1} = \left. \frac{v_{o1}}{i_{o1}} \right|_{v_i=0} = R_C // \frac{1}{g_{ce1}} \approx R_C$$

$$\rightarrow R_{o,d} = \frac{v_{od}}{i_{o1}} = \frac{2v_{o1}}{i_{o1}} \approx 2R_C$$



---

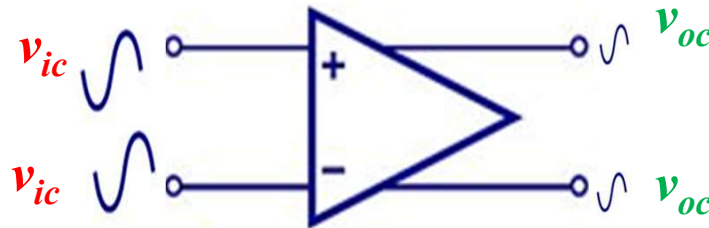
# Table des matières

---

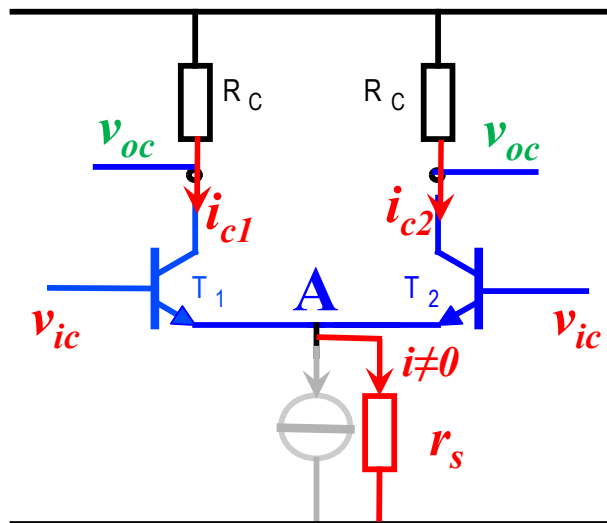
- Ampli diff: Fonctionnement et Polarisation DC
- Analyse petits signaux
  - Gain différentiel
  - Gain mode commun
    - Due à une source de courant non-idéale.
    - Due à un défaut de symétrie
- Ampli diff à charges actives et à sortie asymétrique

# Gain mode commun due à $r_s$ (une source de courant non-idéale)

*Signal mode commun:  $v_{ic1} = v_{ic2}$*



$$A_{mc} = \frac{v_{oc}}{v_{ic}}$$



*Le nœud A n'est plus une masse virtuelle en ac*

$$\rightarrow v_{i1} = v_{i2} = v_{ic} \rightarrow v_{be1} = v_{be2}$$

$$\rightarrow i_{c1} = i_{c2}$$

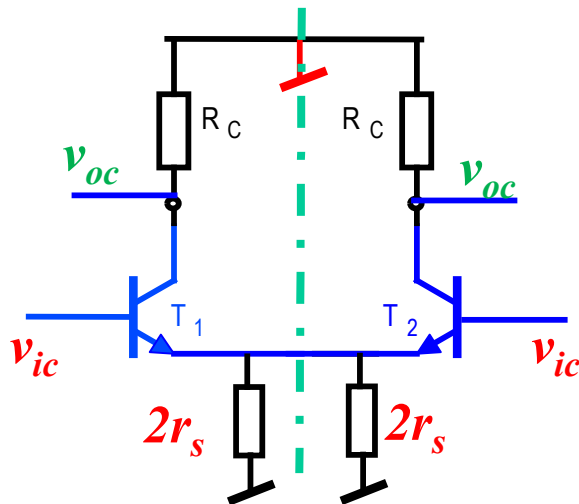
$$\rightarrow i(r_s) \approx i_{c1} + i_{c2} \neq 0$$

