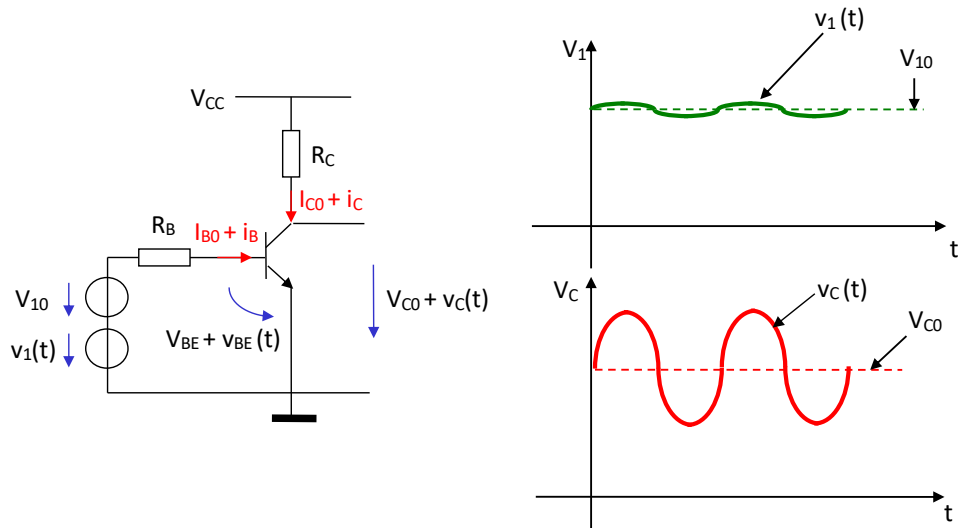


Montage de base amplificateur : Observations



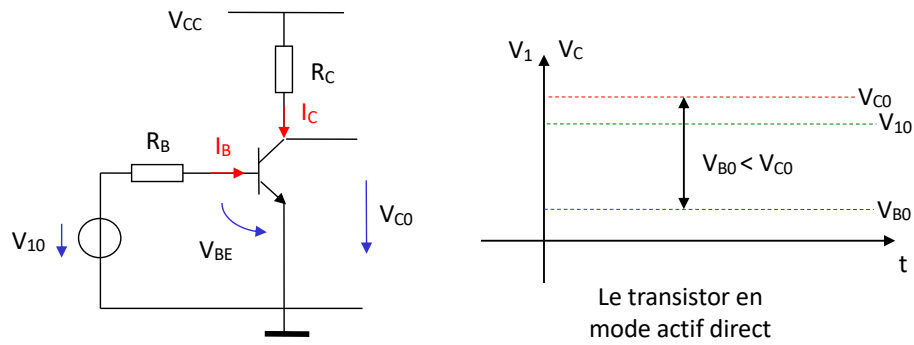
A-t-on une superposition du DC et de l'AC???

1

Lorsqu'on applique une tension d'entrée variable superposée à une tension continue, on observe un phénomène d'amplification pour la variation. Une petite variation à l'entrée se traduit par de grandes variations à la sortie. Il y a eu amplification, alors qu'avec la diode il s'agissait d'une atténuation.

On peut exploiter une démarche identique pour la diode et le transistor. Il existe une différence essentielle dans les deux modèles obtenus. Celui de la diode est un dipôle alors que le transistor va donner un quadripôle.

Observation sans variations



Intuitivement il y a bien superposition du DC et de l'AC

2

Séparons l'analyse DC de l'AC.

