

TRANSISTORS A EFFET DE CHAMP DE TYPE MOS

MOS de type N à enrichissement du canal

Fonctionnement et équations

MOS de type N à appauvrissement du canal

Fonctionnement et équations

Bilan : Comparaison entre les deux types de MOS canal N

Montages à transistors MOS

Réalisation d'une résistance active de valeur moyenne

Amplificateur source commune

Amplificateur différentiel

Amplificateur différentiel à charge active

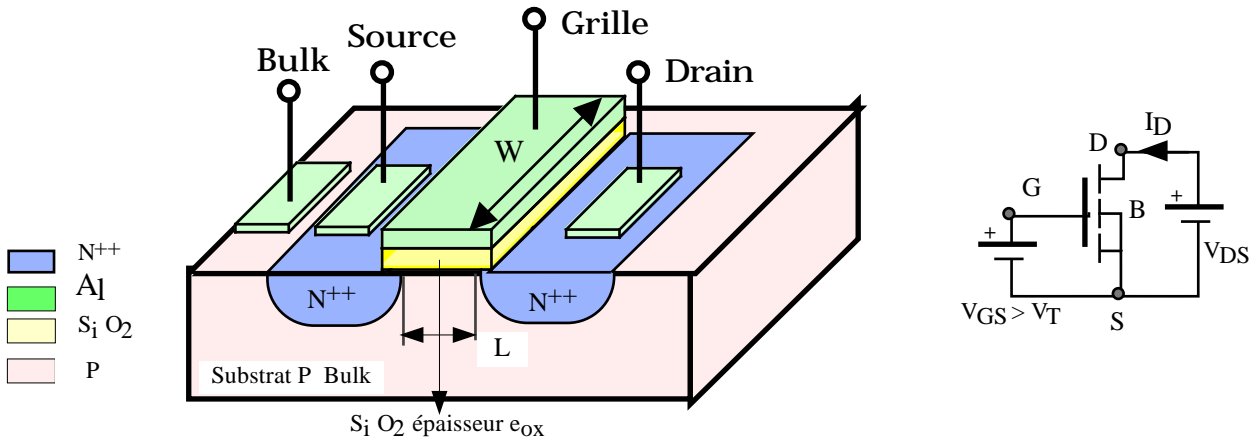
Inverseur logique CMOS

Commutateur analogique

MOS CANAL N TYPE "ENRICHISSEMENT"

Sur un substrat de silicium P (Bulk), sont aménagées deux diffusions distinctes de type N⁺⁺ formant le drain et la source du dispositif. Ces deux diffusions N⁺⁺ sont séparées par une zone P de surface (W.L) qui forme le canal du MOS. Ce canal est recouvert d'une mince couche d'oxyde de silicium e_{ox} de l'ordre de 10 nm qui est superposée d'une couche de métal ou de polysilicium appelée grille. L'ensemble grille, oxyde et canal forme alors une capacité C_{ox} par unité de surface telle que :

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{SiO_2}}{e_{ox}} \quad \text{avec : } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ F cm}^{-1} \text{ et } \epsilon_{SiO_2} = 3,9$$



Structure du MOS à enrichissement et symbole

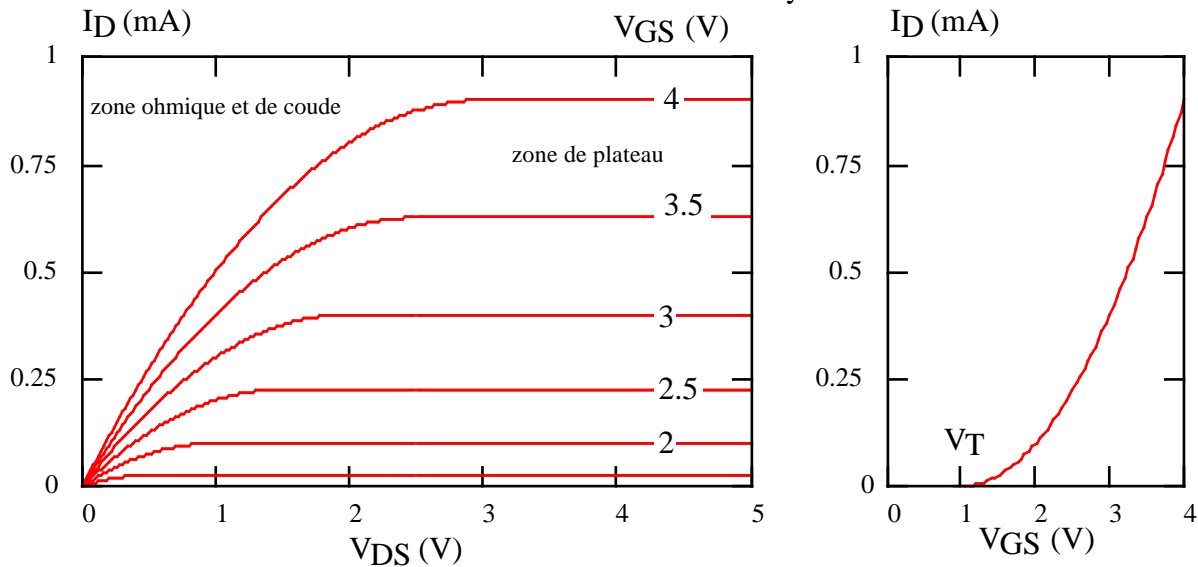


Figure 1 : Caractéristiques de sortie et de transfert MOS N enrichissement

Le bulk et la source étant reliées, on applique entre D et S une tension V_{DS} positive, constante et de valeur faible. Pour une tension V_{GS} nulle, le courant I_D est très faible car la jonction PN drain-substrat est polarisée en inverse :

Le transistor MOS à enrichissement est normalement bloqué pour V_{GS} nulle.

Pour une tension V_{GS} légèrement positive, une partie des trous dans la couche superficielle du canal, est repoussée dans le volume par le champ électrique créé par influence électrostatique. On définit alors une tension particulière de V_{GS}, nommée **tension de seuil V_T** pour laquelle tous les trous de la surface du SiP sont repoussés et remplacés par des électrons (porteurs minoritaires dans le SiP). Un canal induit, très mince de type N apparaît et le courant I_D commence à circuler entre drain et source (fig. 2).

Pour des tensions V_{GS} supérieures à la tension de seuil V_T, la couche inversée s'enrichit en électrons et le courant I_D s'accroît. On décrit alors la zone ohmique du composant : I_d est proportionnelle à V_{DS} faible.

Ensuite, au fur et à mesure que V_{DS} augmente, l'accroissement de I_D se ralentit. On décrit la zone de coude des caractéristiques. En effet la tension entre grille et bulk diminue en se rapprochant du drain selon la relation $Q = C V$ et le canal devient alors localement moins profond comme indiqué en figure 3. La résistance du canal augmente et cela d'autant plus que V_{DS} croît. Lorsque cette tension est telle que : $V_{DS} = V_{GS} - V_T = V_{DSAT}$, le courant I_D se sature (comme pour le JFET) et on atteint la zone de plateau des caractéristiques de sortie. Le MOS est alors, pour $V_{DS} > V_{DSAT}$, une source de courant dépendante de la tension V_{GS} .

