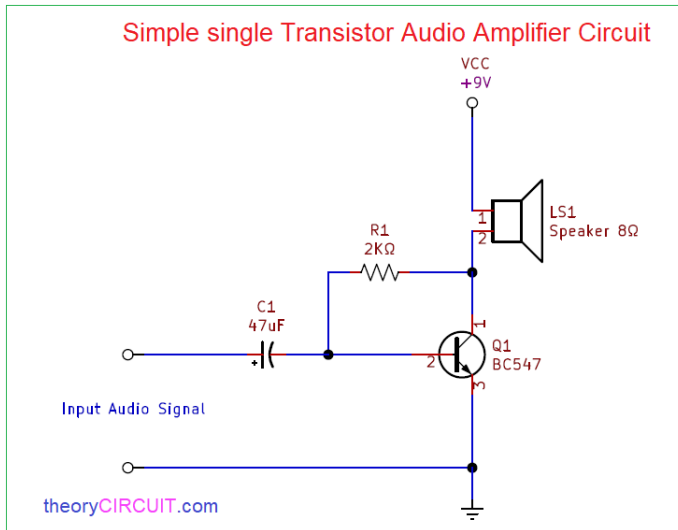
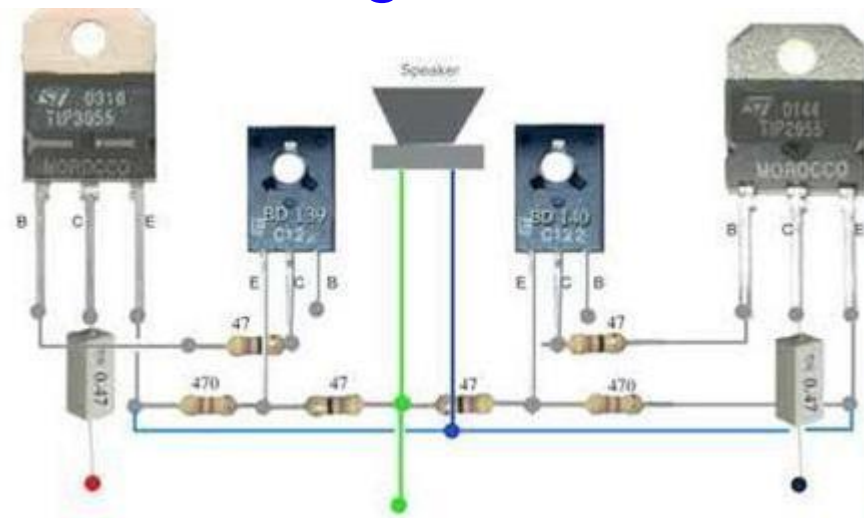


# Electronique analogique



## Chapitre 6 : Amplificateurs

Illustration avec les montages à transistors bipolaires



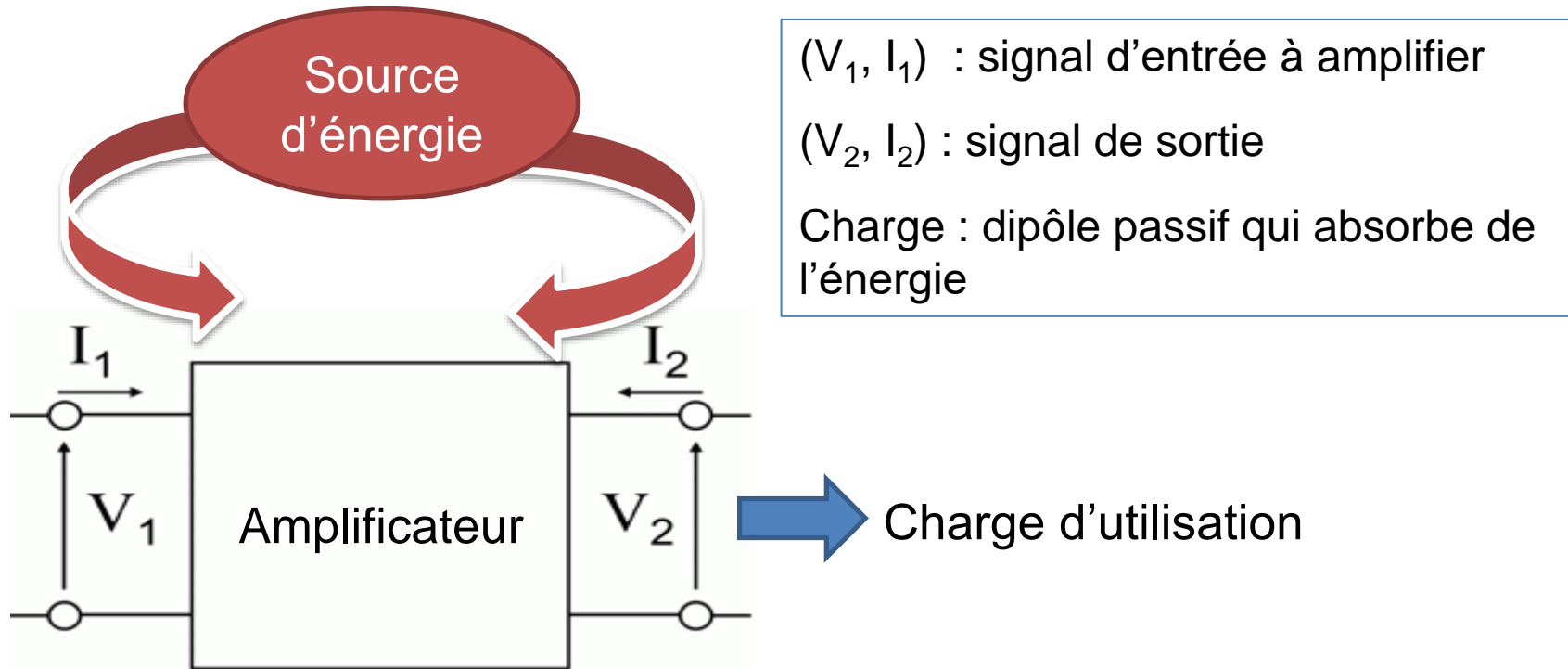
# Partie 1 : Généralités sur les montages amplificateurs

- Rappels et compléments
- Gains en puissance, en tension ou en courant d'un amplificateur
- Association d'étages amplificateurs
- Comportement en fréquences : bande passante à -3dB

## Partie 2 : Montages amplificateurs à transistors

- Définition du type de montage
- Organisation d'un schéma équivalent aux « pvfm »
- Etude détaillée d'un montage en émetteur commun
- Caractéristiques des familles types

# Schéma synoptique



## Etude par le théorème de superposition

- Source d'énergie : fixe le point de repos (polarisation) ; grandeurs continues
- Signal à amplifier : en général variable : « pvfm » pour petites variations et fréquences moyennes

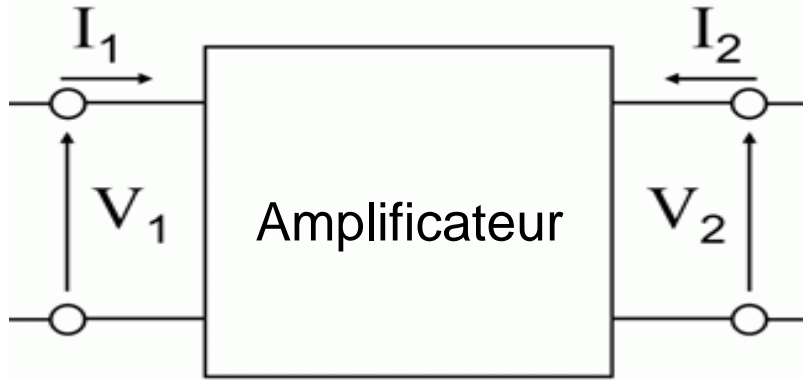
# Schéma équivalent d'un amplificateur au « pvfm »

Un schéma équivalent est un schéma **théorique** qui représente le comportement électrique (plus généralement physique) d'un système dans une configuration d'utilisation donnée.

Dans un montage amplificateur, on trouvera les éléments suivants :

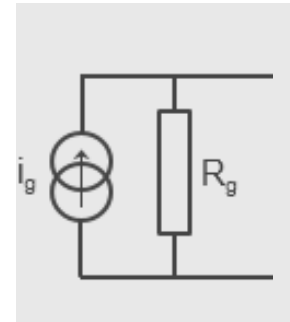
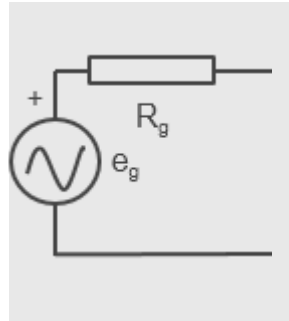
- a) Générateur d'excitation
- b) Charge
- c) Eléments équivalents de l'amplificateur comportant
  - Une résistance d'entrée  $R_e$
  - Un facteur d'amplification
  - Une résistance de sortie  $R_s$

# Etude du régime variable

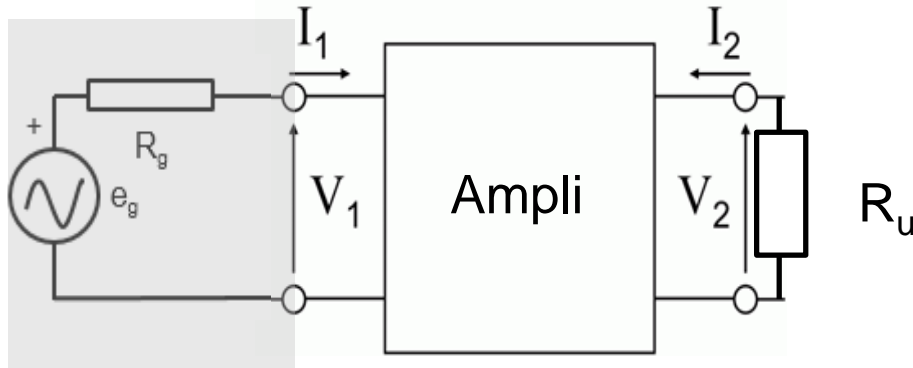


$(V_1, I_1)$  : signal d'entrée à amplifier  
 $(V_2, I_2)$  : signal de sortie  
 Charge : dipôle passif qui absorbe de l'énergie