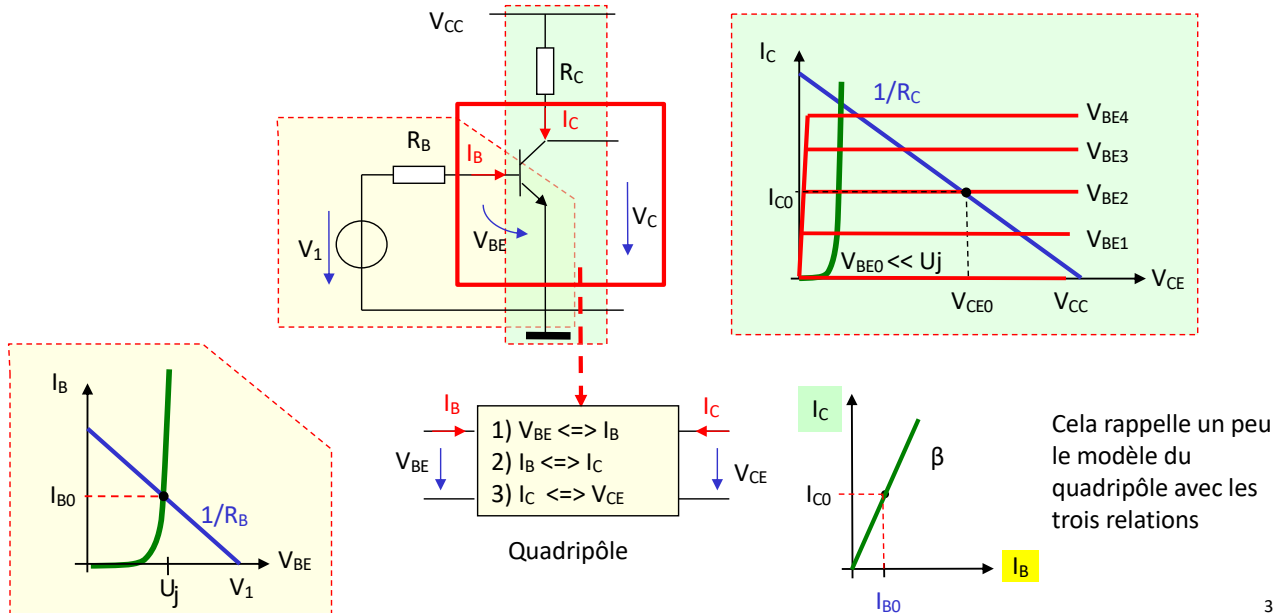
En appliquant une tension d'entrée V_{10} uniquement, nous voyons qu'à la sortie nous obtenons une tension V_{C0} qui dépend évidemment de V_{10} :

$$V_{C0} = V_{CC} - R_C \cdot I_{C0} = V_{CC} - R_C \cdot \beta \cdot I_{B0} = V_{CC} - R_C \cdot \beta \cdot (V_{10} - U_j) / R_B = f(V_{10}).$$

On note que la diode D_{BE} donne environ U_j à ses bornes quand elle conduit.

Interprétation graphique (sans variation)

Droite de charge



3

L'exploitation de la notion de droite de charge s'est montrée très utile pour étudier qualitativement (et comprendre) le comportement d'un montage de base pour la diode.

En est-il de même avec le transistor?

Le transistor véhicule deux courants qui nous intéressent: I_C et I_B .

Nous pouvons séparer le montage global en deux zones:

- la boucle qui inclut I_B (avec R_B et la jonction BE) et
- la boucle qui inclut I_C (avec R_C et la "zone" CE)

Dans chacune de ces boucles nous pouvons observer des caractéristiques de courants I_B et I_C . I_B dépend de la diode BE et de la résistance R_B alors que I_C dépend de la "zone" CE (tension V_{CE}) et de la résistance R_C . Dans chacune des boucles, l'analyse graphique met en évidence des points de polarisation (intersection entre la caractéristique du dispositif non linéaire et de la droite de charge).

Une troisième caractéristique nous intéresse aussi, beaucoup plus simple et mettant en relation I_C et I_B .

En fait nous allons essayer de faire cohabiter ces trois caractéristiques au sein d'un même graphique pour mettre en évidence l'interaction entre les différents paramètres.