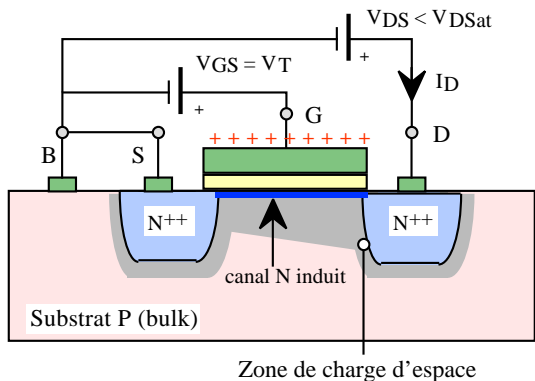


Figure 2

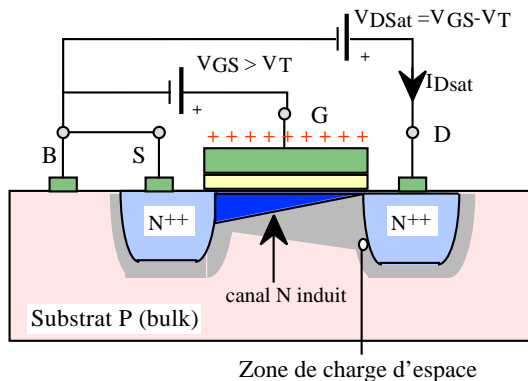


Figure 3

On distingue donc deux régions sur les caractéristiques de sortie $I_D = f(V_{DS})$ à V_{GS} constant :

- La zone ohmique et de coude pour $V_{DS} < V_{DSAT}$ où : $I_D = K \left[2(V_{GS} - V_T) V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$
- La zone de saturation du courant de drain I_D pour $V_{DS} > V_{DSAT}$ où :

$$I_D = K (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS}) \text{ avec } K = \frac{\mu C_{ox} W}{2 L}$$

Le coefficient K est un paramètre caractéristique du MOS qui dépend de la géométrie du canal (W , C_{ox} et L) et de la mobilité μ des porteurs. Le paramètre λ rend compte de la résistance interne de la source de courant I_D dépendante (identique à l'effet Early pour le transistor bipolaire).

Remarque : dans un circuit intégré, le produit μC_{ox} est le même pour tous les transistors de type identique (N ou P) qui se distinguent seulement par les dimensions du canal W et L . Cette propriété est exploitée dans les circuit intégrés utilisant les transistors MOS.

MOS CANAL N TYPE “APPAUVRISSEMENT”

La structure des transistors MOS à appauvrissement ressemble à celle d'un transistor MOS canal N à enrichissement. Cependant pour ce dispositif, un canal N entre drain et source est créé par implantation ionique lors de la fabrication du composant (fig. 4).

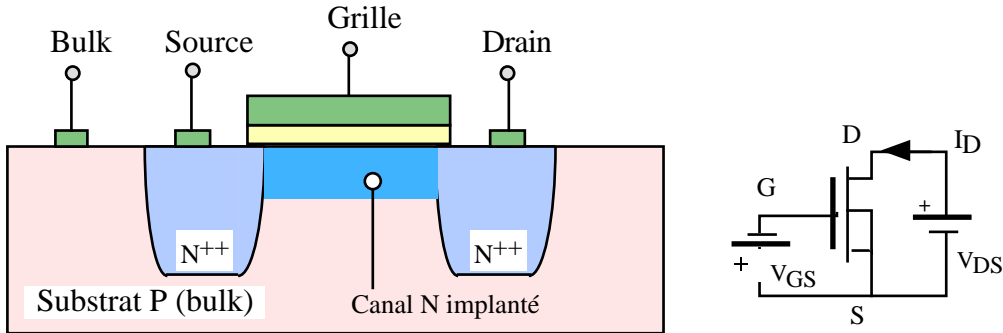


Figure 4 : Structure du MOS N appauvrissement et symbole

Le MOS N “appauvrissement” est normalement conducteur pour $V_{GS} = 0V$.

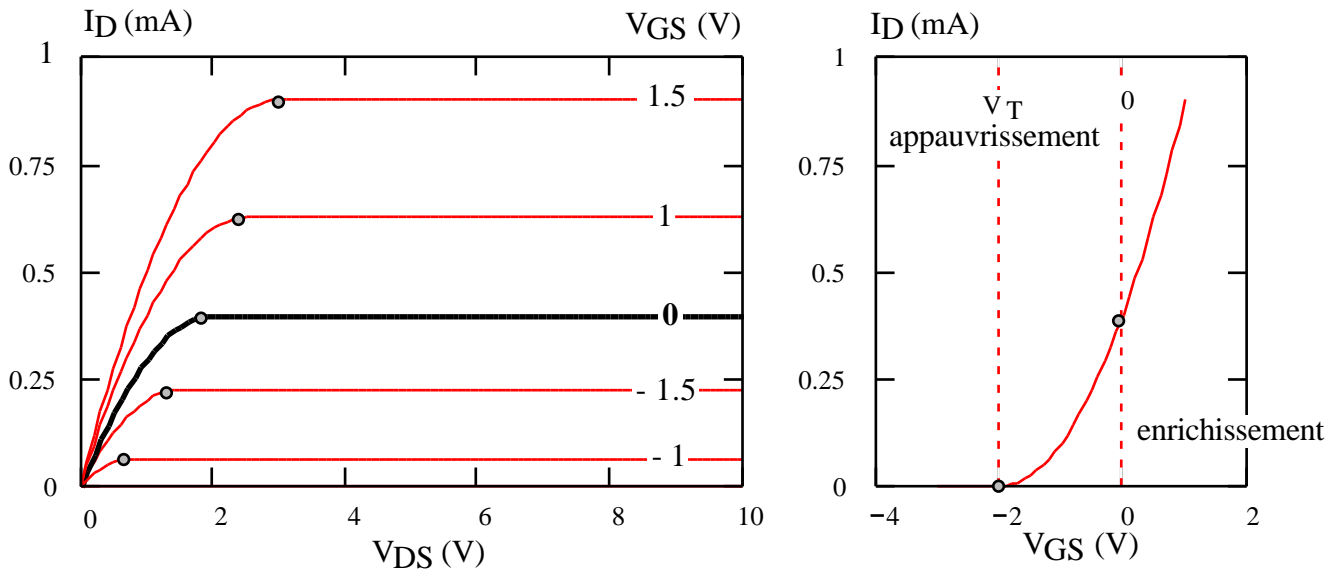


Figure 5 : Caractéristiques de sortie et de transfert MOS N appauvrissement

Pour rétrécir le canal, il faut l’appauvrir en électrons, en repoussant ces porteurs par une tension V_{GS} négative. Pour une tension $V_{GS} = V_T$ (tension de seuil négative) il se rétrécit complètement et le MOS est bloqué. Son fonctionnement (figures 5 et 6) est tout à fait analogue à celui du JFET canal N avec une Z.C.E. à géométrie variable par influence électrostatique (au lieu d’une Z.C.E. d’une jonction bloquée).