*$\rightarrow r_s$  est maintenue*

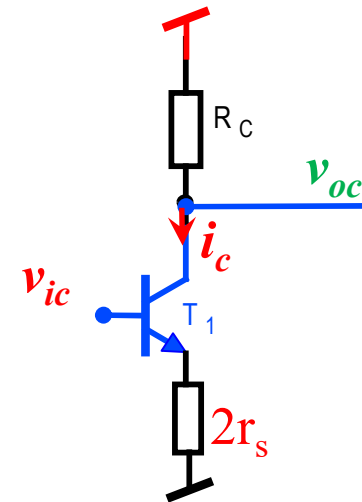
***Rq:***  $r_s$  peut être remplacée par  $2r_s // 2r_s$  pour créer un circuit symétrique

# Gain mode commun $A_{mc} = \frac{v_{oc}}{v_{ic}}$

Schémas petit signaux



Méthode du demi-circuit  
équivalent  $\rightarrow$  EC dégénéré

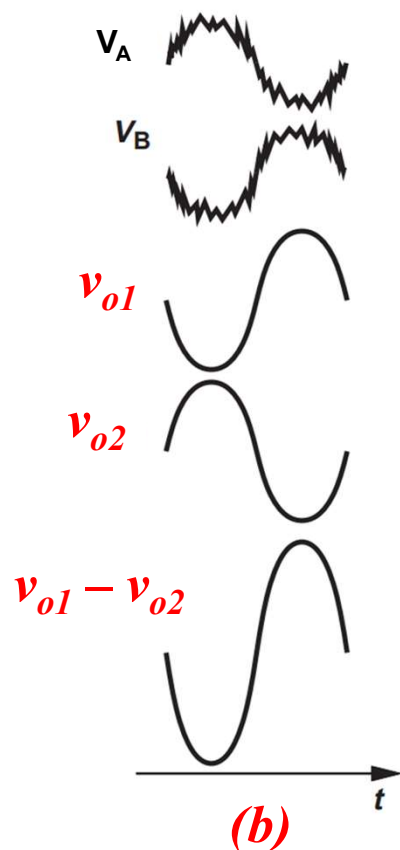


Gain mode commun  $A_{cm}$

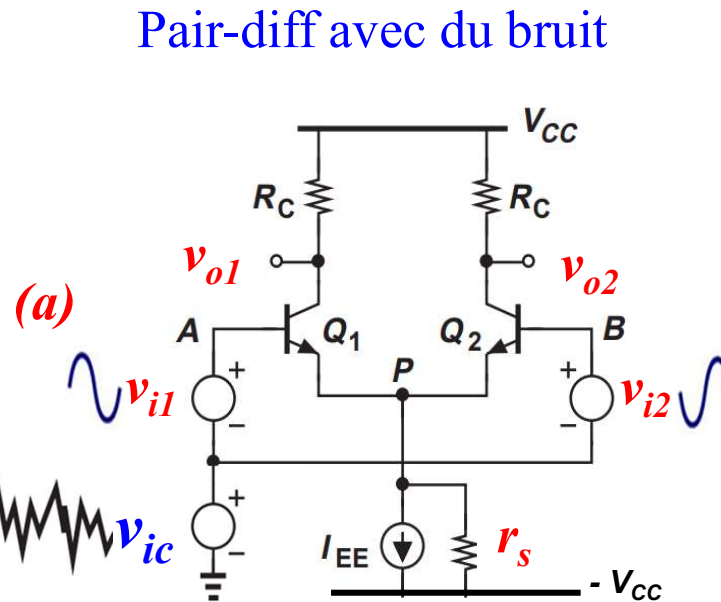
$$A_{mc} = \frac{v_{oc}}{v_{ic}} = \frac{-i_c R_C}{i_b \left( \frac{1}{g_{be}} + \beta 2r_s \right)} = - \frac{g_m R_C}{(1 + g_m 2r_s)} \approx - \frac{R_C}{2r_s} \quad \text{si } g_m 2r_s \gg 1$$

