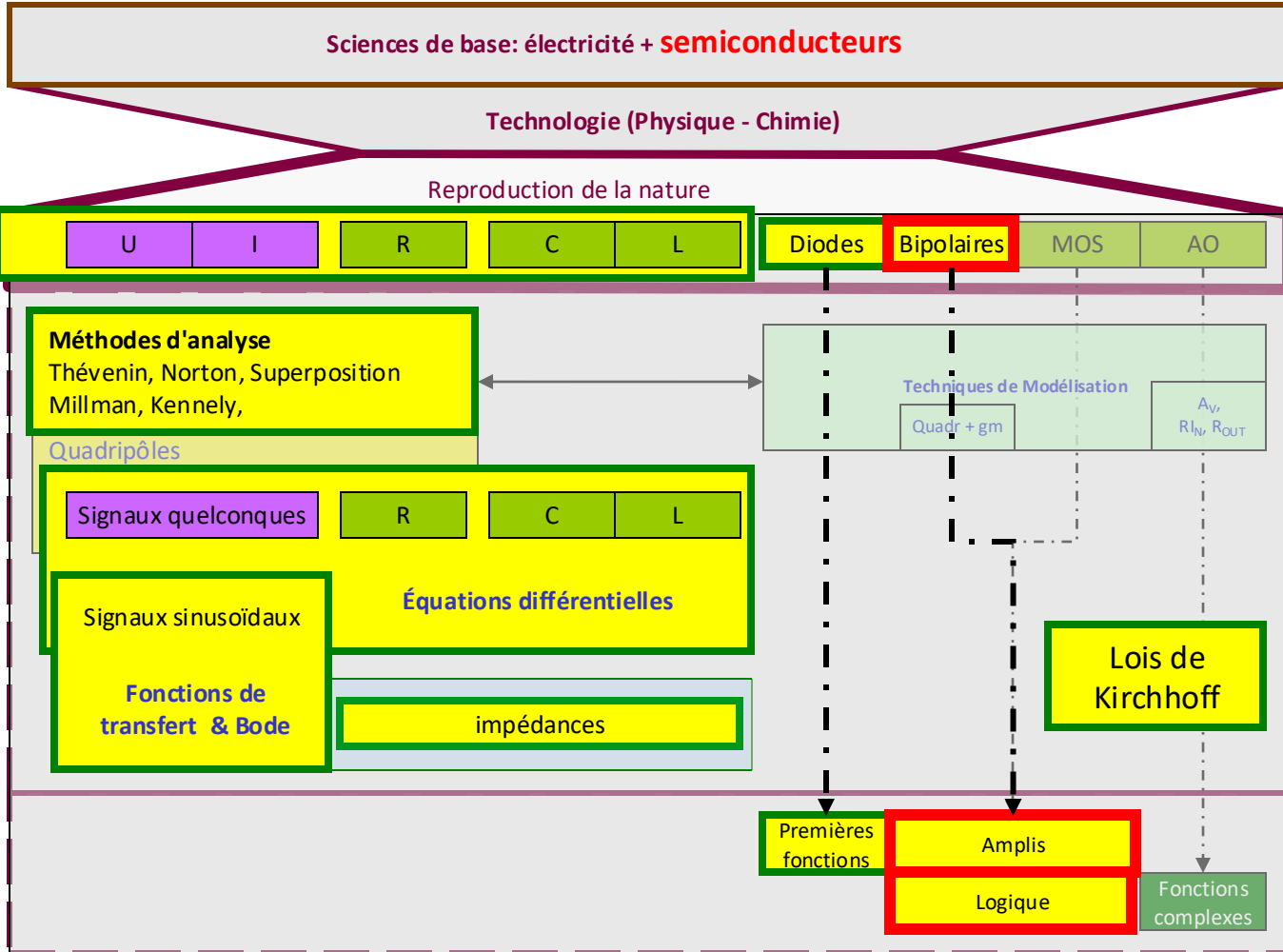


# Relations entre les différentes notions



# Les Transistors

## Chapitre de base (fondamental)

- A quoi servent les transistors???
  - A quoi ressemblent les transistors???
  - Comment fonctionnent-ils???
- **Observer**
  - **Expliquer**
    - ✓ Physique des semi-conducteurs
    - ✓ Formalisation (Développements analytiques)  
*Trop compliqué ==> Analyse intuitive*
    - ✓ Modélisation *Voir diodes*
  - **Exploiter**  
*Rappels diodes*