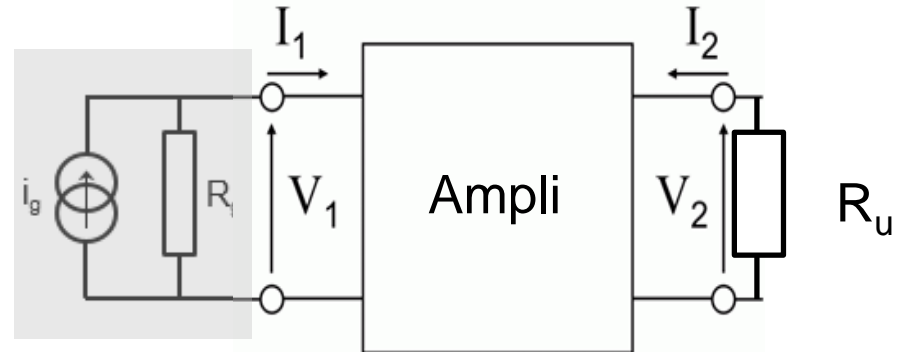
$(V_1, I_1)$  : signal d'entrée à amplifier  
 issu d'un générateur équivalent



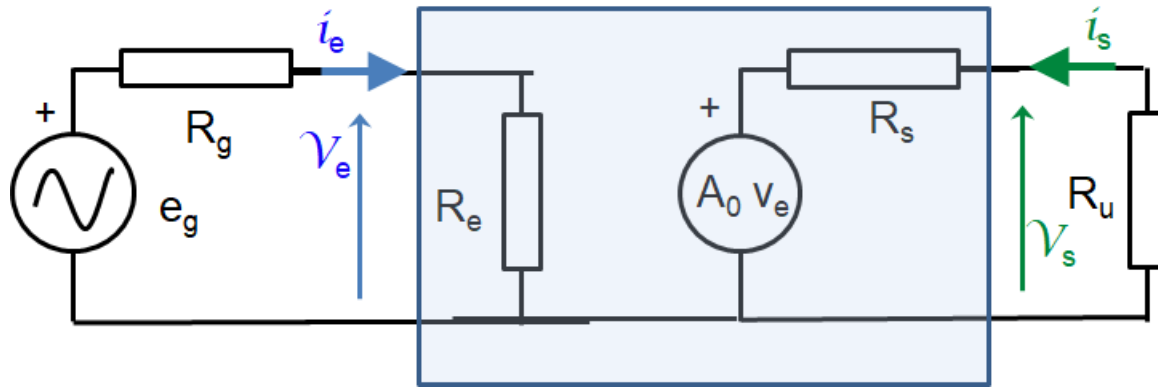
Soit de **Thévenin** (attaque en tension)



Soit de **Norton** (attaque en courant)



## Cas de l'amplificateur de tension



- $R_e$  résistance équivalente au montage à l'entrée

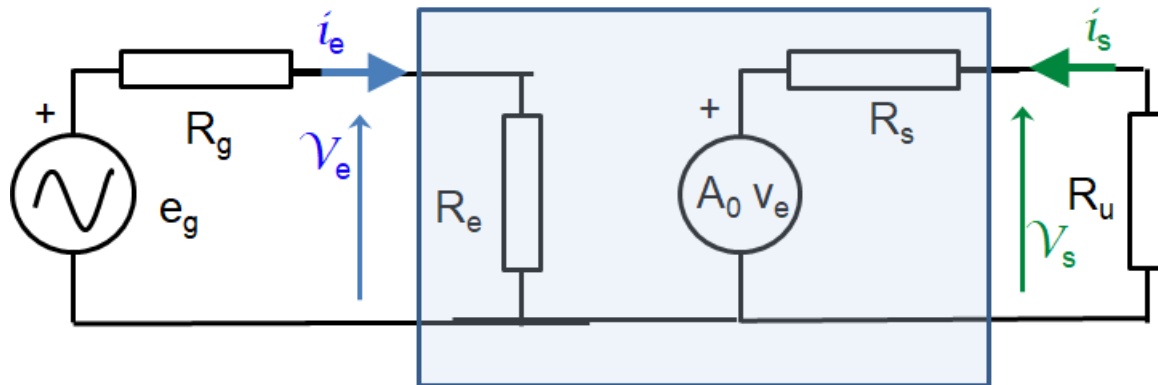
- $A_0$  gain « à vide »  $A_0 = \frac{v_s}{v_e}$  avec  $R_u$  débranchée

- $A_V$  gain « en charge »  $A_V = \frac{v_s}{v_e}$  avec  $R_u$  branchée

$$A_V = A_0 \frac{R_e}{R_u + R_s}$$

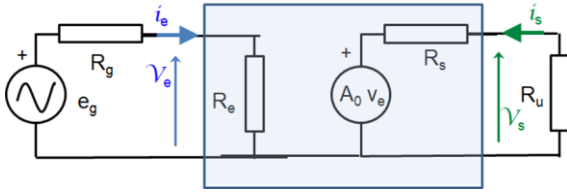
- $R_s$  résistance équivalente au montage à la sortie

## Cas de l'amplificateur de tension



- $R_e$  résistance équivalente au montage à l'entrée
- $R_s$  résistance équivalente au montage à la sortie
- $R_e$  et  $R_s$  se déterminent
  - Par la mesure : diviseur de tension
  - Par le calcul : méthode dite « de l'ohmmètre »
    - ❖ On éteint les générateurs indépendants
    - ❖ On « branche » un ohmmètre « fictif » aux bornes de la résistance à déterminer : c'est un générateur de tension  $u$  qui délivre un courant  $i$  proportionnel à cette résistance
    - ❖ On calcule, par les méthodes usuelles, le rapport  $R = u/i$

# Gains en puissance, en tension ou en courant d'un amplificateur



- Gain en puissance  $A_p = \frac{\mathcal{P}_s}{\mathcal{P}_e} = \frac{\mathcal{V}_s i_s}{\mathcal{V}_e i_e}$
- Gain en puissance en décibel : définition du décibel (dB)

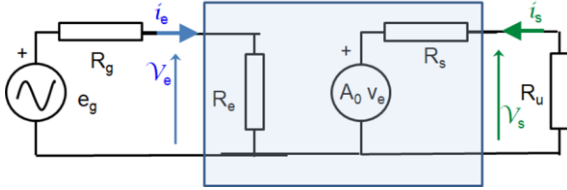
$$G_p = 10 \log_{10} |A_p| = 10 \log_{10} \left| \frac{\mathcal{P}_s}{\mathcal{P}_e} \right| = 10 \log_{10} \left| \frac{\mathcal{V}_s i_s}{\mathcal{V}_e i_e} \right|$$

$$= 10 \log_{10} \left| \frac{\mathcal{V}_s^2 R_e}{\mathcal{V}_e^2 R_u} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{\mathcal{V}_s}{\mathcal{V}_e} \right| + 10 \log_{10} \frac{R_e}{R_u}$$

$$= 10 \log_{10} \left| \frac{i_s^2 R_u}{i_e^2 R_e} \right| = 20 \log_{10} \left| \frac{i_s}{i_e} \right| + 10 \log_{10} \frac{R_u}{R_e}$$



# Gains en puissance, en tension ou en courant d'un amplificateur



- Gain en tension en décibel : par « abus d'écriture »

$$A_v(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left| \frac{v_s}{v_e} \right|$$

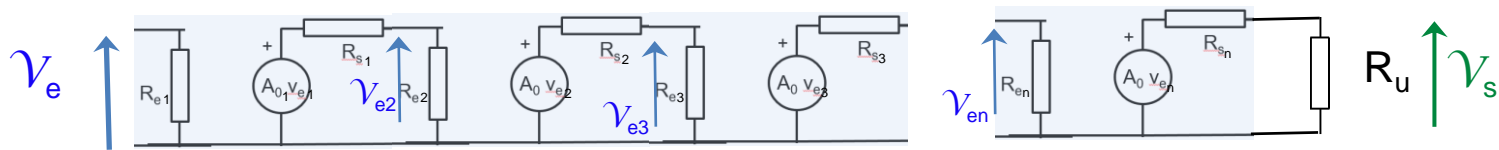
- Gain en courant en décibel : par « abus d'écriture »

$$A_i(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left| \frac{i_s}{i_e} \right|$$

La définition stricte du dB est liée à la puissance

$$G_p = 10 \log_{10} |A_p|$$

# Association d'étages amplificateurs de tension



- Gain en tension total  $A_V = \frac{V_s}{V_e}$  ?

$$A_V = \frac{V_s}{V_e} = \frac{V_s}{V_{en}} \frac{V_{en}}{V_{e(n-1)}} \cdots \frac{V_{e2}}{V_{e1}} = A_{Vn} \times A_{V(n-1)} \times \cdots \times A_{V1}$$

Avec  $A_{Vi}$  le gain en charge de l'étage  $i$ ,  
chargé par la résistance d'entrée  $R_{e(i+1)}$  de l'étage suivant