➤ Rq:  $A_{mc} \xrightarrow{r_s \rightarrow \infty} 0$

# Effet du bruit MC sur le signal différentiel



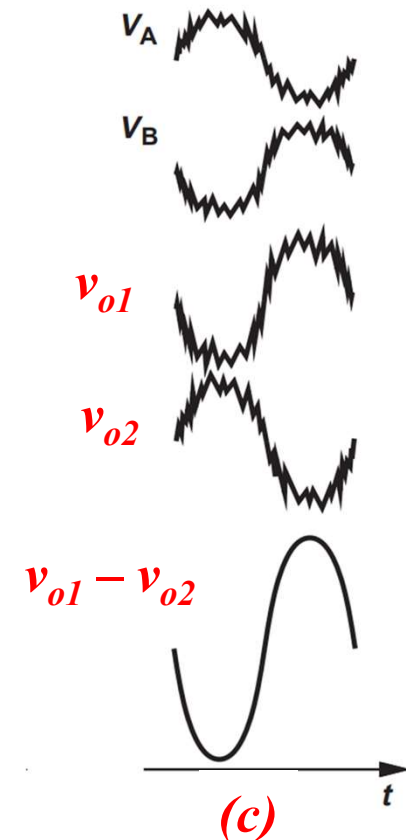
Effet du bruit MC à la sortie si  $r_s$  est infinie ( $A_{mc} \rightarrow 0$ ).



$$A_{mc} = \frac{v_{o1}}{v_{ic}} \approx -\frac{R_c}{2r_s}$$

Gain mode commun à mode diff

$$A_{mc-md} = \frac{v_{ocd}}{v_{ic}} = \frac{v_{oc2} - v_{oc1}}{v_{ic}} \approx 0$$

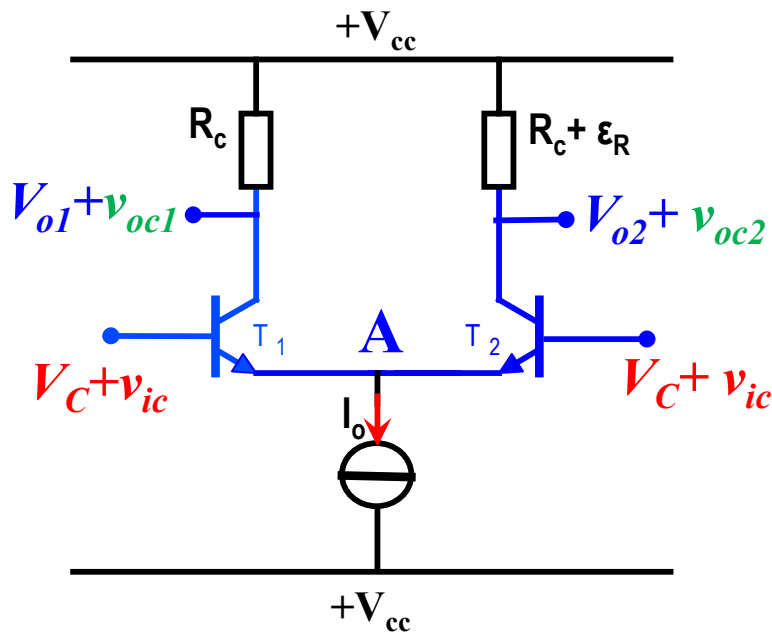


Effet du bruit MC à la sortie si  $r_s$  est finie.

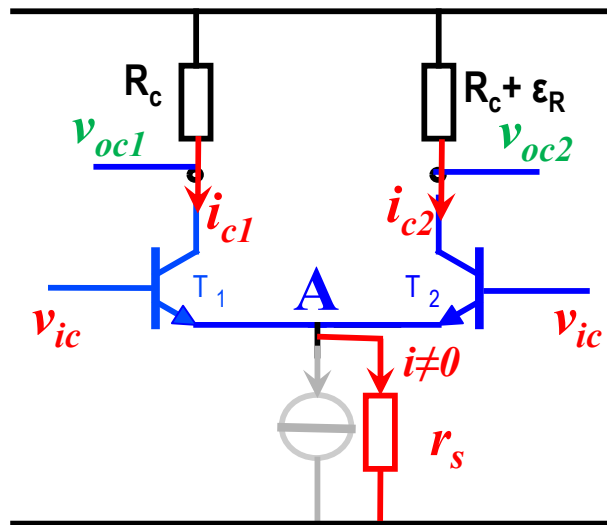
# Gain mode commun due à un défaut de symétrie

Quiz: Considérer un ampli diff présentant un défaut de symétrie dans les résistances de charge ( $R_c$  et  $R_c + \epsilon$ ). Ignorer l'effet Early ( $V_A(T_{1,2}) \rightarrow \infty$ ) et calculer l'offset DC ( $V_{o2} - V_{o1}$ ) à la sortie.

