

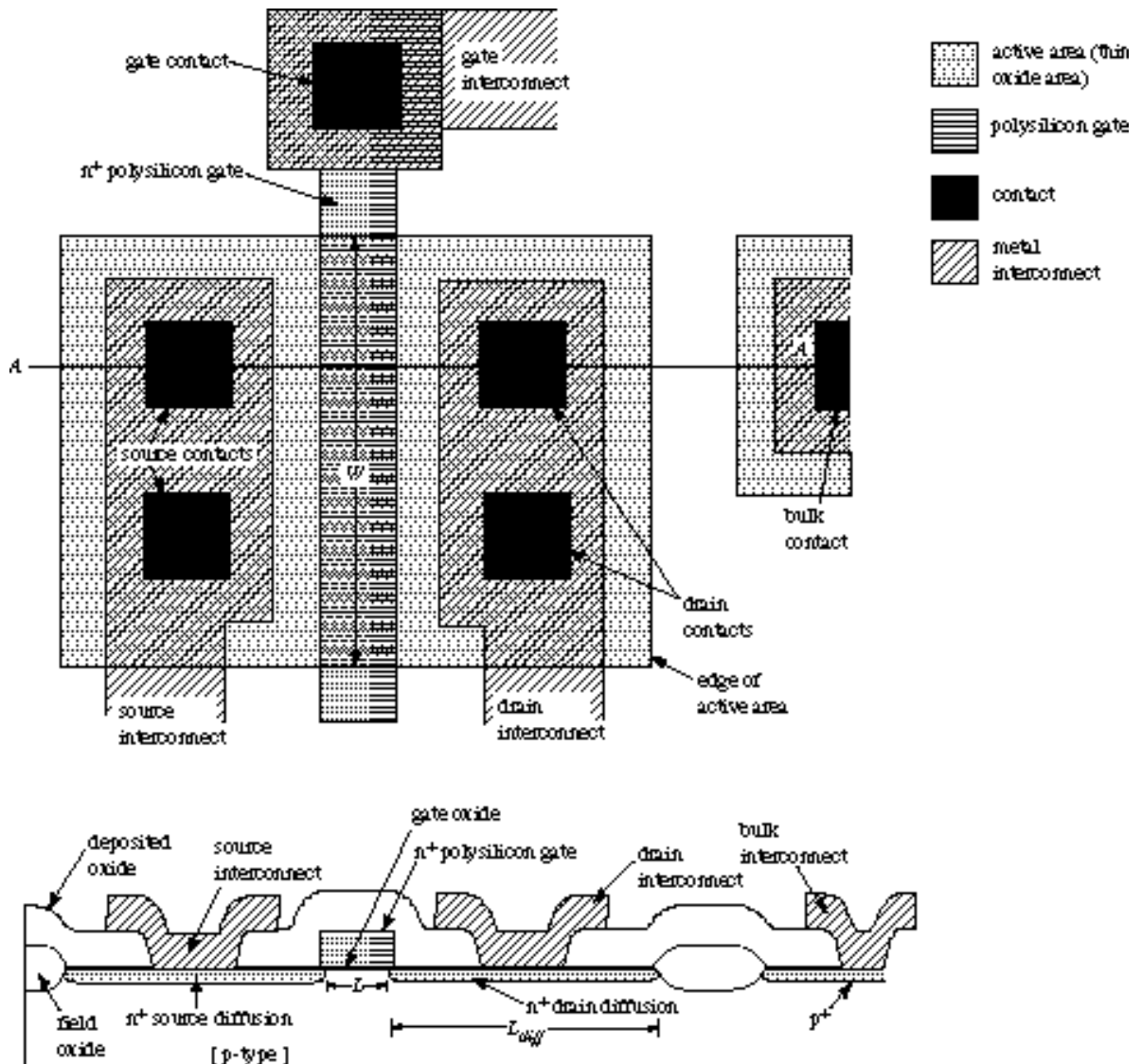
MOSFET(I)

CARACTERISTIQUES COURANT - TENSION

Sommaire

1. MOSFET: coupe, "layout", symboles
2. Opération qualitative
3. Caractéristiques I -(V)

1. MOSFET: "layout", coupe, symboles



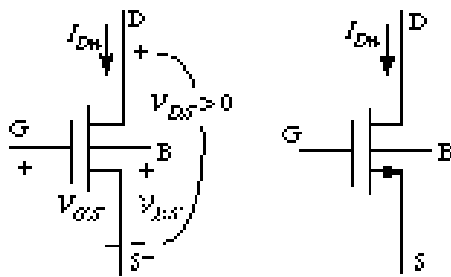
Caractéristiques:

- Couche d'inversion sous la **grille** (dépend tension grille)
- Régions fortement dopées en recouvrement partiel⇒
 - Couche d'inversion pour connecter **source** et **drain**
- Composants à 4 broches
 - le potentiel du **"body"** est important