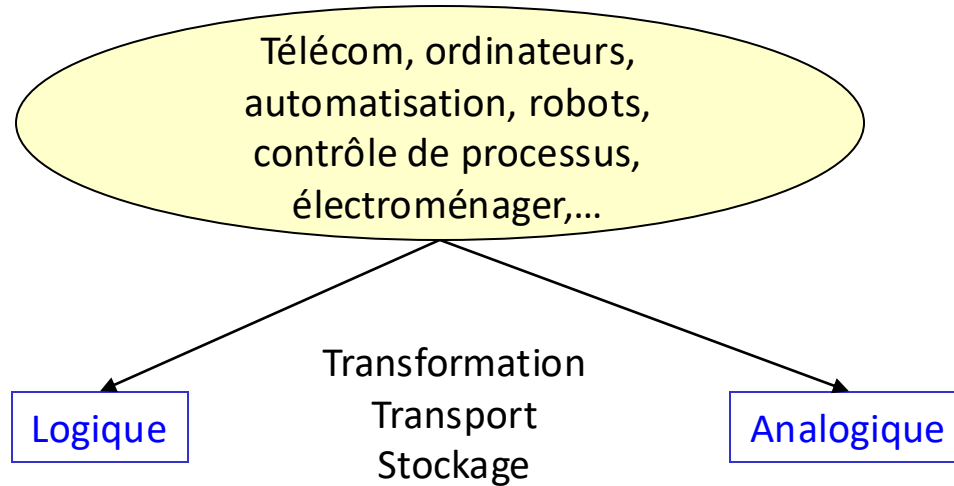
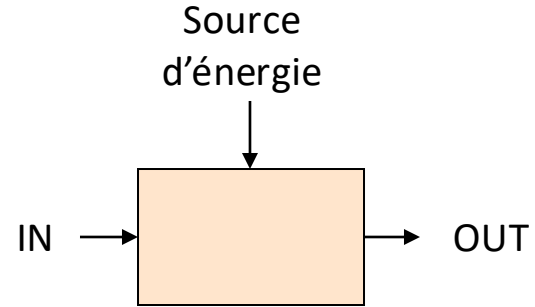
Logique, analogique

Physiquement, schématiquement

# Les Transistors

## Préambule

- Dispositifs à semi-conducteur.
- Éléments actifs, capables d'amplifier un signal.



# Deux familles de transistors

Le transistor **MOS**, ou MOS-FET vs le transistor **BIPOLAIRE** ou B.J.T. (électrons et trous).

## Il y a encore quelques années

- Bipolaire: le plus connu et le plus utilisé
- MOS: Technologie difficile à maîtriser

## Aujourd'hui

- MOS supplante Bipolaire dans beaucoup de domaines
- Bipolaire résiste pour des applications spécifiques

