



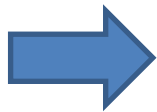
EN2

Amplification petit signal

Intérêt de l'amplification

● Pourquoi amplifier un signal ?

- **Entrée** : Enregistrement numérique, signal médical (ECG) :
 - signal en mV ou μV et $mA \Rightarrow \mu W$
- **Sortie** : Haut parleur (100W), tube cathodique (2000V)...
 - signal en V et qq centaines de mA voir $A \Rightarrow W$



Il faut selon les cas, **augmenter la tension ou/et le courant du signal d'entrée**, et donc sa **puissance** :
c'est le rôle principal d'un amplificateur

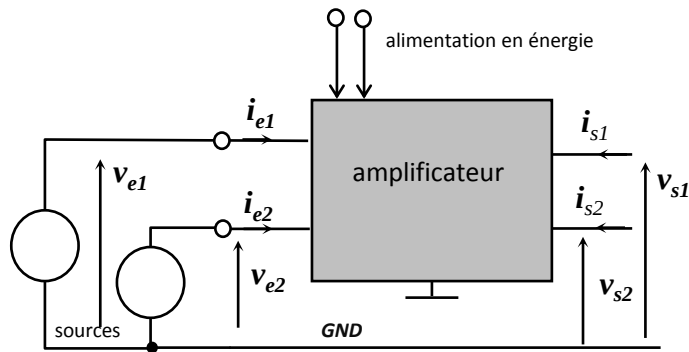
● Classification des amplificateurs

- **Petits signaux** : à l'intérieur de la chaîne de traitement électronique.
- **Petits signaux différentiels** : idem en réduisant le bruit.
- **De puissance** : permet de piloter des actionneurs électriques ou électromécanique en sortie.

Structure générale

Les quadripôles

- Cas particulier le plus fréquent



Système MIMO

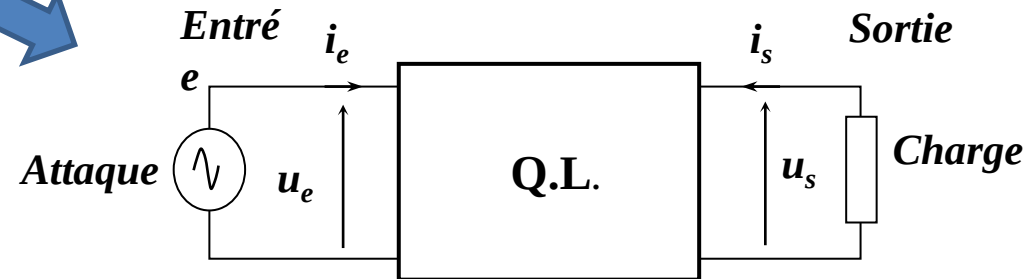
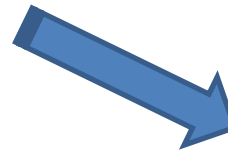
Mise en équation complexe car 8 grandeurs liées

Exemple de cas simple: Ampli de tension parfait

$$V_{s1} = A_{11} V_{e1} + A_{12} V_{e2}$$

$$V_{s2} = A_{21} V_{e1} + A_{22} V_{e2}$$

Sous-ensemble



Quadripôle linéaire

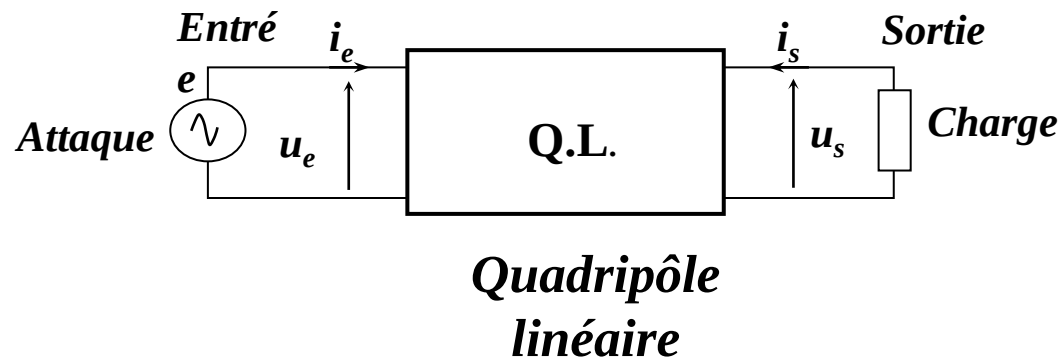
Simplification du cas MIMO

Chaque paire de bornes se comporte, vu de l'extérieur, comme un dipôle

ROLE TRES IMPORTANT EN ELECTRONIQUE
(recouvre la plupart des applications!)

Classification des amplificateurs

● Fonction de transfert



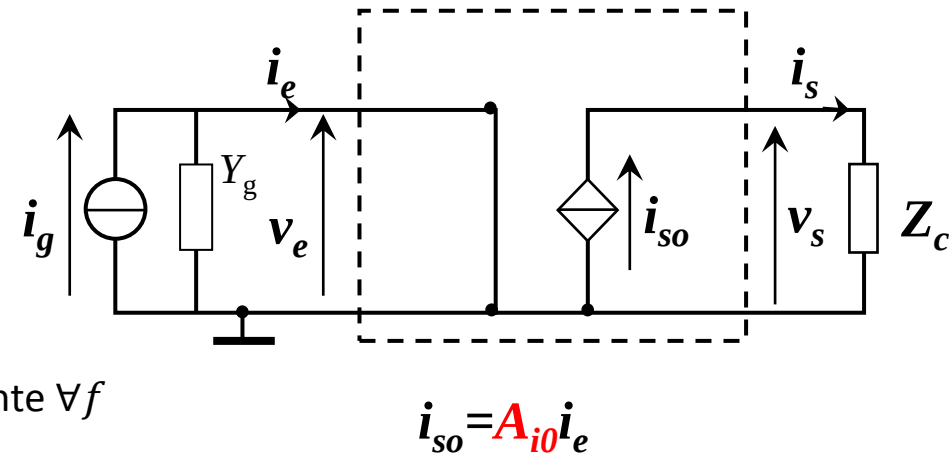
Entré	Sortie	H	Nom
u_e	u_s	$\underline{A_v}$	Amplification en tension
i_e	i_s	$\underline{A_i}$	Amplification en courant
u_e	i_s	$\underline{Y_T}$	Trans-admittance
i_e	u_s	$\underline{Z_T}$	Trans-impédance
P_e	P_s	A_p	Amplification en puissance

Classification des amplificateurs

● Amplificateur de courant

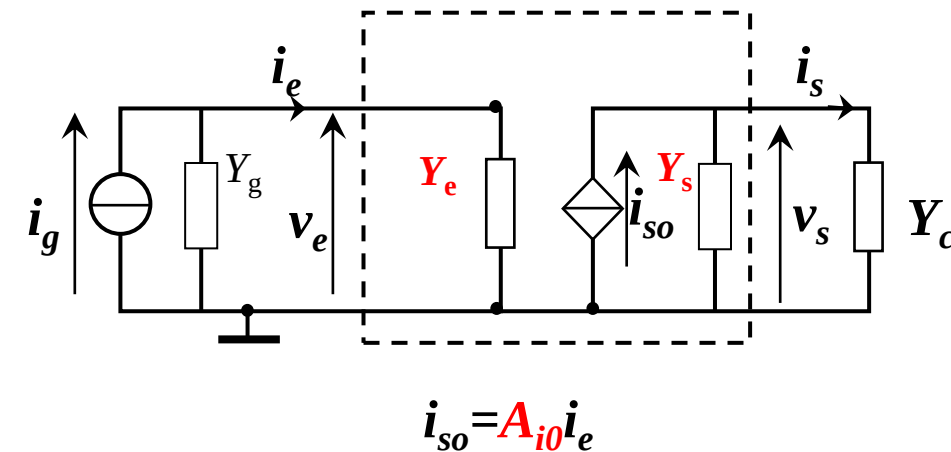
■ Amplificateur parfait

- Ne doit pas gêner la source
 - On retrouve toute le courant de la source
- Ne doit pas être gêné par la charge
 - Source de courant parfaite
- Présente une amplification en courant constante $\forall f$



■ Amplificateur imparfait

- Admittance d'entrée non nulle
- Admittance de sortie non infinie
- amplification non constante