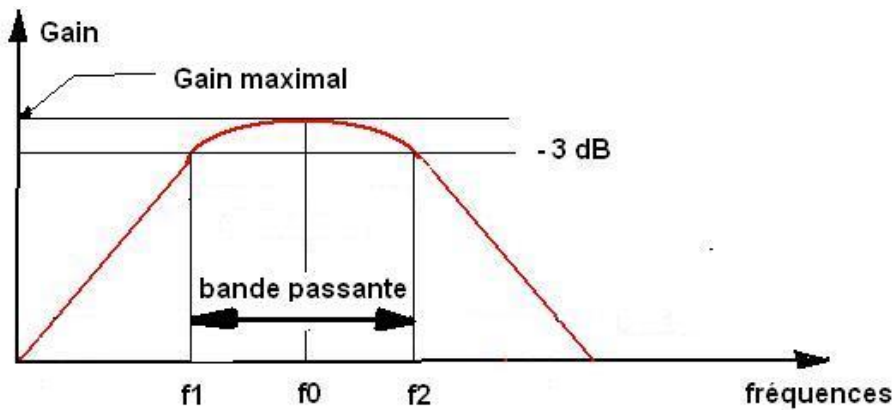
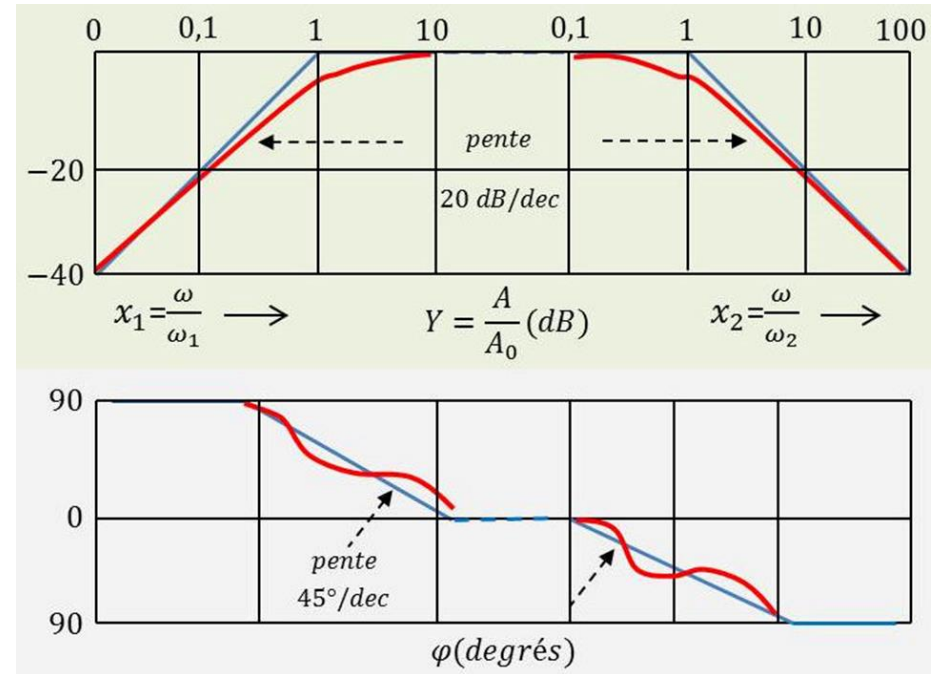
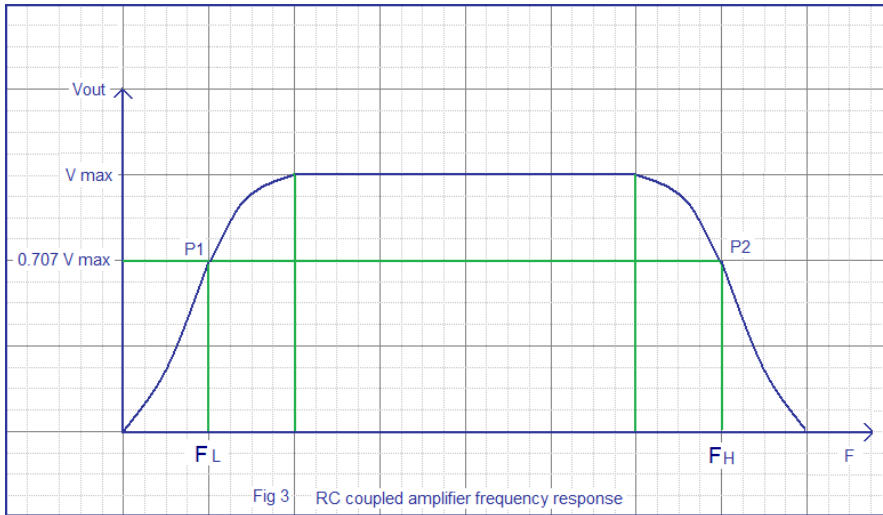
- $R_e$  résistance équivalente au montage à l'entrée ?

$$R_e = R_{e1}$$

- $R_s$  résistance équivalente au montage à la sortie

$$R_s = R_{sn}$$

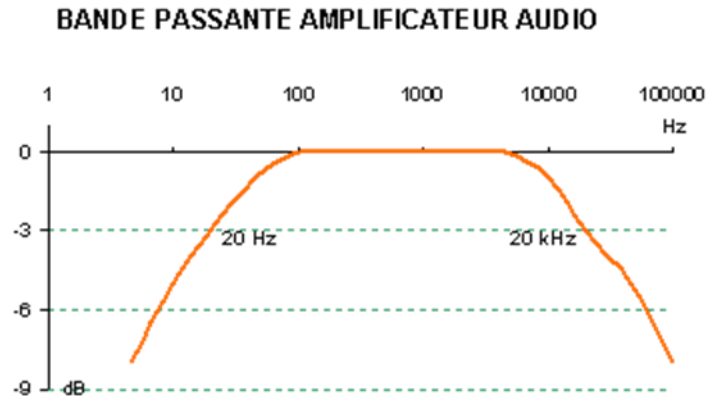
# Réponse en fréquence d'un amplificateur



- Atténuation du gain en BF et HF
- Apparition d'un déphasage entre entrée et sortie

➤ Cause : capacités parasites

# Réponse en fréquence d'un amplificateur



Bande passante.

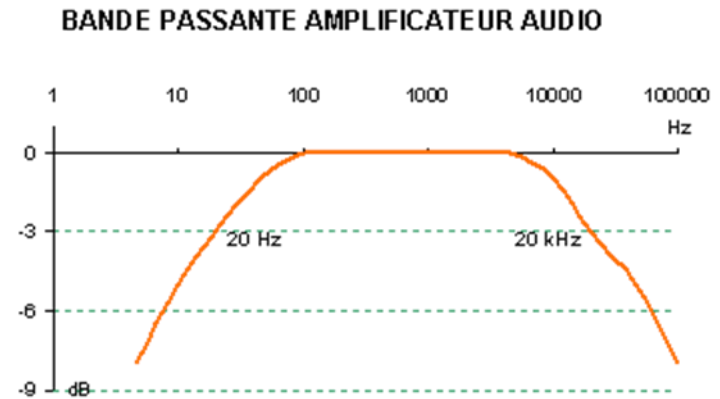
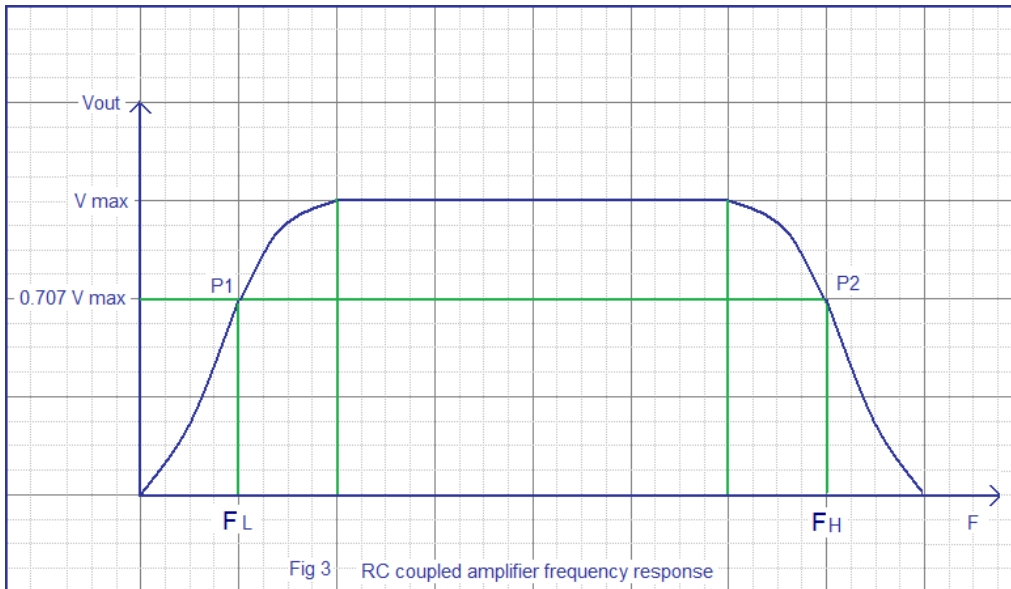
La gamme de fréquences qu'un amplificateur peut amplifier « correctement » est appelé la bande passante de cet amplificateur.

Habituellement, la bande passante est mesurée sur la base des points de demi-puissance :  $P_{out} = P_{out_{max}}/2$ . On parle alors de la BP « à-3dB »

Pour toute fréquence où la puissance est égale à **P0** l'atténuation relative est nulle ( $\lg 1 = 0$ ). Si **P** vaut la moitié de **P0** l'atténuation est de 3 dB ( $10 \lg 0,5 = -3$ )

Exemple : Pour un amplificateur audio de qualité 20 Hz à 20 kHz (gamme de fréquence audible pour l'oreille humaine)

# Bande passante d'un amplificateur



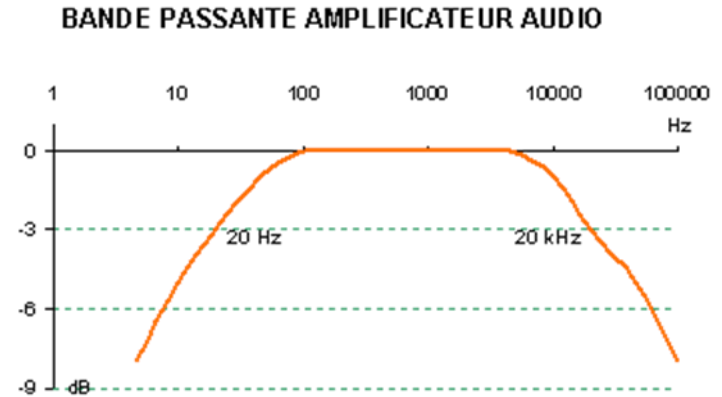
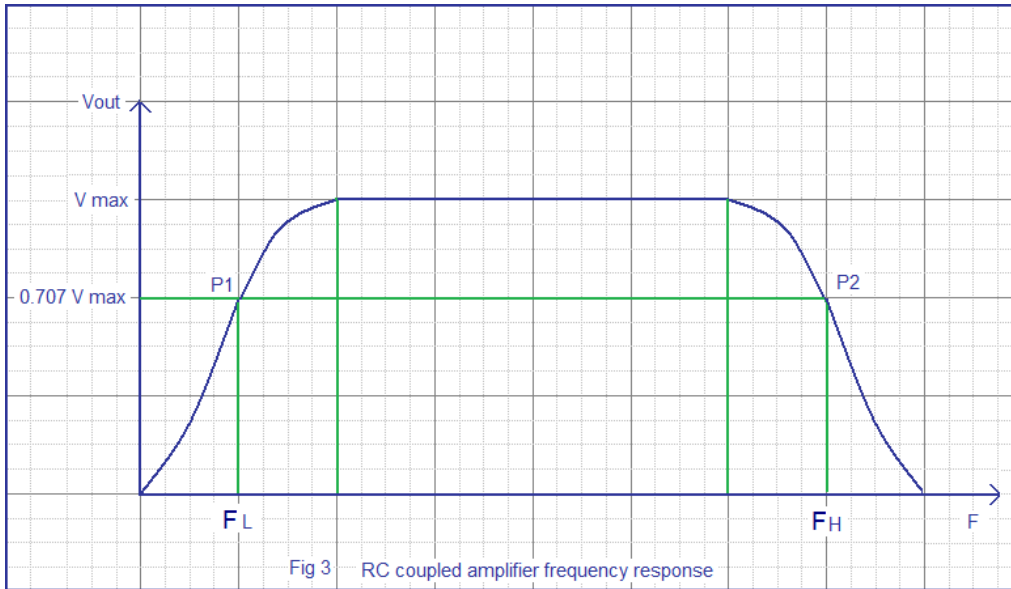
La gamme de fréquences qu'un amplificateur peut amplifier « correctement » est appelé la bande passante de cet amplificateur.