Mais aussi : **BiCMOS**

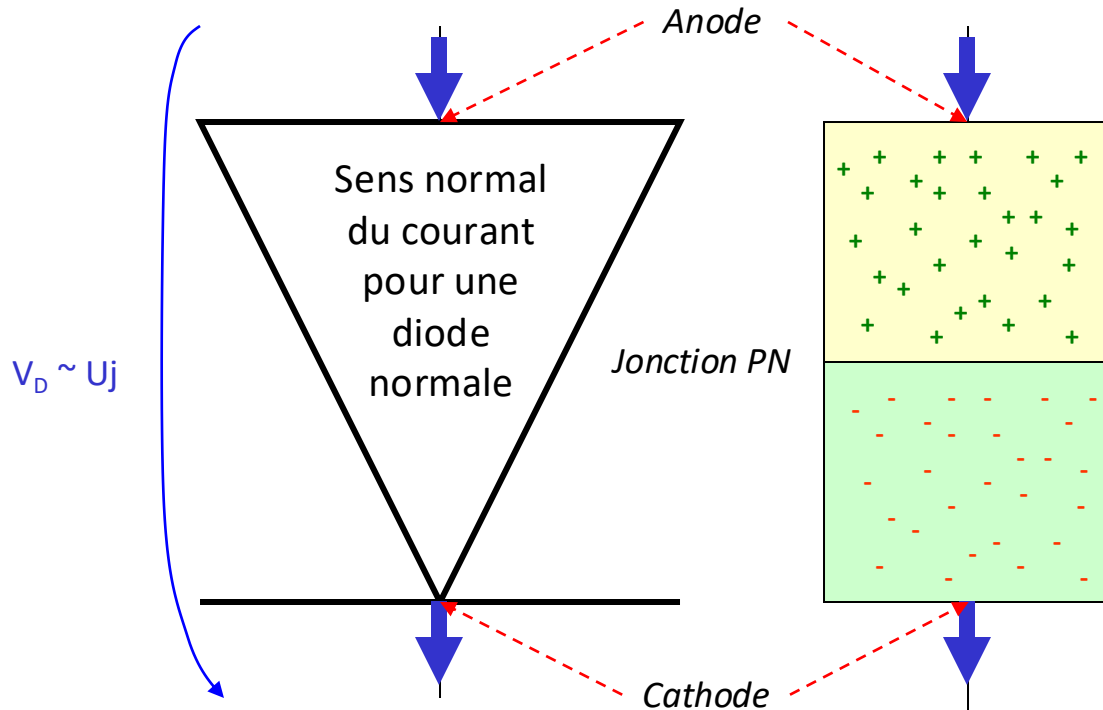
# Le transistor bipolaire

## Description

**Bipolaire** plus avantageux que **MOS** pour applications exigeant:

- des courants élevés (étages de sortie)
- circuits logiques ultra rapides
- un gain en tension élevé
- un faible "bruit" (préamplis Hi-Fi)
- la réalisation de fonctions linéaires à hautes performances
- un bon équilibrage entre les "tensions de seuil" des composants.

# Parenthèse diode



## Zone P :

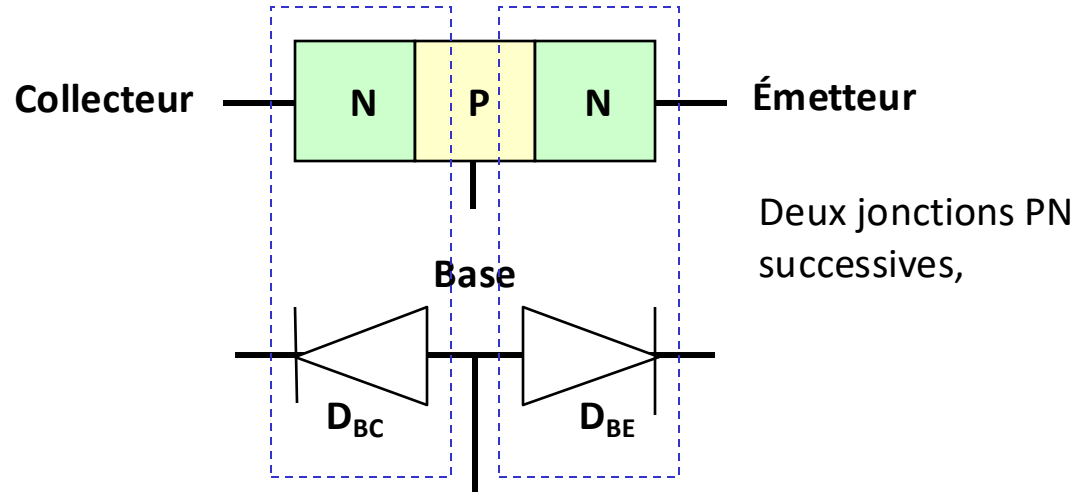
Fabrication spécifique  
Les charges **positives**  
"libres" sont majoritaires

## Zone N :

Fabrication spécifique  
Les charges **négatives**  
"libres" sont majoritaires

# Structure d'un bipolaire

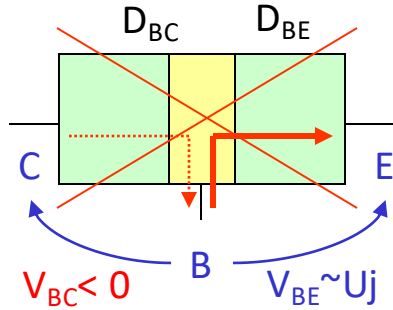
Un seul cristal de silicium - Succession de 3 zones, dopées différemment



