

LE TRANSISTOR MOS

Introduction

Description structurelle

Description comportementale

Quelques développements Analytiques

Exemples d'utilisation

INTRODUCTION

Avant

Transistor à effet de champ:

- Connue bien avant le bipolaire

Technologie difficile à maîtriser

- V_T

Réponse en fréquence loin d'atteindre les performances actuelles

- très dépendante des dimensions géométriques
- du processus de fabrication

Actuellement

Technologie MOS mieux maîtrisée

Technologie MOS supplante Bipolaire:

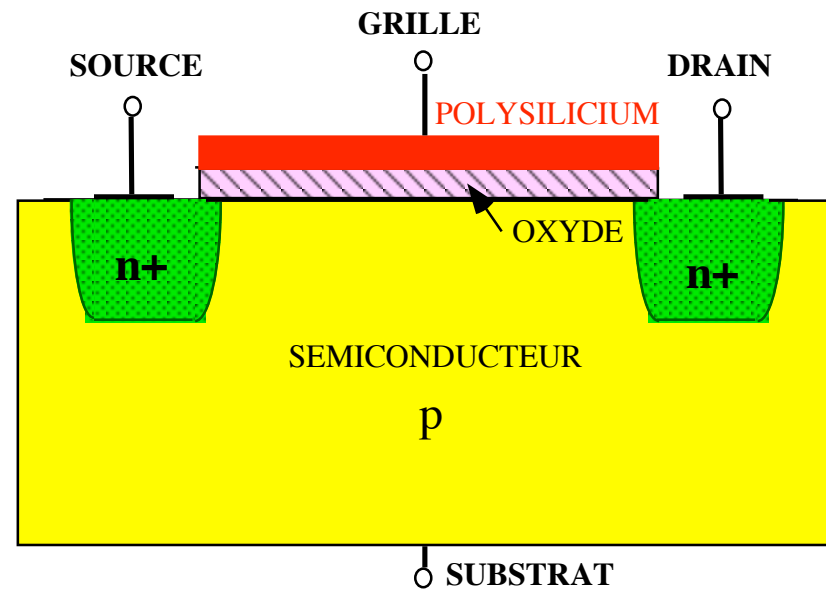
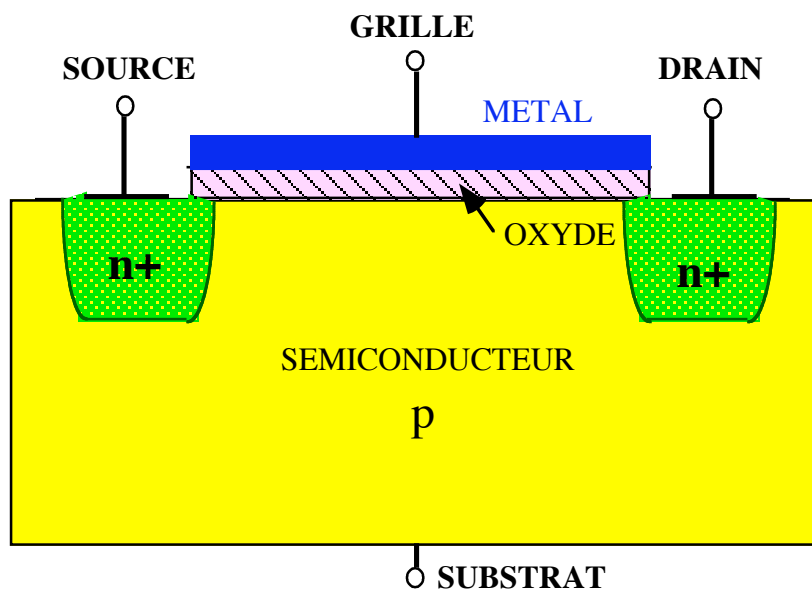
- Circuits logiques intégrés VLSI
- Certaines fonctions analogiques.

Avantages du MOS vis-à-vis du bipolaire

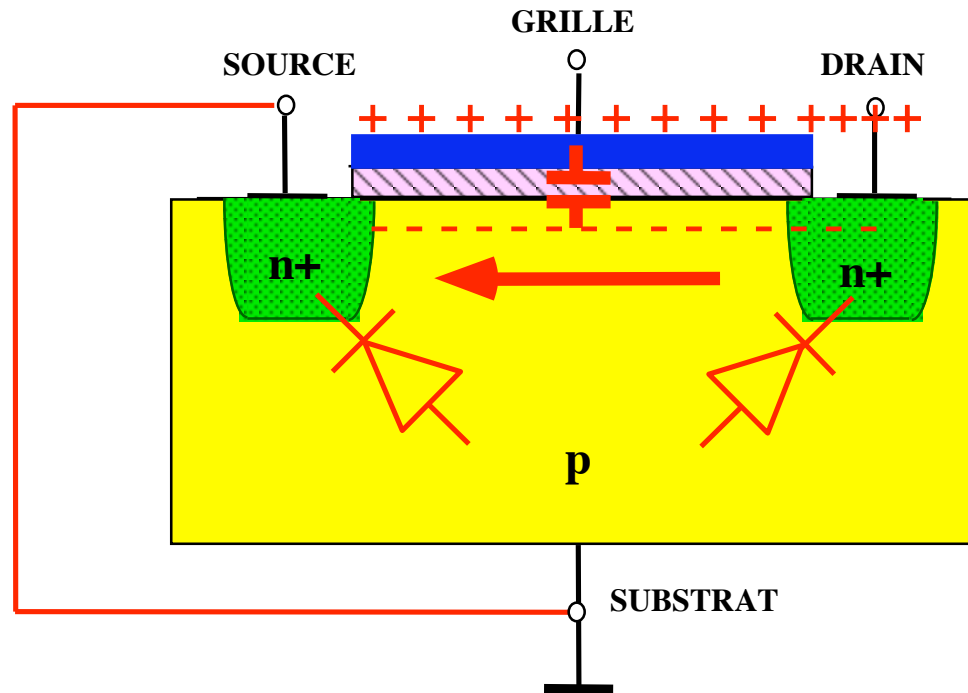
Coût technologique	{ Structure très simple (plus de 10^9 transistors sur 1 puce) Surface réduite Isolation naturelle <ul style="list-style-type: none">- Composants vis-à-vis des composants voisins,- Pas de "caissons d'isolation"☒ Limitation du nombre d'étapes de fabrication
Coût de conception	{ Structure très simple (BIS)
Coût d'exploitation	{ Consommation très faible <ul style="list-style-type: none">- En particulier pour les circuits CMOS
Divers	{ Très haute impédance d'entrée. Possibilité de réaliser des fonctions complexes <ul style="list-style-type: none">- Moins de composants que les bipolaires- Exemple : les mémoires dynamiques