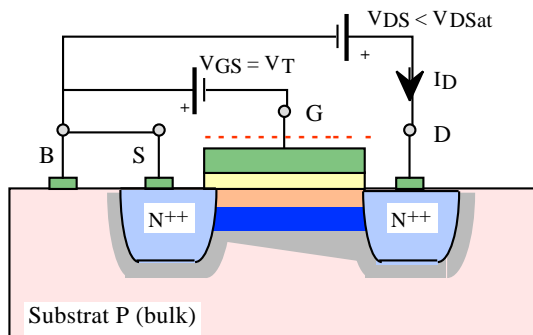


Figure 5

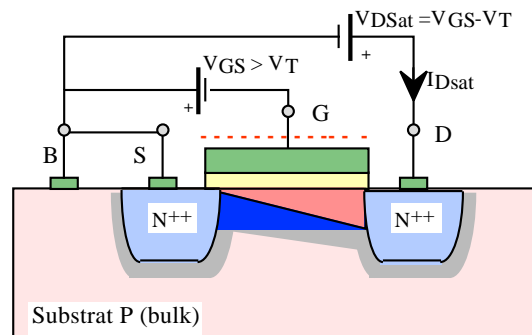


Figure 6

Pour la zone de saturation du courant de drain I_D lorsque : $V_{DS} = V_{DSAT} = V_{GS} - V_T$, l’évolution du courant de drain est encore donnée par l’équation :

$$I_D = K (V_{GS} - V_T)^2 (1 + V_{DS}) \text{ avec : } K = \frac{\mu C_{ox} W}{2 L}$$

Remarque : La tension V_{GS} peut être positive et dans ces conditions le transistor Mos entre dans une zone dite : mode “enrichissement”.

BILAN : MOS CANAL N

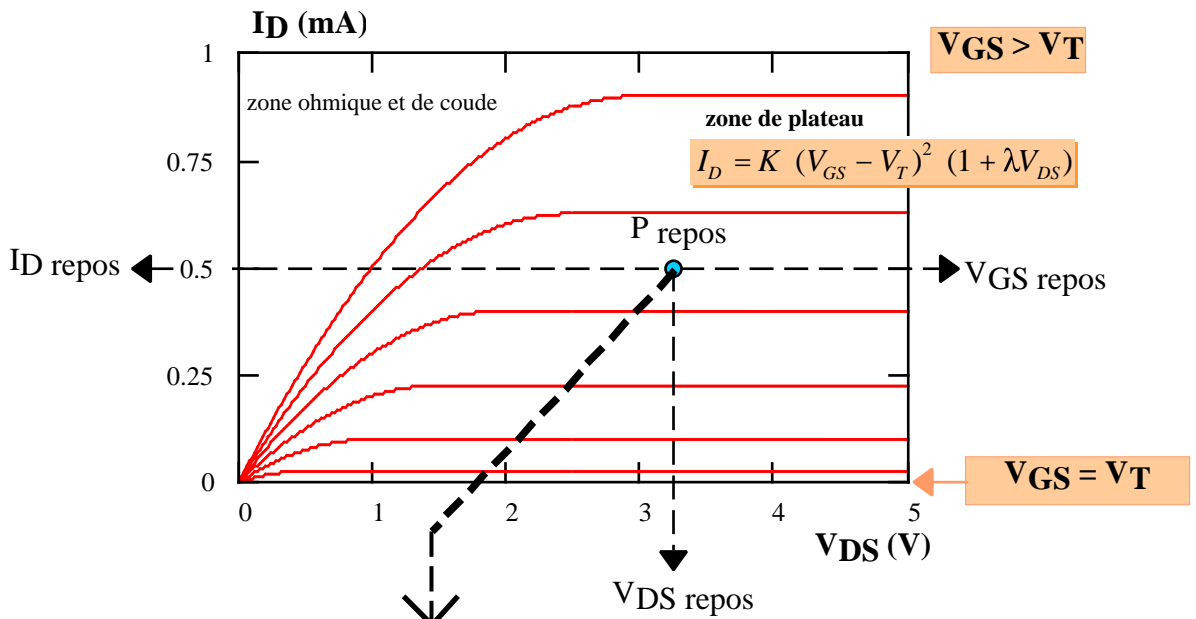
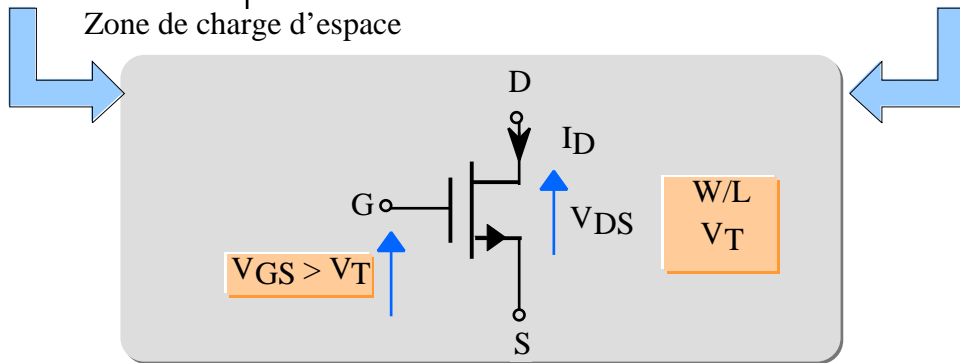
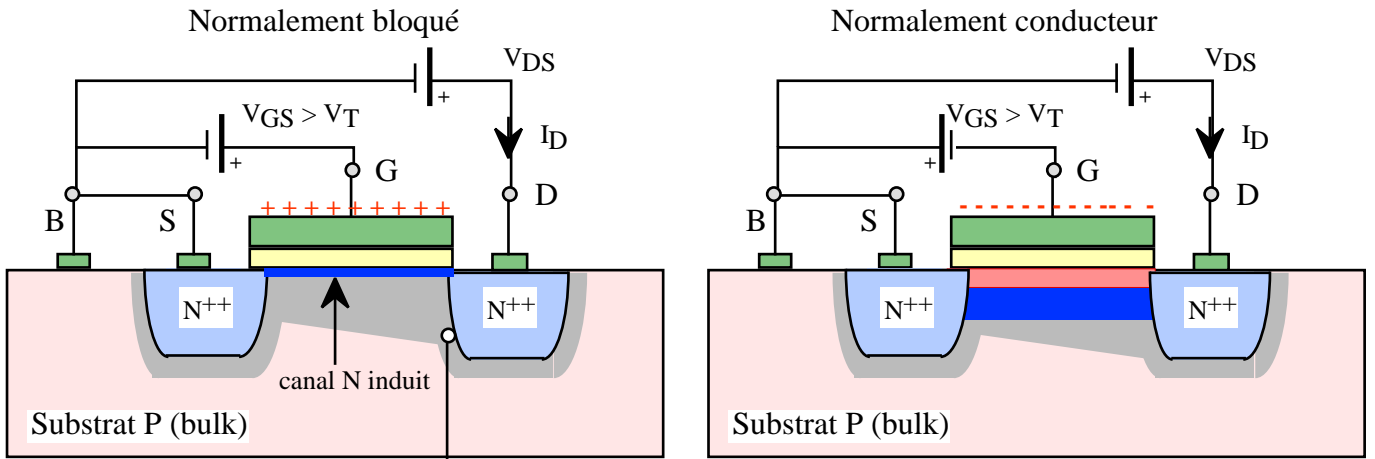