Habituellement, la bande passante est mesurée sur la base des points de demi-puissance  $P_{out} = P_{out_{max}}/2$ .

Pour toute fréquence où la puissance est égale à **P0** l'atténuation relative est nulle ( $\lg 1 = 0$ ). Si **P** vaut la moitié de **P0** l'atténuation est de 3 dB ( $10 \lg 0,5 = -3$ )

Exemple : Pour un amplificateur audio de qualité : 20 Hz à 20 kHz (gamme de fréquence audible pour l'oreille humaine)

# Bande passante « à -3 dB » d'un amplificateur



- En décibel (dB)

$$G_p = 10 \log_{10} |A_p| = 10 \log_{10} \left| \frac{P_{smax}}{2P_e} \right| = 10 \log_{10} \left| \frac{P_{smax}}{P_e} \right| - 10 \log_{10} 2$$

3dB

$$= 20 \log_{10} \left| \frac{V_{smax}}{V_e} \right| + 10 \log_{10} \frac{R_e}{R_u}$$

Demi puissance correspond à  $\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$

# Partie 1 : Généralités sur les montages amplificateurs

- Rappels et compléments
- Gains en puissance, en tension ou en courant d'un amplificateur
- Association d'étages amplificateurs
- Comportement en fréquences : bande passante à -3dB

## Partie 2 : Montages amplificateurs à transistors

- Définition du type de montage
- Organisation d'un schéma équivalent aux « pvfm »
- Etude détaillée d'un montage en émetteur commun
- Caractéristiques des familles types

[https://www.youtube.com/watch?v=KTnwiGqjSr8&list=PLuQznwVAhY2V5j-SjozLyu\\_X7ETUUKFVm](https://www.youtube.com/watch?v=KTnwiGqjSr8&list=PLuQznwVAhY2V5j-SjozLyu_X7ETUUKFVm)

Rappels sur les transistors bipolaires (Eric Peronnin)

[https://www.youtube.com/watch?v=qrDnXA6F1Ls&list=PLuQznwVAhY2XVfMETSvGikEs\\_1\\_HZTBet&index=1](https://www.youtube.com/watch?v=qrDnXA6F1Ls&list=PLuQznwVAhY2XVfMETSvGikEs_1_HZTBet&index=1)

Rappels sur les transistors MOSFET (Eric Peronnin)

<http://philipperoux.nexgate.ch/courselec.html>

Etude complète des montages amplificateurs à transistors bipolaires

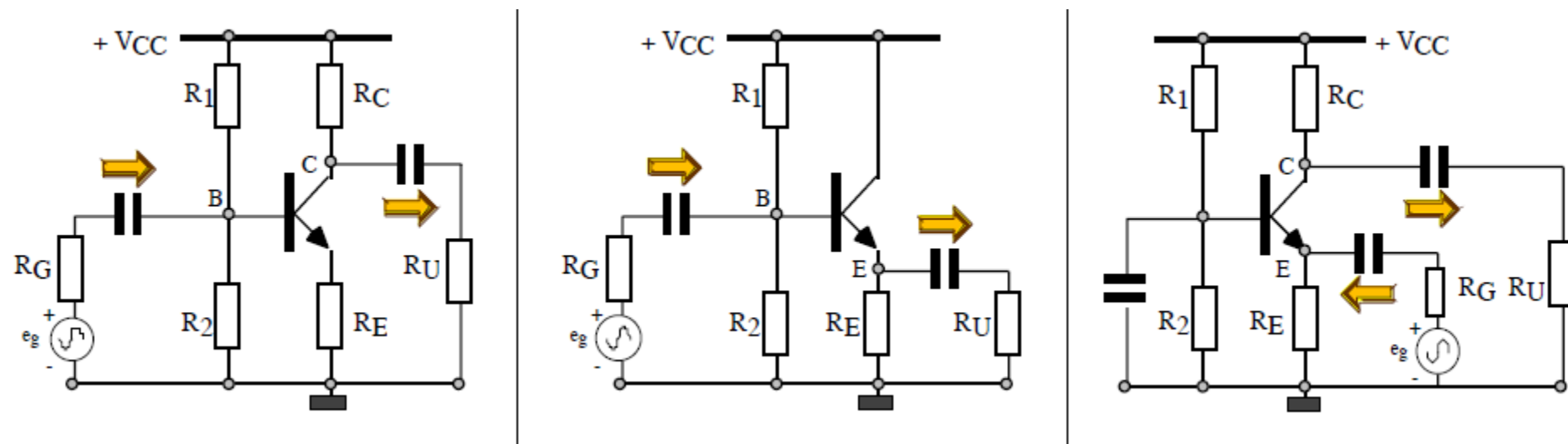
<http://philipperoux.nexgate.ch/courselec.html>

Etude complète des montages amplificateurs à transistors MOSFET

## Définition du type de montage

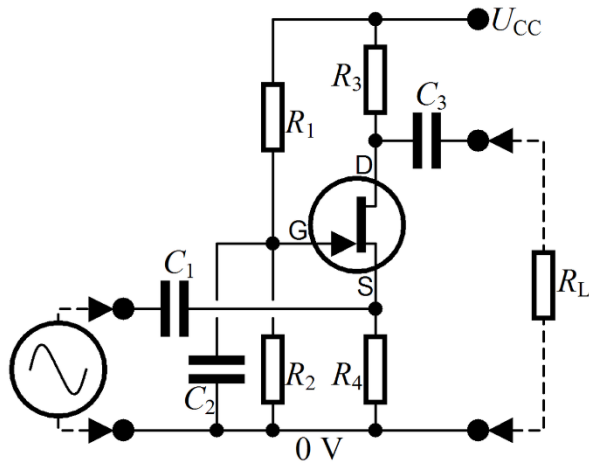
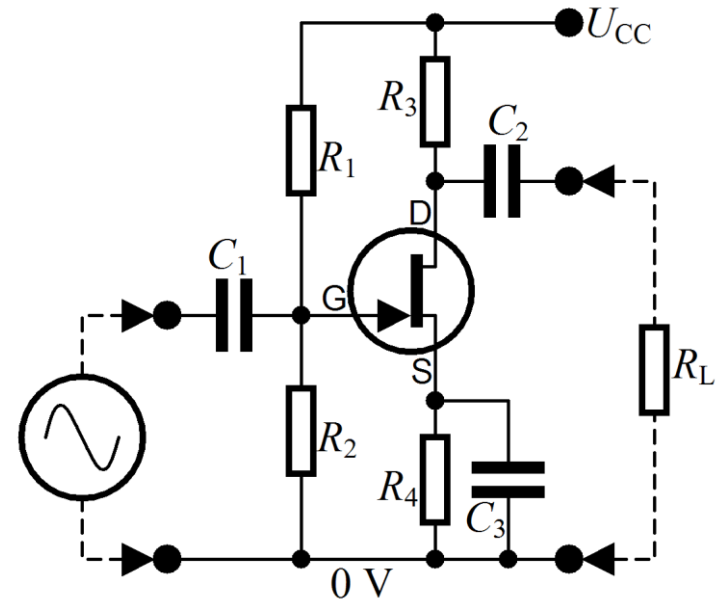
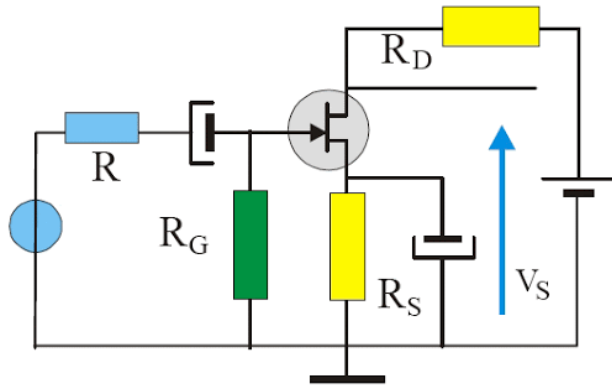
- Dans la configuration BASE commune, le signal d'entrée est appliqué à l'émetteur, le signal de sortie est pris sur le collecteur.
- Dans la configuration EMETTEUR commun, le signal d'entrée est appliqué à la base, le signal de sortie est pris sur le collecteur.
- Dans la configuration COLLECTEUR commun, le signal d'entrée est appliqué à la base, le signal de sortie est pris sur l'émetteur.

QUI EST QUI ?