Toutes les grandeurs sont complexes

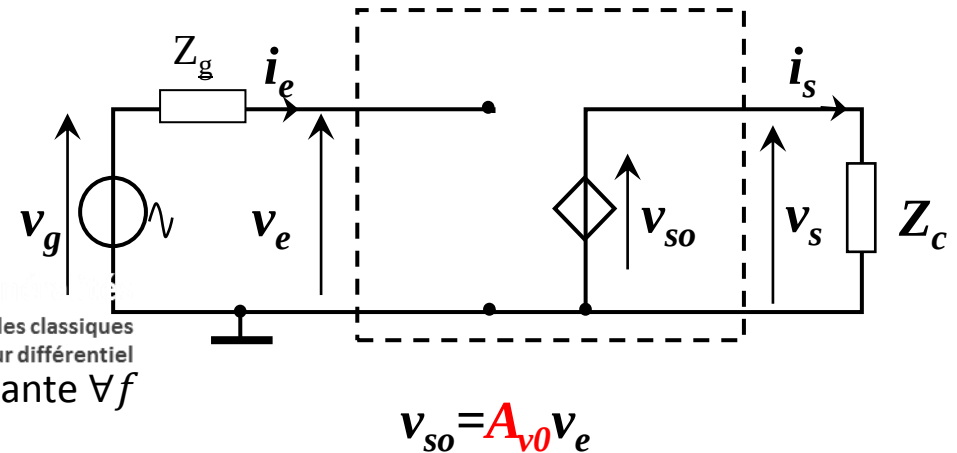
Classification des amplificateurs

Amplificateur de tension

Amplificateur parfait

- Ne doit pas gêner la source
 - On retrouve toute la tension de la source
- Ne doit pas être gêné par la charge
 - Source de tension parfaite
- Présente une amplification en tension constante $\forall f$

amplificateurs: les classiques
amplificateur différentiel

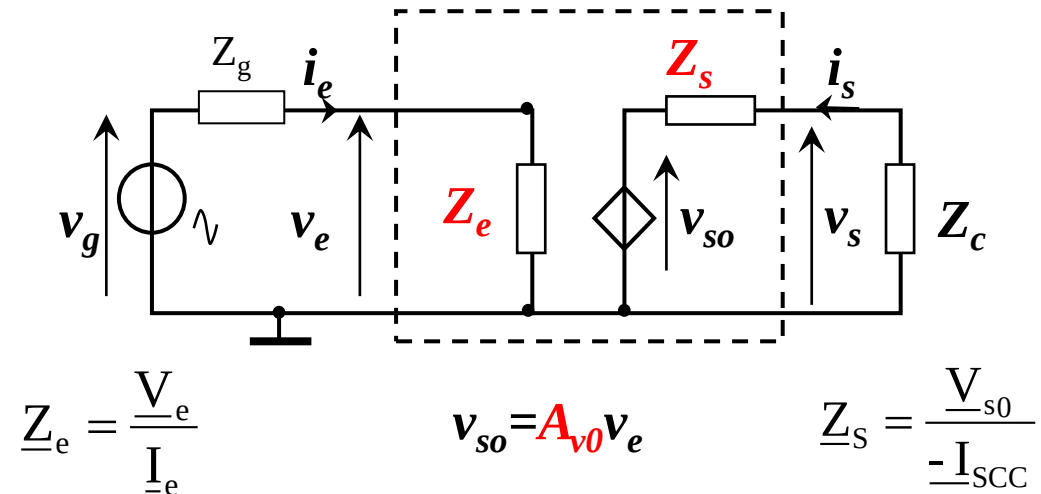


Amplificateur imparfait

- Impédance d'entrée non infinie
- Impédance de sortie non nulle
- amplification non constante

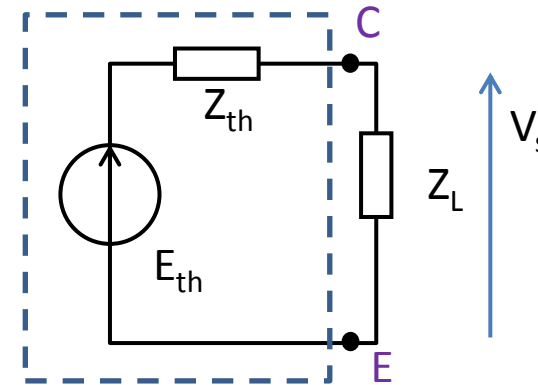
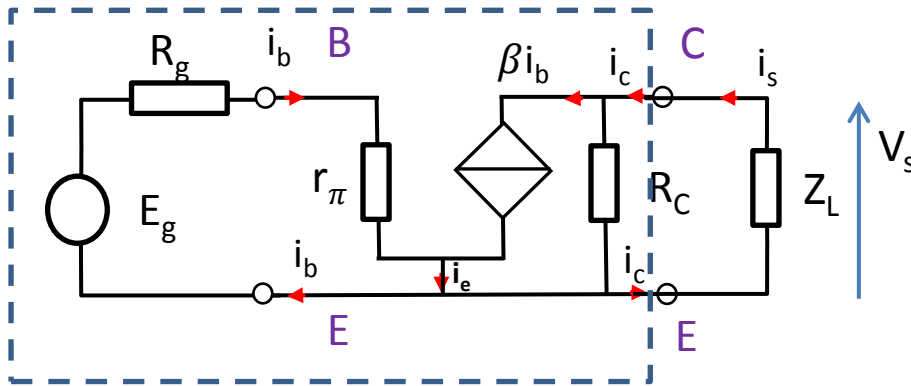


Toute les grandeurs sont complexes (barre omise pour faciliter les écritures!)



Impédance de sortie

Cas des sources liées



Les 2 possibilités

- Je garde toutes les sources et j'exprime V_s sous la forme

» $V_s = V_{s0} - Z_s i_s$ avec V_{s0} une expression indépendante de i_s et fonction de E_g, R_g, β, r_π
 » On identifie $V_{s0} = E_{th}$ et $Z_s = Z_{th}$

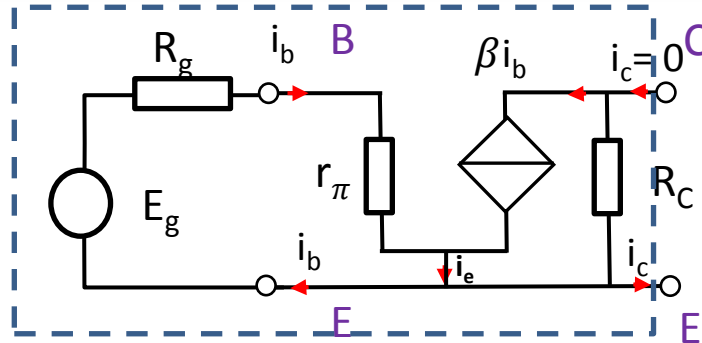
- J'applique les étapes classiques du théorème de thévenin en prenant garde **d'éteindre les sources indépendantes** et de **conserver les sources liées**

Impédance de sortie

Théorème de Thévenin

Calcul de E_{th}

- On déconnecte la charge
- On exprime $V_{sco} = E_{th}$



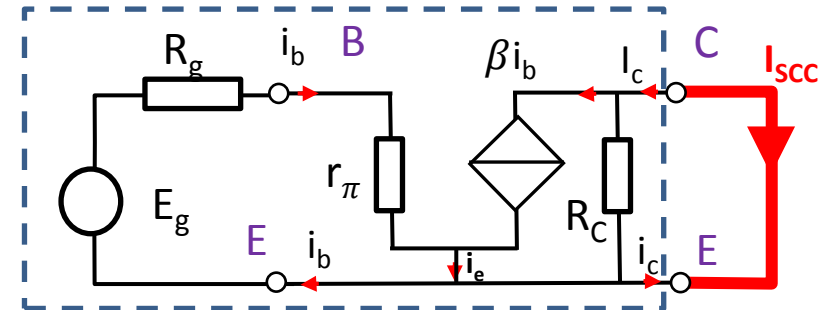
$$V_{sco} = -\frac{R_C \beta}{R_g + r_\pi} E_g$$

Calcul de Z_{th}

- 2 méthodes

Méthode du courant de court-circuit *théorique*

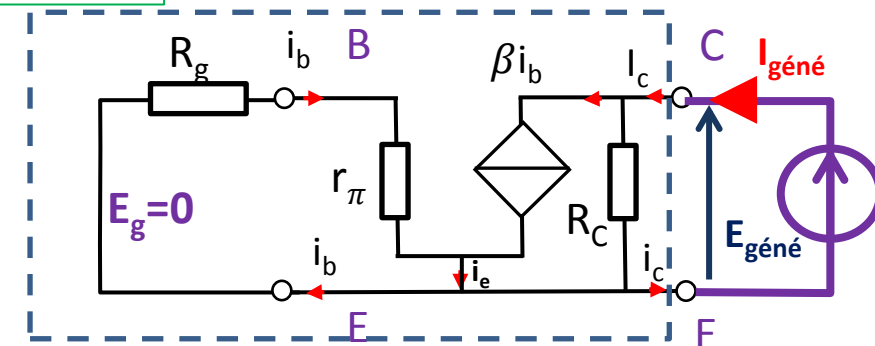
- » $Z_{th} = \frac{E_{th}}{I_{scc}}$
- » On connaît E_{th} . On exprime I_{scc} .
- » On déduit Z_{th}



$$Z_{th} = R_C$$

Méthode du générateur en sortie

- » On éteint les sources indépendantes
- » On place un générateur externe en sortie
- » $Z_{th} = \frac{E_{géné}}{I_{géné}}$
- » On utilise l'arsenal du GE11 pour exprimer Z_{th}



