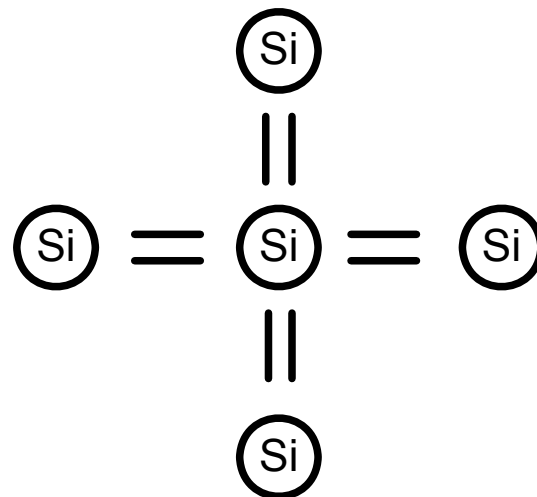


Cours 12

Revision

On commence par le plus petit

- Les puces modernes sont fait de silicium
 - Element avec 14 electrons, dont 4 de valence
 - Ils se connectent avec les electrons de valence
 - Electrons de valence “peuvent conduire”
 - Avec assez d’energie, les liens se brisent et electrons se deplacent: le courant



On commence par le plus petit

- Un courant, c'est le déplacement de charges
 - Pour plus de courant, il faut plus de charges libres
- Une fois de faire: en ajouter dans le silicium: dopage
 - Ajout d'électrons: dopage en N
 - Ajout de trous: dopage en P
- Un "trou" c'est une place où l'électron peut aller

On commence par le plus petit

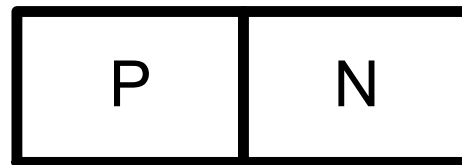
- Dopage: On “substitue” une partie du silicium par d’autres éléments
 - Exemple de N: Phosphore
 - Exemple de P: Bore
- Ces éléments ont un électron de plus ou de moins que le silicium:
 - Ça permet de mieux conduire

Diode

- P et N, ça ne fait rien: c'est comme une resistance

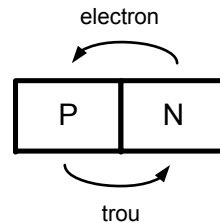


- En les combinant ensemble, on fait des choses plus interessantes:
 - Ca forme une diode PN

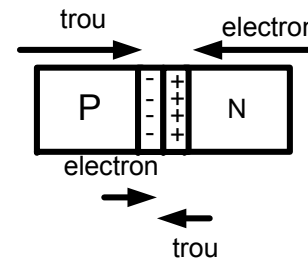
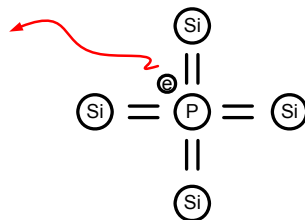


Diode

- Imaginons la connexion de P et de N:
 - Concentration forte se deplace vers concentration faible: diffusion

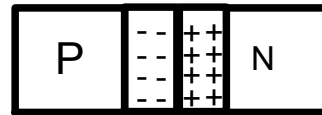


- Creation d'une region charge espace:
 - Electron qui part laisse 4 electrons de valence
 - C'est un ion positif qui ne peut plus conduire
 - Chose semblable avec les trous et le P

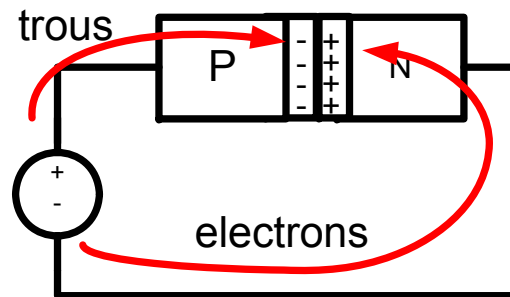


Diode

- Le processus continue jusqu'à ce que le champ interne repousse la diffusion
 - Pas tout a fait exacte, mais pas grave...



- Pour faire conduire une diode, il faut “enlever” cette region charge espace:

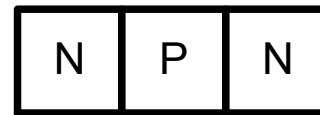
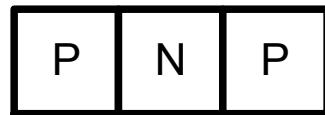


La tension requise, c'est le fameux 0.7v

Sa valeur depend de plusieurs choses, mais on approxime

Transistors bipolaires (BJT)

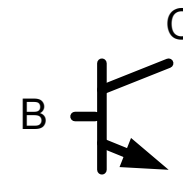
- Avec un P et un N, on a une diode:
 - Ajoutons un autre P ou N pour le fun



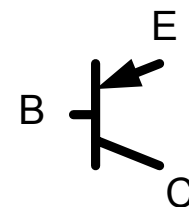
- Ça forme 2 types de transistors:
 - NPN et PNP

- 3 Pattes:

- Base
- Collecteur
- Emetteur



NPN



PNP

Transistors bipolaires (BJT)

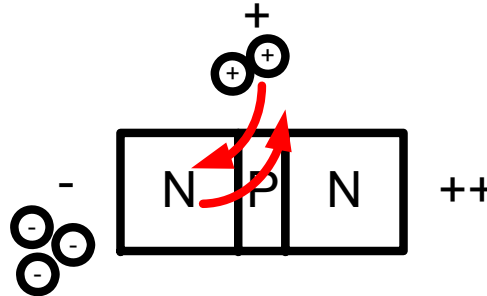
- On voit ces transistors comme etant 2 diodes:



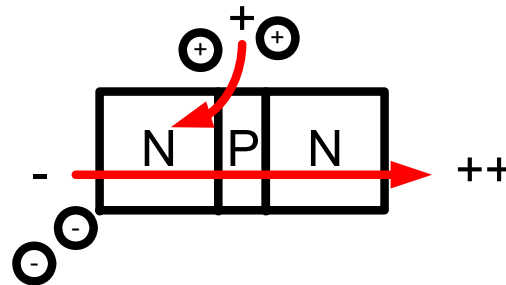
- Selon la polarisation des diodes, on identifie 4 regions d'operation:
 - Cutoff: Les 2 diodes sont bloquées
 - Inverse: BE ne conduit pas et BC conduit
 - Active: BE conduit et BC ne conduit pas
 - Saturation: Les 2 diodes conduisent

Transistors bipolaires (BJT)

- Avec la polarisation des diodes, on s'attendrait a avoir ca:



- Quand les electrons arrivent a la base, ils sont attirés par le collecteur
 - Ils passent directement de l'emetteur au collecteur



Transistors bipolaires (BJT)

- On s'arrange pour que:
 - Petit courant a la base controle gros courant EC
- Dessinons le déplacement des + (courant)



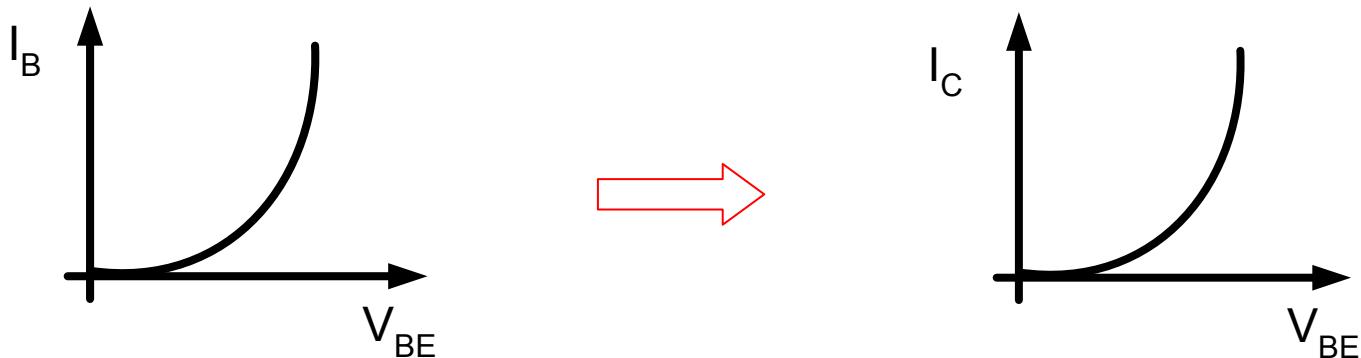
- Les + de la base et du collecteur se retrouvent a l'emitter: $I_E = I_C + I_B$

Transistors bipolaires (BJT)

- Un petit courant a la base devient un gros courant emetteur-collecteur
- Concentrons nous sur le collecteur:
 - J'augmente I_B et I_C augmente beaucoup
 - Je reduis I_B et I_C reduis beaucoup
- Ca fonctionne comme un amplificateur:
 - Petite variation cause grosse variation.
 - I_C est plus grand que I_B d'un facteur β

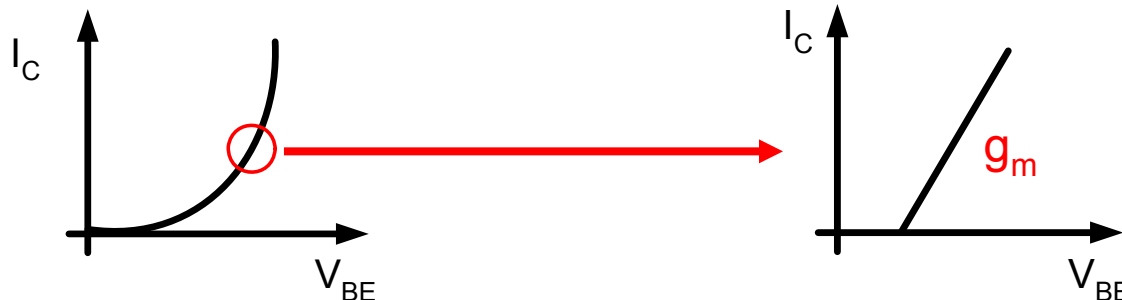
Transistors bipolaires (BJT)

- Relation entre I_B et I_C est lineaire:
 - Probleme: l'entrée est souvent une tension
 - La relation entre V_{BE} et I_B est exponentielle
 - La relation V_{BE} vs I_C est donc exponentielle
- Un signal V_{BE} qui entre ne sera pas simplement amplifié:
 - Il sera déformé à cause de la relation exponentielle



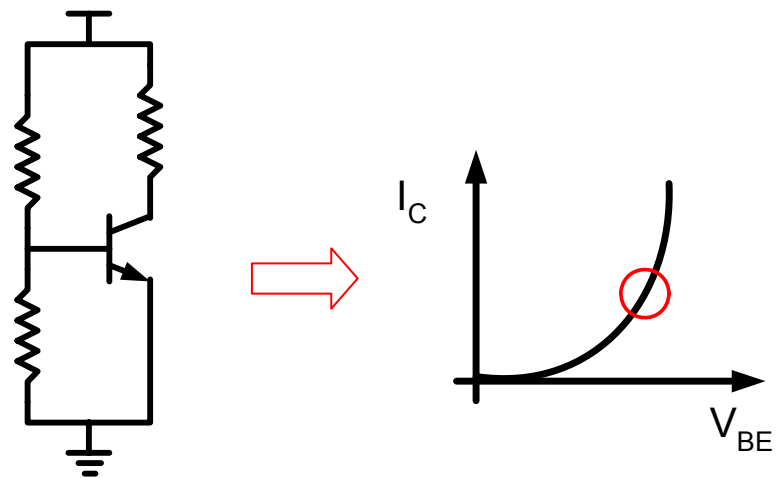
Transistors bipolaires (BJT)