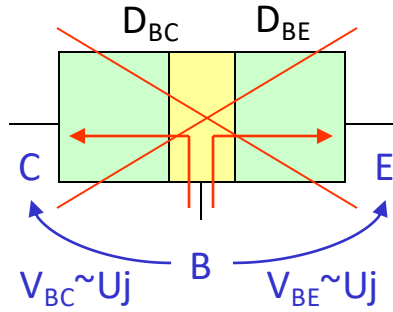
Un contact électrique est établi vers chacune des zones:

- *émetteur, base et collecteur.*

# Vision de deux diodes tête-bêche

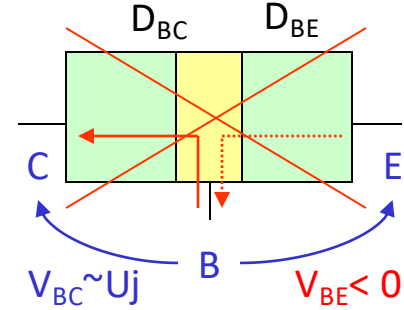


Cas 1

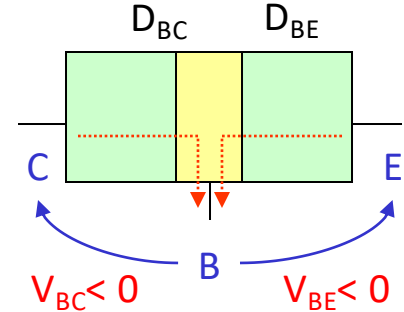


Cas 3

Cas	$D_{BE}$	$D_{BC}$
1	Conduit $V_{BE} \sim U_j$	Bloquée $V_{BC} < 0$
2	Bloquée $V_{BE} < 0$	Conduit $V_{BC} \sim U_j$
3	Conduit $V_{BE} \sim U_j$	Conduit $V_{BC} \sim U_j$
4	Bloquée $V_{BE} < 0$	Bloquée $V_{BC} < 0$

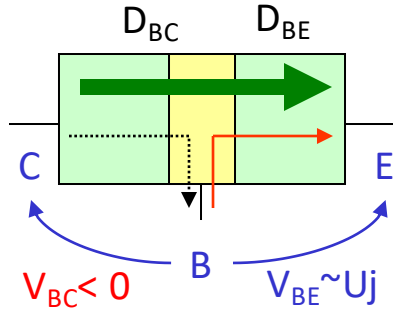


Cas 2

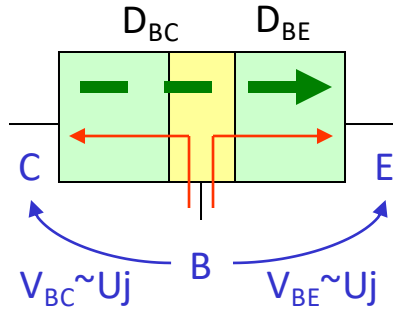


Cas 4

# Observation des modes de fonctionnement

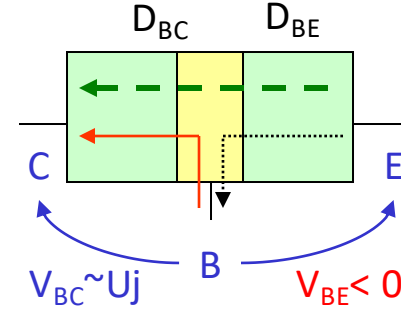


Cas 1

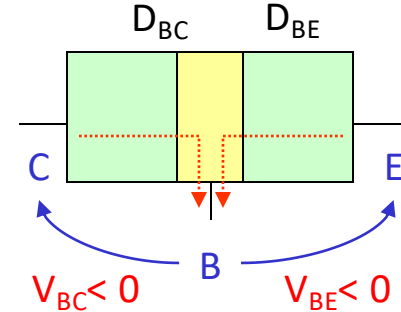


Cas 3

Cas	$D_{BE}$	$D_{BC}$
1	Conduit $V_{BE} \sim U_j$	Bloquée $V_{BC} < 0$
2	Bloquée $V_{BE} < 0$	Conduit $V_{BC} \sim U_j$
3	Conduit $V_{BE} \sim U_j$	Conduit $V_{BC} \sim U_j$
4	Bloquée $V_{BE} < 0$	Bloquée $V_{BC} < 0$