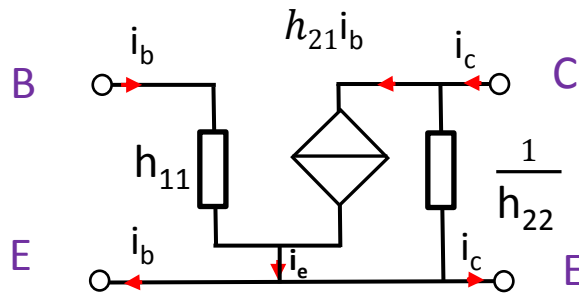
Transistor: modèle dynamique (RAPPEL)

● Modèle **dynamique** en π

- Modèle dit hybride (théorie des quadripôles)

$$\begin{bmatrix} v_{BE} \\ i_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_B \\ v_{CE} \end{bmatrix}$$

À connaître

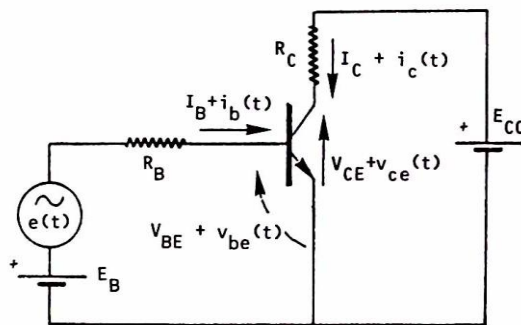


Les paramètres h sont complexes
(Pour nous, en BF, partie complexe négligeable)

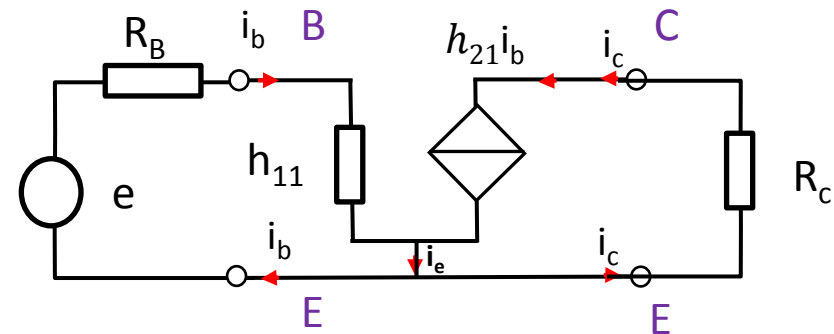
Nous négligerons en TD l'influence de h_{22}



Toutes les grandeurs sont alternatives dites « petit signal »
Écritures équivalentes: $d i_b$ ou Δi_b ou $\tilde{i}_b$ ou i_b



*Schéma équivalent
petit signal*



Etude théoriques des amplificateurs

● Les étapes pour l'étude d'un dispositif

- Je dessine un schéma équivalent statique
 - J'éteinds les sources alternatives et je remplace les condensateurs par un circuit ouvert
 - Je remplace les composants par le modèle STATIQUE de mon choix
 - Je dessine un schéma équivalent statique
 - Je calcule le point de fonctionnement STATIQUE $M_o(V_{x0}, I_{x0})$
 - » En utilisant les outils du cours de signaux et circuits.
- Je dessine un schéma équivalent dynamique
 - J'éteinds les sources continues et je remplace les condensateurs par un fil (si $Z_c \ll Z_{montage}$)
 - Je remplace les composants par le modèle DYNAMIQUE de mon choix
 - Je dessine un schéma équivalent dynamique
 - Je calcule la réponse alternative $\tilde{v}_x(t)$
- Le point instantané de fonctionnement s'obtient en appliquant la superposition
$$V_x(t) = V_{x0} + \tilde{v}_x(t)$$

Montage émetteur commun

Montage émetteur commun

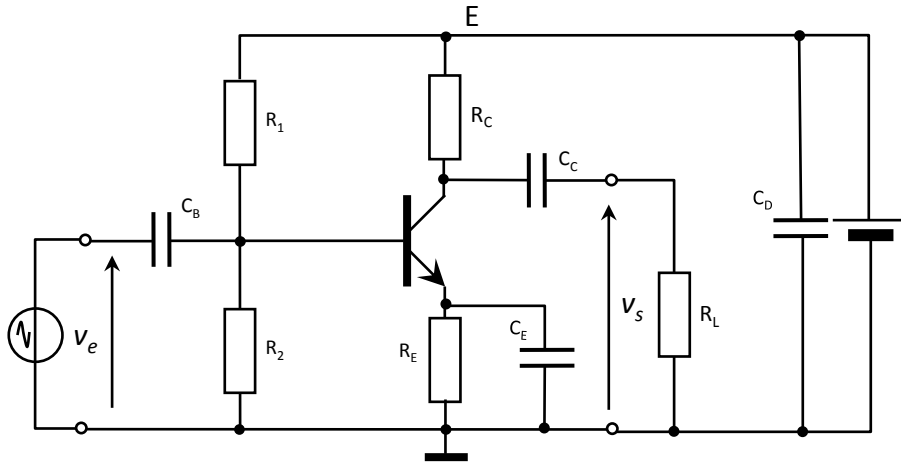
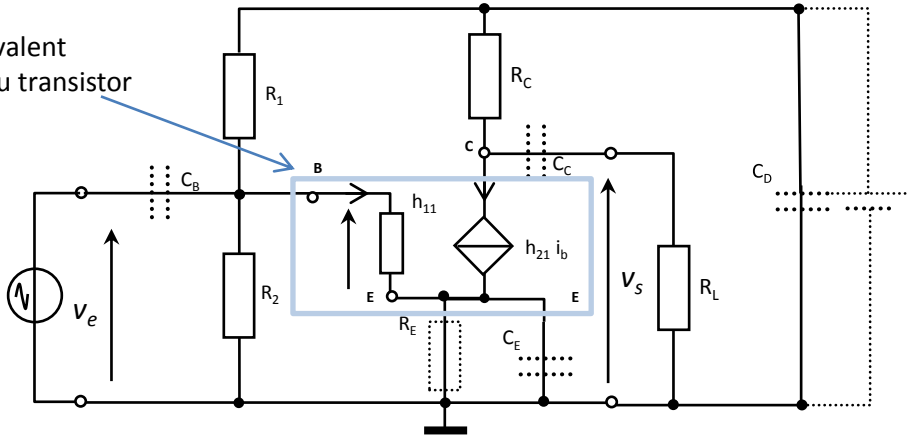
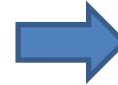


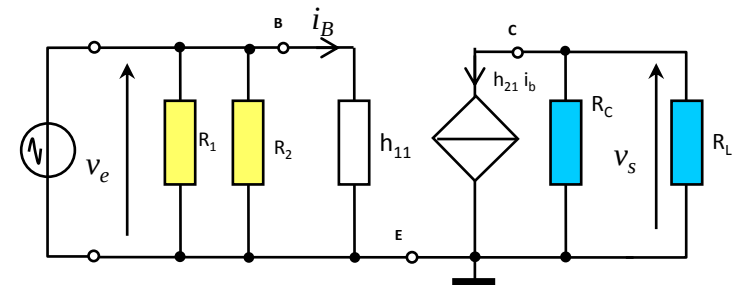
Schéma équivalent
dynamique du transistor

$$h_{11} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$h_{21} = 100$$



*Remise en forme
plus lisible*



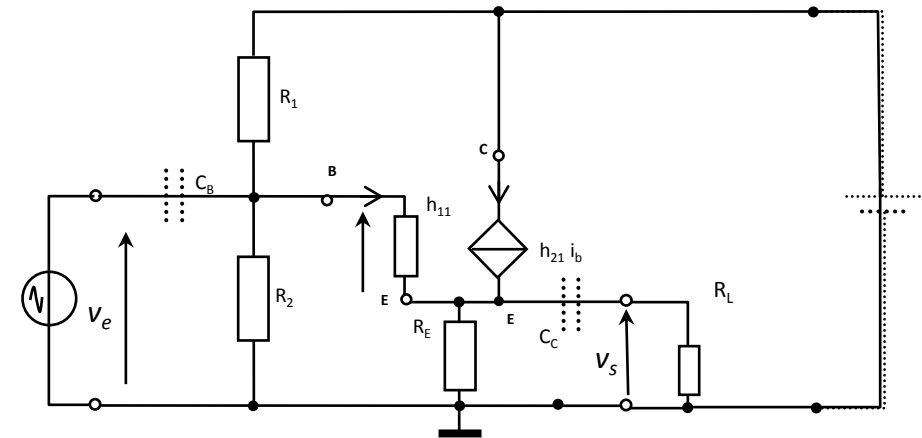
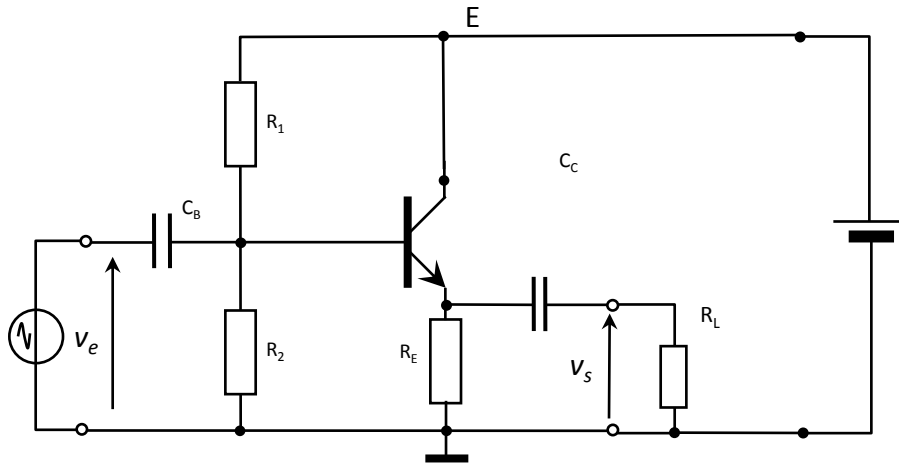
$$\underline{A_v} = - \frac{h_{21} R'_L}{h_{11}}$$