- On peut quand meme utiliser le transistor comme amplificateur:
 - Quand on regarde la fonction exponentielle de tres proche, on voit une ligne droite
- Preuve mathematique: Serie de taylor.
 - Quand v_{be} est petit, v_{be} et i_c sont proportionnels
 - Constante de proportionalite: g_m
 - Valeur de g_m depend de ou on “zoom”



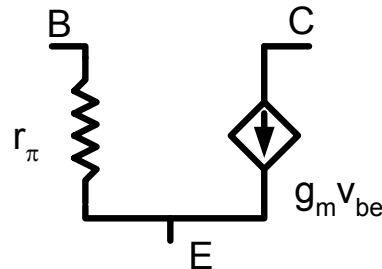
Transistors bipolaires (BJT)

- Donc, on va vouloir choisir ou on veut “zoomer” dans la courbe $i_c - V_{be}$
 - On fait ca avec des resistances et des sources
- L'analyse de OU on est sur la courbe, s'appelle l'analyse DC
- Quelques “regles”:
 - $V_{BE}=0.7$
 - $V_{CESAT}=0.2$
 - $I_C = \beta I_B$



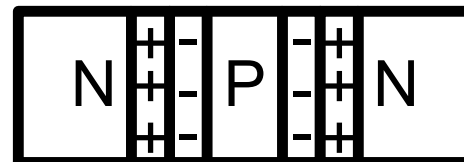
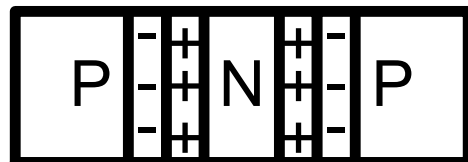
BJT: Petit Signal

- Un fois qu'on a "zooome" dans la courbe, il faut trouver la pente: g_m
 - v_{be} donne une variation en i_c de $g_m v_{be}$
- En gros signal, V_{BE} est toujours 0.7
 - Donc, I_B (gros signal) est constant
- En petit signal, ca change un peu: v_{be}
 - Le changement de v_{be} donne un changement de i_b
 - Ca indique la presence d'une resistance r_π



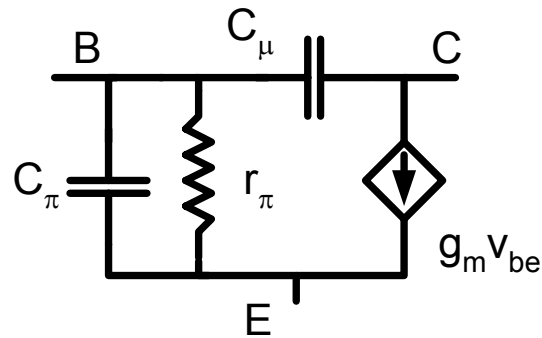
BJT: Petit Signal

- Modele actuel indique que le transistor fonctionne a vitesse infinie:
 - En realite, ce n'est pas vrai
- Ca prend du temps pour charger les noeuds qui ont des capacites
 - Les jonctions PN: conducteur-isolant-conducteur
 - Il y a une capacite a chaque jonction PN



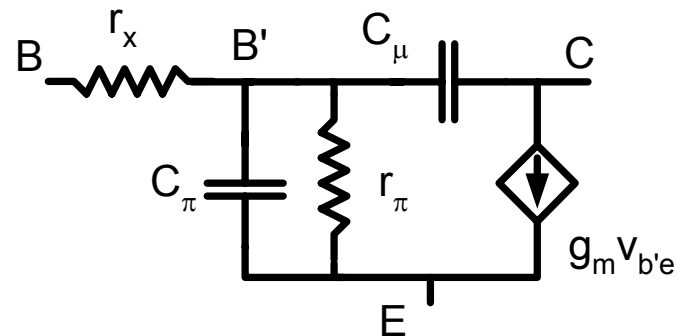
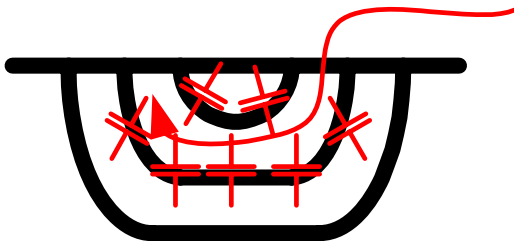
BJT: Petit Signal

- Modele haute frequence



- La structure d'un BJT ressemble a ca:

- Le courant I_b doit passer une distance avant de charger les C_π et C_μ

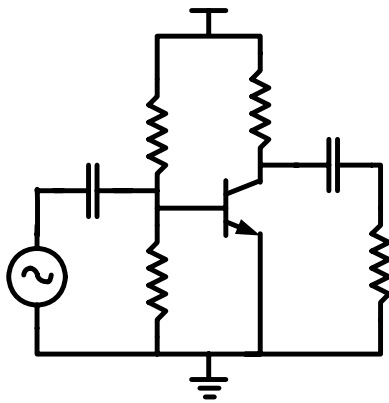


BJT: Petit Signal

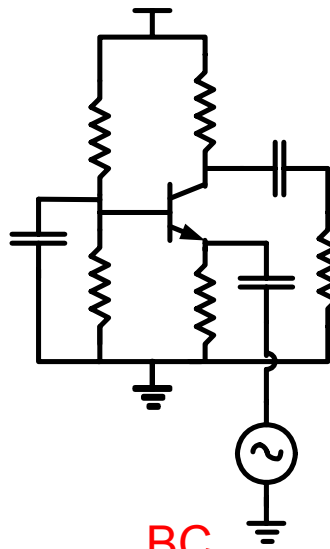
- On peut calculer leur fréquence de coupure de 2 façons:
 - $T(s) \rightarrow T(j\omega) \rightarrow |T(j\omega)| \rightarrow$ Mettre égal à 0.707 et isoler ω .
 - Méthode par constantes de temps circuit ouvert

BJT: Petit Signal

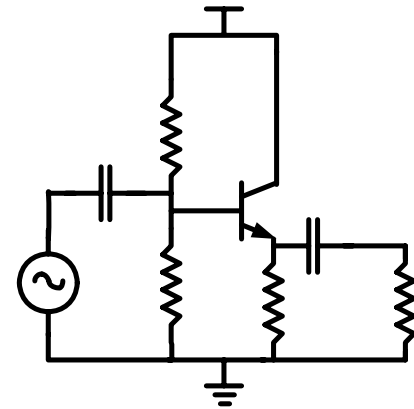
- On a 3 configurations d'amplificateurs:
 - Emetteur commun: grand gain inverse
 - Base commune: grand gain, r_{in} faible
 - Collecteur commun: gain unitaire, r_{out} faible



EC



BC



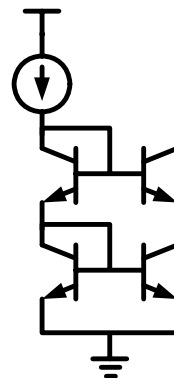
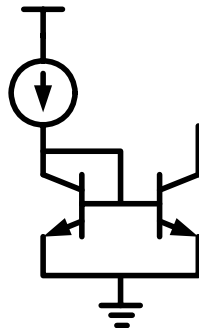
CC

BJT: Petit Signal

- Les C a l'entrée et a la sortie sont pour bloquer le DC
- Ca forme des filtre passe-haut:
 - Faire attention aux valeurs: ca pourrait bloquer notre signal si notre frequence est basse
- Methode de calcul:
 - Constantes de temps court-circuit

BJT: Petit Signal

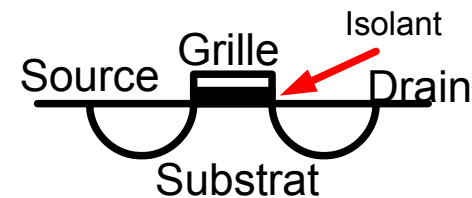
- Le gain intrinseque de base commune et emetteur commun depend de g_m et R_C .
- Pour augmenter le gain, on augmente R_C
- Pour R_C infini en petit signal, on utilise une source de courant: gain tres eleve
- Pour faire source de courant on utilise les miroirs de courant



Transistors a effet de champ

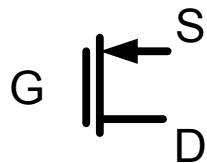
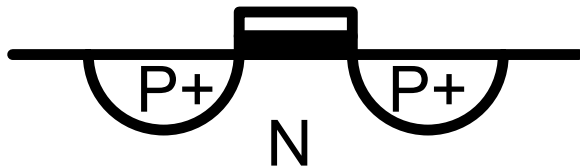
- Il y a 2 sortes de MOSFET:

- Type N: NMOS
- Type P: PMOS

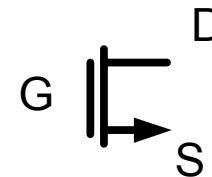
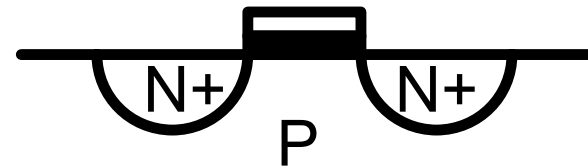


- La fabrication avec ces 2 types s'appelle CMOS

PMOS

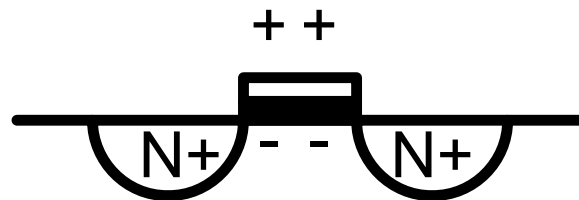


NMOS



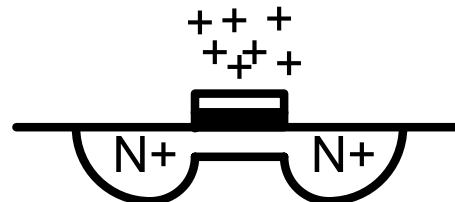
Transistors a effet de champ

- En appliquant + a la grille, on attire des –



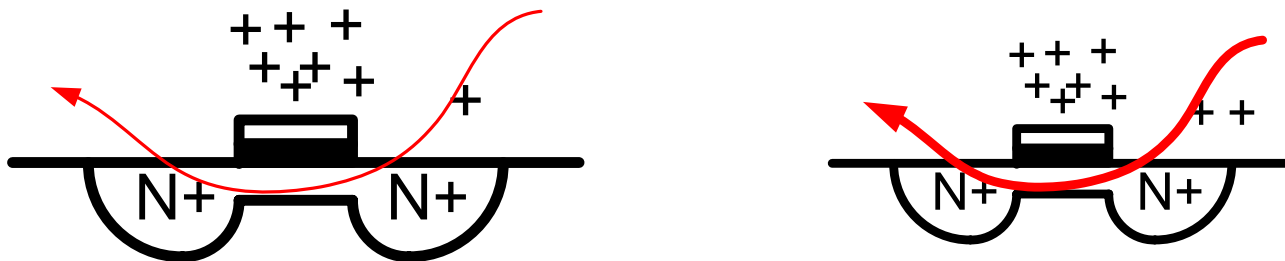
- En augmentant le + on obtient beaucoup de –