Ainsi que le gain mode commun à mode diff ( $A_{mc-md} = \frac{v_{od}}{v_{ic}}$ ).



Quiz: Gain mode commun à mode diff ( $A_{mc-md}$ ) due à un défaut de symétrie dans les résistances de charge ( $R_c$  et  $R_c + \epsilon_R$ )



$$A_{mc-md} = \frac{v_{oc2} - v_{oc1}}{v_{ic}}$$

$$v_{be1} = v_{be2} \rightarrow i_{c1} = i_{c2} = i_c$$

$$\rightarrow v_{oc2} = -(R_c + \epsilon_R) i_c \text{ \& } v_{oc1} = -R_c i_c$$

$$\rightarrow v_{oc2} - v_{oc1} = -\epsilon_R i_c$$

$$\text{or } v_{ic} = v_{be1} + v_A = g_m^{-1} i_c + 2 i_c r_s$$

$$A_{mc-md} = \frac{v_{oc2} - v_{oc1}}{v_{ic}} = \frac{-\epsilon_R}{g_m^{-1} + 2r_s} \approx \frac{-\epsilon_R}{2r_s}$$

Taux de rejection du mode commun TRMC

$$TRMC = \frac{A_{md}}{A_{mc-md}} = \frac{g_m R_c 2r_s}{\epsilon_R}$$

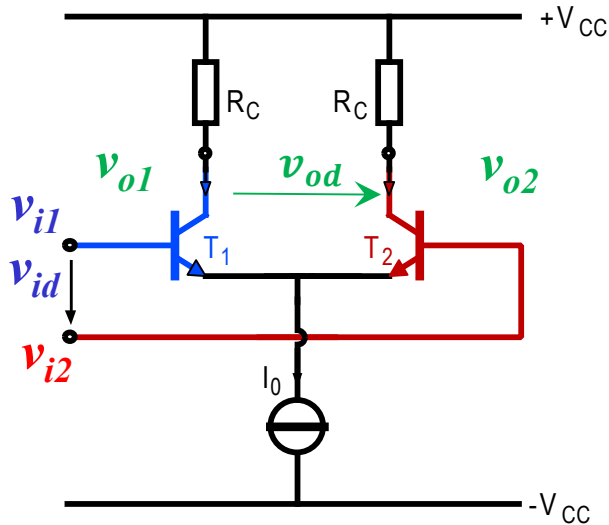
---

# Table des matières

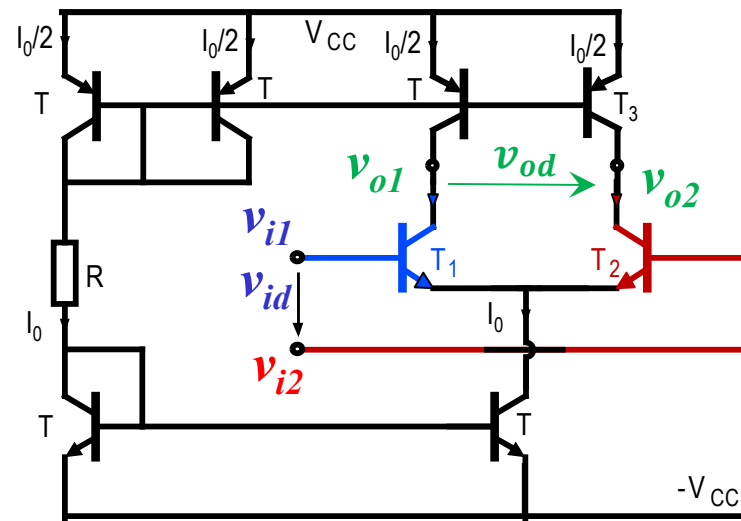
---

- Ampli diff: Fonctionnement et Polarisation DC
- Analyse petits signaux
  - Gain différentiel
  - Gain mode commun
    - Due à une source de courant non-idéale.
    - Due à un défaut de symétrie
- Ampli diff à charges actives et à sortie asymétrique