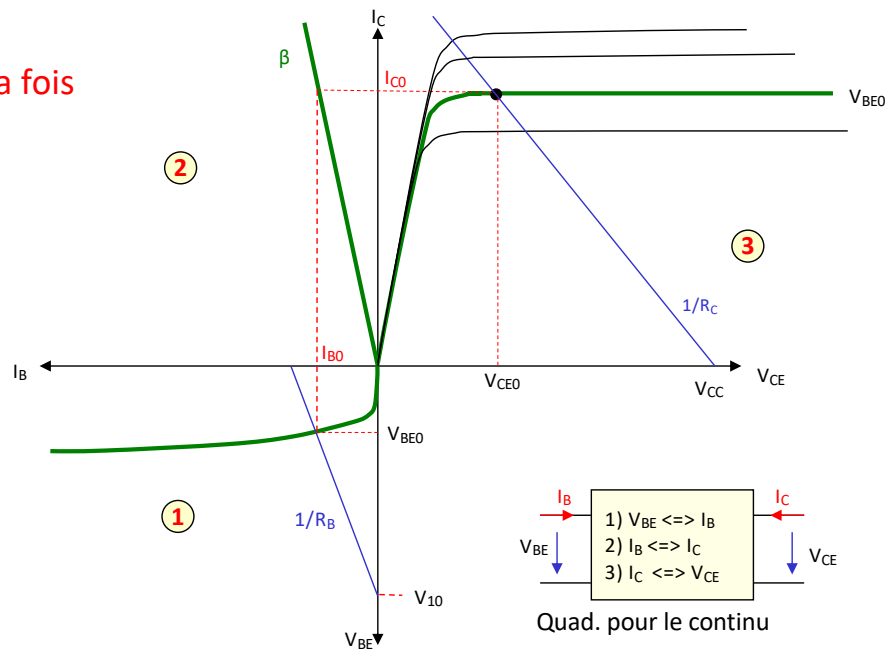
Vérifions quelle est la dépendance entre les différents paramètres.

- La première courbe montre la relation entre I_B et V_{BE} .
- La seconde courbe montre la relation entre I_C et I_B
- La troisième courbe exprime la relation entre I_C et V_{CE}

En résumé, les quatre paramètres sont unis par des relations graphiques qu'il est possible de représenter sur un même plan

Interprétation graphique de la polarisation

Trois courbes à la fois



4

Le graphique proposé met en évidence les relations cherchées. Il est structuré en trois cadrans :

Le cadran 1 représente la loi $I_B = f(V_{BE})$

Le cadran 2 représente la loi $I_C = f(I_B)$ connue sous la forme $I_C = \beta \cdot I_B$

Le cadran 3 représente la caractéristique de sortie $I_C = f(V_{CE})|_{V_{BEi}}$

- Nous voyons dans le premier cadran, que l'intersection entre la droite de charge et la caractéristique de sortie (pour un V_{BE0} fixé) nous donne le couple (I_{C0} , V_{CE0})
- I_{C0} est lié à I_{B0} dans le second cadran via le facteur β .
- Dans le troisième cadran, I_{B0} est associé à V_{BE0} par l'intersection de la seconde droite de charge et de la caractéristique de diode BE. Bref la boucle est bouclée car on retrouve V_{BE0} .

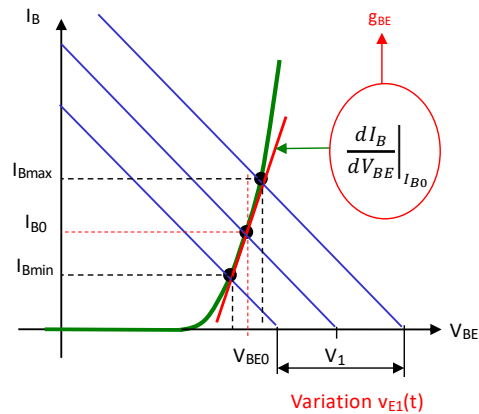
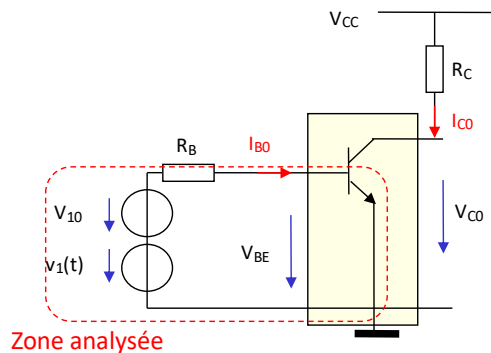
Nous allons exploiter ce graphe pour une étude en variations.