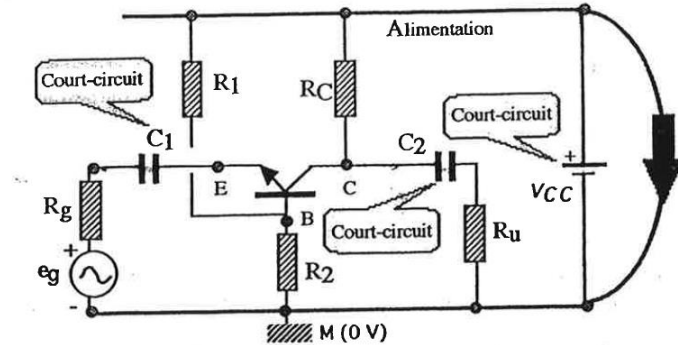
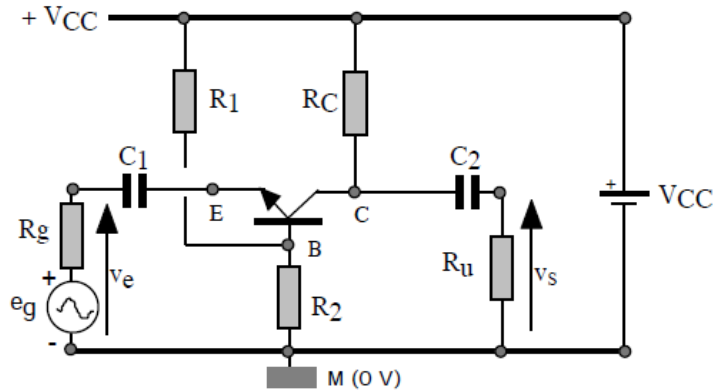


# Nommez ces trois montages à FET



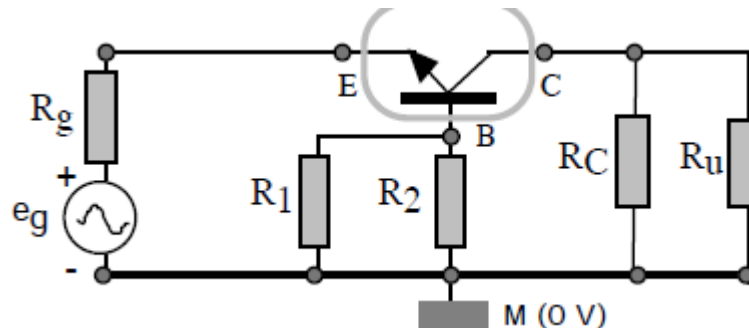
# Organisation d'un schéma équivalent aux petites variations sinusoïdales et aux fréquences moyennes

Exemple : schéma d'un montage amplificateur base commune

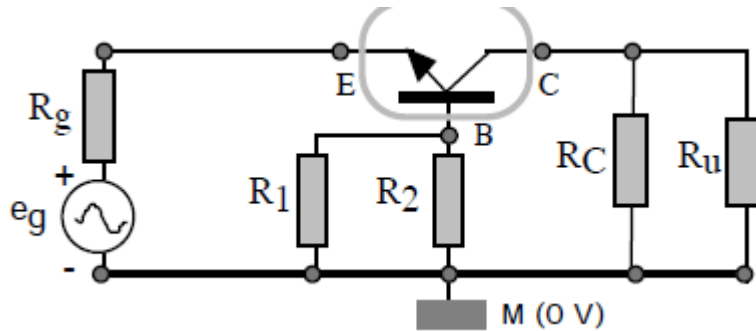


1) Dessiner un premier schéma compte tenu des règles suivantes :

- Générateur de tension continue parfait -> Court-circuit
- Générateur de courant continu parfait -> Circuit ouvert
- Condensateur aux fréquences moyennes -> Court-circuit

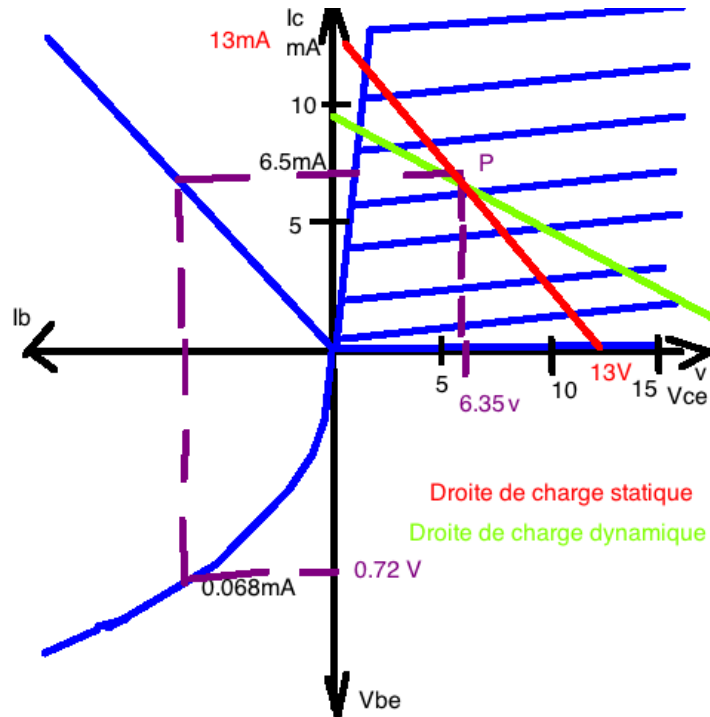


# Organisation d'un schéma équivalent aux petites variations sinusoidales et aux fréquences moyennes



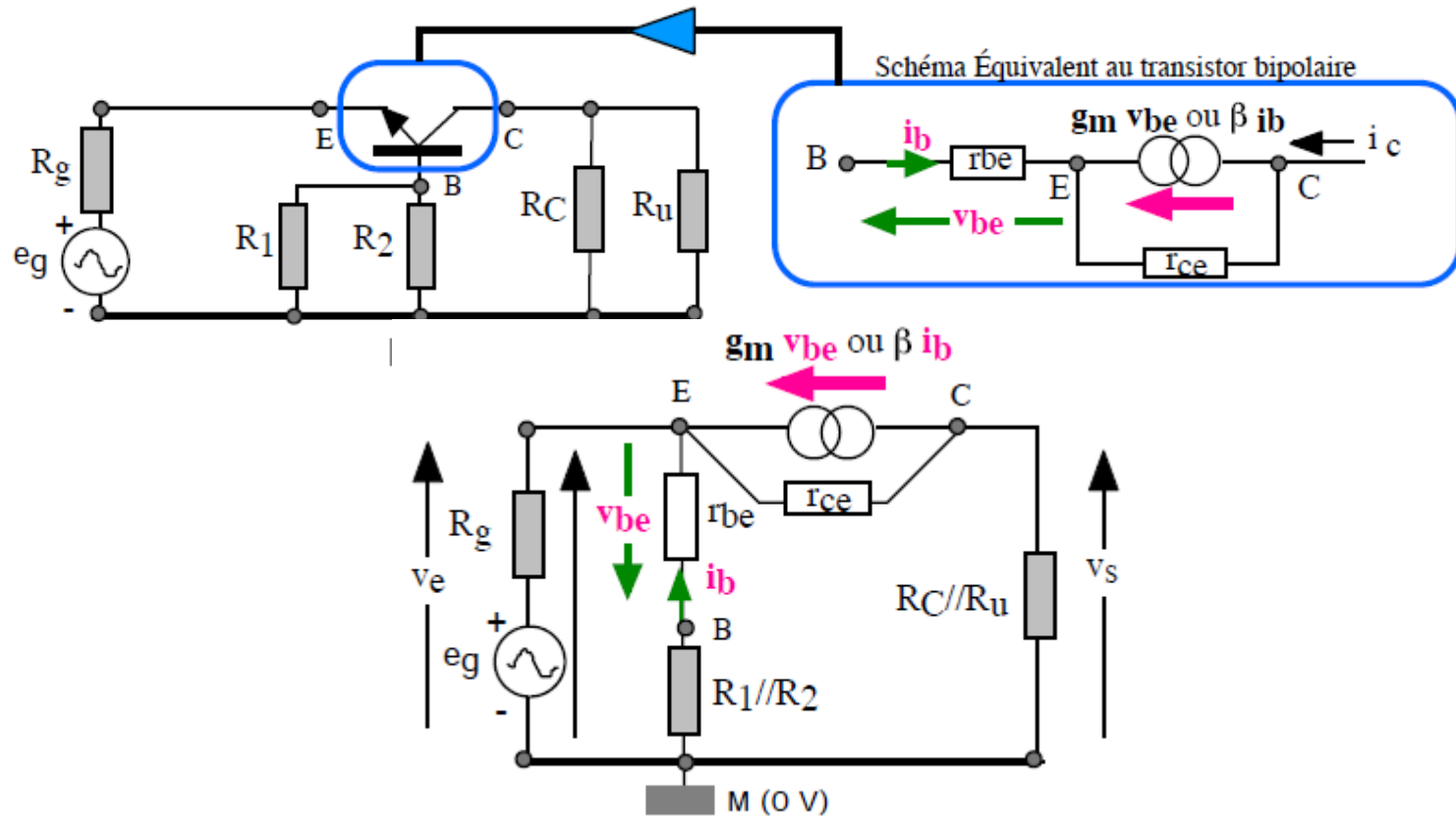
Transistor sous forme symbolique

- Droite de charge dynamique :
  - Passe par le point de repos
  - Relie  $i_c$  et  $v_{ce}$