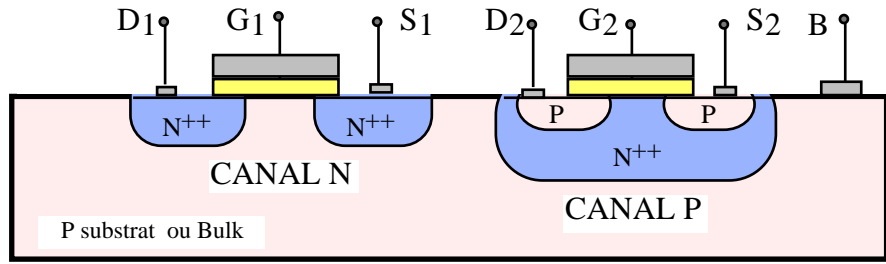
Schéma équivalent autour de P_{repos}

$$g_m = \left(\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right)_{V_{SD} \text{ cte}} = 2\sqrt{K I_{D \text{ repos}} (1 + \lambda V_{DS \text{ repos}})}$$

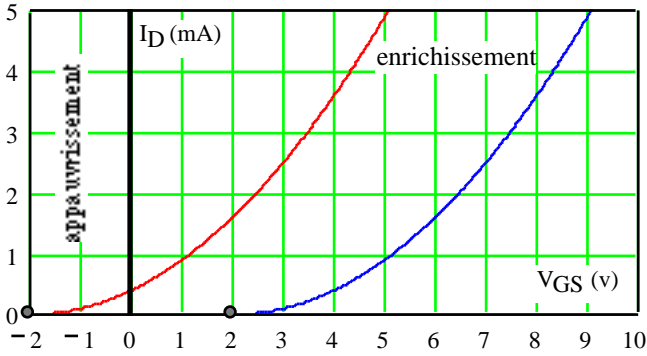
$$K = \mu_n \frac{C_{ox} W}{2 L}$$

$$r_{ds} = \left(\frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D} \right)_{V_{SD} \text{ cte}} = \frac{1 + \lambda V_{DS \text{ repos}}}{\lambda I_{D \text{ repos}}}$$

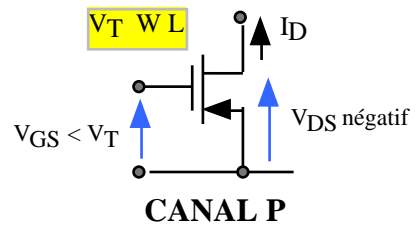
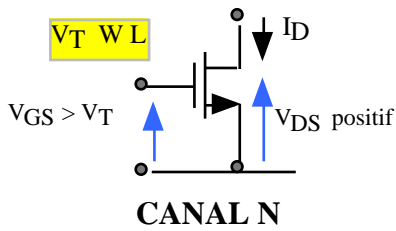
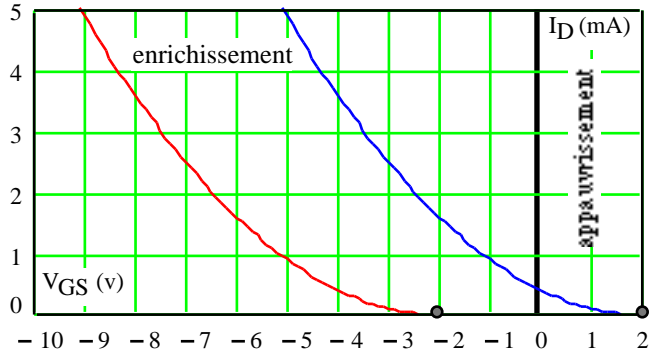
TRANSISTORS MOS CANAL N ET P APPAUVRISSEMENT ET ENRICHISSEMENT



Caractéristique de transfert canal N

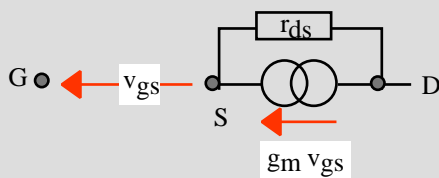


Caractéristique de transfert canal P



Zone de saturation : $V_{DS} > V_{DSAT}$: $I_D = K (V_{GS} - V_T)^2 (1 + |\lambda V_{DS}|)$