Description structurelle

MOS : Metal Oxide Semiconductor Grille Metal ou Polysilicium



Caractéristiques électriques



MOS à Canal N

Oxyde fin

Capacité $\rightarrow I_G = 0$

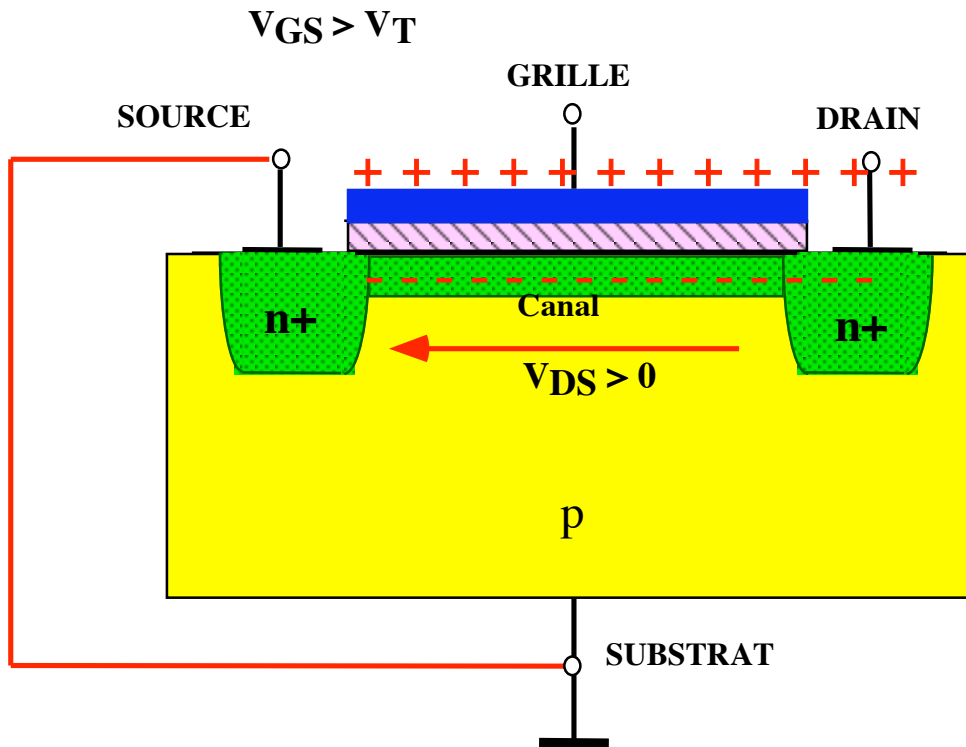
Dispositif symétrique

Diodes polarisées en inverse

Souvent, Source reliée au substrat

Champ V_{DS} implique courant I_{DS}

Principe de fonctionnement



Principe

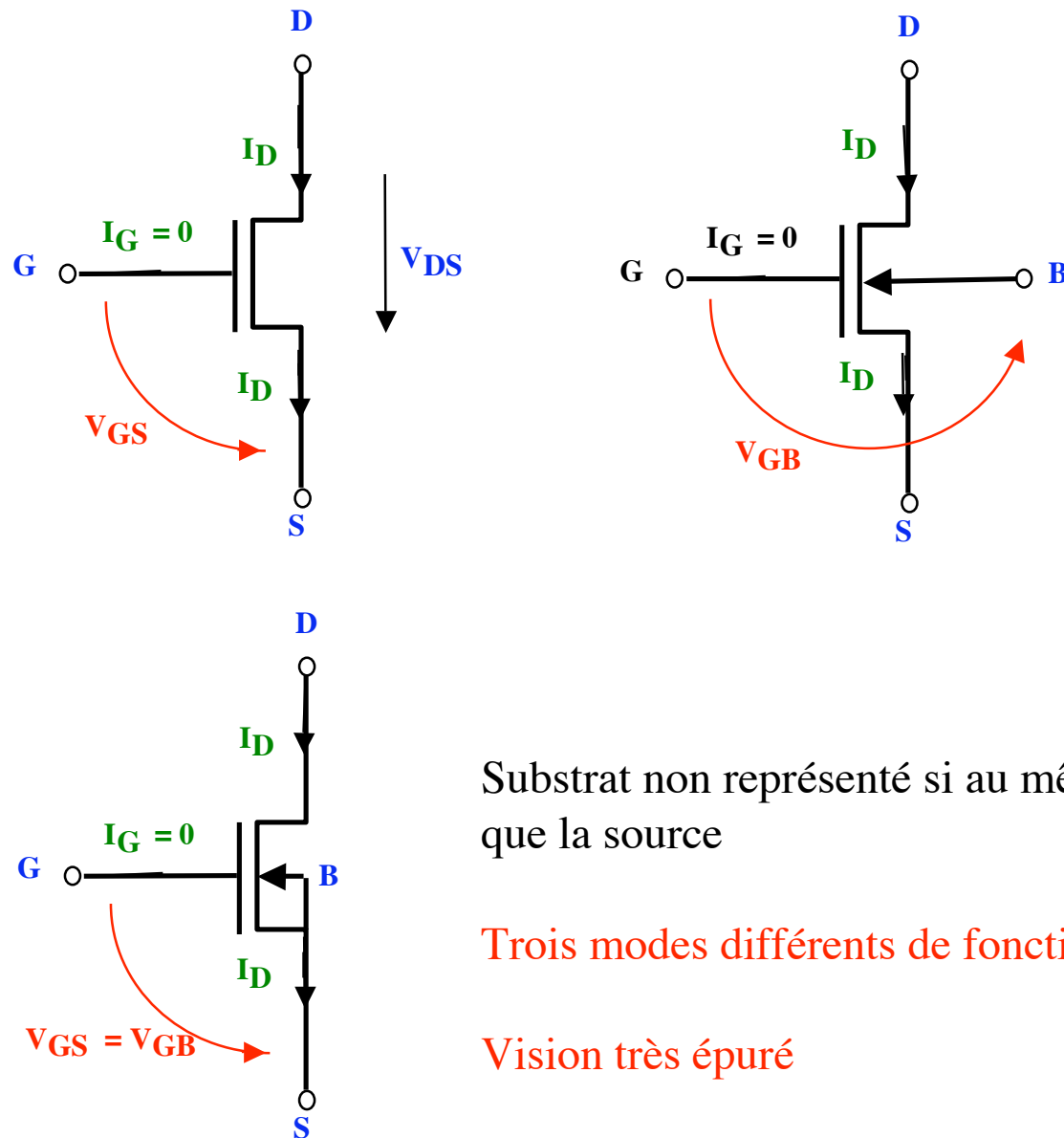