Cas 2



Cas 4

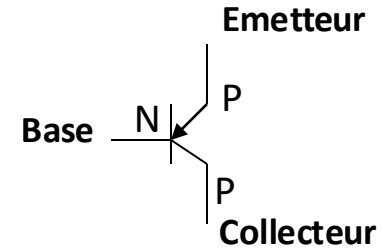
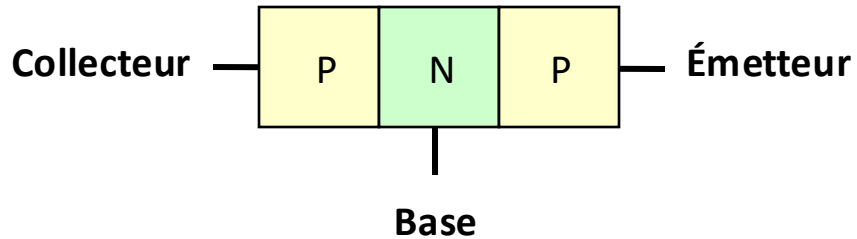
# Résumé des modes de fonctionnement

MODE	JONCTION EB	JONCTION BC	UTILISATION
ACTIF DIRECT MODE NORMAL	DIRECT	INVERSE	CIRCUITS LINEAIRES
ACTIF INVERSE	INVERSE	DIRECT	PERFORMANCES DEGRADEES
SATURE	DIRECT	DIRECT	LOGIQUE
BLOQUE	INVERSE	INVERSE	LOGIQUE

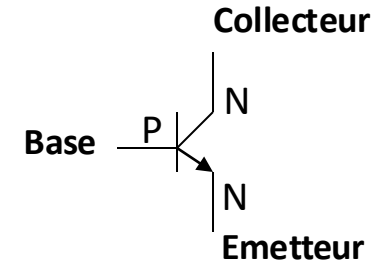
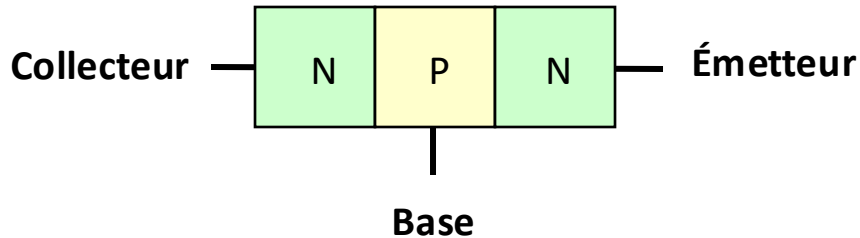
# Deux types de transistors bipolaires

Transistor NPN plus courant que PNP (raisons technologiques).

## TRANSISTOR PNP

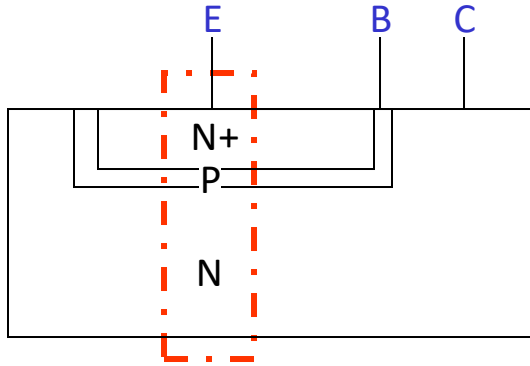


## TRANSISTOR NPN



# Remarques

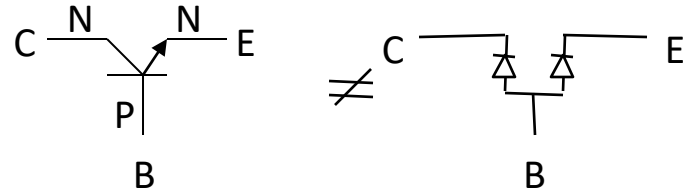
## Structure réelle d'un transistor bipolaire



- L'émetteur est impérativement plus dopé que la base: **Détermine le gain en courant du transistor.**
- La base est une région extrêmement mince: **Détermine les propriétés du transistor.**
- Le collecteur est faiblement dopé: **Permet au transistor de supporter des tensions élevées.**
- Bipolaire n'est pas un dispositif symétrique: Rôles de l'émetteur et du collecteur non réversibles: Différence avec source et drain d'un transistor MOS

## Impossible de réaliser un transistor avec 2 diodes discrètes

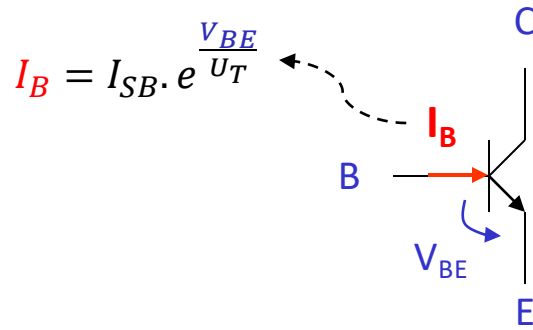
- Critère de la base très mince non respecté
- Cependant: chaque jonction du transistor bipolaire = excellente diode.