- Du silicium avec beaucoup de – s'appelle N+
- Ça connecte la source et le drain
- On forme un "canal"



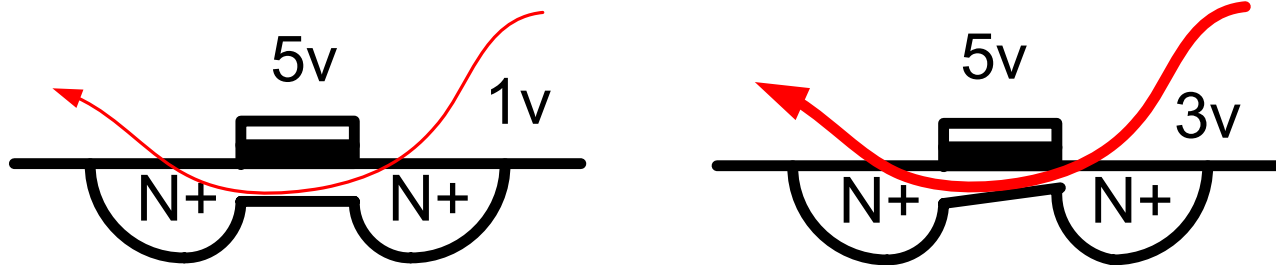
Transistors a effet de champ

- Le $V_{G-CANAL}$ minimal requis s'appelle V_{TH}
 - On l'approxime a 0.7v
- Le chemin entre source et drain a maintenant une tres faible resistance:
 - Un gros courant peut circuler
- En augmentant V_{DS} , on augmente aussi I_D

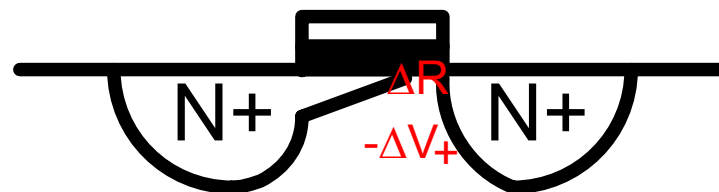
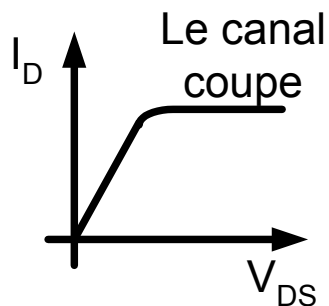


Transistors a effet de champ

- En augmentant V_{DS} , on baisse $V_{G-CANAL}$ proche du drain



- Si V_{DS} etait 4.4v, notre V_{GD} serait 0.6v:
 - Il n'y a donc plus de canal au drain
 - Le courant "sature"

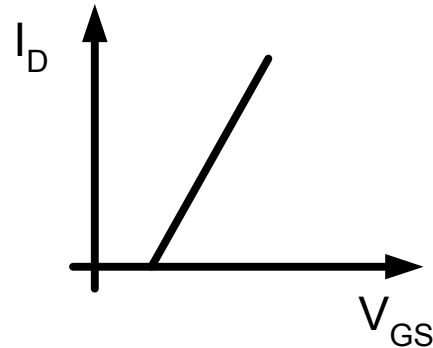
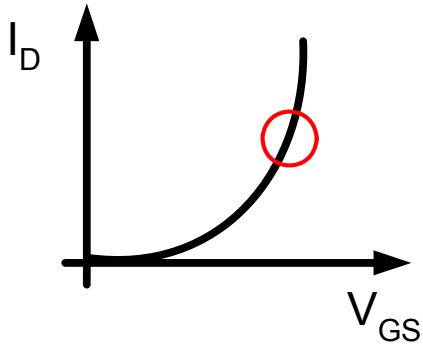


Transistors a effet de champ

- On identifie 3 regions d'operation:
 - Cutoff: pas de canal
 - Lineaire: canal partout
 - Saturation: canal partout sauf au drain
- Pour amplificateur, on veut etre en saturation
- Il y a beaucoup de similarites entre BJT et CMOS

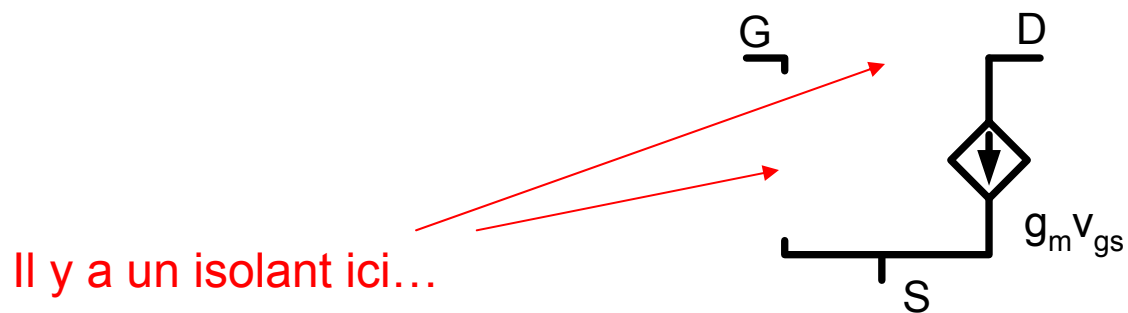
CMOS: Petit signal

- I_D et V_{GS} sont liés par une relation quadratique (carré)
- Si on zoom assez, ça peut être approxime par une relation linéaire