$$K = \mu_{n(oup)} \frac{C_{ox}}{2} \frac{W}{L}$$



Shéma équivalent autour de Prepos

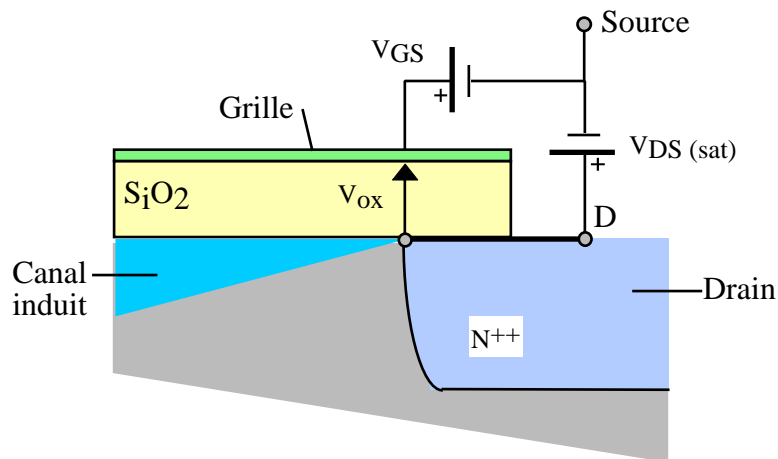
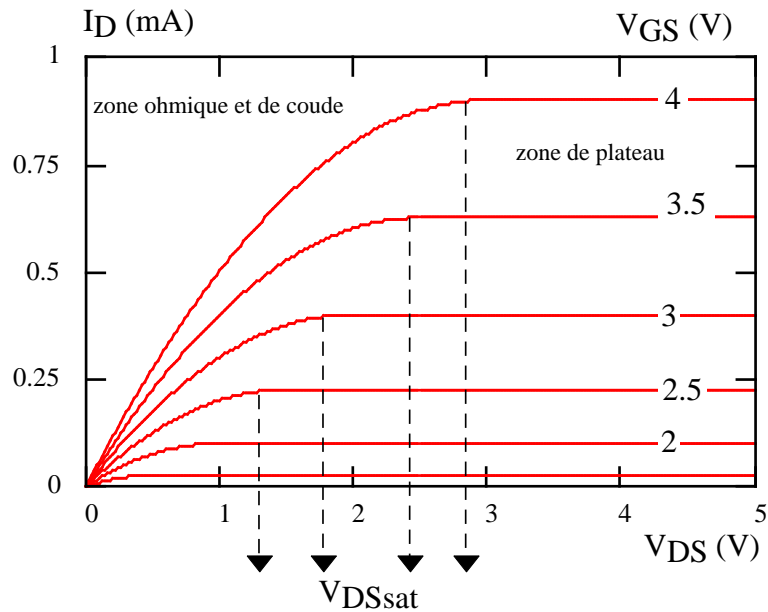
$$g_m = 2\sqrt{K I_{D_{repos}} (1 + |\lambda V_{DS_{repos}}|)}$$

$$K = \mu_n \frac{C_{ox}}{2} \frac{W}{L}$$

$$r_{ds} = \frac{1 + |\lambda V_{DS_{repos}}|}{|\lambda| I_{D_{repos}}}$$

TRANSISTOR MOS CANAL N NORMALEMENT BLOQUE (ENRICHISSEMENT)

Expression de la tension drain source de saturation

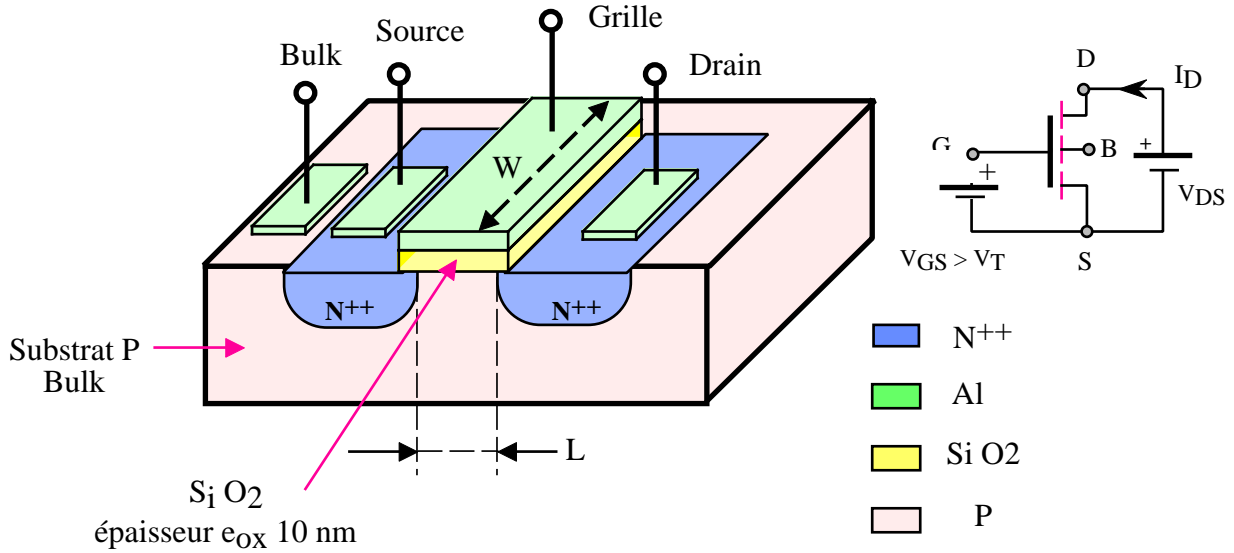


Pour une tension V_{GS} donnée, lorsque la tension entre drain et source atteint V_{DS} de saturation, le canal induit est localement pincé. Dans ces conditions, la tension locale V_{OX} aux bornes de l'oxyde de silicium est égale à la tension de seuil V_T du MOS.

