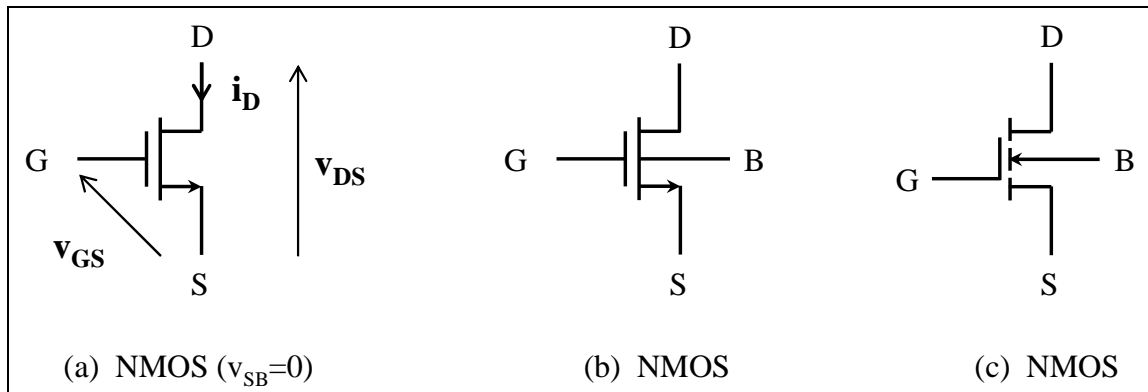


MOSFET canal N.



Symboles du MOSFET canal N (NMOS) – D : drain, G : grille, S : source, B : substrat (body)
 (a) symbole simplifié lorsque la source est directement connectée au substrat ($v_{SB}=0$)
 (b) symbole usuel complet (pour $v_{SB}\neq 0$)
 (c) symbole normalisé

Transistor bloqué

$$v_{GS} \leq 0 \Rightarrow i_D = 0$$

on a toujours :
 $i_G = 0$



Inversion faible

$$V_{OV} \leq 0 \quad (v_{GS} \leq V_{tn}) \Rightarrow i_D \approx 0$$

Inversion forte, régime triode

$$V_{OV} \geq 0 \quad (v_{GS} \geq V_{tn}) \text{ et } v_{DS} \leq V_{OV} \Rightarrow i_D = k'_n \cdot (W/L) \cdot [(v_{GS} - V_{tn}) \cdot v_{DS} - v_{DS}^2 / 2]$$

Inversion forte, régime saturé

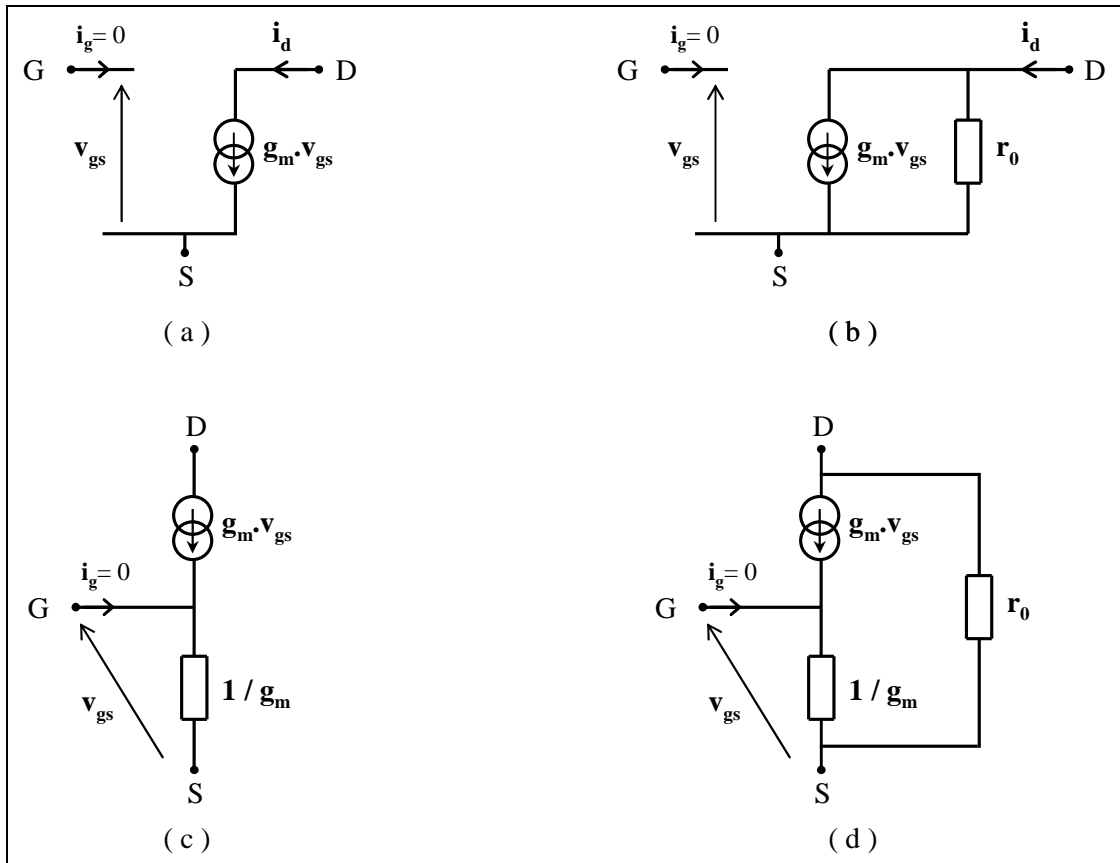
$$V_{OV} \geq 0 \text{ et } v_{DS} \geq V_{OV} \Rightarrow i_D = 1/2 \cdot k'_n \cdot (W/L) \cdot (v_{GS} - V_{tn})^2 \cdot (1 + \lambda \cdot v_{DS})$$