$$V_{GB} > V_T$$

- Accumulation de charge à l'interface SiO_2
- Apparition d'un canal N

Champ électrique entre Drain et Source

- Déplacement d'électrons dans le Canal N
- Courant I_{DS}

Symbole électrique d'un transistor MOS à canal n

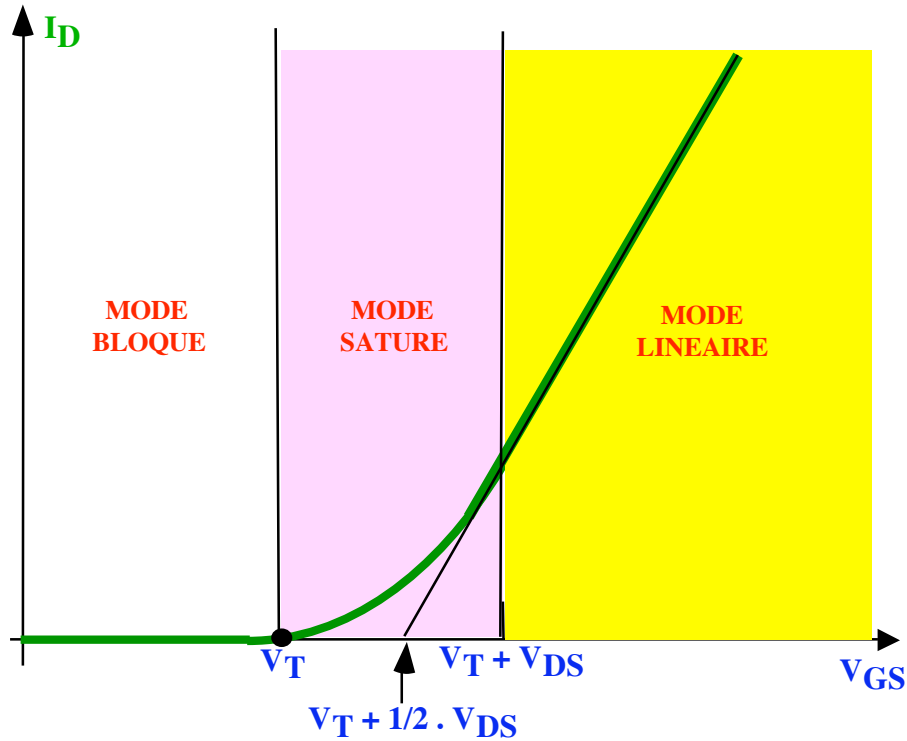


Substrat non représenté si au même potentiel que la source

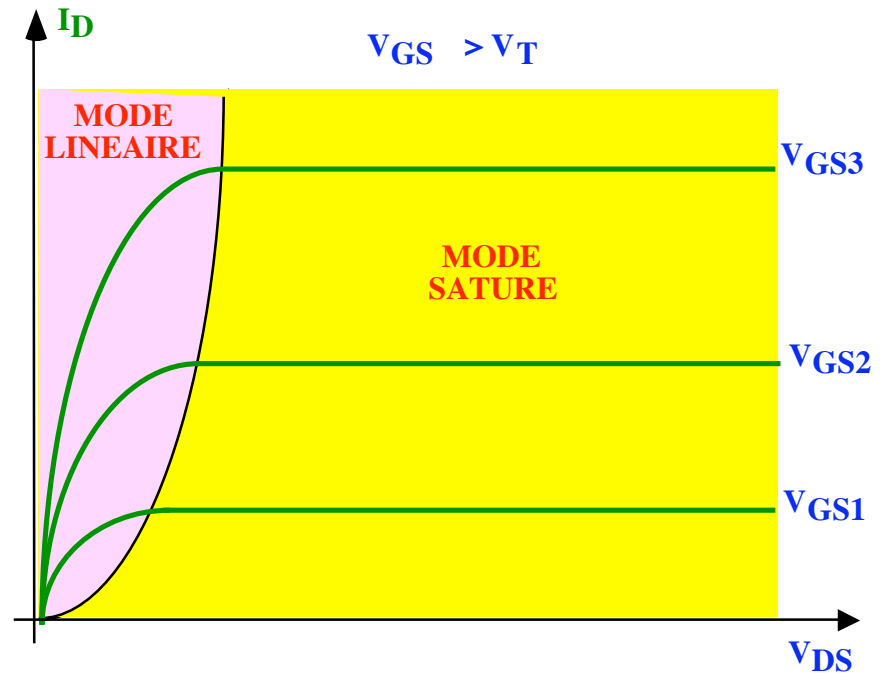
Trois modes différents de fonctionnements