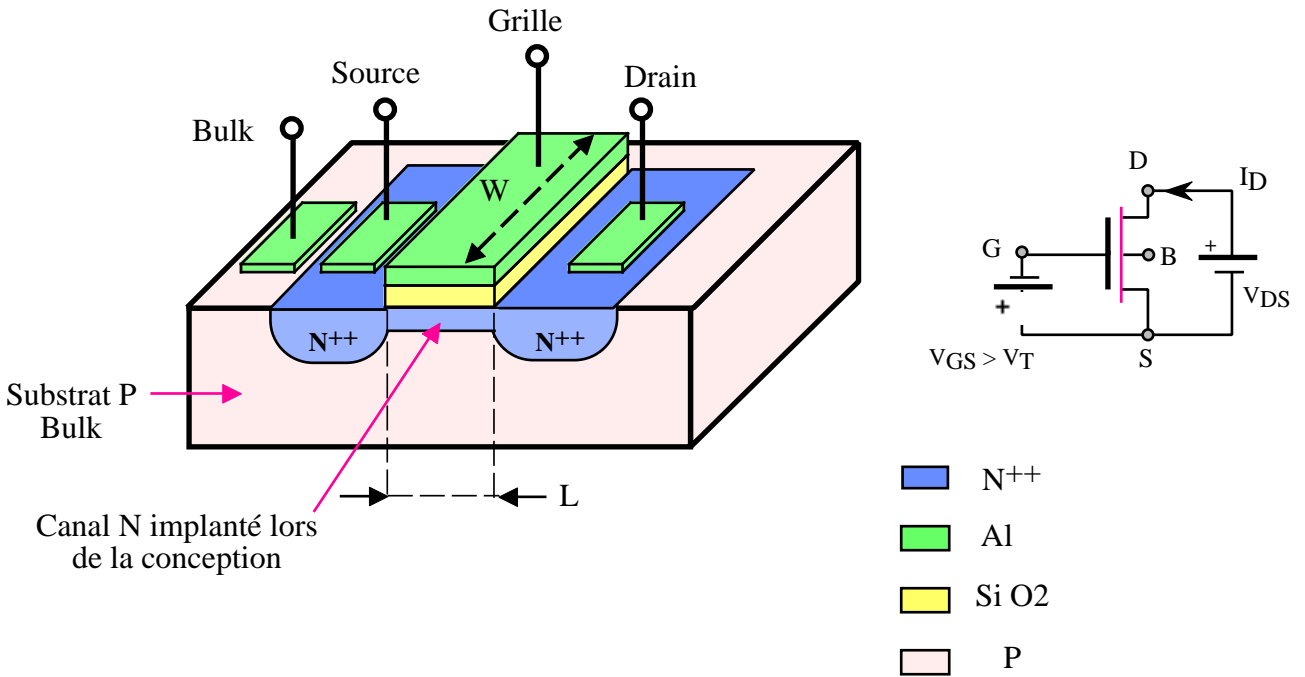
$$V_{OX} = V_T = V_{GS} - V_{DS}(sat)$$

$$V_{DS}(sat) = V_{GS} - V_T$$

TRANSISTOR MOS CANAL N À ENRICHISSEMENT
normalement bloqué $V_{GS} = 0\text{ V}$

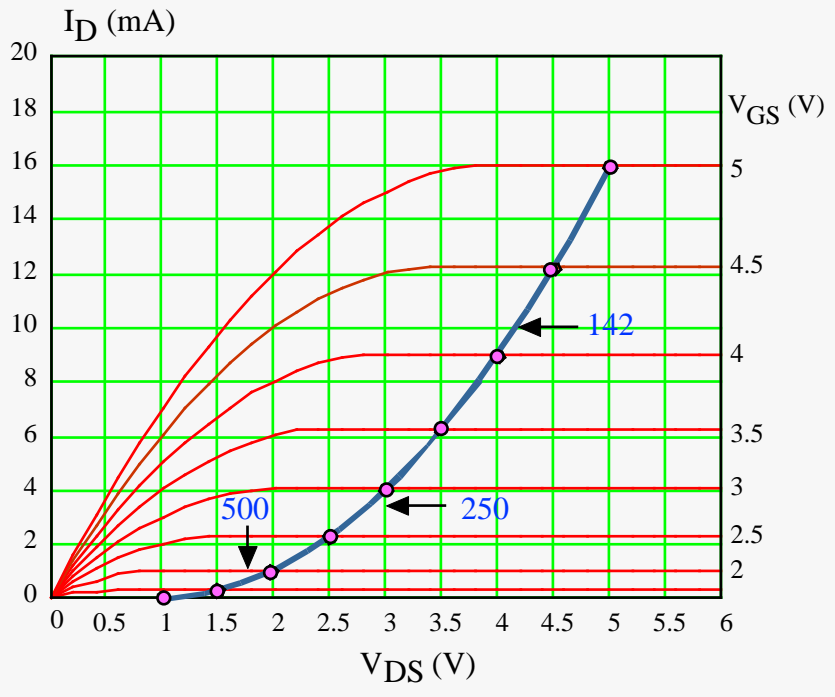
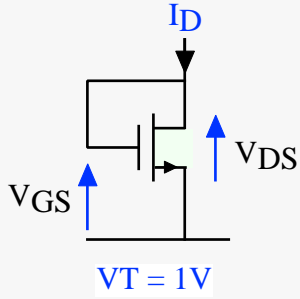


TRANSISTOR MOS CANAL N À APPAUVRISSEMENT
normalement conducteur pour $V_{GS} = 0\text{ V}$

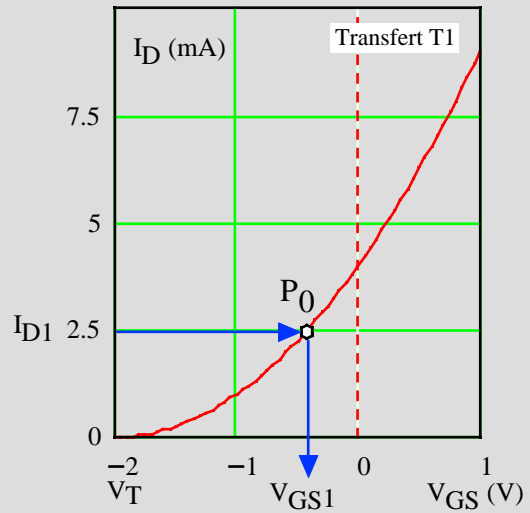
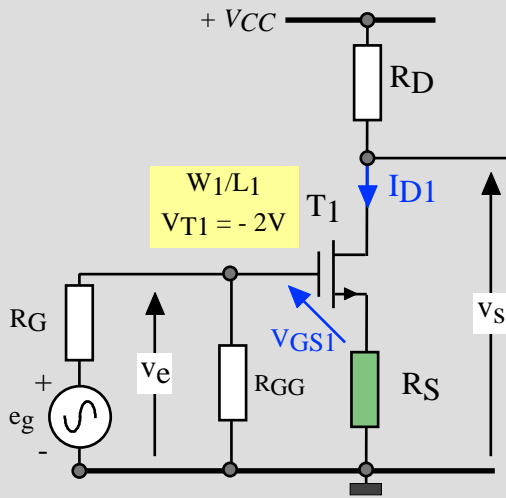


MONTAGES A TANSISTORS A EFFET DE CHAMP DE TYPE MOS

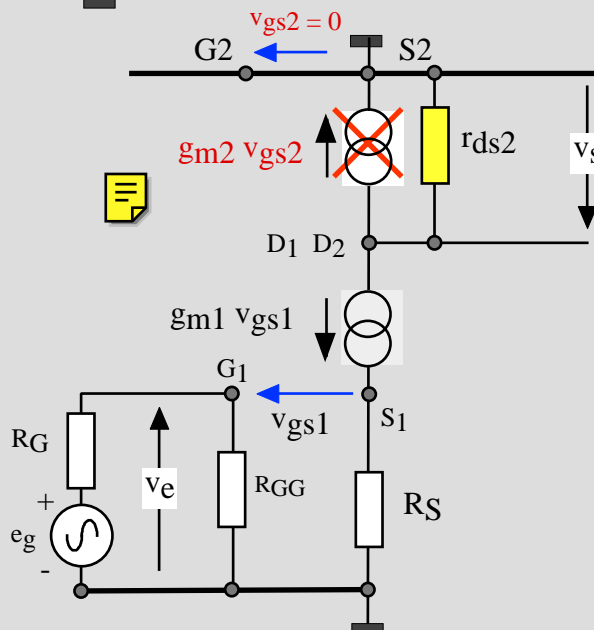
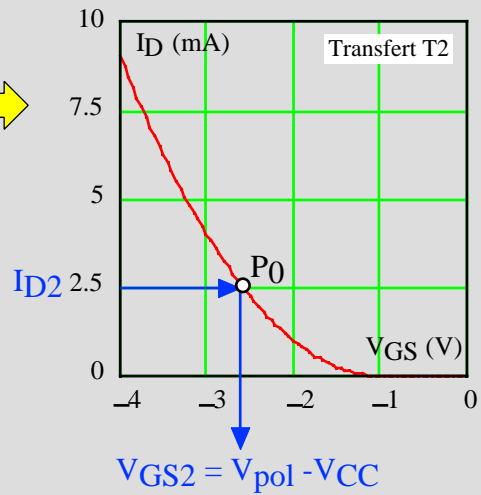
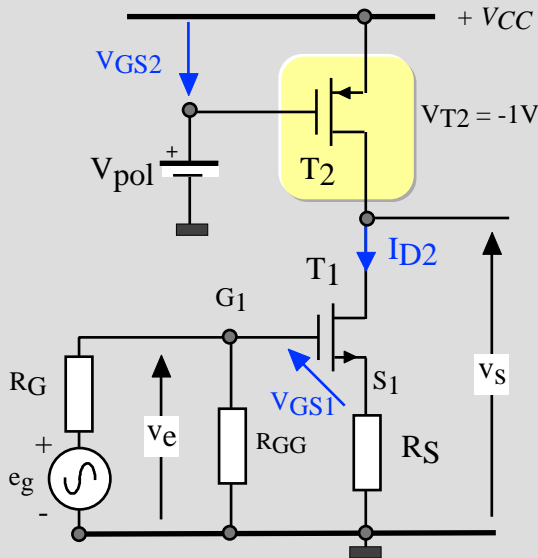
REALISATION D'UNE RÉSISTANCE DE VALEUR MOYENNE MOS CANAL N normalement bloqué