$$\underline{A_i} = +h_{21} \times \frac{R'_L}{R_L} \times \frac{(R_1 // R_2 // h_{11})}{h_{11}}$$

$$\mathfrak{R}_e = (R_1 // R_2 // h_{11})$$

$$\mathfrak{R}_s = R_C$$

Montage collecteur commun

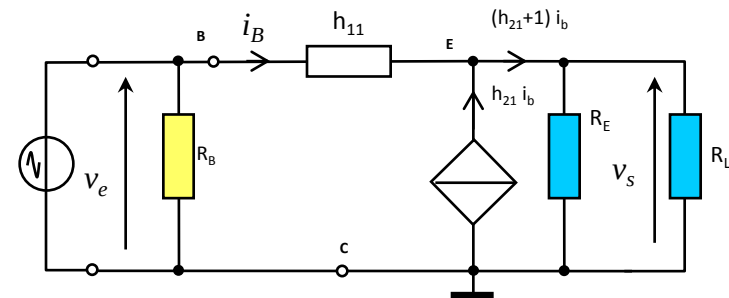


$$\underline{A_V} = + \frac{(h_{21} + 1)R'_L}{h_{11} + (h_{21} + 1)R'_L}$$

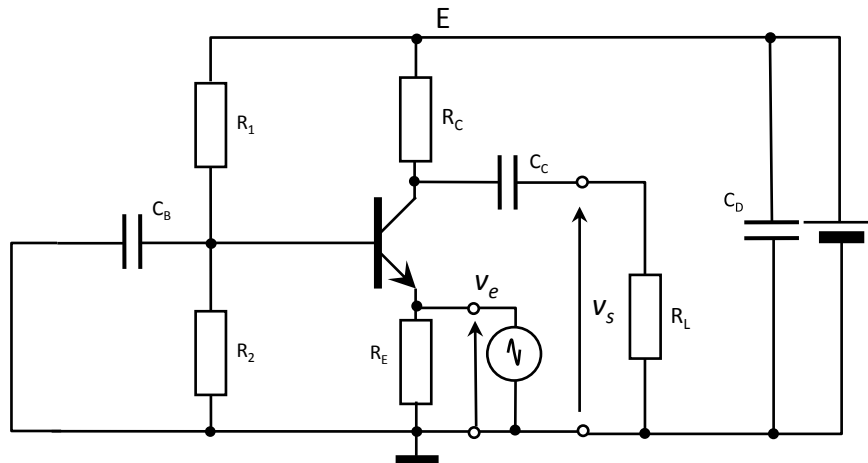
$$\underline{A_I} = +(h_{21} + 1) \times \frac{R'_L}{R_L} \times \frac{R_B}{R_B + h_{11} + (h_{21} + 1)R'_L}$$

$$\mathfrak{R}_e = R_B // (h_{11} + (h_{21} + 1)(R_E // R_L))$$

$$\mathfrak{R}_s = R_E // \frac{h_{11} + (R_B // R_G)}{(h_{21} + 1)}$$



Montage base commune

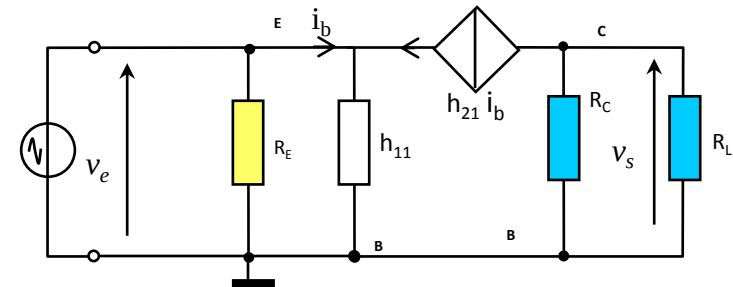


$$\underline{A_V} = + \frac{h_{21} R'_L}{h_{11}}$$

$$\underline{A_I} = + \frac{h_{11} R_C}{(R_C + R_L) \left(\frac{h_{11}}{R_E} + h_{21} + 1 \right)}$$

$$\Re_e = \frac{h_{11}}{h_{21} + 1}$$

$$\Re_s \square R_C$$



Synthèse

● Ordres de grandeurs

Montage	EC	CC	BC
<u>A_v</u>	-100	+1	+100
<u>A_i</u>	+50	+80	-1
A_p	5 000	80	100
R_e	1 000 Ω	10 000 Ω	10 Ω
R_s	1 000 Ω	10 Ω	1 000 Ω

Synthèse

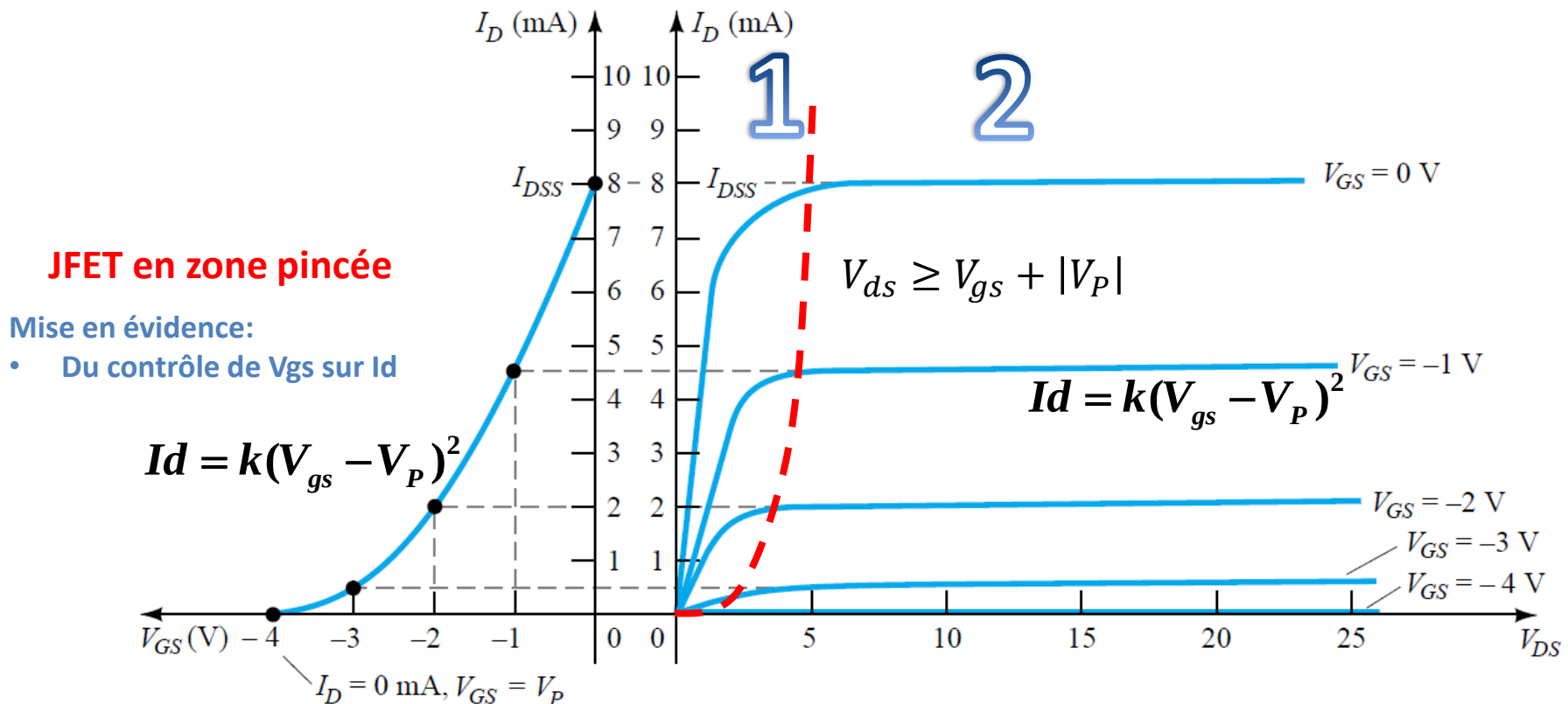
● Applications

	Emetteur Commun	Base Commune	Collecteur Commun
Impédance d'entrée	Moyenne <i>variable selon la polarisation, de l'ordre de quelques $k\Omega$</i>	Basse <i>ordre de grandeur : quelques dizaines Ω</i>	Elevée <i>Plus élevée qu'un montage émetteur commun</i>
Impédance de sortie	Moyenne <i>égale à R_c</i>	Moyenne <i>égale à R_c</i>	Basse <i>ordre de grandeur : quelques dizaines Ω</i>
Phase entrée/sortie	180°	Phase	Phase
Gain en tension	Elevé	Elevé	Très légèrement inférieur à 1
Utilisation	C'est le montage de base, on le retrouve partout.	Montage utilisé en HF du fait de sa bande passante supérieure à l'émetteur commun	C'est l'adaptateur d'impédance par définition