Le graphique illustre la caractéristique de transfert d'un transistor en régime statique. L'axe vertical représente le courant de collecteur I_C , et l'axe horizontal représente la tension de collecteur-émetteur V_{CE} . La courbe de charge est une droite bleue $1/R_C$ reliant V_{CC} à l'origine. La courbe de polarisation est une droite rouge $1/R_B$ reliant V_{BE10} à l'origine. Le point de repos est défini par I_{C0} et V_{CE0} . La courbe de transfert $I_C = \beta I_B$ est une courbe verte. Les tensions V_{BE0} et $V_{BE\text{MAX}}$ sont indiquées. Les courants I_{C0} et I_{B0} sont indiqués. Des flèches rouges indiquent les variations $v_1(t)$ et $v_c(t)$. Trois points sont marqués sur la courbe de transfert : 1) $V_{BE} \Leftrightarrow I_B$, 2) $I_B \Leftrightarrow I_C$, 3) $I_C \Leftrightarrow V_{CE}$. Un schéma de circuit est inclus en bas à droite.

- 1) Elle démarre avec la tension V_{10} autour de laquelle on superpose une variation $v_1(t)$.
- 2) A partir des trois droites de charges obtenues avec v_{10} , v_{1MIN} et v_{1MAX} , on obtient trois intersections qui nous donnent trois couples de tension – courant.

 v_{10} donne le couple (V_{BE0}, I_{B0}) qui est le point de polarisation, et la variation $v_1(t)$ qui se superpose, produit de faibles variations de tension (quasi inobservables sur notre graphe) et de faibles variations de courant.
- 3) Via la relation $I_C = \beta \cdot I_B$, on obtient I_{C0} depuis I_{B0} et des variations ΔI_{C0} depuis les variations ΔI_{B0} .
- 4) Si l'on projette les I_{C0} et les variations sur l'axe des V_{CE} , on constate aussi une tension V_{CE0} et des variations ΔV_{CE} . V_{CE0} et ΔV_{CE} sont obtenues avec les intersections entre la droite de charge et les différentes caractéristiques de sortie. Pour respecter la réalité physique, V_{CEMAX} correspondra à la caractéristique fixée par V_{BEMAX} , V_{CE0} correspond à la caractéristique fixée par V_{BE0} , enfin V_{CEMIN} correspond à la caractéristique fixée par V_{BEMIN} .

Analogie pour la courbe $I_B = f(V_{BE})$

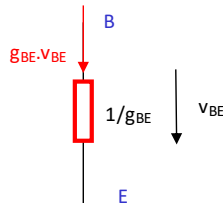


Dans cette configuration

$$g_B = \frac{\Delta I_B}{\Delta V_{BE}} = \frac{i_B}{v_{BE}}$$

g_{BE} est une conductance

$$g_{BE} = \frac{I_{B0}}{U_T}$$



En fait $1/g_{BE}$ est une résistance

Ou encore $i_B = g_{BE} \cdot v_{BE}$

6

Maintenant que les interactions ont été représentées sur un même graphe, il est possible, comme pour la diode, de quantifier les différentes variations avec une recette de cuisine que nous allons développer.

Nous pouvons refaire la même analyse pour la caractéristique de la diode

$$I_B = f(V_{BE}) \text{ comparable à } I_D = f(V_D)$$

La tangente calculée au point de polarisation épouse (idem diode) la loi caractéristique, tant que les variations en tension autour du point de polarisation V_{BE0} sont faibles (quelques mV).