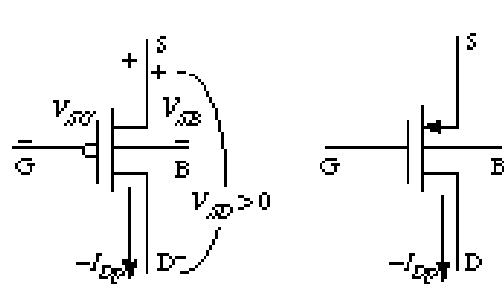
Les symboles

Deux composants complémentaires :

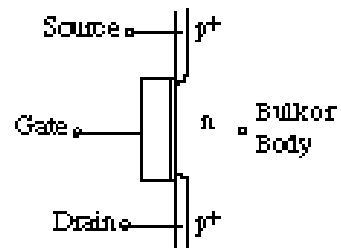
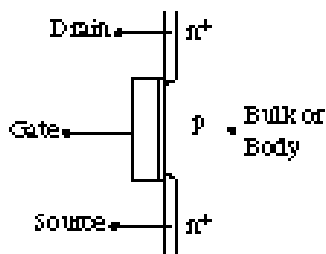
- transistor canal n (n-MOSFET) sur substrat p
 - couche d'inversion à électrons
- transistor canal p (p-MOSFET) sur substrat n-Si
 - couche d'inversion à trous