Rappels: caractéristiques externes du JFET

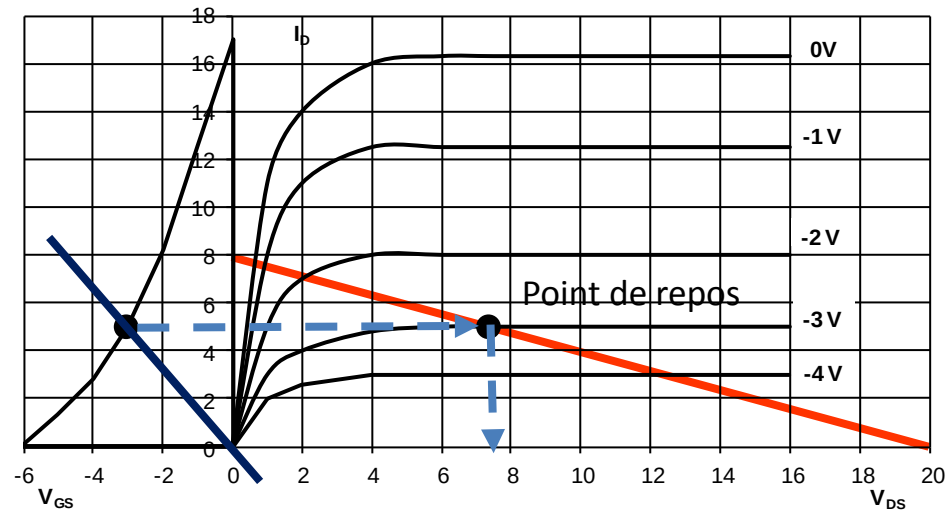
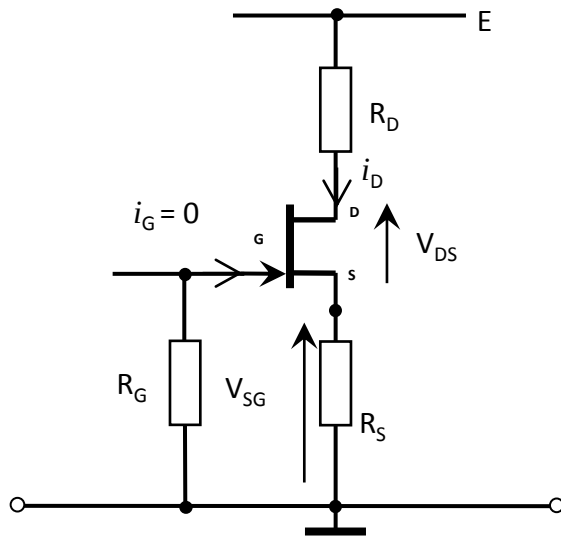
● Réseau de caractéristiques

- Comportement 1: zone de résistance commandé en tension $r_{ds} = h(V_{GS})$
- Comportement 2: source de courant commandé en tension $I_d = f(V_{GS})$

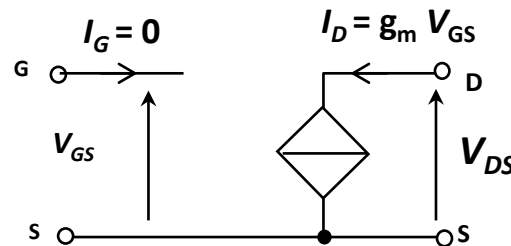


Polarisation et modèle

● Polarisation du transistor FET

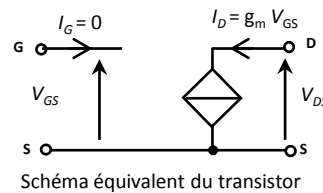
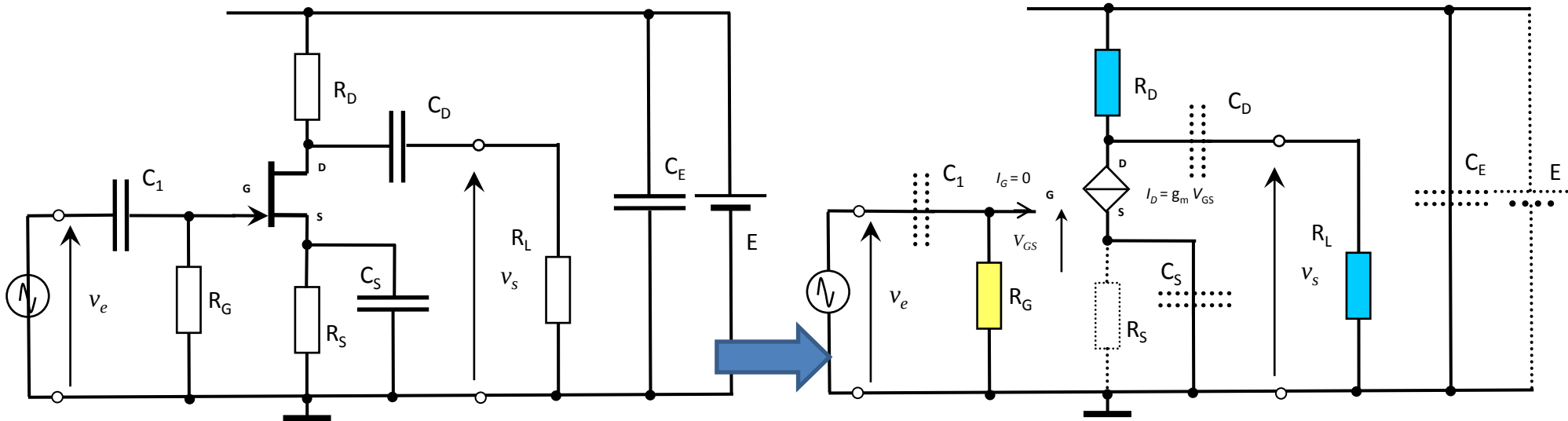


● Modèle petit signal

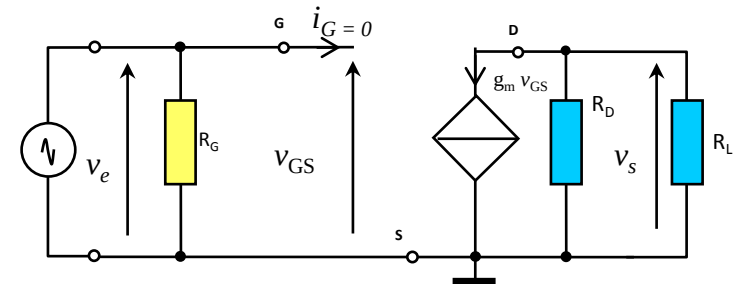


$$I_D = k(V_{gs} - V_P)^2$$

Montage à source commune



*Remise en forme
plus lisible*



résultats

$$\underline{A_V} = -g_m R'_L$$

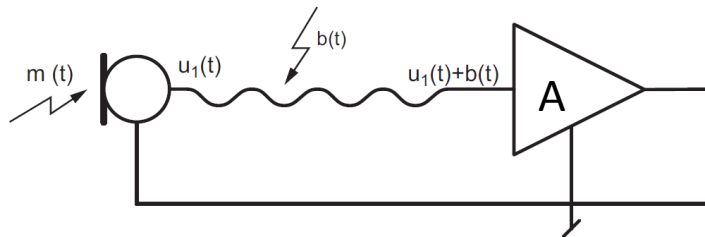
$$\underline{A_I} = +g_m \times \frac{R'_L}{R_L} \times R_G$$

$$\Re_e = R_G$$

$$\Re_s = R_D$$

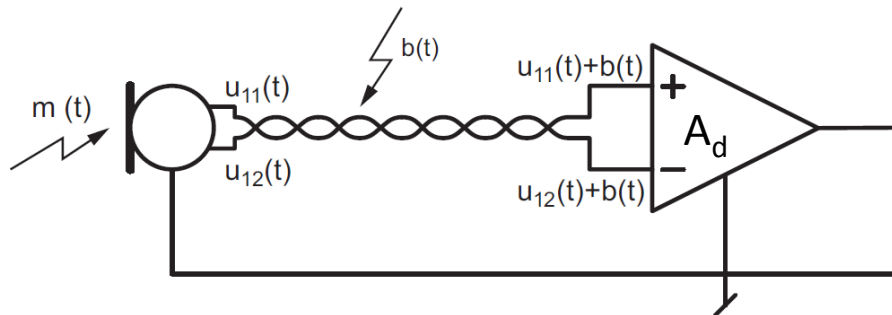
Intérêt des structures différentielles

- Pourquoi utiliser un amplificateur différentiel ?
 - Un amplificateur normal amplifie le **signal** et le **bruit** :



$$u_s(t) = A(u_1 + b)$$

- Un amplificateur différentiel amplifie la **différence** entre 2 signaux, le **bruit n'est donc pas amplifié** :