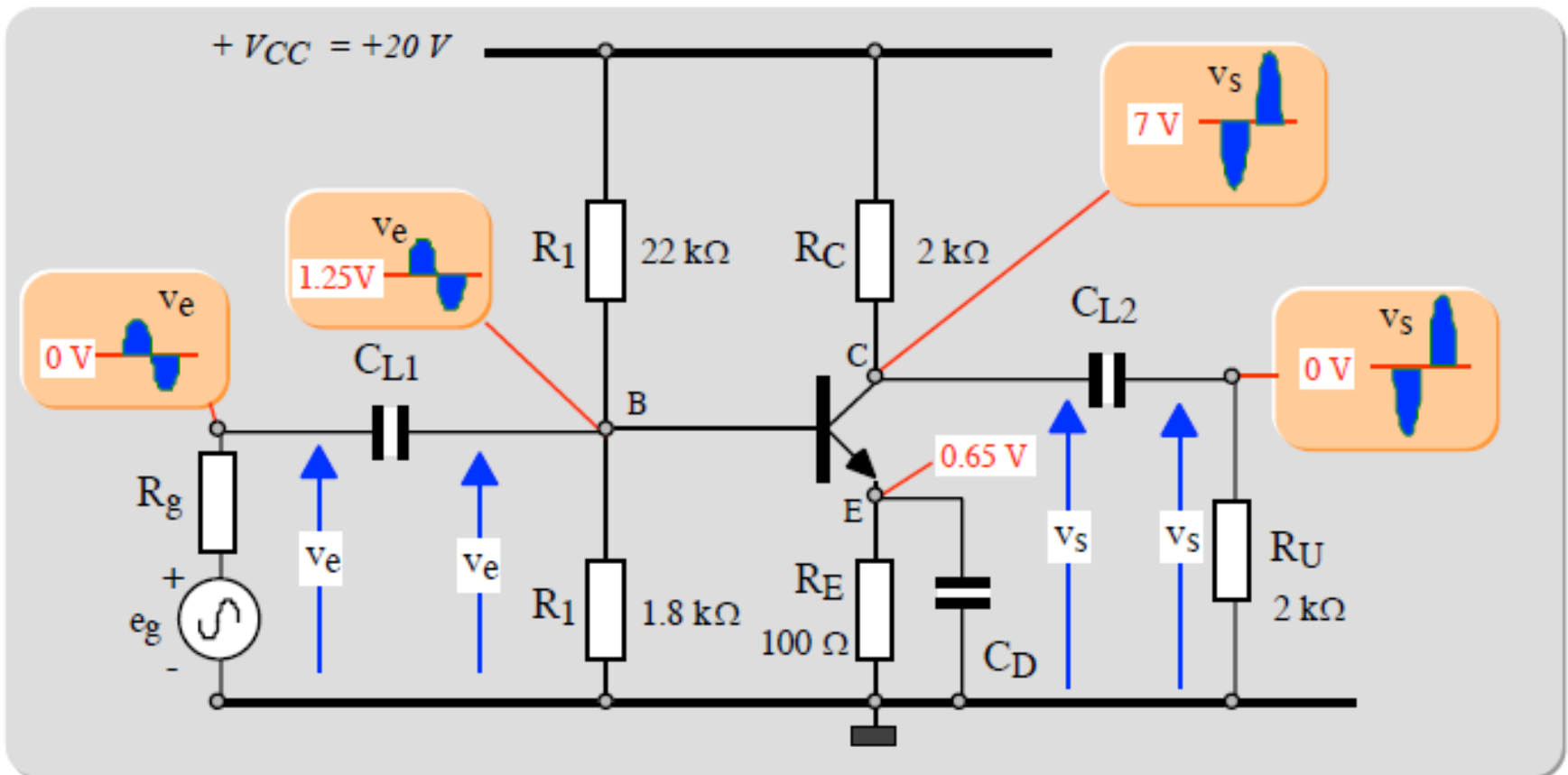
# Organisation d'un schéma équivalent aux petites variations sinusoïdales et aux fréquences moyennes

2) Remplacer le transistor par son schéma équivalent aux petites variations



Faire éventuellement des regroupements de résistances **sans toutefois perdre la commande ( $i_b$  ou  $v_{be}$ ) du générateur dépendant  $\beta i_b$  ou  $g_m v_{be}$ .**

# Montage émetteur commun avec $R_E$ découplée



<http://philipperoux.nexgate.ch/courselec.html>

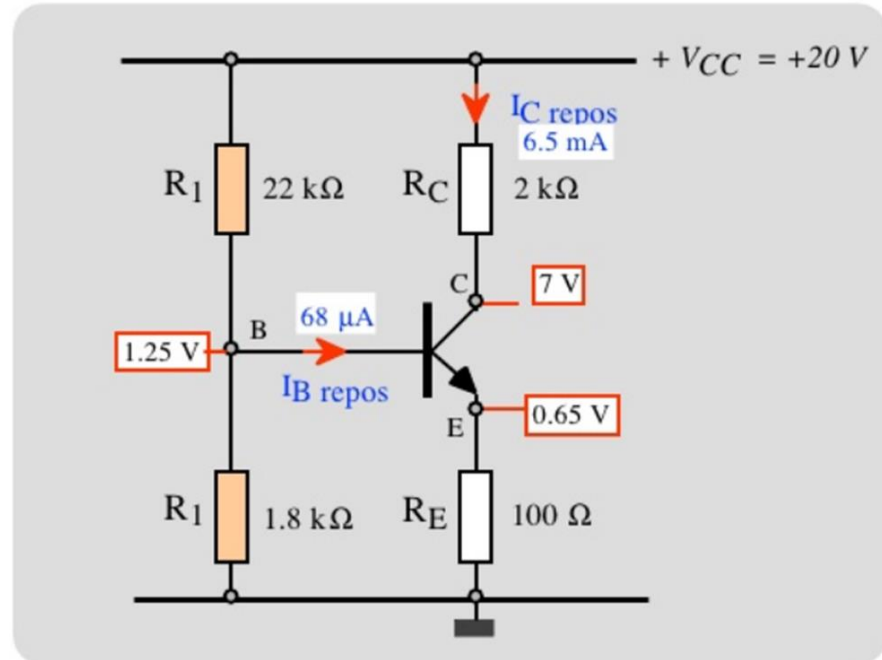
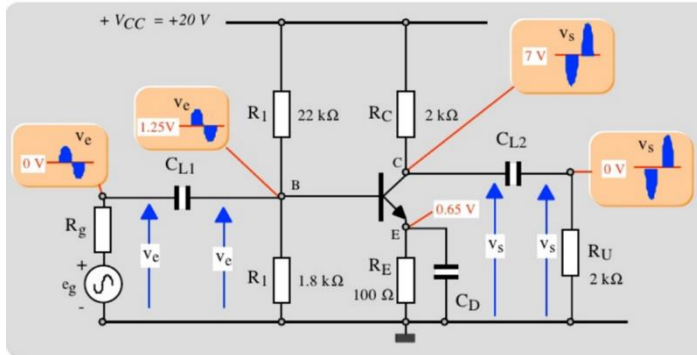
Les montages amplificateurs à transistors bipolaires :

- Montages fondamentaux
- Associations
- Calcul des capacités de liaisons et de découplages.
- Notion de "charge active"



# Montage émetteur commun avec $R_E$ découplée

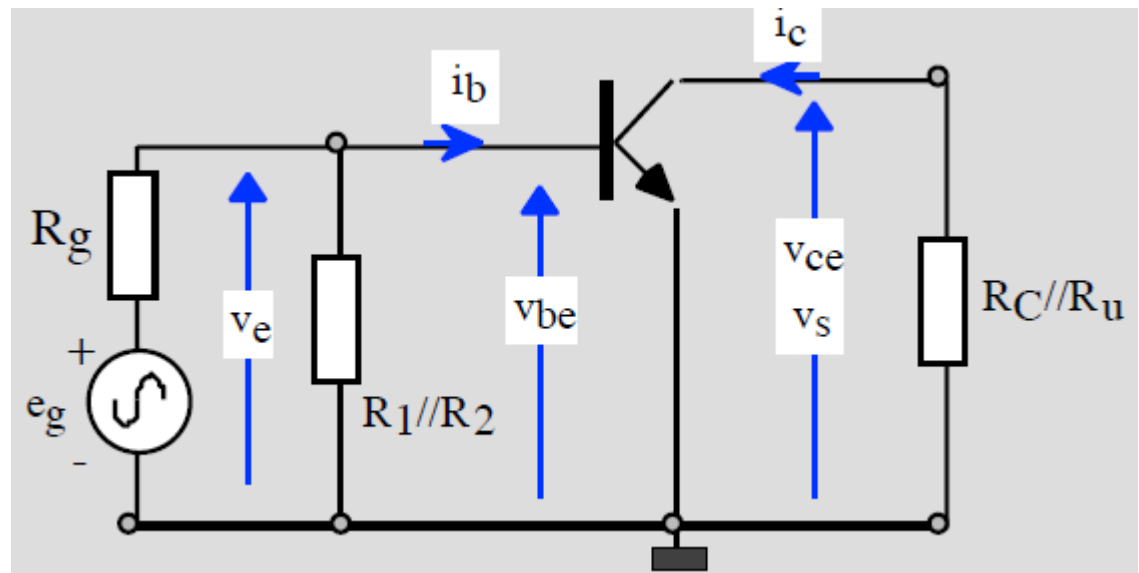
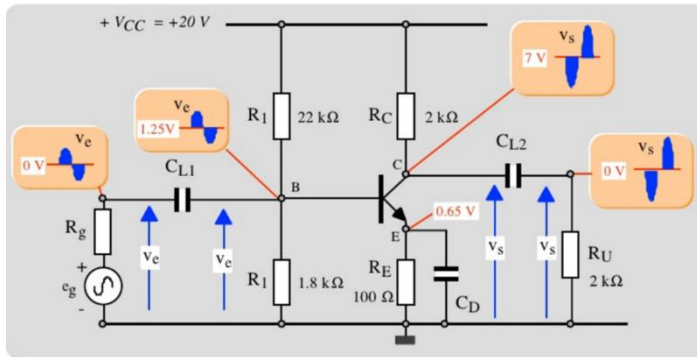
## 1) Polarisation : étude du mode continu