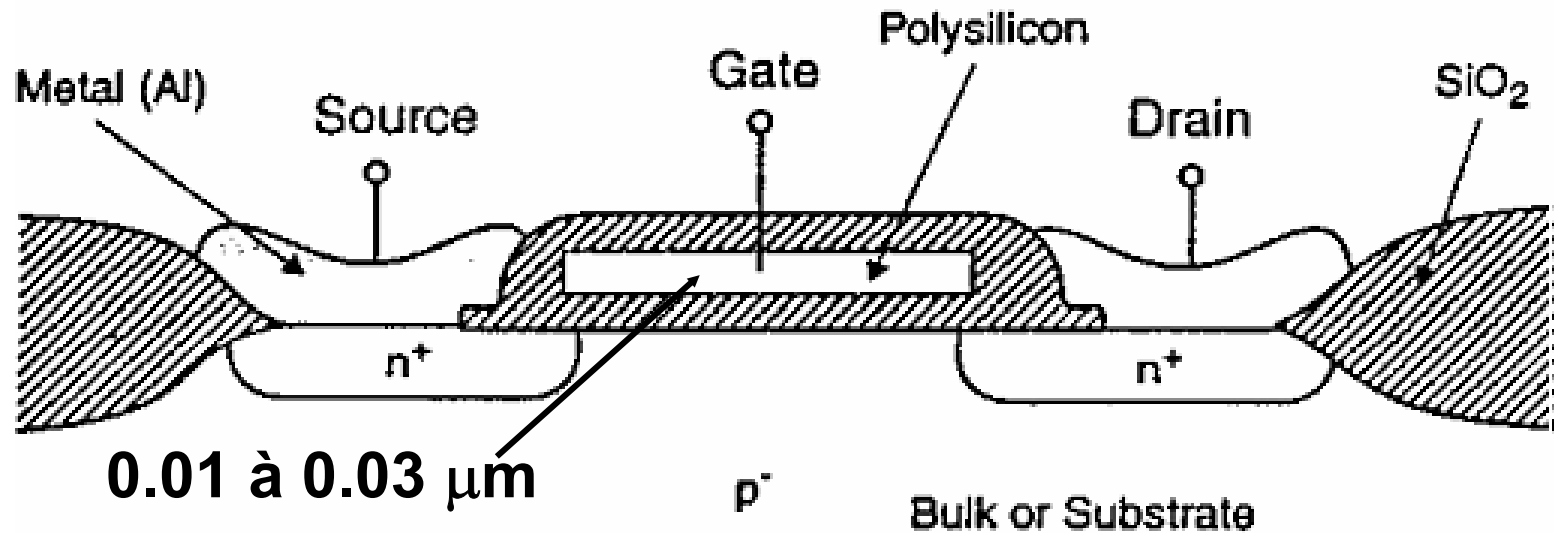
(a) n-channel MOSFET



(b) p-channel MOSFET

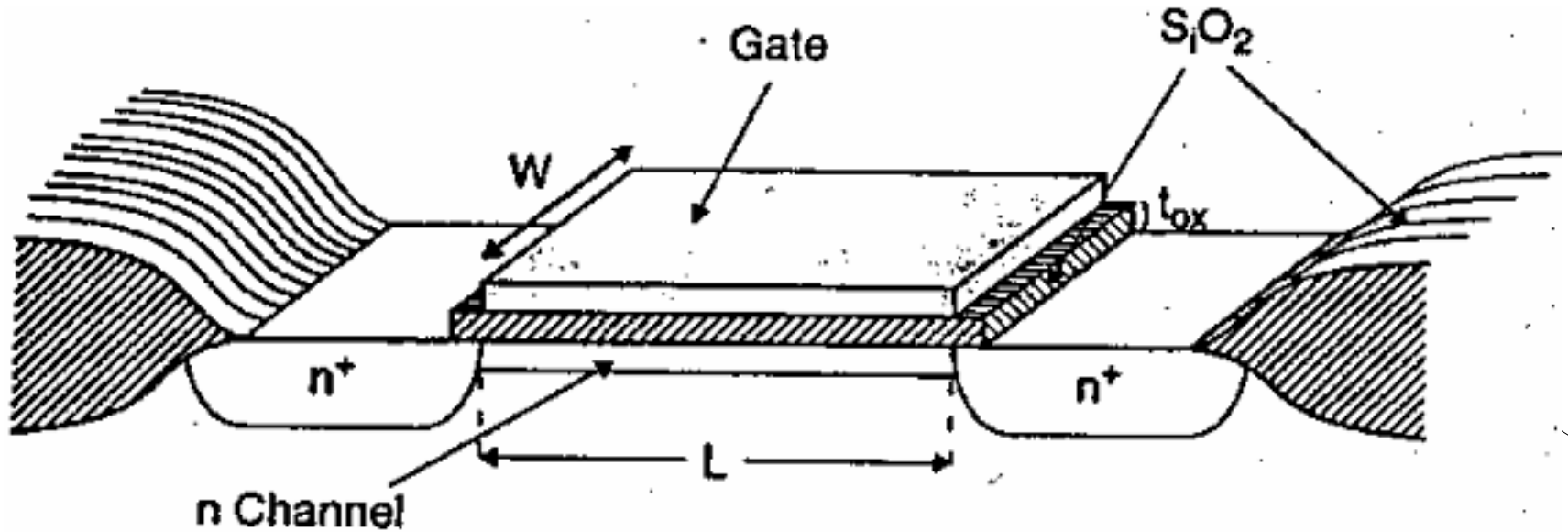


Structure d'un NMOS canal N



- Grille physiquement séparée du substrat par un isolant (**Résistance** $> 10^{14} \Omega$)
- La grille agit par effet capacitif
- Source et Drain physiquement identiques
- Source et Drain distingués uniquement par leur polarisation
- Les porteurs circulent entre la Source et le Drain

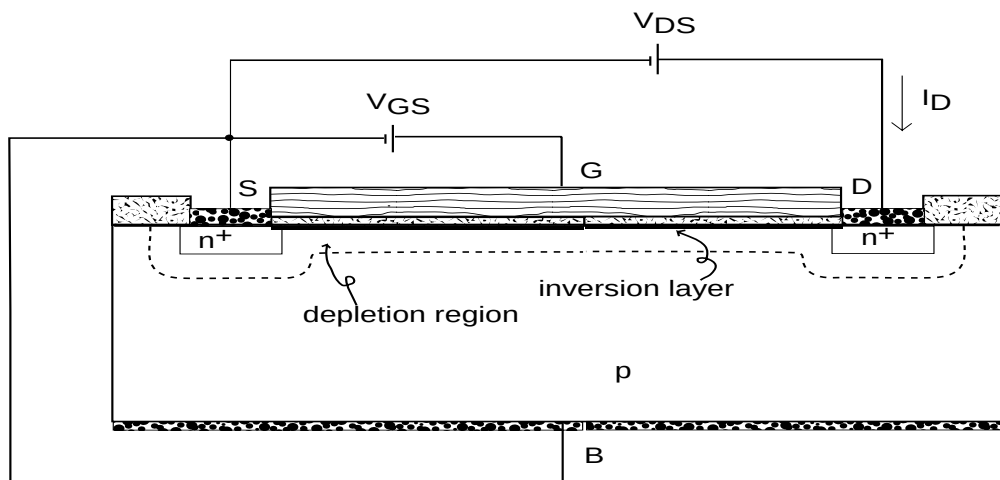
Les dimensions importantes d'un MOS



- L (Length) : Longueur du canal
 - Son minimum est défini par la technologie.
 - *Exemple : Technologie AMS CMOS $0.8\mu m$.*
- W (Width) : Largeur du canal

2. Fonctionnement qualitatif

- **Courant Drain (I_D)**: proportionnel à inversion de charge et à la vitesse des charges entre le Drain et la Source
- **Vitesse** : proportionnelle au champ électrique entre le drain et la source
- **Tension Grille-Source (V_{GS})**: contrôle la quantité d'inversion de charge qui transporte le courant
- **Tension Drain-Source (V_{DS})** : contrôle le champ électrique qui dirige l'inversion de charge entre la source et le drain