Vision très épuré

Observation des caractéristiques



Caractéristiques de transfert

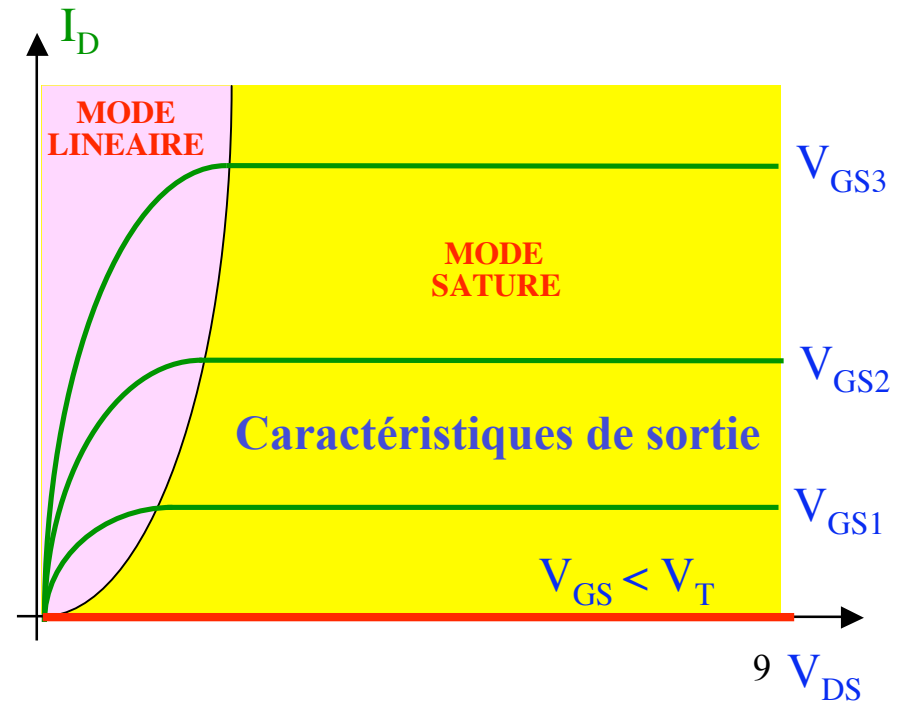
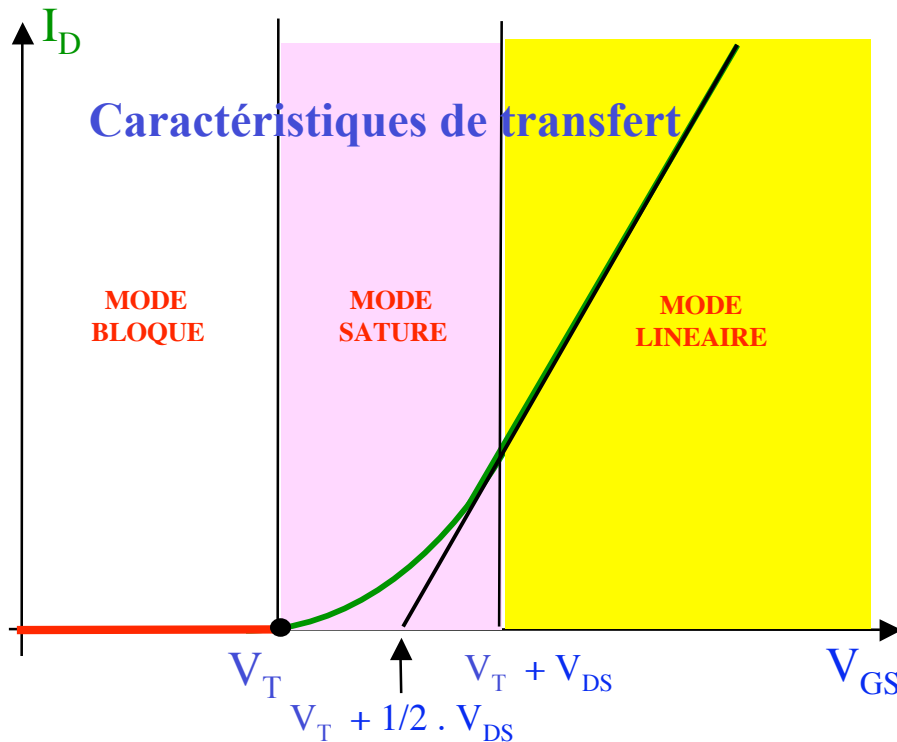
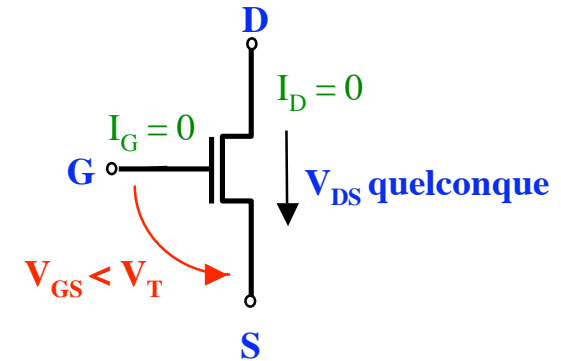


Caractéristiques de sortie

Le mode bloqué

$V_{GS} = V_{GB}$ est inférieure à V_T (-2V 2V)
Pas d'apparition du canal.

MOS ne conduit aucun courant
(idem bipolaire) $I_D = 0$

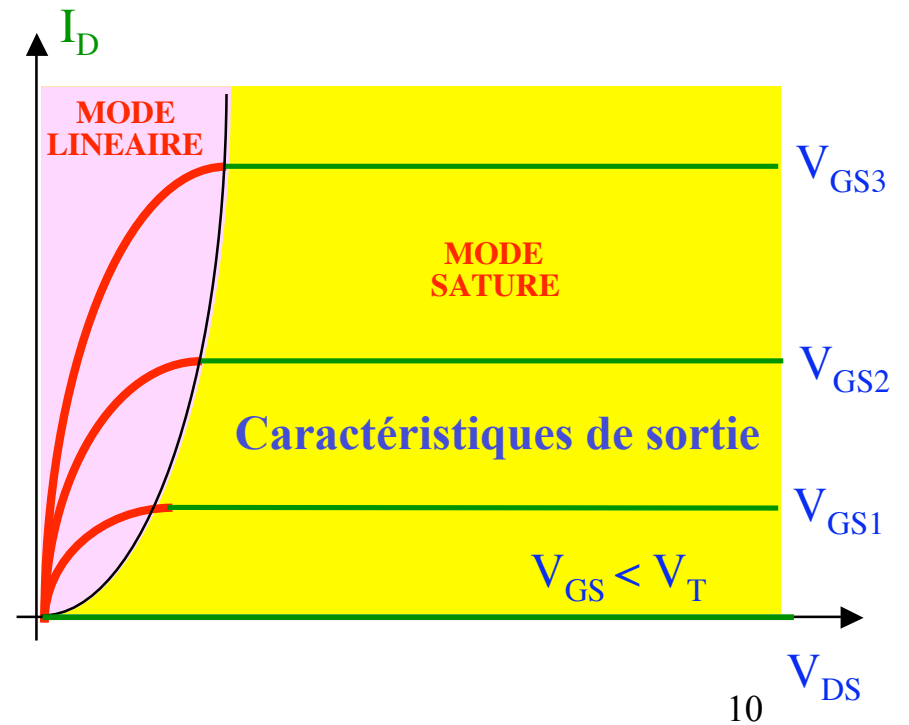
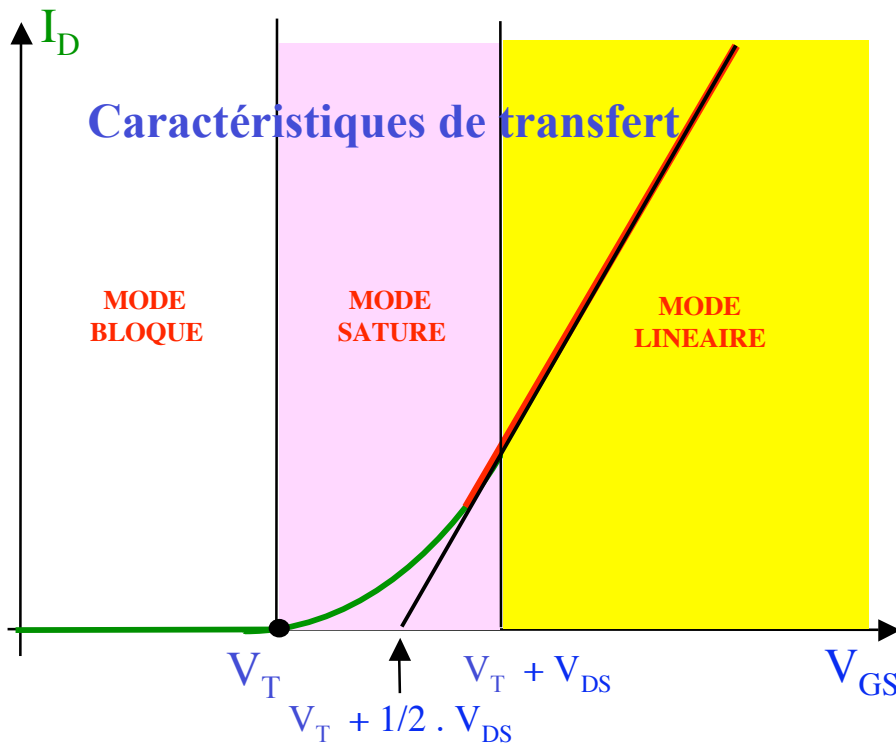
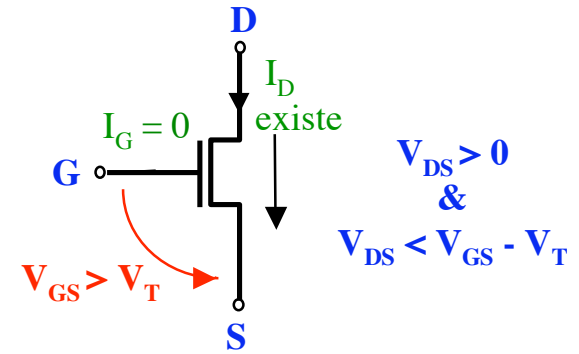