Avec :

V_{tn}	tension de seuil du NMOS	[V]
$V_{OV} = v_{GS} - V_{tn}$	tension d' <i>overdrive</i>	[V]
$k'_n = \mu_n \cdot C_{ox}$	facteur de gain du NMOS	[A/V ²]
μ_n	mobilité des électrons	[cm ² /Vs]
C_{ox}	capacité surfacique de grille	[F/m ²]
W	largeur de grille du transistor	[μ m]
L	longueur de grille du transistor	[μ m]
$\lambda = 1/V_A$	modulation de la longueur du canal	[V ⁻¹]
V_A	tension d' <i>Early</i> ¹	[V]

¹ Attention, il s'agit là d'un abus de langage, le phénomène physique de modulation de la longueur du canal est différent de l'effet Early mis en évidence par J.M. Early dans les transistors bipolaires.

Modélisation petits signaux (régime saturé, $v_{gs} \ll 2 \cdot V_{OV}$, basse fréquence) :



(a) modèle p.s. NMOS, (b) incluant la résistance de sortie, (c) (d) modèle en T

$$g_m = \left(\frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right)_{v_{DS}=cte} \quad \text{transconductance du transistor} \quad [A/V]$$

$$g_m = k'_n \cdot (W/L) \cdot (V_{GS} - V_{tn})$$

$$g_m = 2I_D / (V_{GS} - V_{tn})$$

(avec V_{GS} la tension grille-source de polarisation et I_D le courant de polarisation)

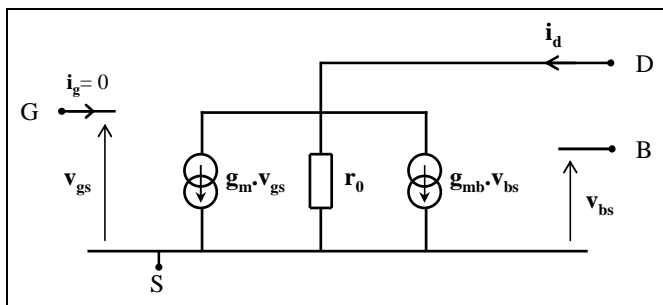
$$r_o = \left(\frac{\partial v_{DS}}{\partial i_D} \right)_{v_{GS}=cte} \quad \text{résistance de sortie} \quad [\Omega]$$

$$r_o = 1 / (\lambda \cdot I_D) = V_A / I_D$$

Les paramètres du modèle p.s. dépendent du point de polarisation



Effet de substrat (body effect) :



$$g_{mb} = \chi \cdot g_m \quad [A/V]$$

χ de l'ordre de 0,1 à 0,3

Tension de seuil :

$$V_t = V_{t0} + \gamma \left(\sqrt{2\phi_f + |V_{SB}|} - \sqrt{2\phi_f} \right)$$

Prise en compte du **body effect** dans le modèle p.s.

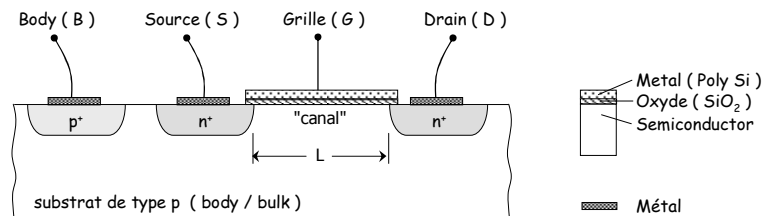
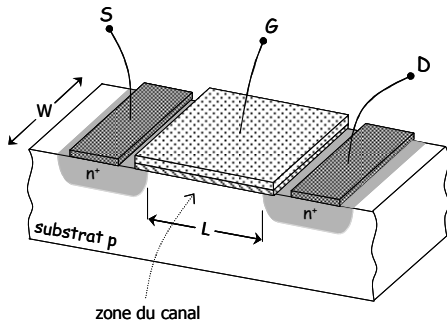
→ B : "2^{ème} grille"

Divers :

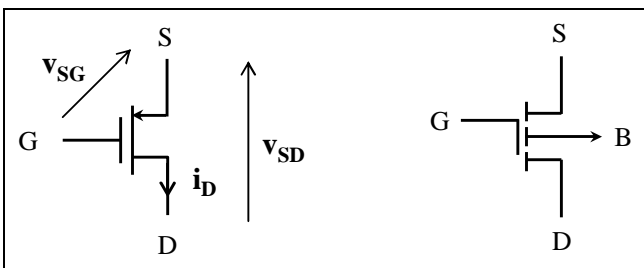
$C_{ox} = \epsilon_{ox}/t_{ox}$ t_{ox} épaisseur de l'oxyde de grille

$\epsilon_0 = 8,854.10^{-12}$ [F/m] $\epsilon_{ox} = 3,9. \epsilon_0$ $\epsilon_{Si} = 11,7. \epsilon_0$ $q = 1,60.10^{-19}$ [C]

Géométrie NMOS :



MOSFET canal P



Equations : remplacer v_{DS} par v_{SD} , v_{GS} par v_{SG} , V_{tn} par $-V_{tp}$ (pour les PMOS $V_{tp} < 0$) et k'_n par k'_p . On remarquera que le courant i_D est pris entrant par le drain D pour le NMOS et sortant par le drain pour le PMOS.

Symboles usuel et complet du PMOS.

Précision des équations :

Les équations données dans cette fiche de rappel sont une modélisation au 1^{er} ordre du comportement des MOS, c'est-à-dire qu'elles sont relativement inexactes. Leur rôle est de permettre un calcul *manuel* approché, le recours à un logiciel de simulation (type Spice) permet d'obtenir des résultats plus exacts.