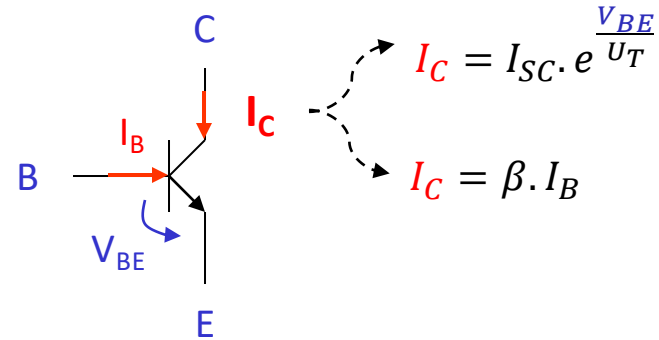
# Modèle élémentaire du bipolaire

## Source de courant commandée

### Comportement de la diode $D_{BE}$



### Observation du courant $I_C$



Conséquences: Bipolaire = **source de courant** (courant de collecteur)

- commandée par un faible **courant** (courant de base).
- commandée par une **tension** (tension base - émetteur)

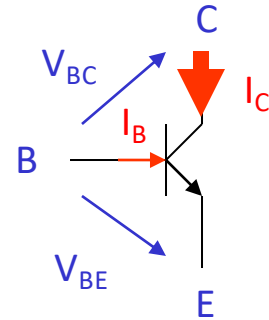


# Remarques sur la source de courant $I_C$

Relation entre les 3 courants (toujours valable) :  $I_E = I_C + I_B$

**Source de courant** seulement en **mode normal d'utilisation**

- $V_{BC} < 0$  et  $V_{BE} > 0$
- Courant de base de valeur  $\ll$  courant de collecteur



Relation entre  $I_C$  et  $I_B$  :  $I_C = \beta I_B$  ou  $I_B = \frac{I_C}{\beta}$

- $\beta$  est le gain en courant du transistor. quelques dizaines à quelques centaines

Relation entre  $I_C$  et  $V_{BE}$  :  $I_C = I_s \exp^{\frac{V_{BE}}{U_T}}$

- $I_s$  courant inverse de saturation. fA à pA.

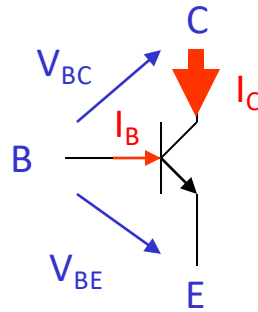
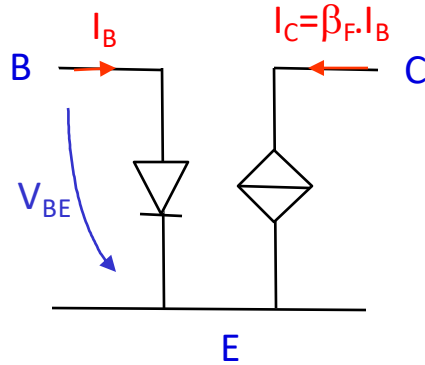
Comparaison NPN et PNP:

- Les gains en courant des PNP  $<$  à ceux des NPN.
- Le type (NPN ou PNP) est défini par la flèche identifiant l'émetteur.