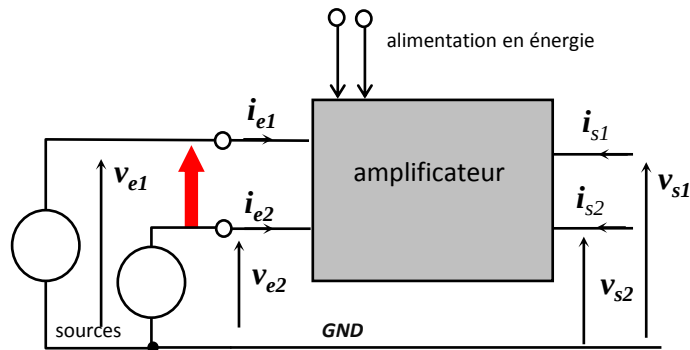


$$u_s(t) = A_d[(u_{11} + b) - (u_{12} + b)] = A_d(u_{11} - u_{12})$$

Modèles

● Modèle d'un amplificateur différentiel parfait

- Les grandeurs « utiles » sont les tensions différentielles

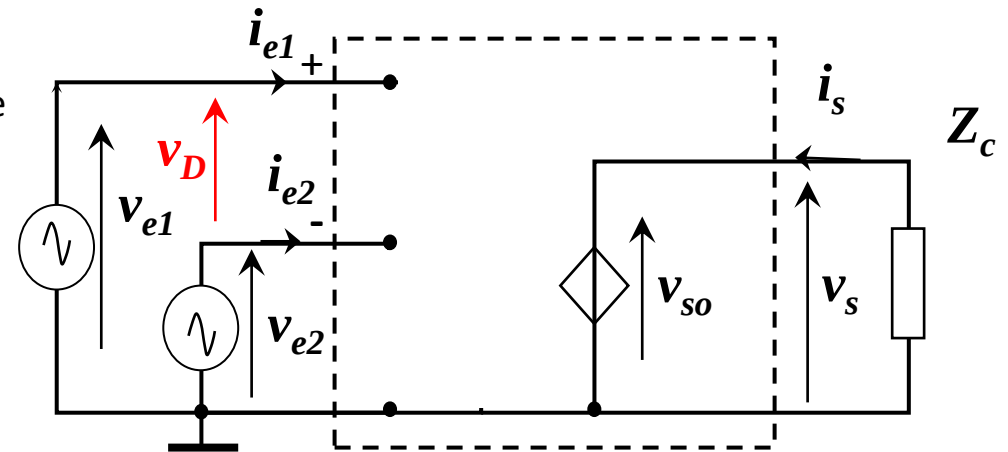


$$V_d = (V_{e1} - V_{e2}) \text{ et } V_{sd} = (V_{s1} - V_{s2})$$

■ Amplificateur parfait (1 seule sortie)

- amplifier la différence des tensions en entrée
- Supprime le mode commun
- Ne gêne pas les sources d'entrées
- N'est pas gêné par la charge

$$\underline{V_s} = \underline{V_{s0}} = \underline{A_{VD}} \times \underline{V_D}$$



Modèles

● Mode commun et différentiel

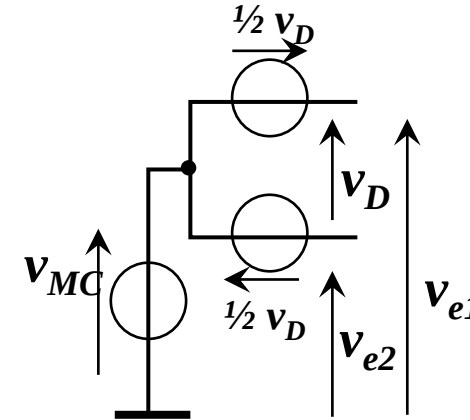
■ Définitions

V_{e1} et V_{e2} s'exprime en fonction de:

la tension de mode commun: $V_{MC} = \frac{1}{2} (V_{e1} + V_{e2})$

la tension de mode différentiel: $V_{MD} = \frac{1}{2} V_d$

Avec V_d appelée tension différentielle



■ Interprétation

- La tension de sortie s'exprime en fonction de la grandeur utile v_D mais aussi d'une grandeur parasite $A_{MC}V_{MC}$ que l'on veut la plus petite possible

$$u_s(t) = A_+(V_{MC} + \frac{v_D}{2}) - A_-(V_{MC} - \frac{v_D}{2}) \text{ avec si on tient compte du bruit } V_{MC} = \frac{(V_{e1} + V_{e2})}{2} + b$$

$$u_s(t) = (A_+ + A_-)V_{MD} + (A_+ - A_-)V_{MC} = A_D V_D + A_{MC} V_{MC}$$

■ Imperfections de la réjection du mode commun

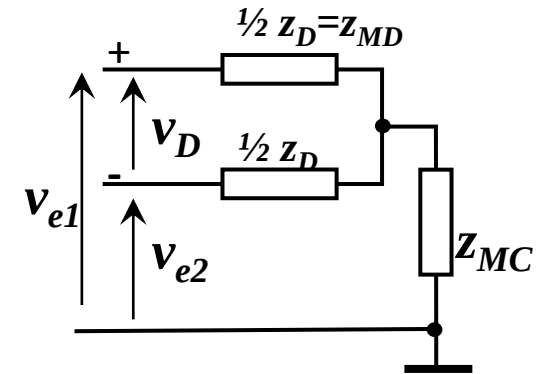
- En réalité $A_+ = A_- + \varepsilon \Rightarrow A_{MC} = \varepsilon$ présente une valeur faible mais non nulle
- On quantifie la qualité de l'ampli avec un taux de rejection de mode commun

$$CMRR_{dB} = 20 \log \left(\frac{A_d}{A_{MC}} \right)$$

Modèles

● Amplificateur différentiel imparfait

- Amplifie la tension différentielle
- Mais malheureusement aussi la tension de mode commun!
- impédance différentielle et de mode commun non infinie
- impédance différentielle et de mode commun non nulle



Nous avons pour la tension de sortie à vide

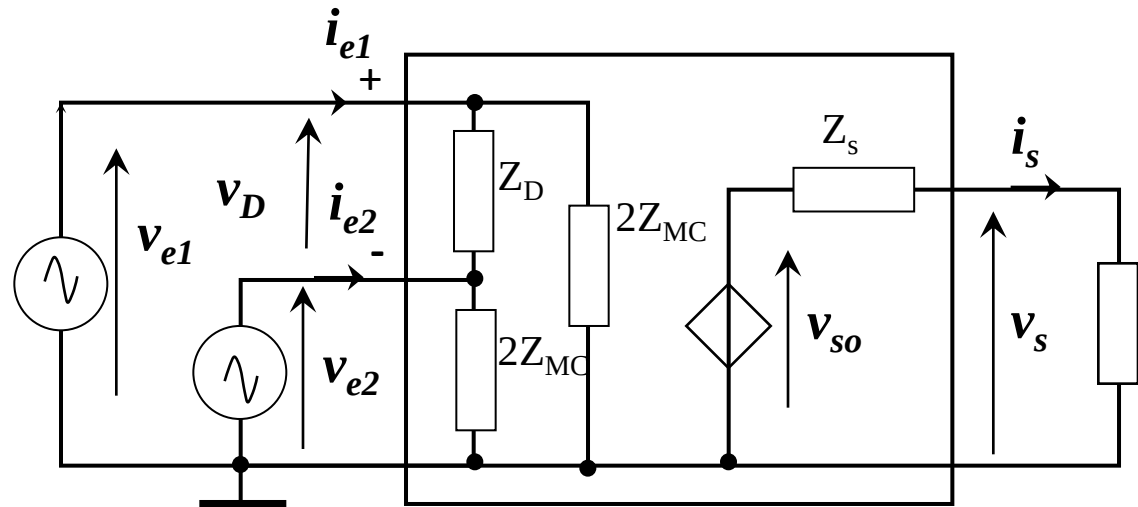
$$V_{S0} = A_{VD} \times V_D + A_{VMC} \times V_{MC}$$