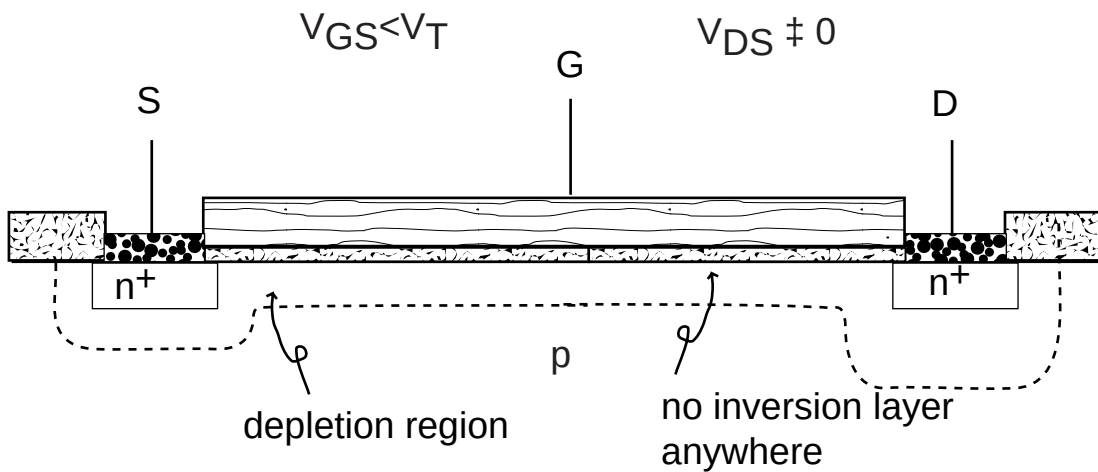
Il faut comprendre la relation entre le courant de **drain** dans le MOSFET comme une fonction de **la tension grille-source** et **de la tension drain-source**.

Pour simplifier initialement on considère la source connectée au "body" (substrat))

Trois régimes de fonctionnement:

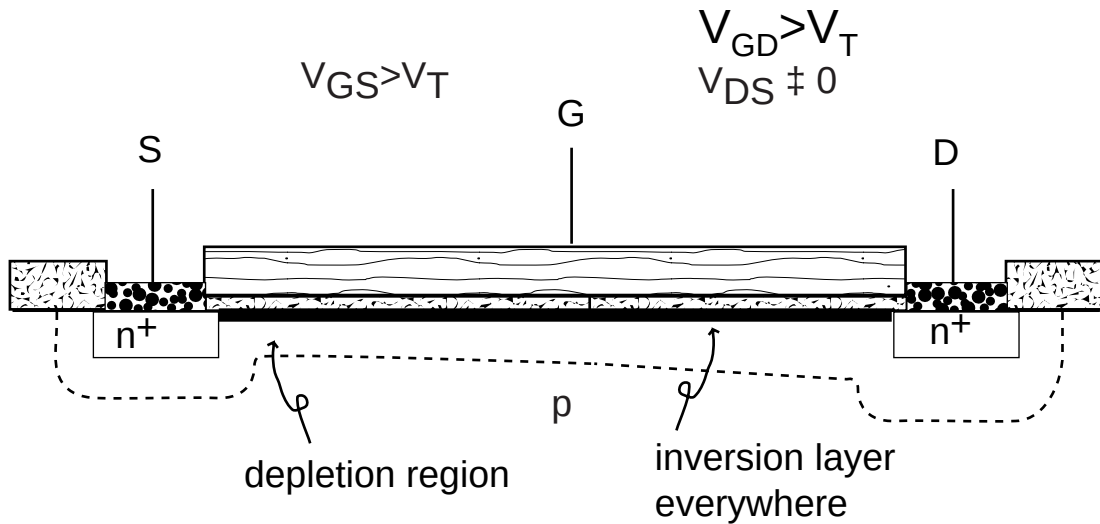
Régime bloqué

- MOSFET:
 - $V_{GS} < V_T$, avec $V_{DS} \geq 0$
- Charge d'inversion = 0
- V_{DS} tension de région de déplétion du drain
- $I_D = 0$



Trois régimes de fonctionnement:

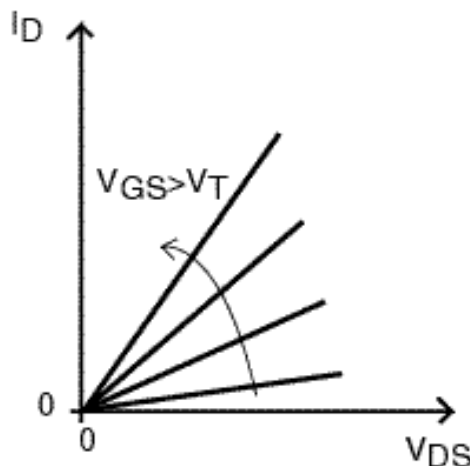
Régime linéaire ou triode



$$V_{GD} = V_{GS} - V_{DS}$$

Mobilité d'électrons source-drain $\Rightarrow$ **courant électrique**

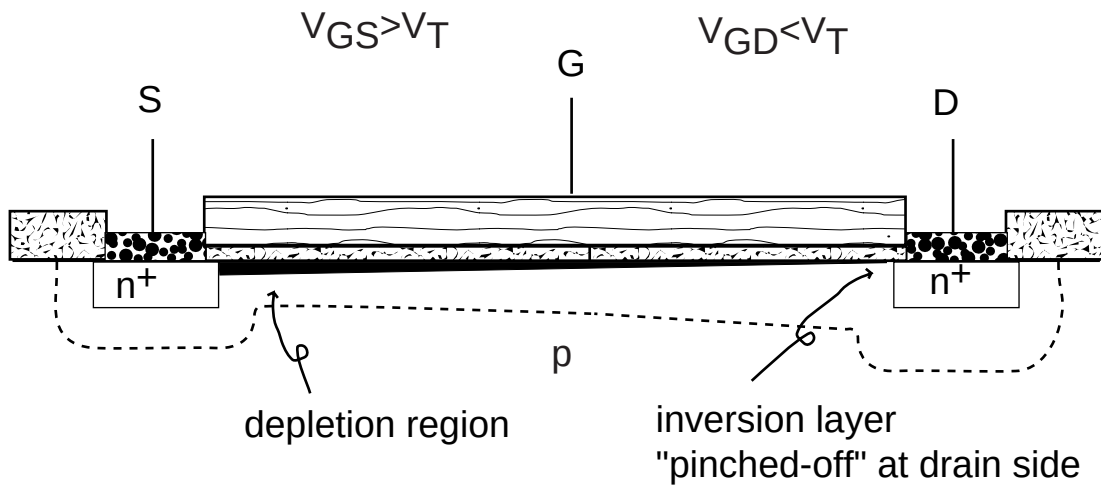
- $V_{GS} \uparrow \Rightarrow |Q_n| \uparrow \Rightarrow I_D \uparrow$
 - $V_{DS} \uparrow \Rightarrow E_y \uparrow \Rightarrow I_D \uparrow$
- $V_{DS} \gg V_{GS} - V_T$



Trois régimes de fonctionnement:

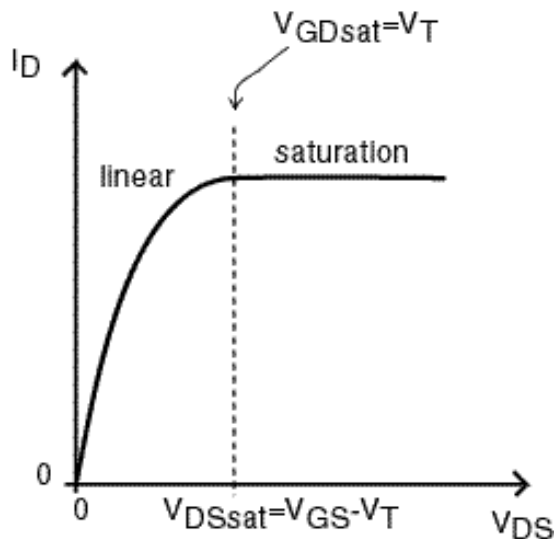
Régime de saturation $V_{DS} > V_{GS} - V_T$

- $V_{GS} > V_T$, $V_{GD} < V_T$ $\implies V_{DS} > V_{GS} - V_T$



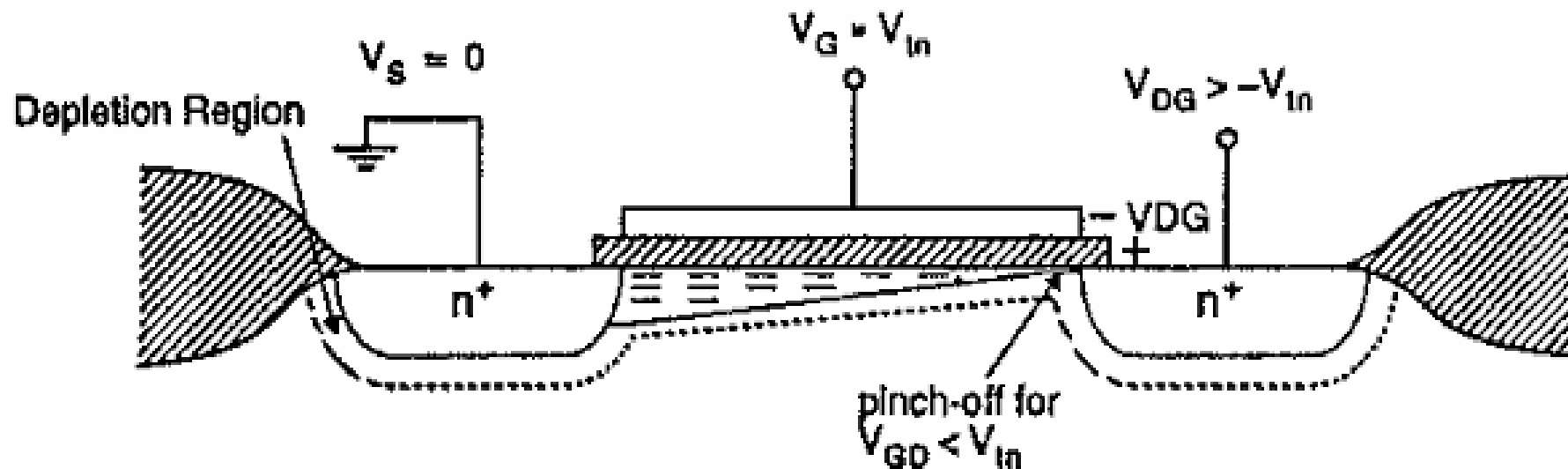
I_D est indépendant de V_{DS} : $I_D = I_{dsat}$