# Amplificateur différentiel avec charge active



Charge passive



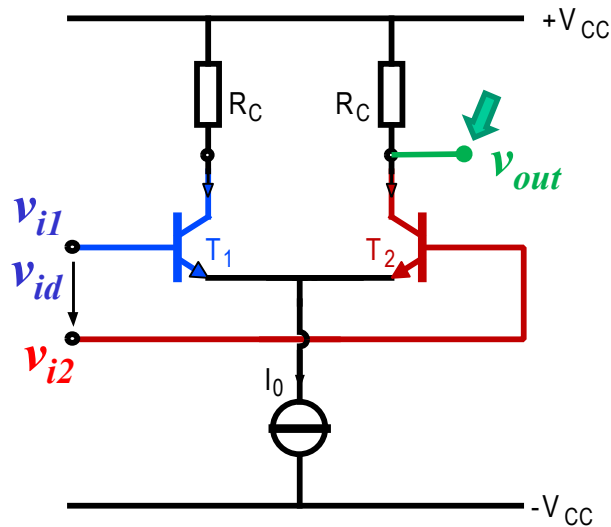
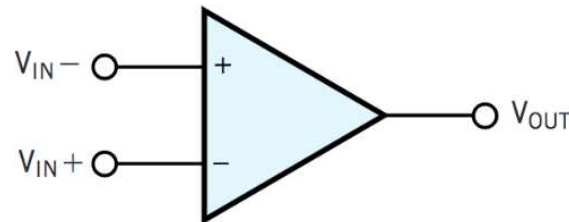
Charge active

*Gain diff en tension  $A_{md}$*

$$A_{md} = \frac{v_{od}}{v_{id}} = \frac{2v_{o1}}{2v_{i1}} \approx -g_m \frac{1}{g_{ce2}} // \frac{1}{g_{ce3}} \approx -\frac{g_m}{g_{ce2} + g_{ce3}}$$

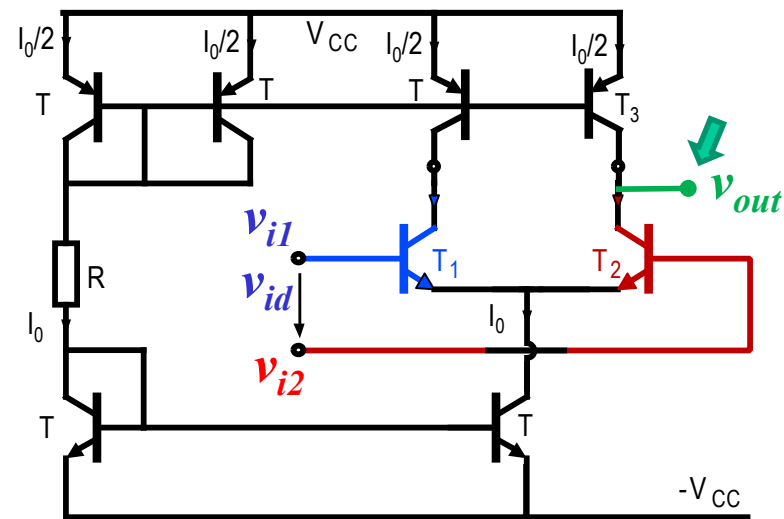


# Amplificateur différentiel avec charge active



Charge passive

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{id}} = \frac{v_{o2}}{2v_{i1}} \approx \frac{1}{2} g_m R_C$$



Charge active

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{id}} = \frac{v_{o2}}{2v_{i1}} \approx \frac{1}{2} g_m \frac{1}{g_{ce2} // \frac{1}{g_{ce3}}}$$