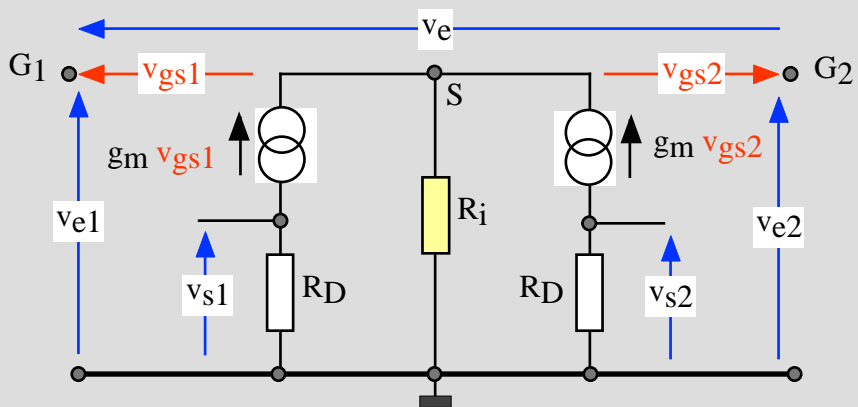
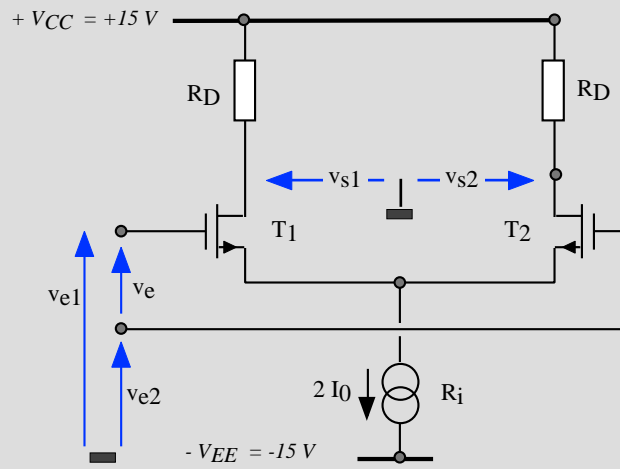
AMPLIFICATEUR SOURCE COMMUNE MOS CANAL N NORMALEMENT CONDUCTEUR



AMPLIFICATEUR SOURCE COMMUNE CHARGE ACTIVE (canal P normalement bloqué)



AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL : MONTAGE CONVENTIONNEL



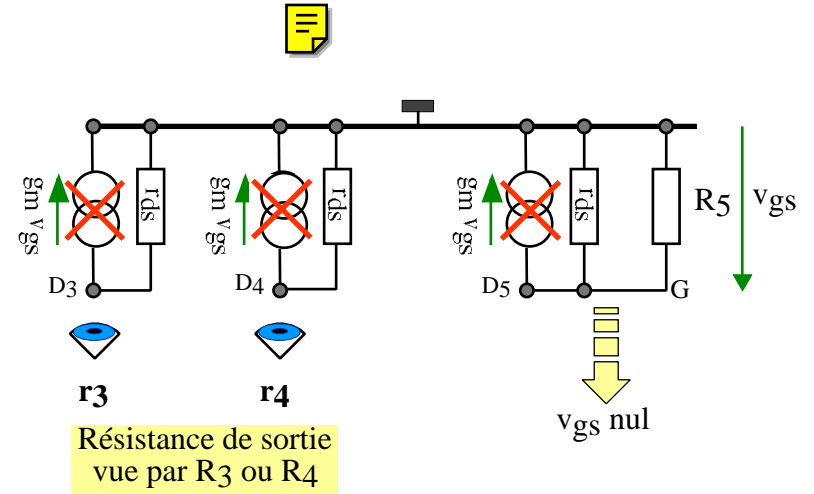
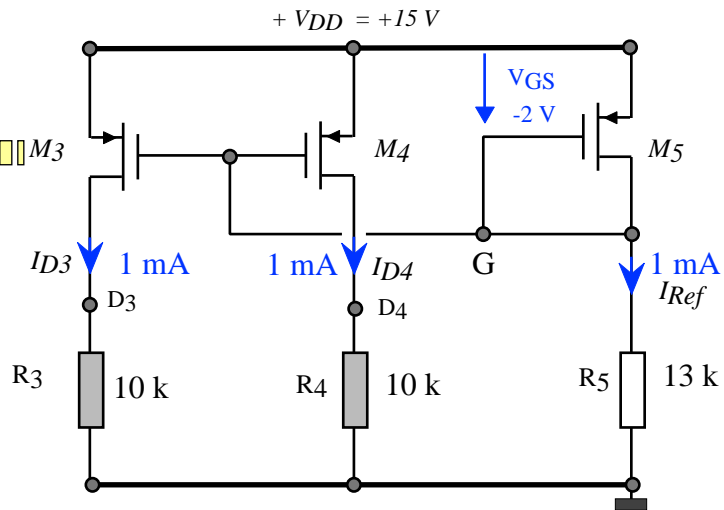
$$A_d = \frac{v_{s1} - v_{s2}}{v_{e1} - v_{e2}} = -g_m R_D$$

$$A_d = \frac{v_{s1} + v_{s2}}{v_{e1} + v_{e2}} = \frac{-g_m R_D}{1 + 2 g_m R_i}$$