Le mode linéaire (ou mode de conduction)

$V_{GS} > V_T$ & $V_{DS} < V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$
 Canal non uniforme entre source et drain.

Le transistor conduit

$I_D = ?$ (augmente avec la tension V_{DS})



MOST en régime linéaire (linear mode)

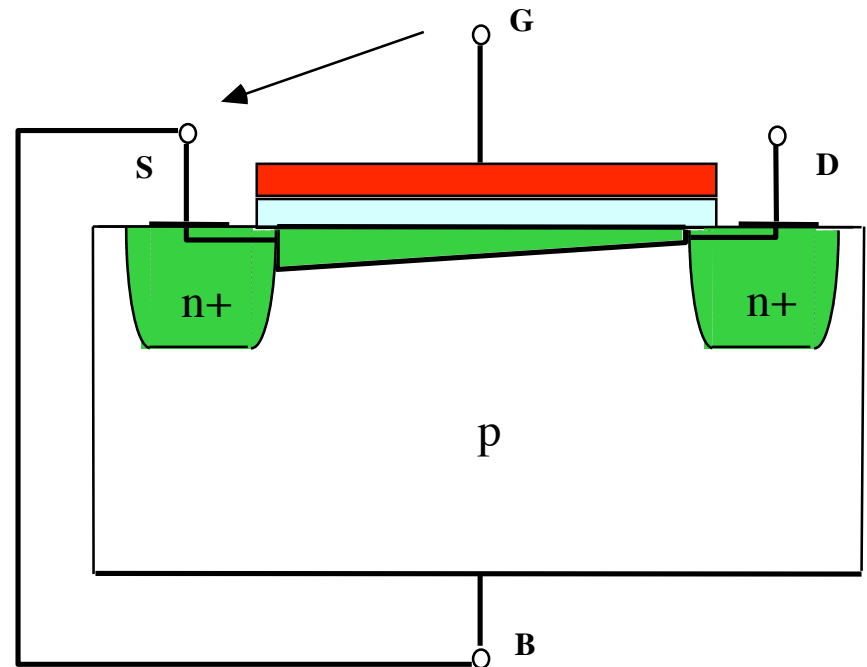
$$V_{GS} > V_T \quad 0V < V_{DS} \leq V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$$

$$I_D = \mu C_{OX} \frac{W}{L} V_{DS} \left(V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2} \right)$$

$$\mu = \mu C_{OX} W/L$$

K ou μ = transconductance du MOST
 en A/V^2 ou $\mu A/V^2$,
 f(technologie, dimensions du MOS)

μ = mobilité des porteurs
 (- pour MOSTn et + pour MOSTp)