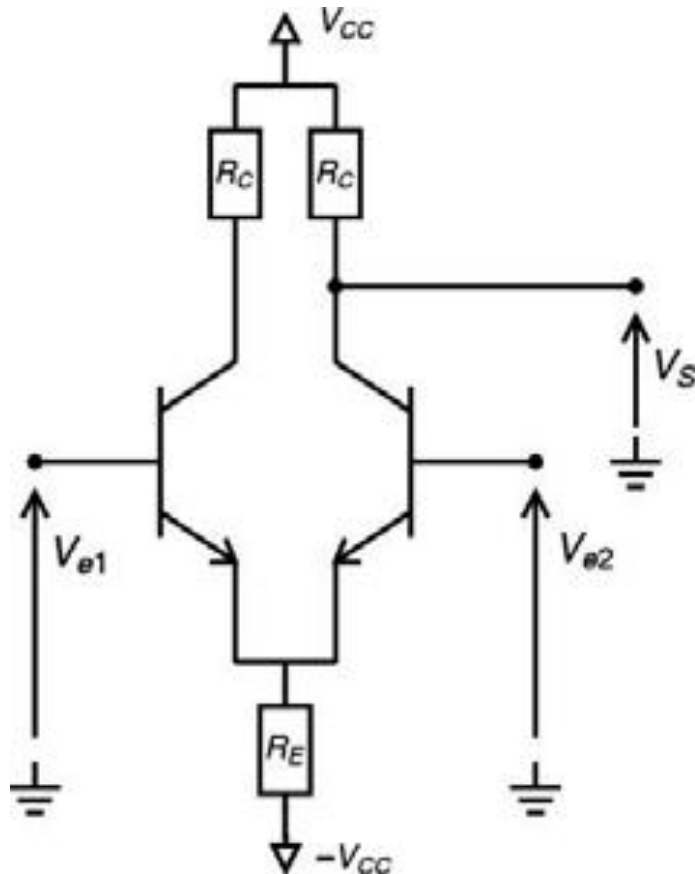
Les constructeurs donnent la valeur du taux de réjection de mode commun

$$CMRR = 20 \log \left(\frac{A_{VD}}{A_{VMC}} \right)$$

Ordre de grandeur courant: $CCMR=1000$ soit $CCMR_{dB}=60 \text{ dB}$



La paire différentielle: polarisation



- **Entrées** : V_{e1} et V_{e2}
- **Sortie** : collecteur d'un des transistors
- **Hypothèse forte** : $T1$ et $T2$ appariés $\Leftrightarrow$ même circuit : identiques.

Pour le calcul de la polarisation :

$$V_{e1} = V_{e2} = 0$$

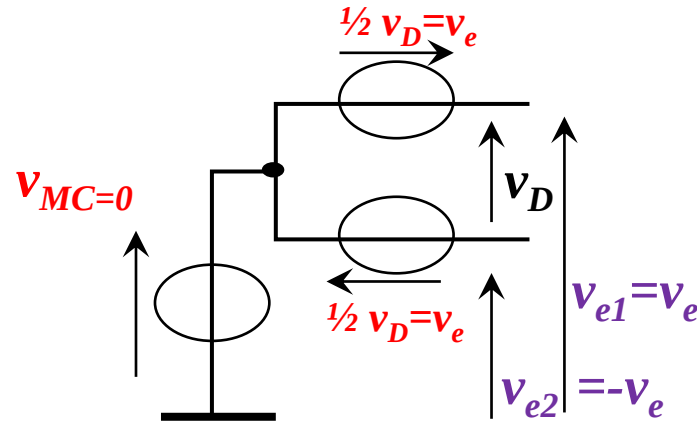
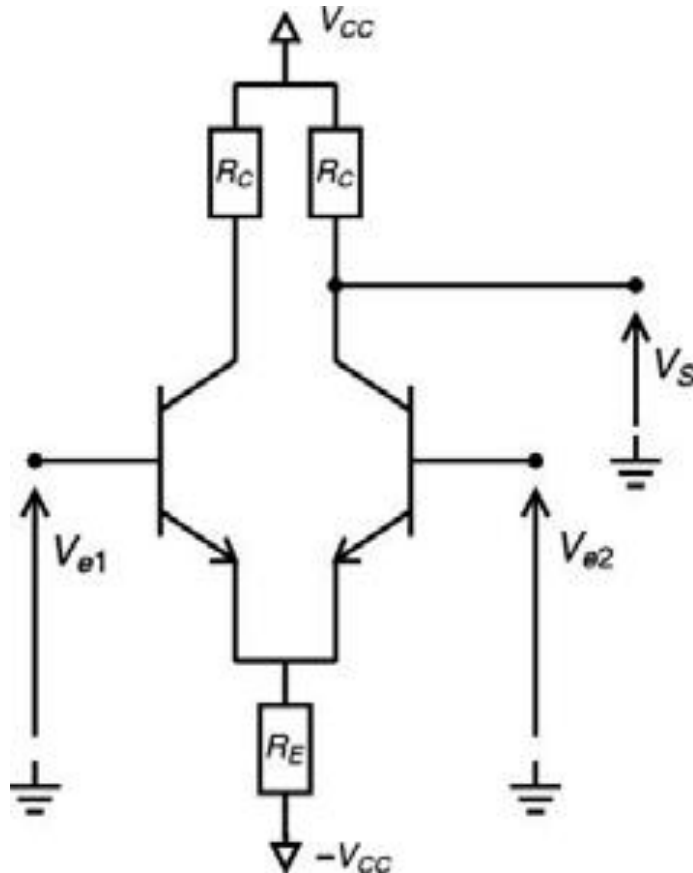
$$\text{Par symétrie : } I_{E1} = I_{E2} = I_E$$

$$\text{Dans une maille } \{masse - E - B\}, \text{ on a : } I_E = \frac{V_{CC} - 0,7}{2R_E}$$

$$\text{Tension continue en sortie : } V_S = V_{CC} - R_C I_E$$

La paire différentielle

● Mode différentiel



Nous réglons $v_{e1} = -v_{e2} = v_e$

Le courant devient

$$I_{E1} = I_E + i_{e1}$$

$$I_{E2} = I_E - i_{e2} \text{ avec } I_E \text{ le courant de polarisation.}$$

Pour des signaux de faible amplitude : $i_{e1} = i_{e2}$

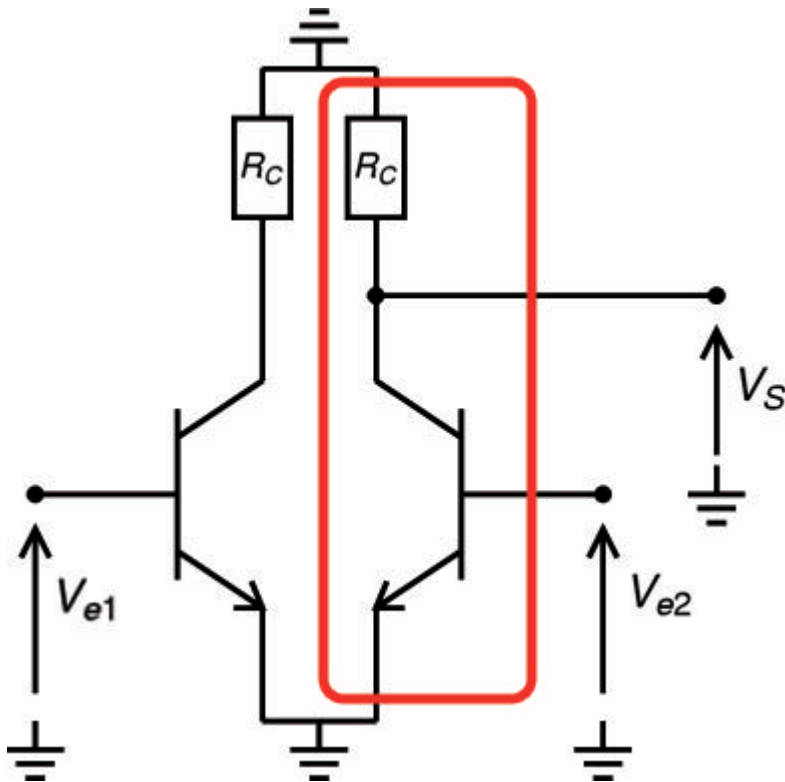
$$I_{RE} = I_{E1} + I_{E2} = 2I_E = \text{cte}$$

On a donc $U_{RE} = 2R_E I_E = \text{cte} \Rightarrow E$ a donc un potentiel fixe

$\Rightarrow$ en petit signaux, c'est **une masse**

La paire différentielle

- Mode différentiel: modèle équivalent



Equivalent à 2 montages
émetteur commun découplés.