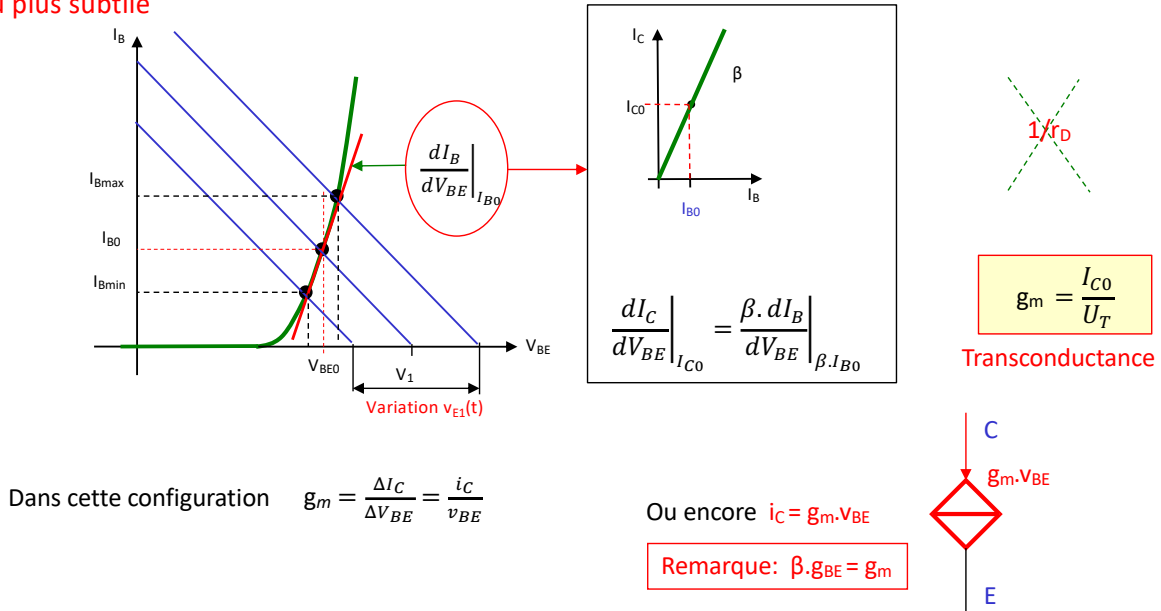
Le calcul d'une variation de courant depuis la loi réelle ou depuis la tangente donne des résultats assez proches. La tangente exprime donc le comportement d'un composant qui modélise une partie du comportement du transistor (tant que les variations sont faibles).

Aux mêmes observations nous associons les mêmes conséquences.

La tangente calculée au point de polarisation exprime donc une conductance appelée g_{BE} alors qu'elle s'appelait $1/r_d$ pour la diode.

Analyse de la courbe $I_C = f(V_{BE})$

Un peu plus subtile



L'élément de transformation pourrait être vu comme un gain en courant car nous avons directement la relation entre I_C et I_B .

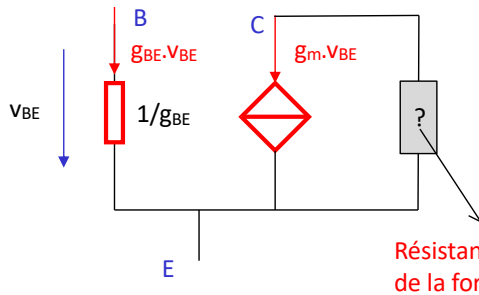
Cependant, on exploite généralement une autre relation faisant appel à la caractéristique $I_C = f(V_{BE})$. On peut la comparer à $I_C = \beta \cdot I_B = \beta \cdot f'(V_{BE})$

En appliquant la même démarche (calcul de tangente $(dI_C/dV_{BE})|_{I_{C0}} = I_{C0}/U_T$) nous devrions trouver aussi une conductance de la forme $1/r_D$. En réalité il s'agit d'une transconductance car V_{BE} est une tension appliquée entre la base et l'émetteur du transistor, alors que I_C est un courant qui circule entre le collecteur et l'émetteur. Il y a transformation entre une tension d'entrée et un courant de sortie, d'où le nom de trans (comme transformation) conductance appelée **gm**

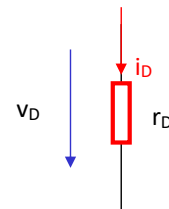
En terme de symbole, le courant i_C est généré à partir d'une source de courant commandée. ($g_m \cdot v_{BE}$).