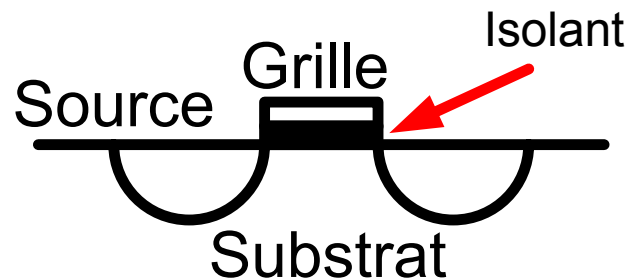
CMOS: Petit signal

- On fait l'analyse DC pour voir OU on zoom sur la courbe
 - On se positionne avec R et sources
- Par la suite, on applique un petit signal pour le faire amplifier

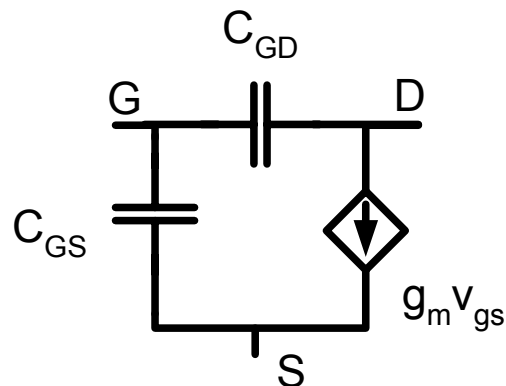


CMOS: Petit signal

- Il y a un isolant entre la grille et 3 choses: le canal, la source et le drain

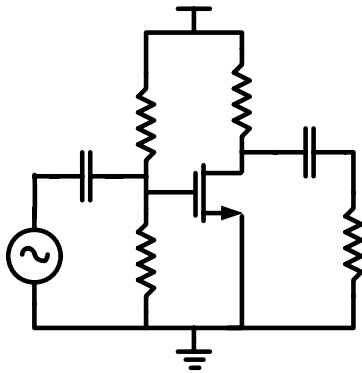


- On modélise comme 2 C: C_{GS} et C_{GD}

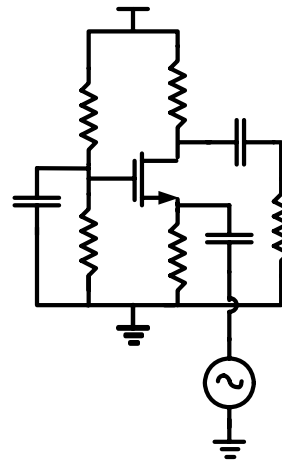


CMOS: Petit signal

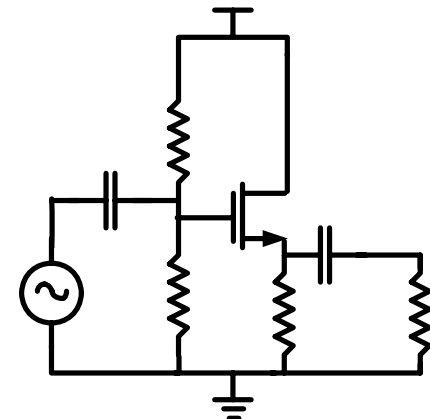
- On a 3 configurations d'amplificateurs:
 - Source commune: grand gain inverse
 - Grille commune: grand gain, r_{in} faible
 - Drain commun: gain unitaire, r_{out} faible



SC



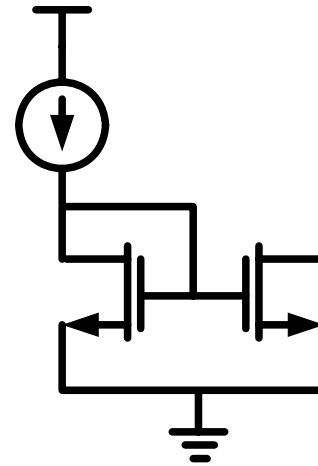
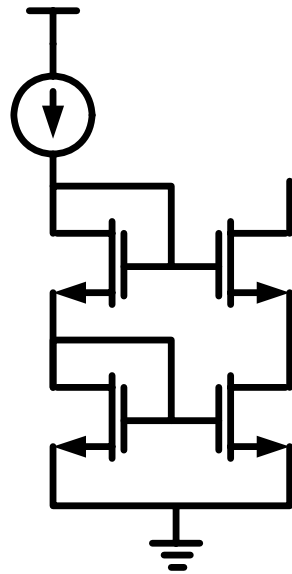
GC



DC

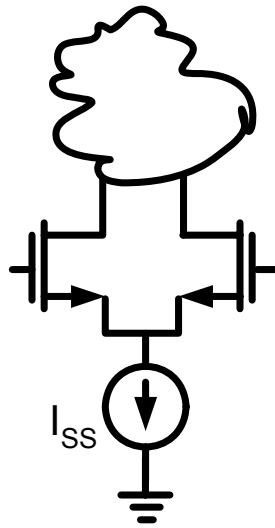
CMOS: Petit signal

- Gain de SC et GC dependent d'une grosse valeur de R_D :
 - Pour R_D infini en petit signal, on utilise un miroir de courant