Pas de PINCH-OFF (pincement) du canal dans ce mode

Le mode saturé

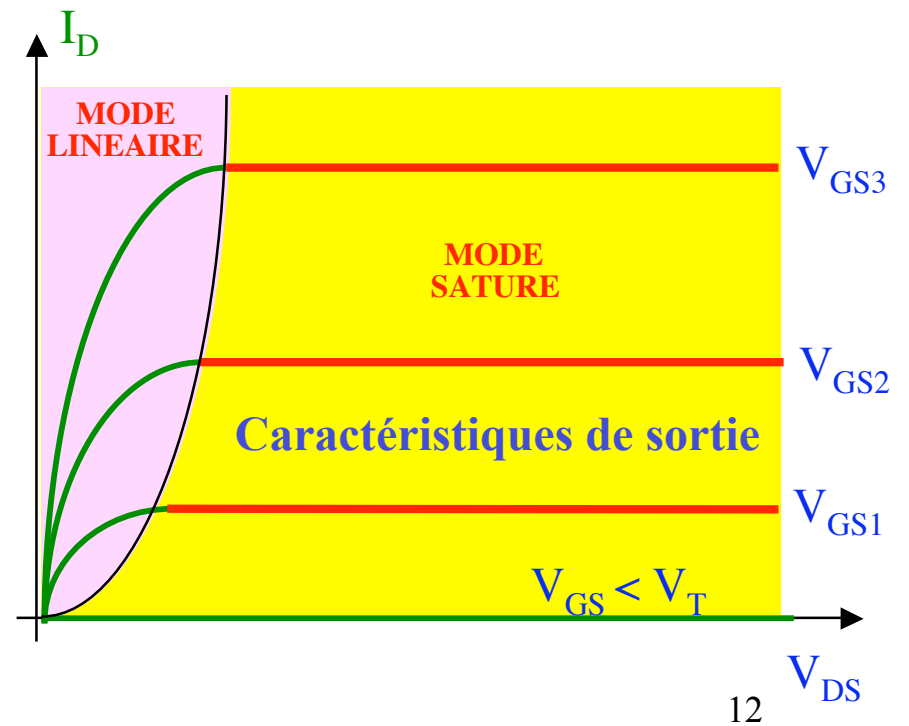
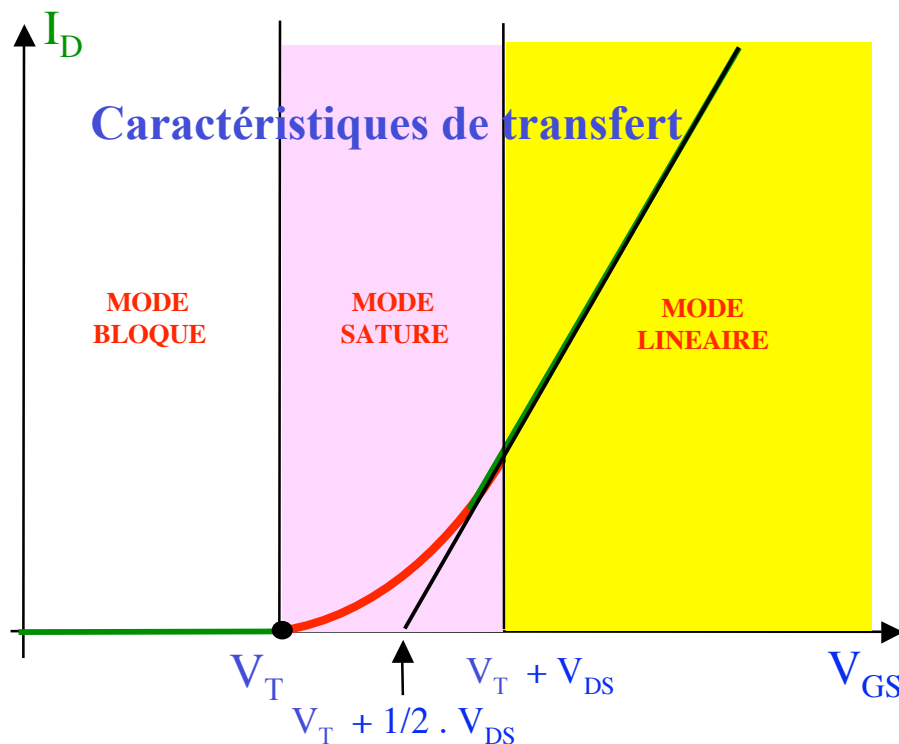
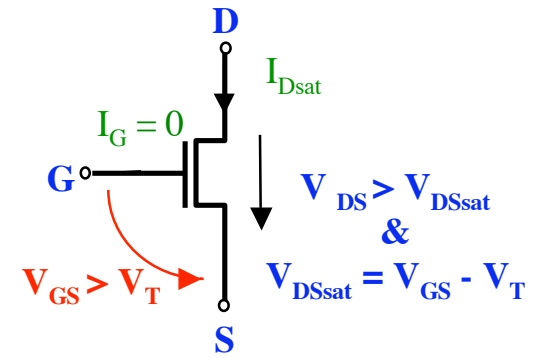
$$V_{GS} > V_T \text{ \& } V_{DS} > V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$$

Canal existe avec pincement côté drain

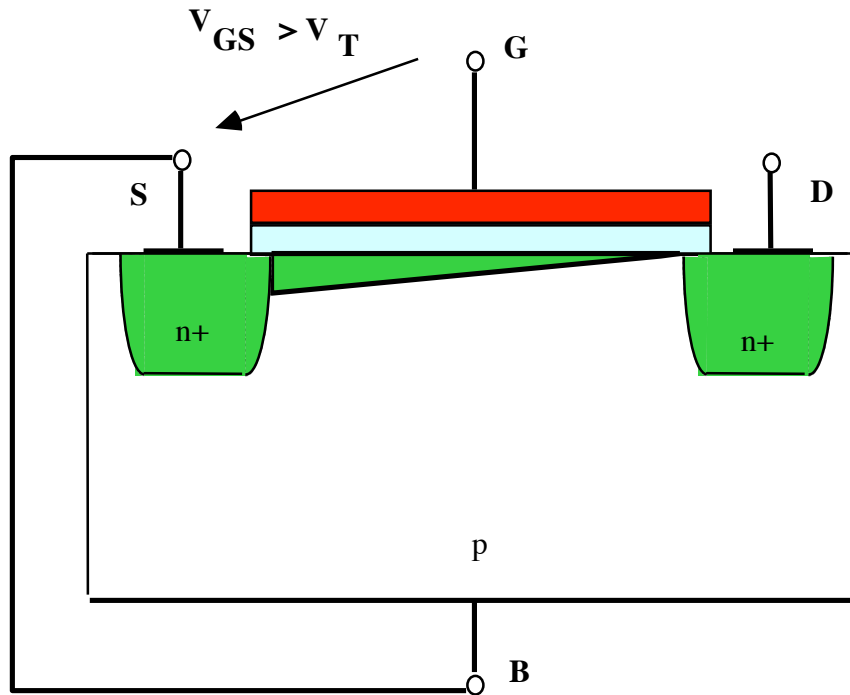
$$V_{DSsat} \text{ varie avec } V_{GS} \text{ et vaut: } V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$$

Le transistor conduit

$I_D = ?$ (augmente avec la tension V_{DS})



MOST en régime saturé (saturation mode)

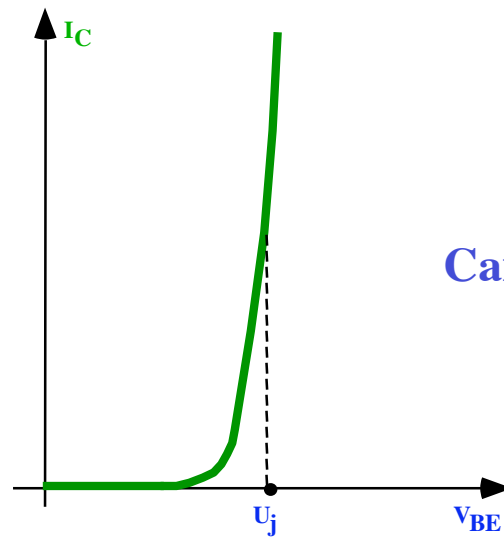
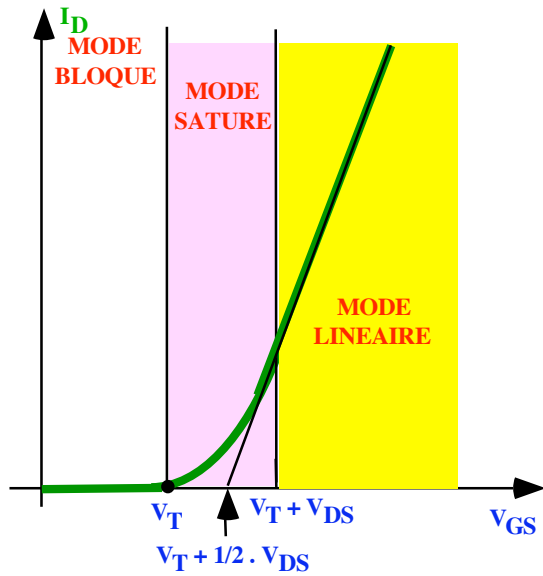