Le champ électrique dans le canal ne peut plus augmenter



Fonctionnement : MOS conducteur (Régime de saturation)

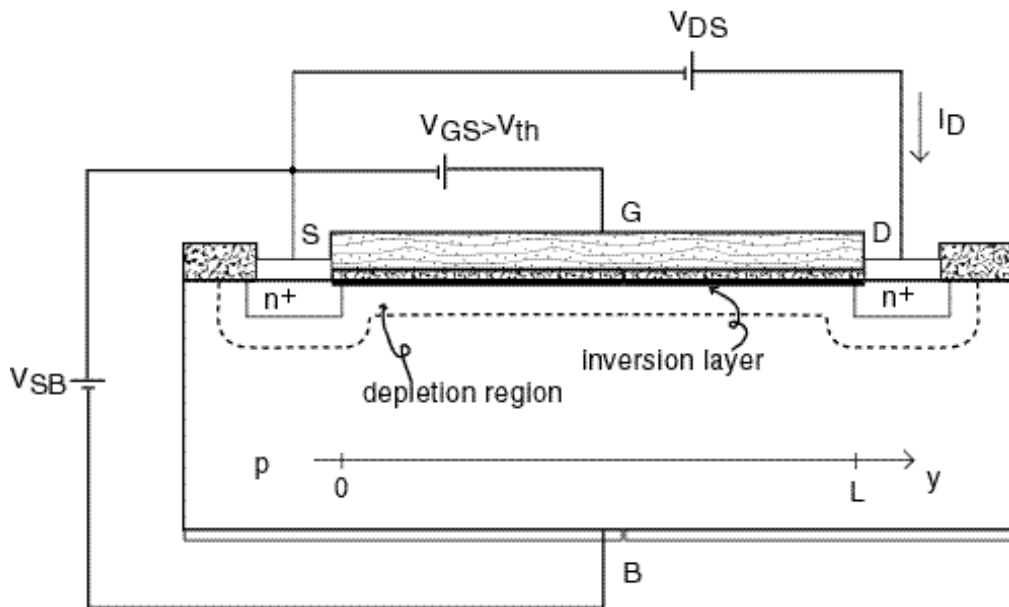
$$V_G > V_T; V_D > V_S; V_{DS} > V_{GS} - V_T = V_{DSsat}$$



- Le canal du transistor prend une forme parabolique (triangulaire pour de très faibles tensions V_{DS}) en première approximation dont la pointe rejoint l'extrémité du drain. Les charges sont propulsées au travers de la ZCE séparant cette pointe du triangle et le drain.
- **$V_{DSsat} = V_{GS} - V_T$ est appelée la tension de saturation drain-source.** Le courant correspondant I_{Dsat} est appelé courant de saturation.

3. Caractéristiques I-V ($V_{SB}=0$)

Géométrie 1D :



Toutes les tensions référencées à la **Source**

expression générale du courant dans le canal

Le courant va uniquement dans la direction y:

Courant total dans le canal (v_y =vitesse= dy/dt)

$$I_y = W \bullet Q_n(y) \bullet v_y(y)$$

Le courant de Drain est l'opposé du courant de canal:

$$I_D = -W \bullet Q_n(y) \bullet v_y(y)$$

I-V (suite)

$$I_D = -W \bullet Q_n(y) \bullet v_y(y)$$

ré-écriture de l'équation en termes de tension au point y, $V(y)$:

- Si le champ électrique n'est pas trop élevé :

$$v_y(y) = -\mu_n \bullet E_y(y) = \mu_n \bullet \frac{dV}{dy}$$

- Pour $Q_n(y)$ relation de contrôle de charge en y:

$$Q_n(y) = -C_{ox} [V_{GS} - V(y) - V_T]$$

$dq = -C_{ox} (W \cdot dy) (V_{GS} - V(y) - V_T)$ (Charge infinitésimale)

$$I_D = dq/dt = (dq/dy) \cdot (dy/dt)$$

Pour $V_{GS} - V(y) \geq V_T$.

Note : on suppose V_t indépendant de y :

Voir l'effet de substrat plus tard

L'équation générale donne donc :

$$I_D = W \bullet \mu_n C_{ox} [V_{GS} - V(y) - V_T] \bullet \frac{dV(y)}{dy}$$

Equation différentielle simple du premier ordre avec une inconnue : la tension de canal $V(y)$.