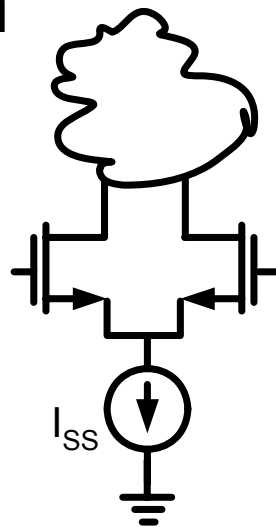
Amplificateurs différentiels

- Amplificateurs différentiels sont basés sur les paires différentielles:
 - 2 transistors identiques qui se partagent un courant



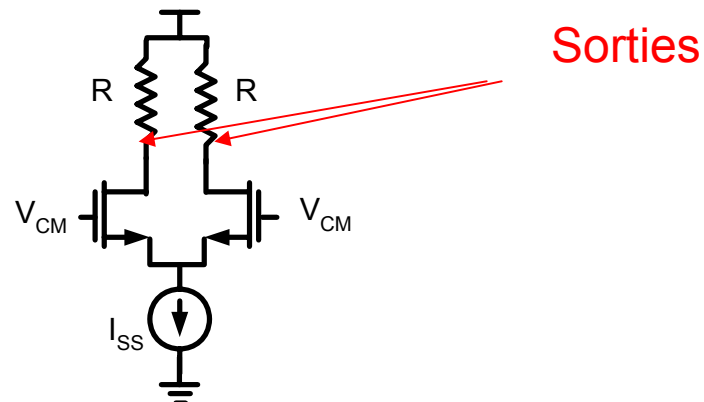
Amplificateurs différentiels

- Si la tension aux grilles est pareille, ils auront le même V_{GS} :
 - Même V_{GS} implique même courant
 - Donc, I_{SS} est divisé en 2
- Cette valeur de V_{GS} (DC) s'appelle tension en "mode commun"

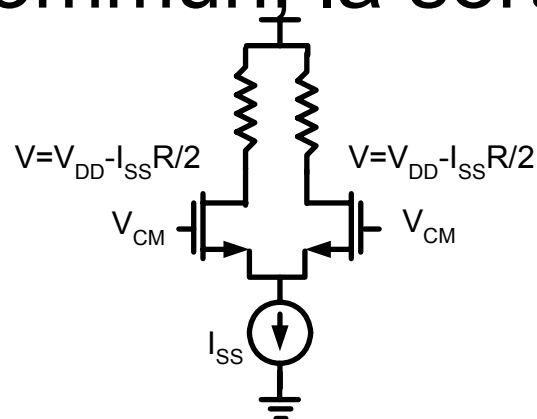


Amplificateurs différentiels

- Pour un amplificateur différentiel, on transforme le courant en tension avec R :

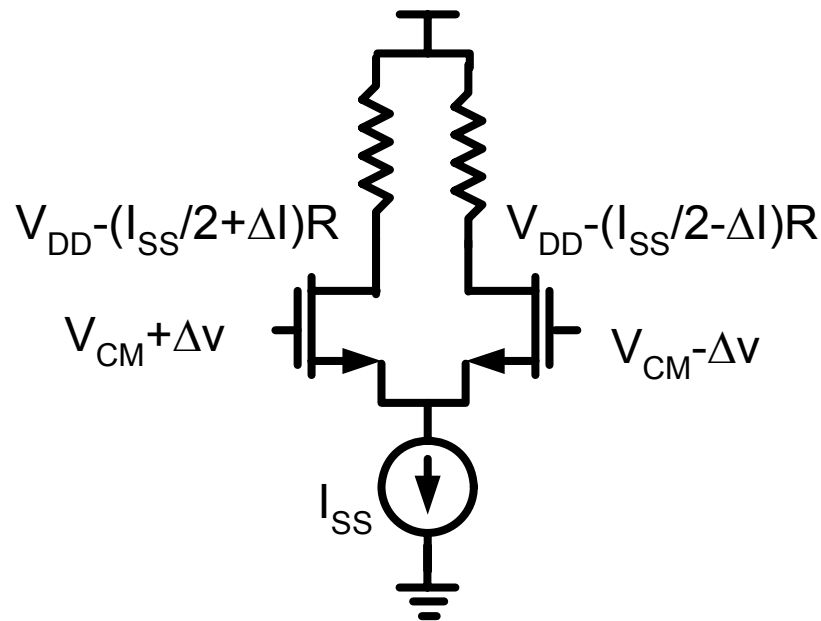


- En mode commun, la sortie DC est:



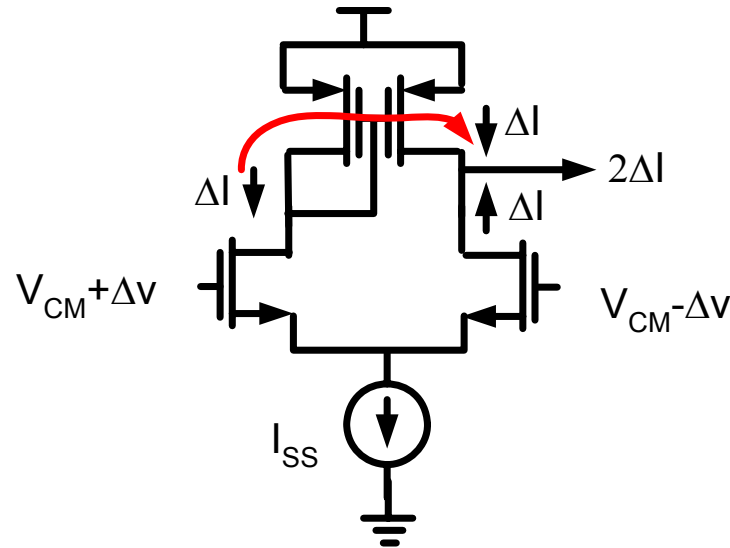
Amplificateurs différentiels

- Ajoutons un signal par dessus le V_{CM}
 - Ce sera le signal a amplifier
- En appliquant ΔV , on obtient ΔI
 - ΔI passe par R pour donner ΔV_{OUT}