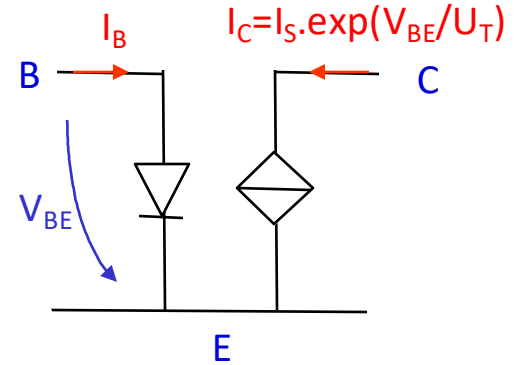
# Modèles de base (DC) si mode normal de fonctionnement

## Grands signaux

Contrôle en courant



Contrôle en tension

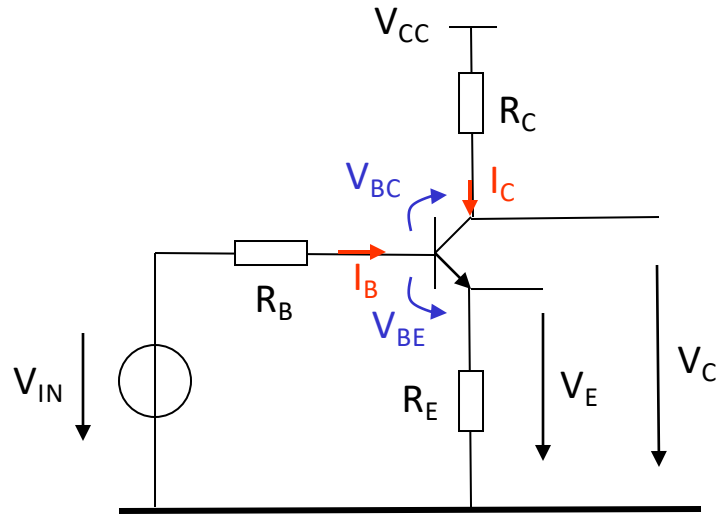


## Remarques:

- Ne jamais introduire l'approximation  $V_{BE} \sim U_j = 0.7V$  dans la relation exponentielle entre  $I_C$  et  $V_{BE}$  car: **Erreurs monstrueuses!**
- Autre modèle: **Ebers et Moll** (même pour d'autres modes de fonctionnement du Bipolaire)

# Exercices : Méthodologie

**Hypothèse** : Le bipolaire est dans le mode linéaire

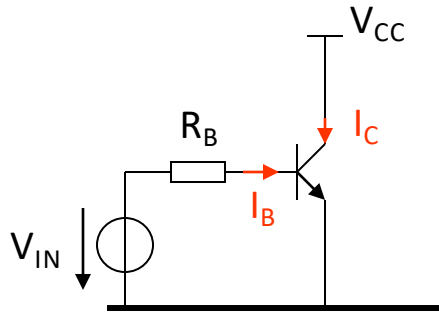


Montage général

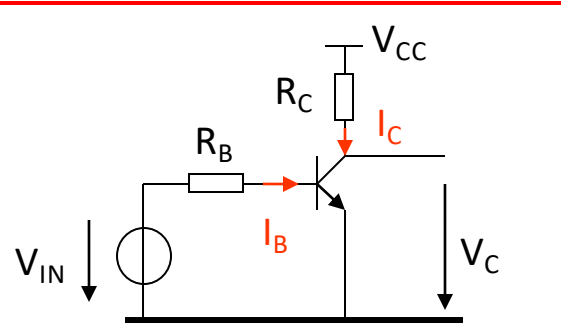
1. Vérifier si  $V_{IN} > U_j$
2. Calculer  $I_B$ : complexe si  $R_E$  existe
3. Calculer  $I_C$
4. Calculer  $V_E$  et  $V_C$
5. Vérifier que  $V_{BC} < 0$ , sinon transistor saturé

# Exercices typiques

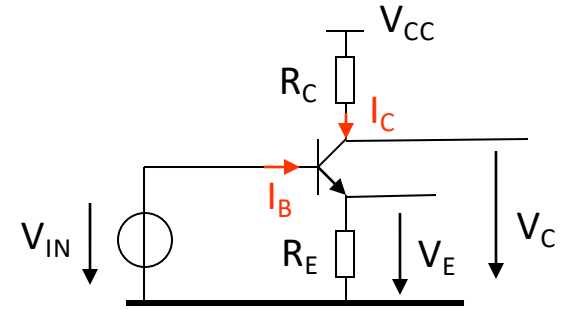
Le cas où les transistors sont bloqués n'est pas analysé