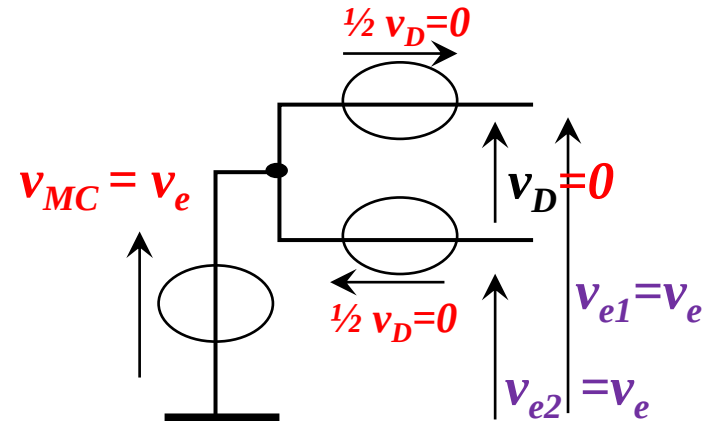
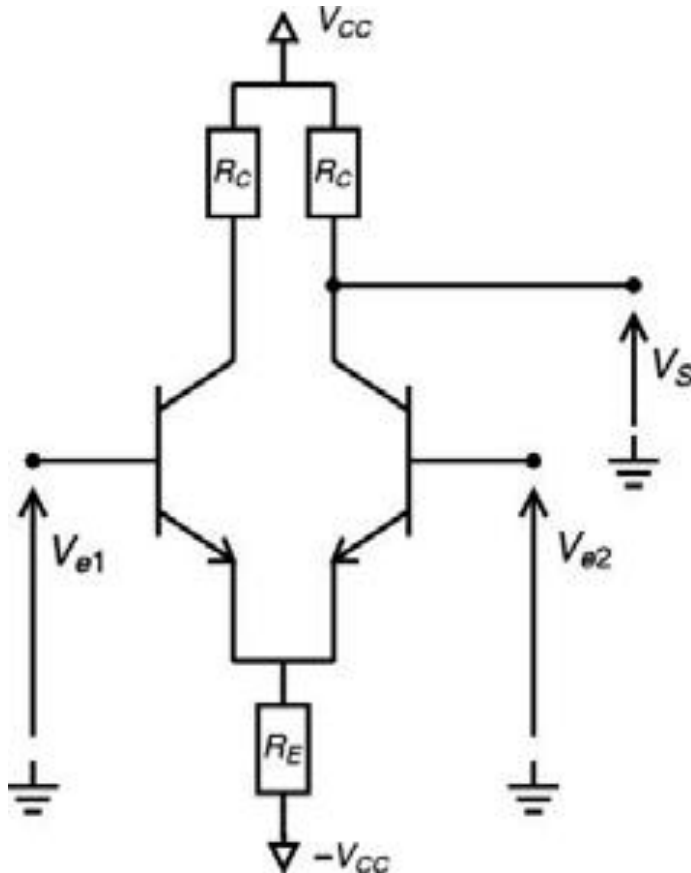
$$V_S = -\frac{\beta R_C}{r_{be}}(-V_E) = \frac{\beta R_C}{r_{be}}V_E$$

Amplification différentielle :

$$A_{diff} = \frac{\beta R_C}{r_{be}} \gg 1$$

La paire différentielle

Mode commun



Nous réglons $v_{e1} = v_{e2} = v_e$

$$I_{E1} = I_E + i_{e1}$$

$$I_{E2} = I_E + i_{e2} \text{ avec } I_E \text{ le courant en continu.}$$

Pour des signaux de faible amplitude : $i_{e1} = i_{e2}$ donc

$$I_{RE} = I_{E1} + I_{E2} = 2I_E + 2i_e$$

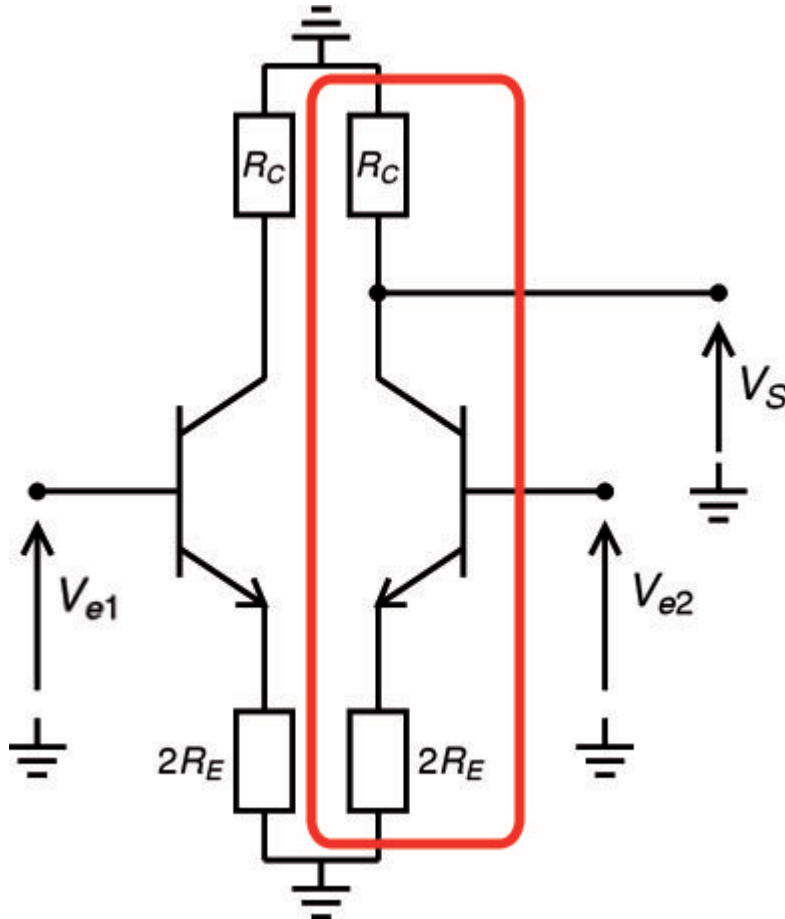
On a donc $U_{RE} = 2R_E I_E + 2R_E i_e$

⇒ en petit signaux (i_e),

on obtient une résistance $2R_E$ reliée à la masse.

La paire différentielle

- Mode commun: modèle équivalent



Equivalent à 2 montages
émetteur commun stabilisé
découplés.

$$V_S = -\frac{R_C}{2R_E} V_E$$

Amplification de mode commun

$$A_{com} = -\frac{R_C}{2R_E} \ll 1$$

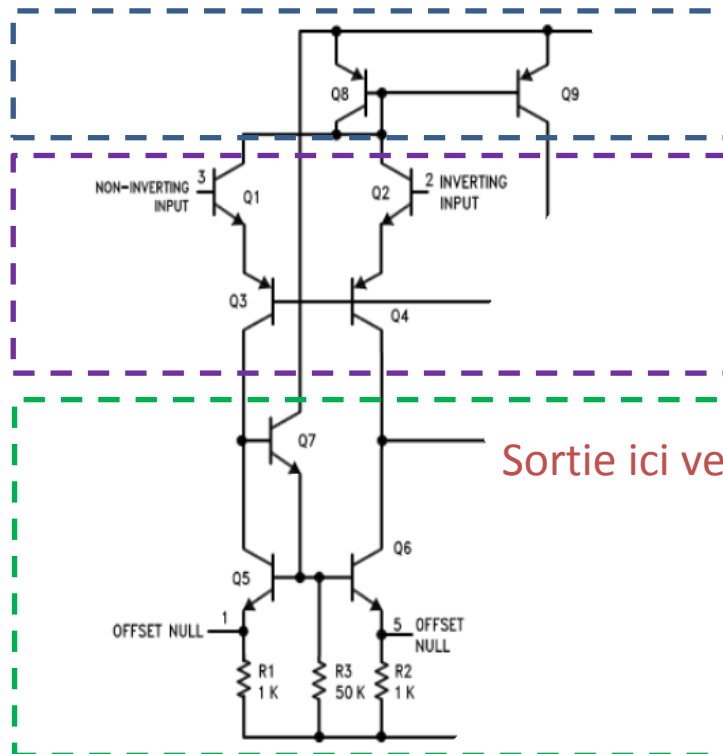
$$TRMC = \left| \frac{A_{diff}}{A_{com}} \right| = \frac{2\beta R_E}{r_{be}}$$

La paire différentielle

● Intérêt de la paire différentielle

- Impédance d'entrée élevée.
- TRMC élevé (> 60dB)

⇒ Utilisation comme étage d'entrée des ampli-op



Source de courant (structure dite wilson)

Paire différentielle darlington

Sortie ici vers les étages intermédiaires

Charge active (équivalente à des résistances de très grandes valeurs sous forme intégrées)

Structure interne simplifiée d'un Aop

● Décomposition en schéma blocs