$$V_{DS} > V_{DSsat}$$

PINCH-OFF (Pincement) du canal côté droit
Le courant ne varie plus avec V_{DS}

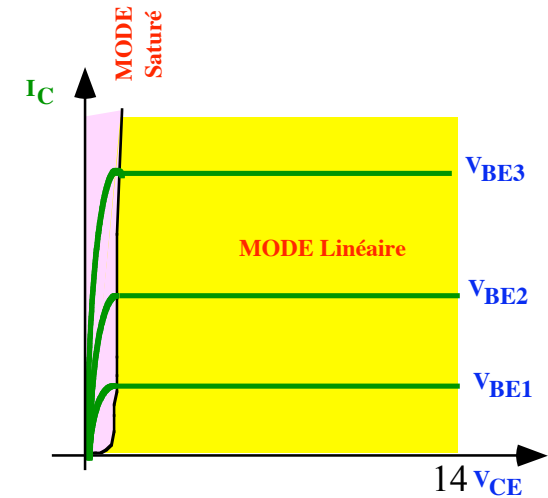
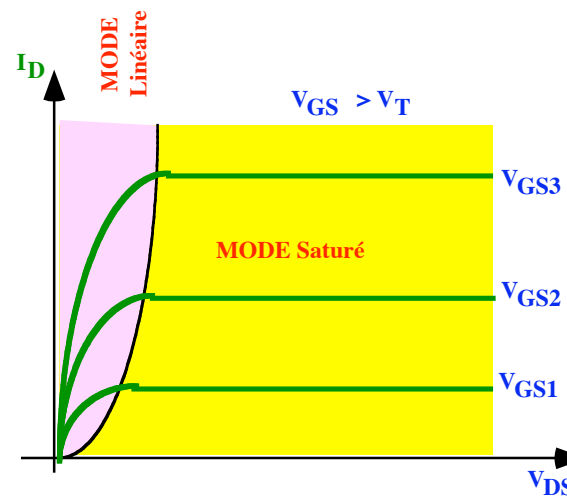
$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

Comparaison MOS & bipolaire



Caractéristique de transfert

Caractéristique de sortie



Résumé

Caractéristiques de sortie:

Mode linéaire vers mode saturé avec V_{DS} croissantes

Caractéristique de transfert:

Mode saturé vers mode linéaire avec V_{GS} croissantes

Mode saturé :

$$V_{DS} > V_{DSsat}$$

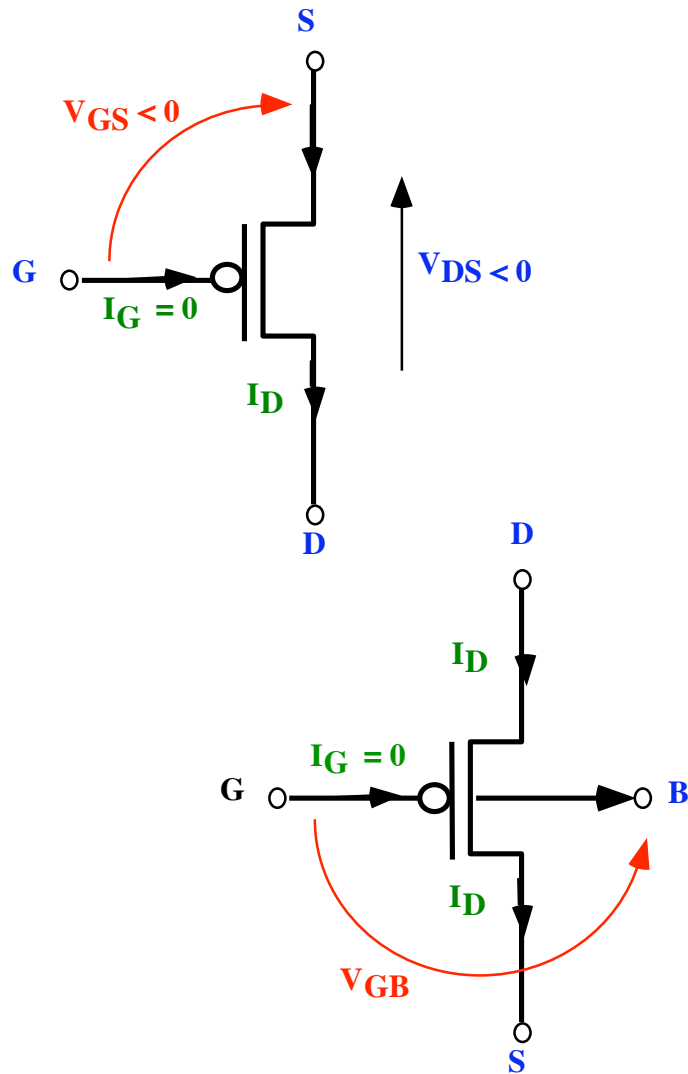
$$V_{DS} > V_{GS} - V_T \quad \text{ou} \quad V_{GS} < V_{DS} + V_T$$

Mode linéaire :

$$V_{DS} < V_{DSsat}$$

$$V_{DS} < V_{GS} - V_T \quad \text{ou} \quad V_{GS} > V_{DS} + V_T$$

Caractéristiques électriques du p-MOS



Le mode *BLOQUE* : $V_{GS} > V_T$ & $I_D = 0$

Le mode *LINEAIRE* : $V_{GS} < V_T$ & $V_{DS} > V_{DSsat}$

$$I_D = K \cdot V_{DS} (V_{GS} - V_T - 1/2 V_{DS})$$

Le mode *SATURE* : $V_{GS} < V_T$ et $V_{DS} < V_{DSsat}$

$$I_D = K/2 (V_{GS} - V_T)^2$$

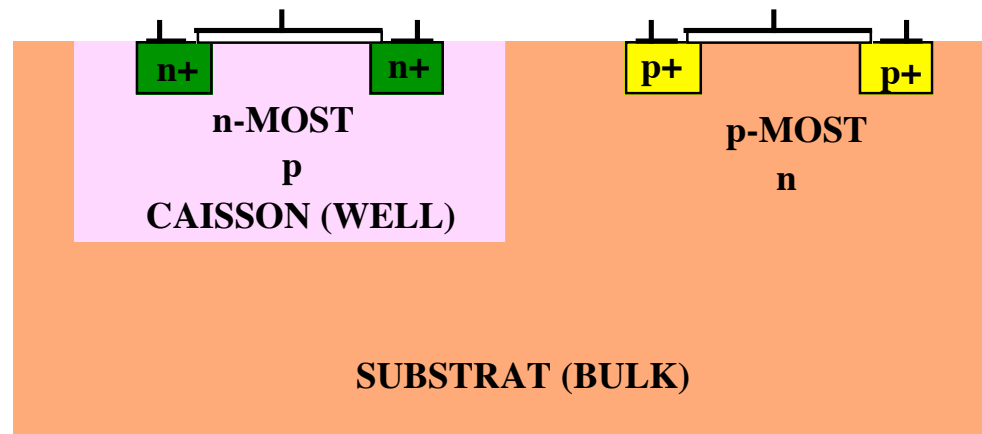
Tension de seuil V_T négative.