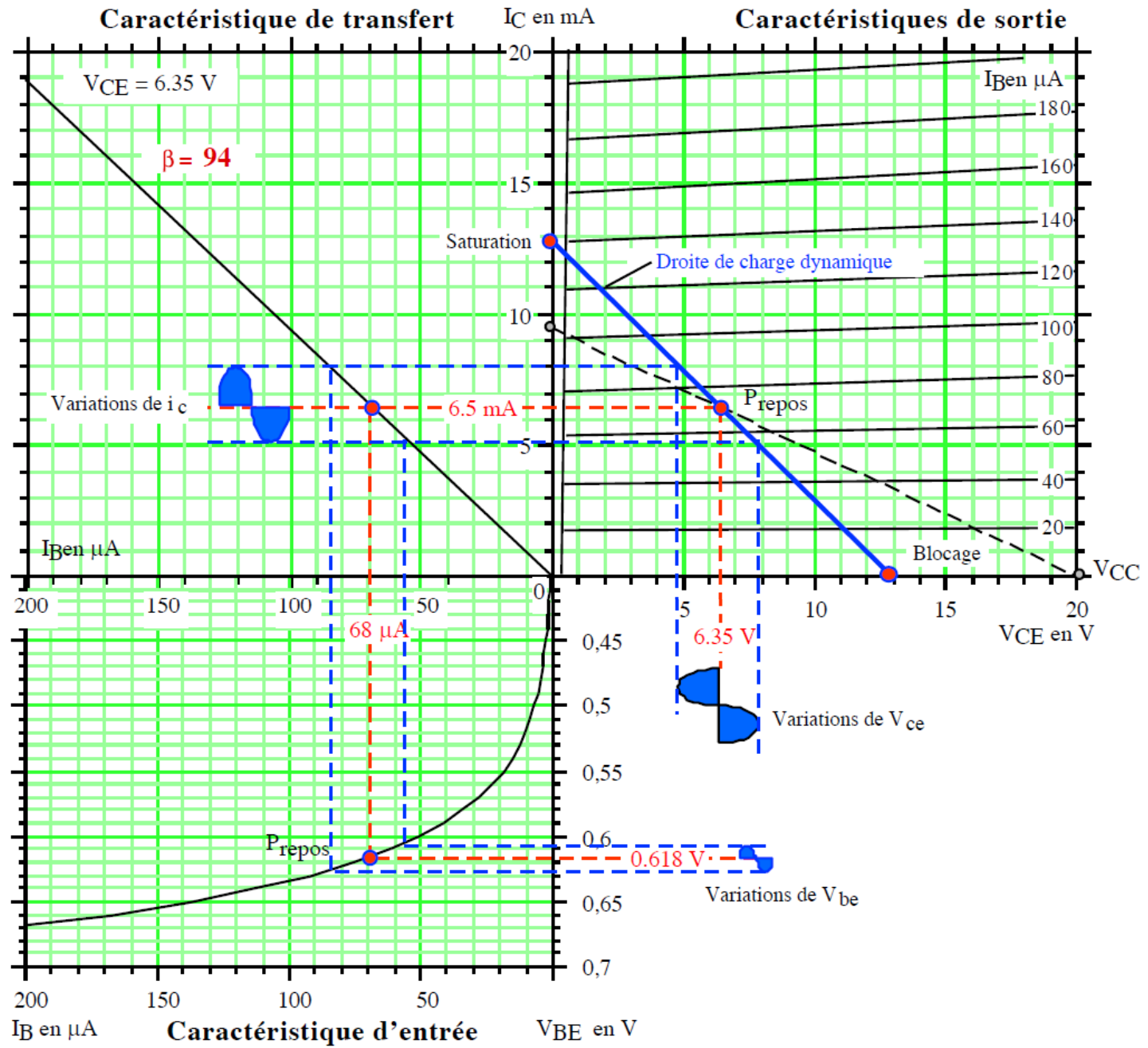
Ecrire l'équation de la droite de charge **statique**

# Montage émetteur commun avec $R_E$ découplée

2) Etude du régime variable : schéma aux « pvfm » avec T sous forme symbolique



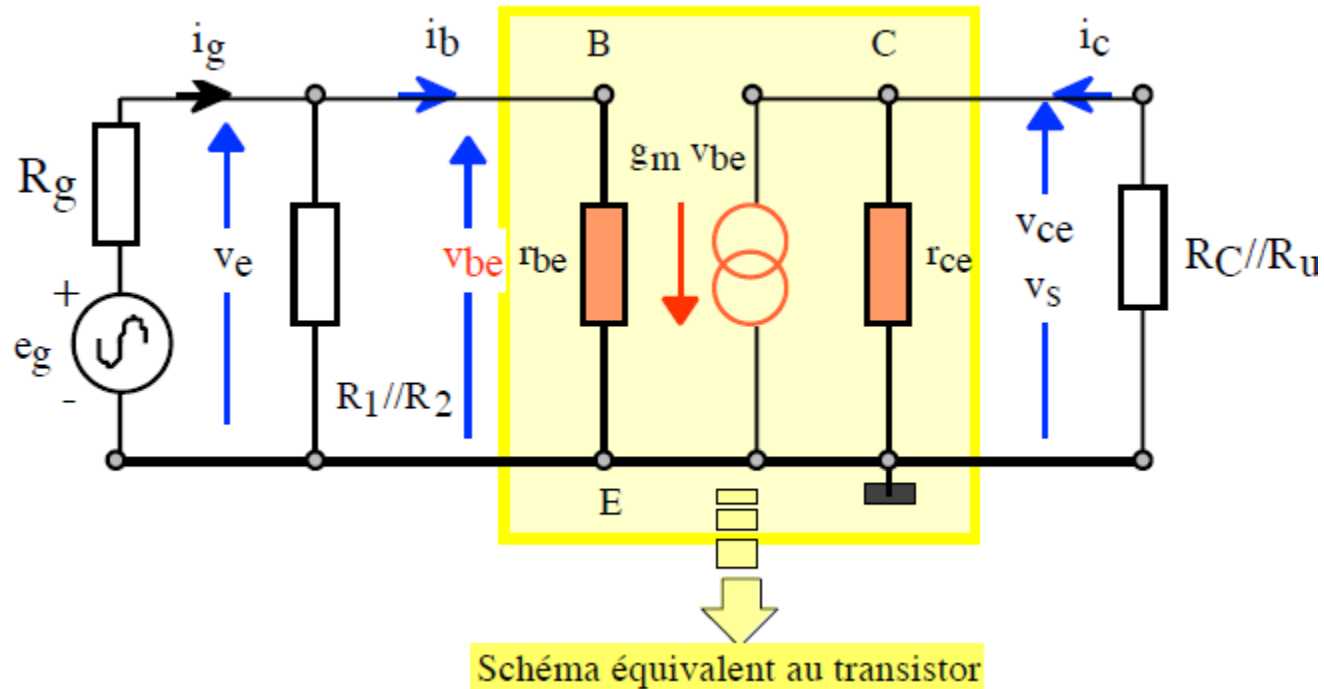
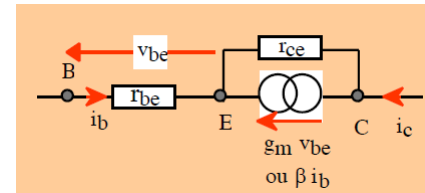
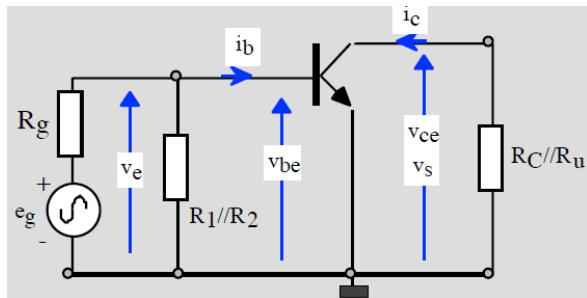
Ecrire l'équation de la droite de charge **dynamique**



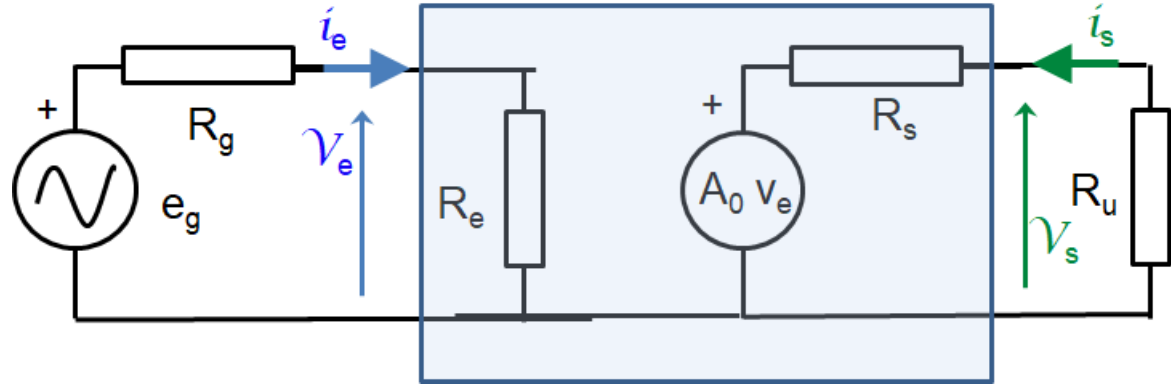
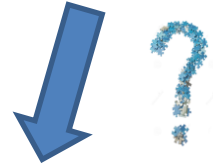
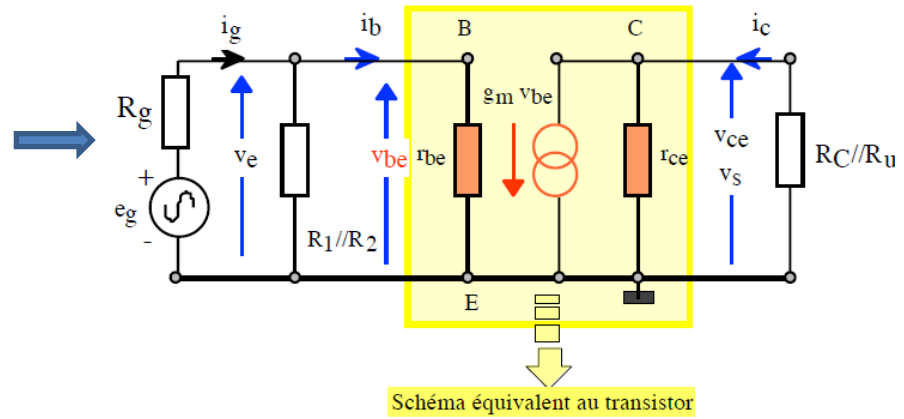
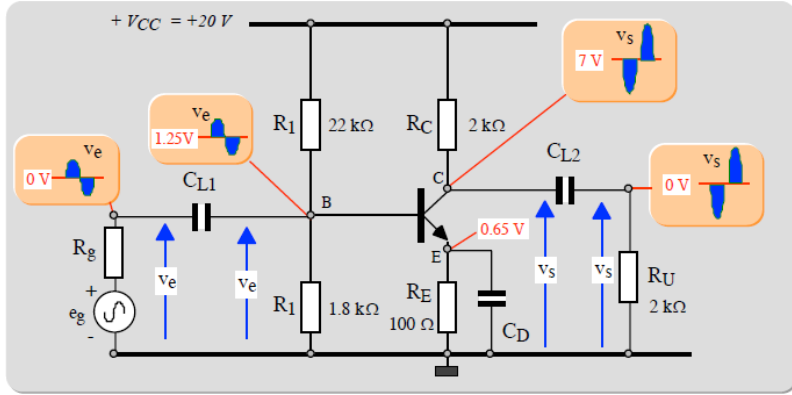