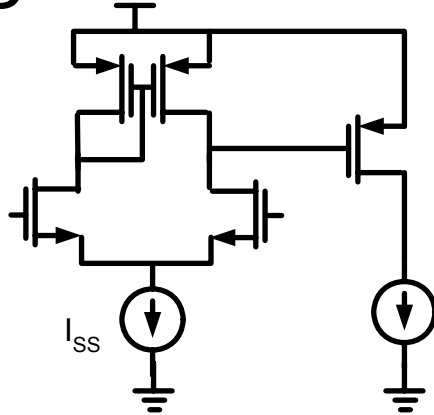
Amplificateurs différentiels

- Pour avoir une sortie simple avec miroir de courant:

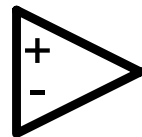


Ampli a 2 etages

- On peut combiner les etages pour augmenter le gain:

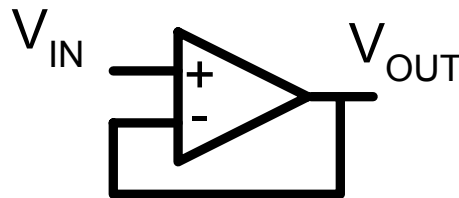


- Ca devient comme un ampli op ideal
 - Presque



Ampli a 2 etages

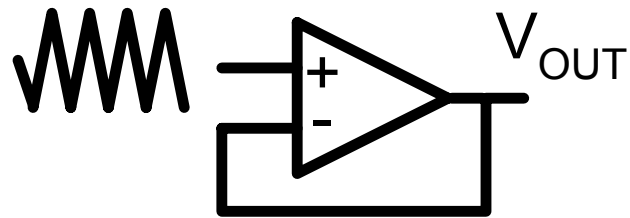
- En connectant un systeme en feedback negatif, il faut faire attention
 - L'ampli op pourrait mal fonctionner
- Cette configuration donne gain=1



- Si V_{IN} etait un signal qui monte
 - V_{IN} sera plus eleve que V_{OUT}
 $V_+ > V_-$ Donc, V_{OUT} augmente
 V_{OUT} augmente, donc v_- augmente jusqu'a ce que $V_+ = V_-$

Ampli a 2 etages

- Imaginez maintenant que l'entrée change vraiment rapidement:



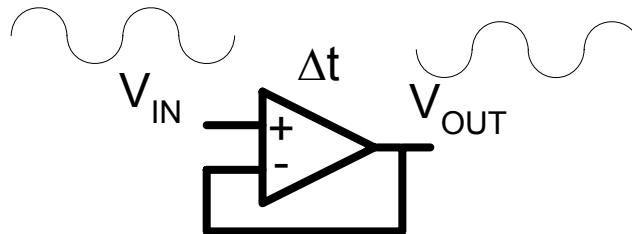
- Au debut, v_{in} descend: $v_+ < v_-$ v_{out} descend
 - Mais l'ampli n'est pas assez rapide
 - Il commence a descendre apres Δt
 - Mais a ce moment, v_{in} commence a monter

Si v_{out} descend et v_{in} monte, ca augmente la difference a la place de la diminuer

Feedback negatif devient feedback positif: systeme instable

Ampli a 2 etages

- Un ampli op a un delai Δt (s)
 - On peut aussi decire en DEPHASAGE (degres)
- Pour un buffer, $V_{OUT} = V_{IN}$
 - Si dephasage (delai) est 180 degres, on aura $V_{OUT} = -V_{IN}$
 - A la place de faire $A(V_+ - V_-)$, ca va faire $A(V_+ + V_+)$
 - Le systeme est instable

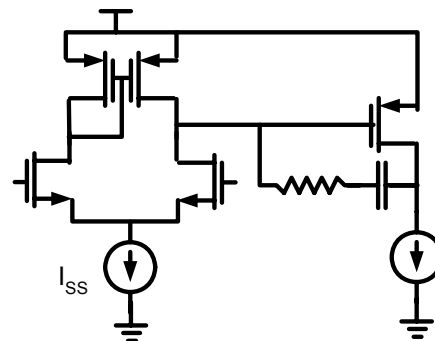


Ampli a 2 etages

- Si le gain n'est pas infini, le buffer aura un gain MOINS que 1
 - Plus le gain est faible, moins le gain sera
- Un ampli n'opere pas a des vitesses infinies: a haute frequence, gain baisse
 - Si le gain est moins que 1 a dephasage de 180 degres, notre systeme sera stable
 - Pour examiner ca, on dessine le diagramme de Bode (boucle ouverte!)

Ampli a 2 etages

- Pour stabiliser le systeme, on reduit la frequence de coupure:
 - Le gain sera beaucoup plus faible quand dephasage est 180 degres.
 - On fait ca avec capacite de Miller
- On met une resistance en serie pour attenuer les oscillations



Ampli a 2 etages

- Les ampli ops ont une resistance de sortie faible:
 - Notre ampli a 2 etages a R_{OUT} eleve
 - Pour avoir petit R_{OUT} , il faut un drain commun
 - Pour des applications typiques, on aime les etages de sorties de classe AB:
 - Bonne efficacite
 - Bonne linearite
- } Compare a A, B et C