La tension de saturation V_{DSsat} est aussi négative:

$$V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$$

La technologie CMOS

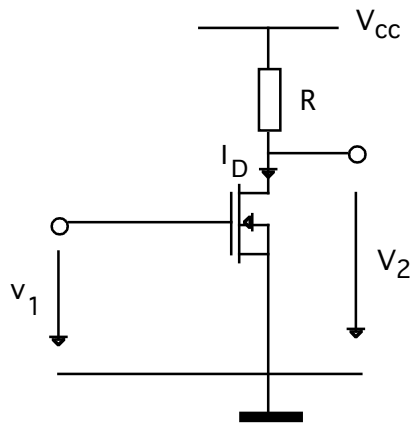
Complementary Metal Oxide Semiconductor



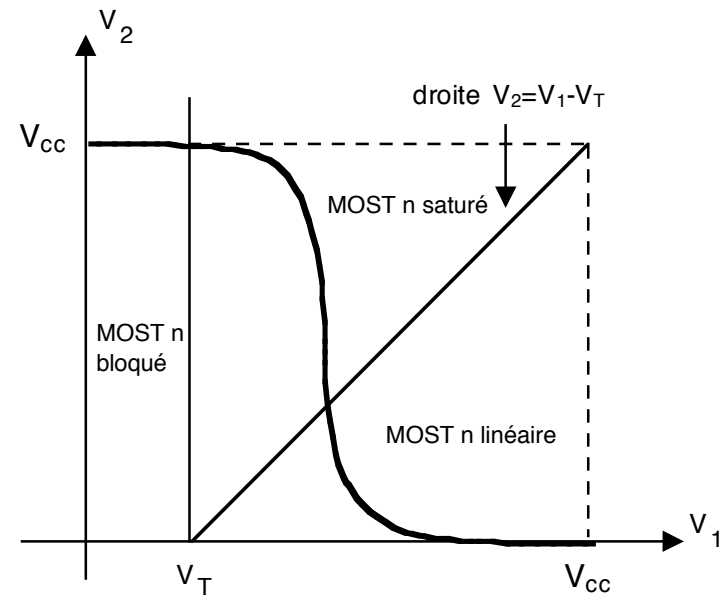
EXERCICE 1

Inverseur logique nMOS

Calculer et tracer la caractéristique de transfert $V_2 = f(V_1)$.



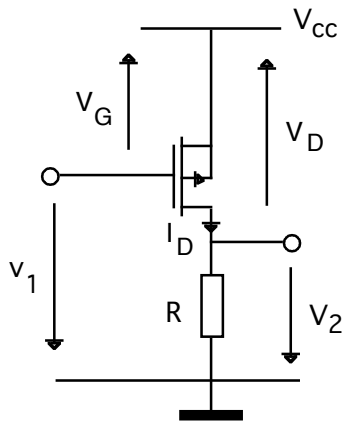
$V_{cc} = 5 \text{ V}$
 $V_T = 0,5 \text{ V}$
 $k = 50 \mu\text{A/V}^2$
 $R = 10 \text{ k}\Omega$



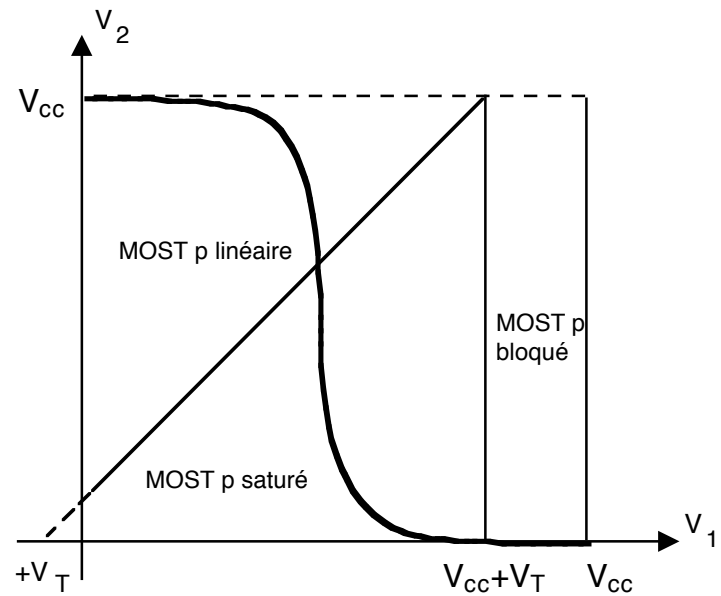
EXERCICE 2

Inverseur logique pMOS

Calculer et tracer la caractéristique de transfert $V_2 = f(V_1)$.



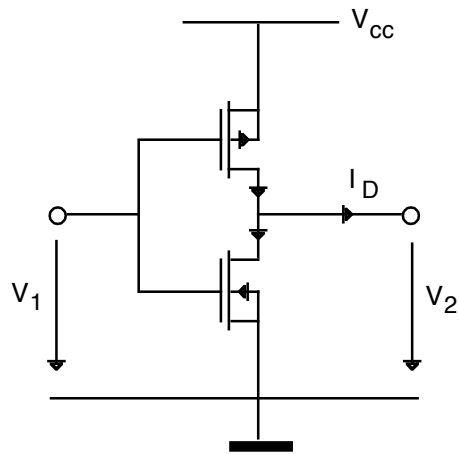
$V_{cc} = 5 \text{ V}$
 $V_T = -0,5 \text{ V}$
 $k = 50 \mu\text{A/V}^2$
 $R = 10 \text{ k}\Omega$



EXERCICE 3

Inverseur logique CMOS

Calculer et tracer la caractéristique de transfert $V_2 = f(V_1)$.



- $V_{cc} = 5\text{ V}$
- $V_{Tn} = 1\text{ V}$
- $V_{Tp} = -1\text{ V}$
- $K = 100\ \mu\text{A/V}^2$