I-V (suite)

Résolution par séparation des variables:

$$I_D dy = W \cdot \mu_n C_{ox} [V_{GS} - V(y) - V_T] \cdot dV$$

Intégration le long du canal en régime linéaire avec les conditions aux limites suivantes :

- **Source:** $y=0$, $V(0)=0$
- **Drain:** $y=L$, $V(L)=V_{DS}$ (régime linéaire)

Alors

$$I_D \int_0^L dy = W \cdot \mu_n C_{ox} \int_0^{V_{DS}} [V_{GS} - V(y) - V_T] \cdot dV$$

Ce qui donne

$$I_D [y]_0^L = I_D L = W \cdot \mu_n C_{ox} \left[\left(V_{GS} - \frac{V}{2} - V_T \right) V \right]_0^{V_{DS}}$$

$$I_D = \frac{W}{L} \cdot \mu_n C_{ox} \left[V_{GS} - \frac{V_{DS}}{2} - V_T \right] \cdot V_{DS}$$

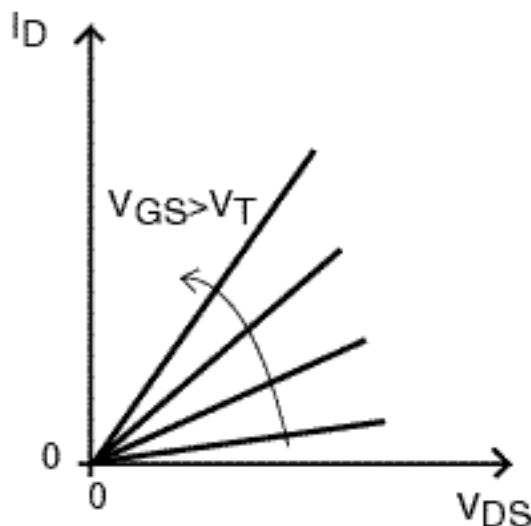
I-V Suite...)

$$I_D = \frac{W}{L} \cdot \mu_n C_{ox} \left[V_{GS} - \frac{V_{DS}}{2} - V_T \right] \cdot V_{DS}$$

pour $V_{DS} < V_{GS} - V_T$

Variations:

- $V_{DS} \uparrow \rightarrow I_D \uparrow$ (Champ électrique latéral plus fort)
- $V_{GS} \uparrow \rightarrow I_D \uparrow$ (Concentration d'e- plus forte)



C'est le régime **linéaire** ou **triode** ou **quadratique**

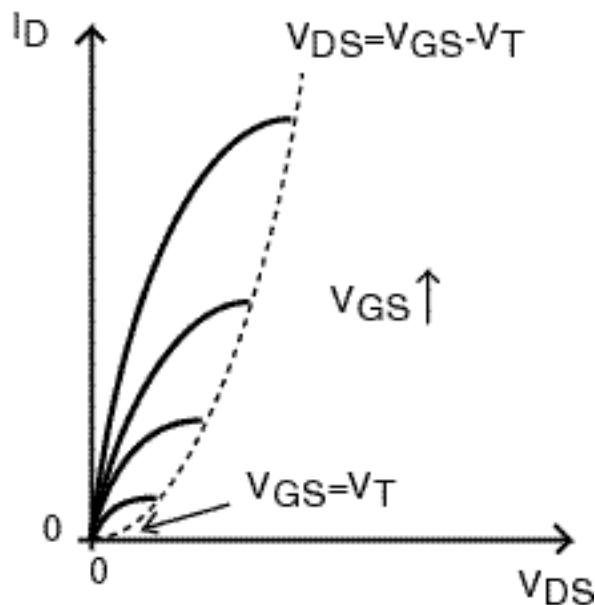
Linéaire si $V_{DS} \ll V_{GS} - V_T$

I-V (suite....)

Deux remarques importantes

1. Equation valable ssi $V_{GS} - V(y) \geq V_T$ pour tout y .
Cas défavorable est $y=L$, ou $V(y) = V_{DS}$
L'équation est valable si

$$V_{DS} \leq V_{GS} - V_T$$



I-V (suite.....)

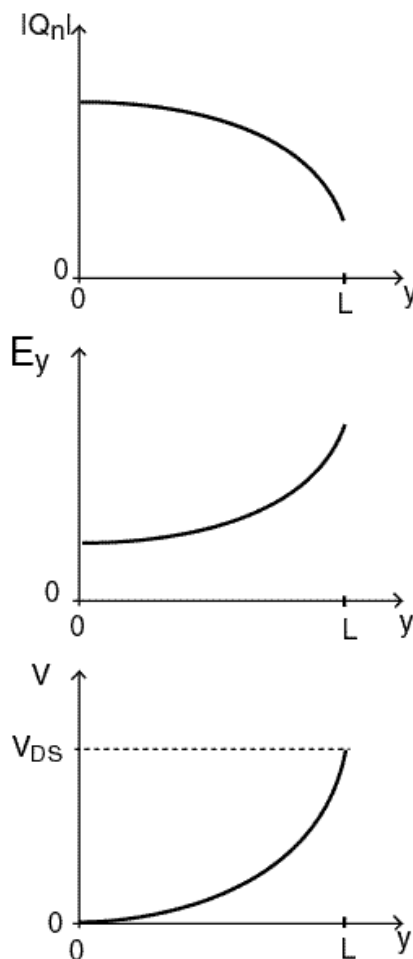
Quand V_{DS} approche $V_{GS} - V_t$ la "vitesse" d'augmentation de I_D diminue