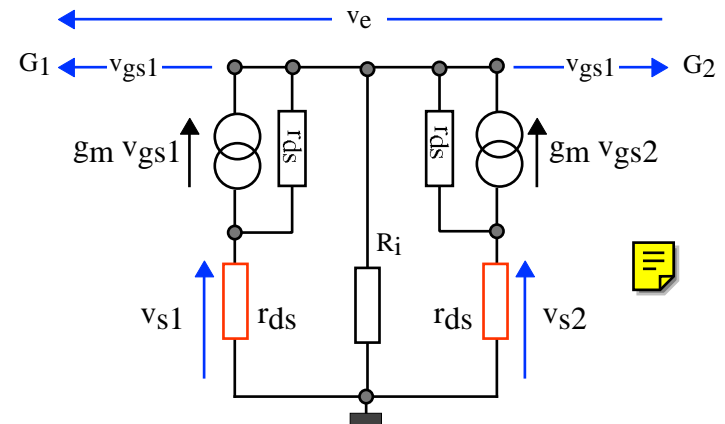
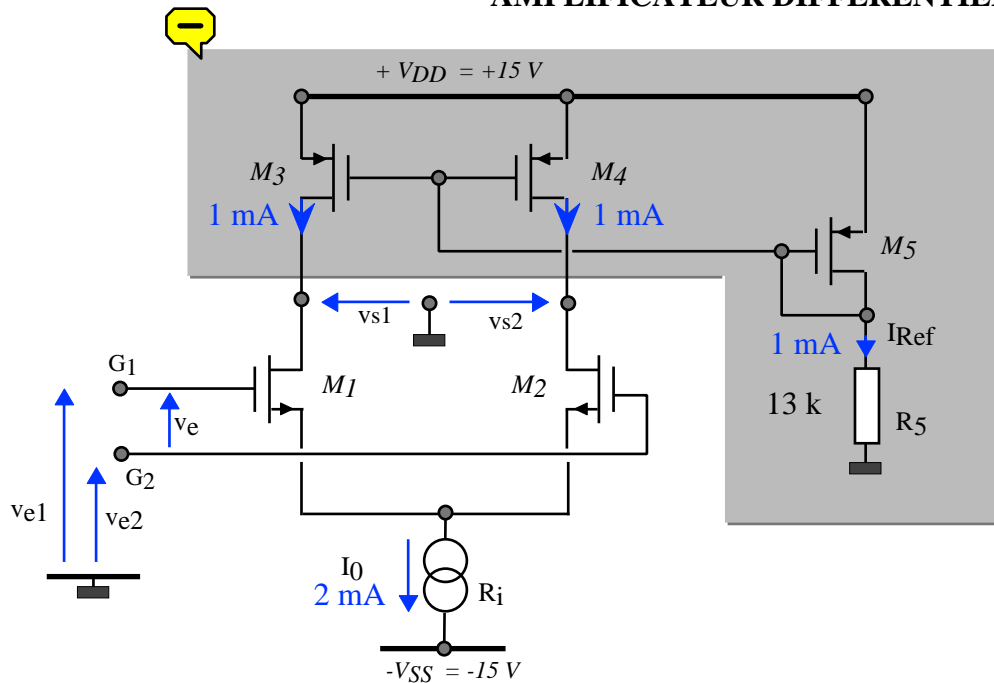
$$R.R.M.C. \quad \frac{R_D}{2R_i}$$

MONTAGE RECOPIEUR DE COURANT

MOS canal P
normalement bloqué
 $V_t = -1 \text{ V}$ $K = 1 \text{ mA/V}^2$
 $I_{D0} = 1 \text{ mA}$ $V_{GS0} = -2 \text{ V}$
 $g_m = 2 \text{ mS}$
 $r_{ds} = 1 \text{ M}$

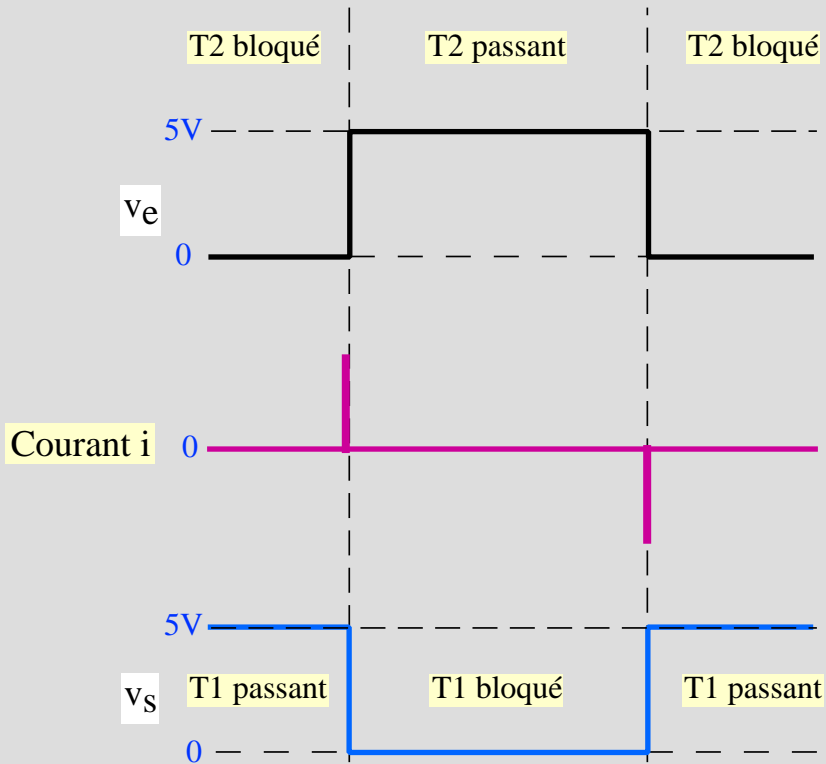
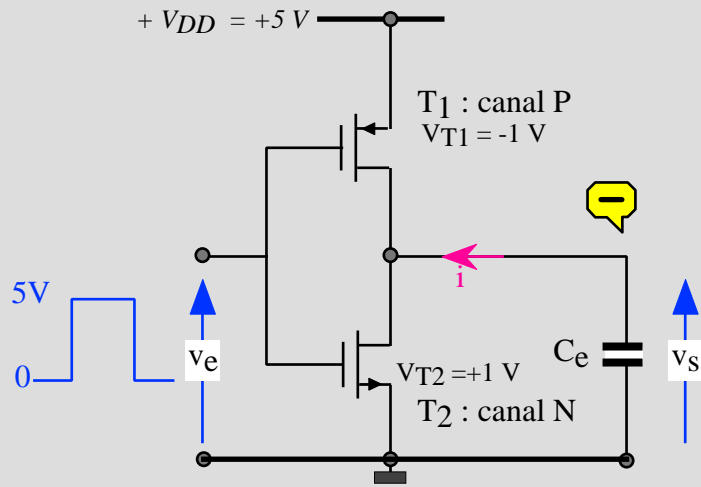


AMPLIFICATEUR DIFFERENTIEL A CHARGE ACTIVE



$$A_d = -g_m \frac{r_{ds}}{2} = -1000$$

INVERSEUR LOGIQUE CMOS



COMMUTATEUR (PORTE ANALOGIQUE)