# Montage émetteur commun avec $R_E$ découplée

3) Etude du régime variable : schéma aux « pvfm » final

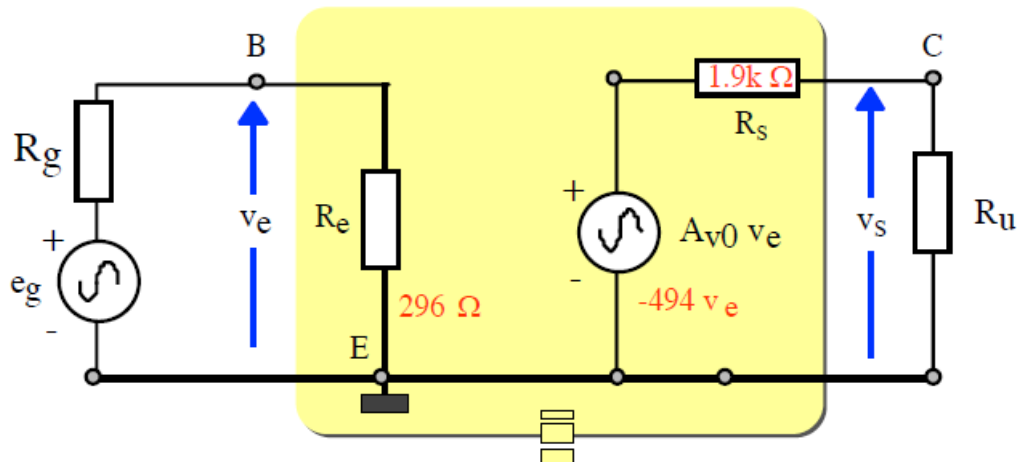


# Schéma équivalent de l'amplificateur

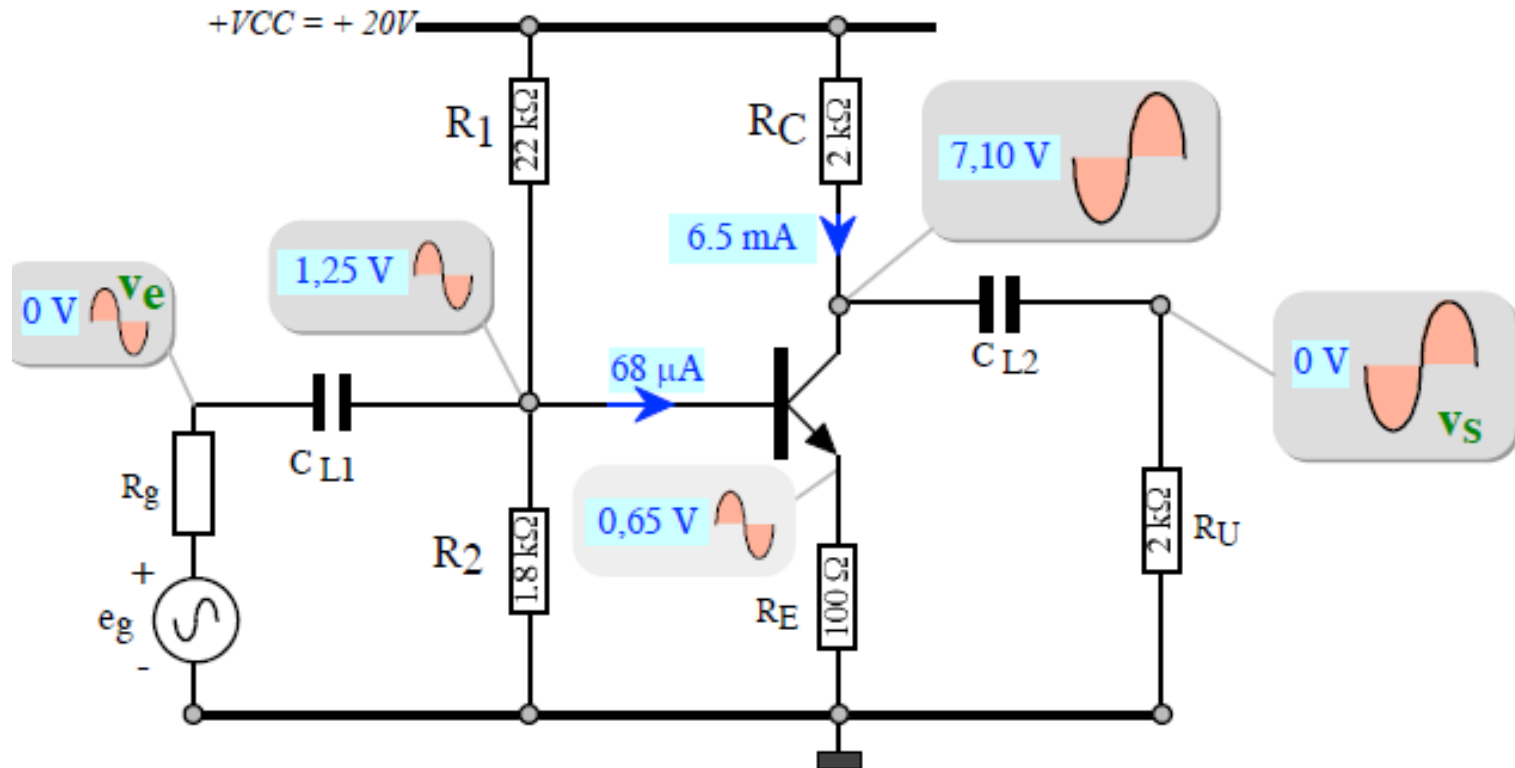


# Finalemment...

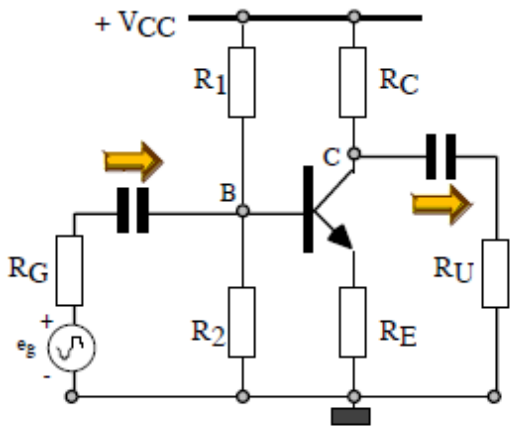
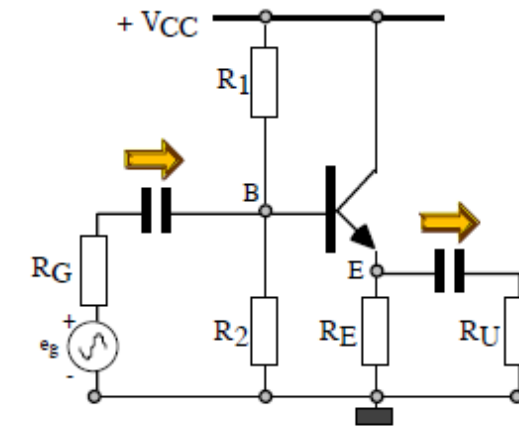
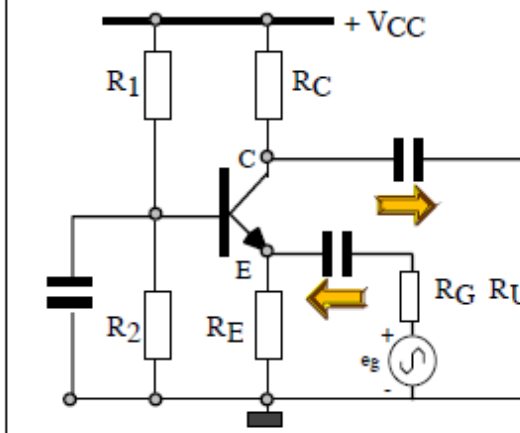
Gain en tension en charge: $A_V = \frac{v_s}{v_e}$	$A_V = -g_m \cdot (R_{ce} // R_C // R_u) = -253$
Gain en tension à vide: $A_{V0} = \frac{v_s}{v_e}$	$A_V = -g_m \cdot (R_{ce} // R_C) = -494$
Résistance d'entrée vue par $(e_g, R_g)$ :	$R_e = \frac{v_e}{i_g} = R_1 // R_2 // r_{be} = 296\Omega$
Résistance de sortie vue par $R_u^*$	$R_s = R_{ce} // R_C = 1.9k\Omega$
Gain en puissance $A_p$	$A_p = 10 \log \left( A \frac{R_e}{R_u} \right) = 40dB$



# Montage émetteur commun avec $R_E$ non découplée



## MONTAGES FONDAMENTAUX TRANSISTOR BIPOLAIRE NPN

 <p style="text-align: center;"><b>Montage émetteur commun</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>Montage collecteur commun</b></p>	 <p style="text-align: center;"><b>Montage base commune</b></p>
$R_e = R_p // [r_{be} + (\beta + 1) R_E]$	$R_e = R_p // [r_{be} + (\beta + 1)(R_E // R_U)]$	$R_e \approx \frac{1}{g_m} = \frac{r_{be}}{\beta}$
$A_v = -\frac{\beta (r_{ce} // R_C // R_U)}{r_{be} + (\beta + 1)R_E}$	$A_v = \frac{(\beta + 1) (r_{ce} // R_E // R_U)}{r_{be} + (\beta + 1) (r_{ce} // R_E // R_U)} \leq 1$	$A_v = (g_m + \frac{1}{r_{ce}}) (r_{ce} // R_C // R_U)$
$R_s = R_C // k r_{ce} \text{ avec : } k > 1$	$R_s = R_E // \frac{(R_G // R_p) + r_{be}}{\beta + 1}$	$R_s = R_C // k r_{ce} \text{ avec : } k > 1$