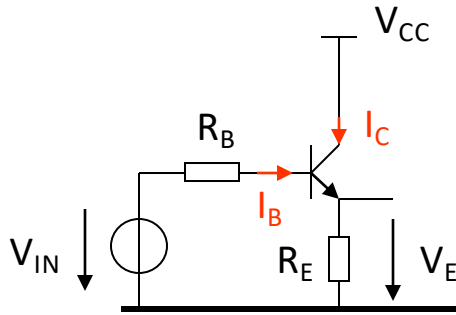
Montage a  
Toujours linéaire



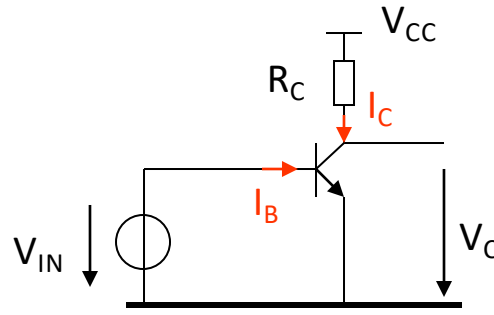
Montage b  
Linéaire ou saturé



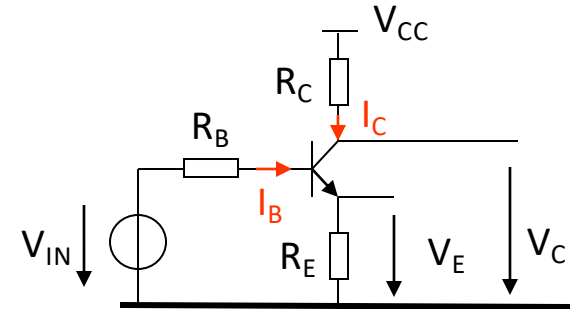
Montage c  
Linéaire ou saturé



Montage d  
Toujours linéaire

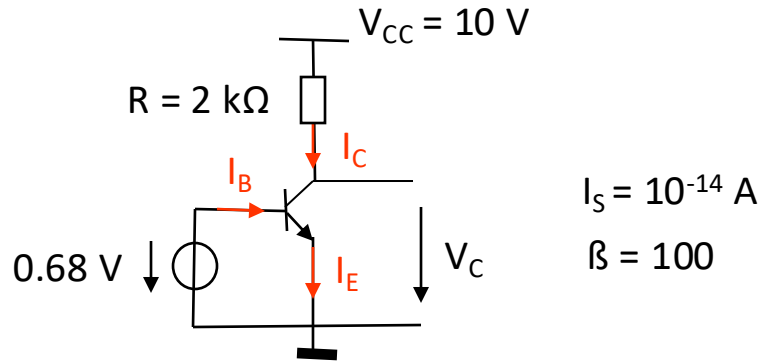


Montage e  
Linéaire ou saturé  
Utilisation de la loi exponentielle



Montage f  
Linéaire ou saturé

# Exercice 1



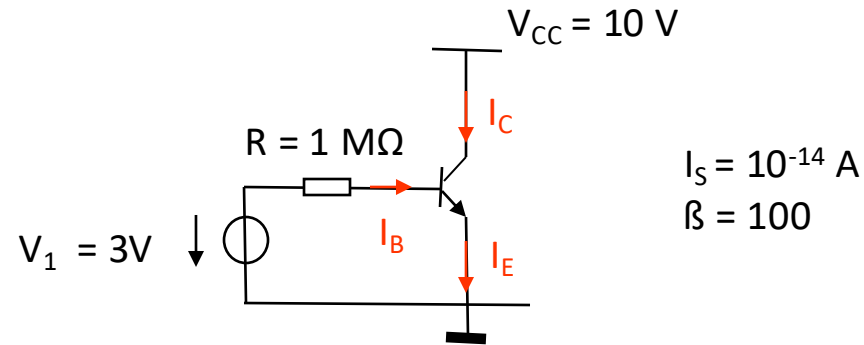
1/ Calculer les courants de collecteur, de base et d'émetteur, ainsi que le potentiel  $V_C$  du collecteur.

On donne :

- $V_{BE} = 0.68\text{ V}$
- $I_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{U_T}}$  . avec  $I_S = 10^{-14}\text{ A}$ ,  $U_T = 26\text{ mV}$

2/ Calculer  $V_{CB}$  et vérifier que le transistor est en mode normal de fonctionnement.

## Exercice 2



1/ Calculer les courants de collecteur, de base et d'émetteur.

$$V_1 = R \cdot I_B + V_{BE}$$

2/ Calculer  $V_{BE}$  et  $V_{CB}$ .