Modélisation du transistor pour les petits signaux

Modèle transadmittance présenté en classe il y a une semaine



Transistor bipolaire



Diode

Avec
$$\beta \cdot g_{BE} = \frac{\beta \cdot I_{B0}}{U_T} = g_m = \frac{I_{C0}}{U_T}$$

8

Nous déduisons des observations précédentes, un quadripôle qui modélise le très simplement le transistor pour les variations.

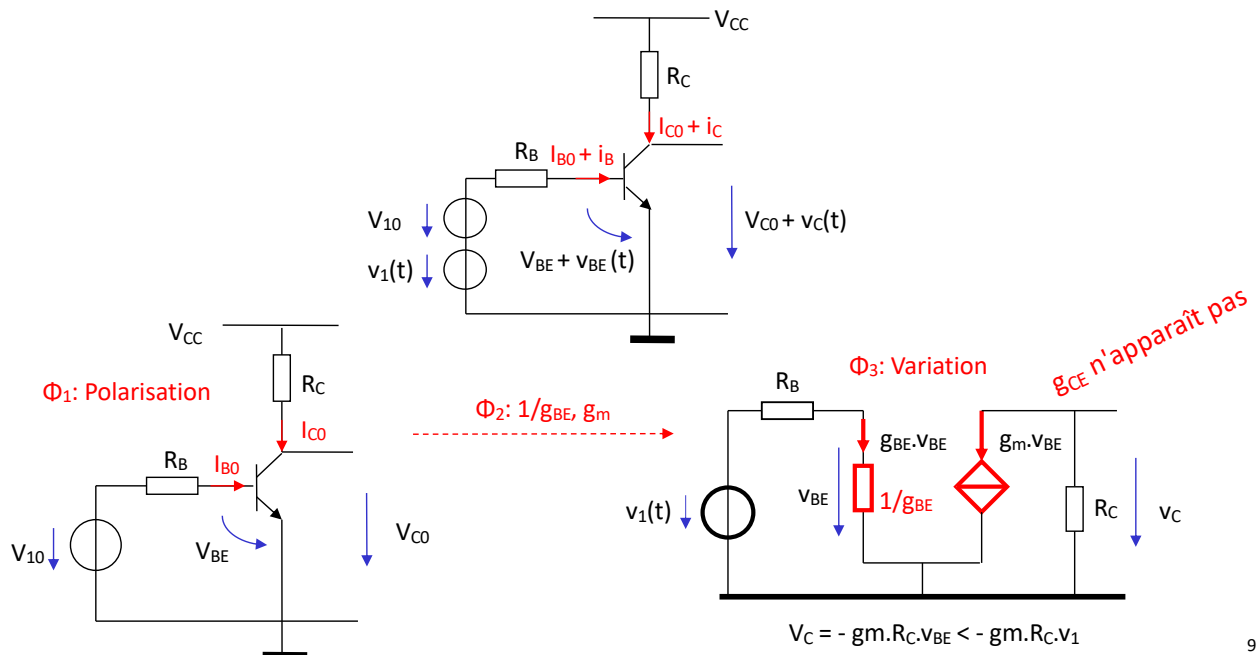
Une résistance $1/g_{BE}$ entre la base et l'émetteur, une source de courant commandée entre le collecteur et l'émetteur ($g_m \cdot v_{BE}$).

Nous pouvons comparer le modèle de ce transistor (quadripôle) à celui de la diode (dipôle) qui n'était qu'une simple résistance différentielle (r_d).

On note qu'il existe une relation entre g_m et g_{BE} . En effet le courant qui circule entre la base et l'émetteur est β fois plus petit que celui qui circule entre le collecteur et l'émetteur. On en déduit que $g_m = \beta \cdot g_{BE}$

Remarque: le troisième paramètre (résistance de sortie du transistor en parallèle avec la source $g_m \cdot v_{BE}$ est encore considéré comme infini, car les pentes de $I_C = f(V_{CE})$ sont supposées à ce stade horizontales (résistance infinie)

Recette de cuisine en trois phases



Pour analyser un schéma complet il est alors possible d'appliquer la recette de cuisine exécutée aussi en trois phases.

Phase 1: Calcul de la polarisation

On calcule le courant de polarisation $I_{C0} = \beta \cdot I_{B0} = \beta \cdot (V_{10} - U_j) / R_B$.

Phase 2: Calcul des paramètres g_m et g_{BE} .

$g_m = I_{C0} / U_T$ et $g_{BE} = g_m / \beta$

Phase 3: Calcul des variations

On dessine le modèle que l'on complète avec les composants du circuit (maintenir que les tensions variables).

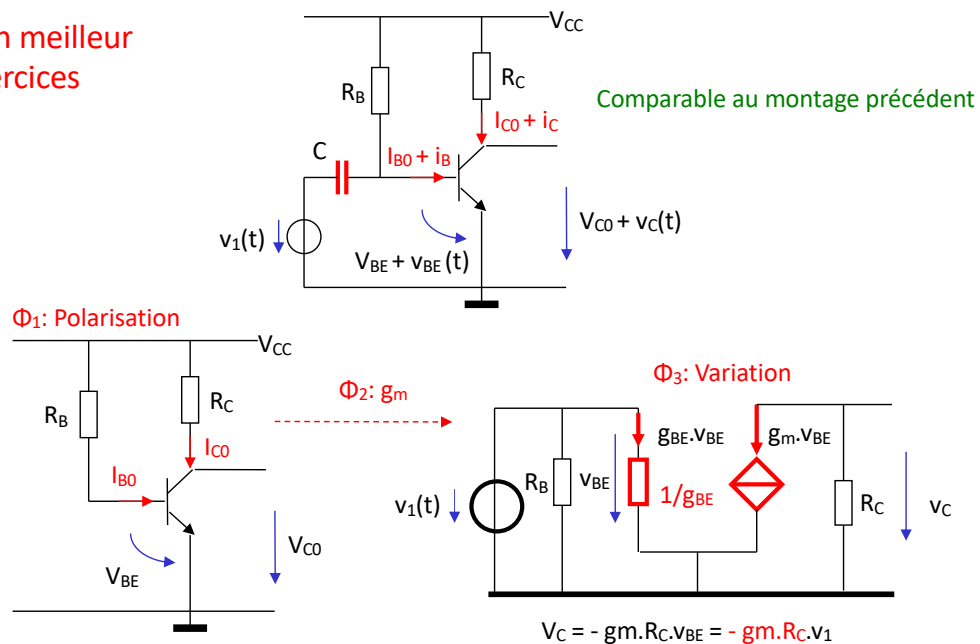
On calcul la variations $v_C(t)$ par rapport à $v_1(t)$.

Pour le montage proposé, $v_C = -R_C \cdot g_m \cdot v_{BE}$

On pourra exprimer $v_C = f(v_1(t))$ car $v_{BE} = v_1(t) \cdot g_{BE}^{-1} / (g_{BE}^{-1} + R_B)$

Parenthèse couplage capacitif

Montage bien meilleur
à faire en exercices



10

Le couplage capacitif part du principe qu'une capacité peut être assimilée à:

- Un **court-circuit** si la fréquence est "suffisamment" élevée
- Un **circuit ouvert** pour les signaux continus (ce qui est le cas en polarisation)

Le montage courant est alors comparable à celui du montage précédent et la recette de cuisine identique. Nous notons néanmoins des avantages évidents:

- Possibilité d'utiliser l'alimentation pour polariser sans utiliser une tension V_{10} spécifique comme précédemment
- La résistance R_B servant à fixer le courant I_B se retrouve en parallèle avec la résistance $1/g_{BE}$ et non plus en série comme dans le cas précédent. Ceci aura une répercussion importante sur le gain global du montage (rendement épouvantable lorsque les résistances sont en série)

Un tel montage est cependant loin d'être idéal. De nombreux problèmes se manifestent qu'il est possible de contourner grâce à des techniques de polarisation spécifiques, mais cela fait l'objet d'un autre cours.