Cause

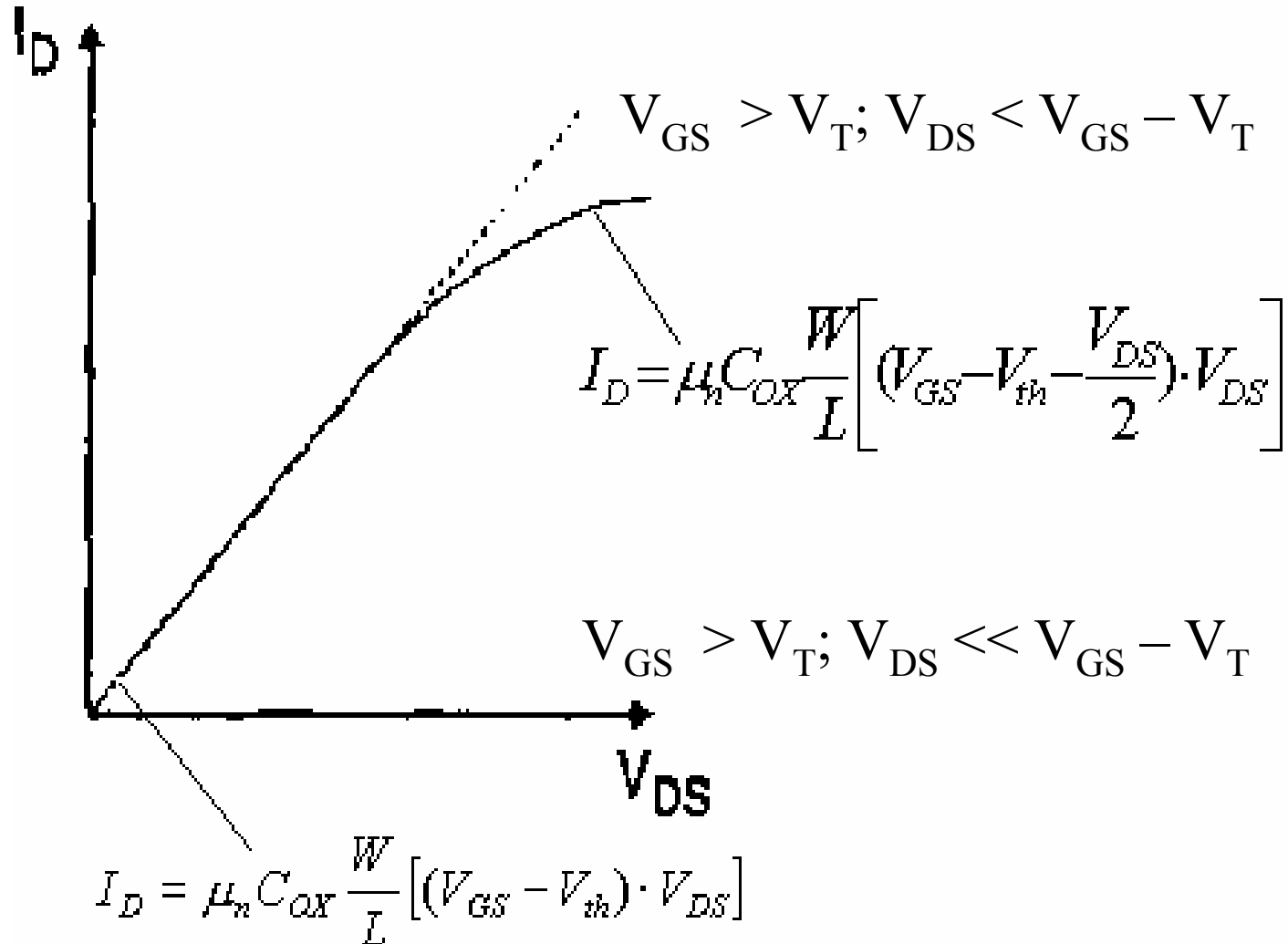
Quand on suit y sous le canal, $V(y) \uparrow$, $|Q_n(y)| \downarrow$, et $E_y(y) \uparrow$ (***moins de porteurs allant plus vite***)

$\Rightarrow$ La couche d'inversion se rétrécit entre source-drain

$\Rightarrow I_D$ augmente plus lentement.



Fonctionnement : MOS conducteur (Régime linéaire, régime quadratique)



I-V (suite.....)

Courant de saturation

Pour V_{DS} prenant comme valeur

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

Augmentation de E_y est compensée par diminution de $|Q_n|$
 $\Rightarrow I_D$ sature quand $|Q_n|$ devient égal à 0 au Drain.

Valeur du courant de saturation:

$$I_{Dsat} = I_{Dlin}(V_{DS} = V_{DSsat} = V_{GS} - V_T)$$

Alors

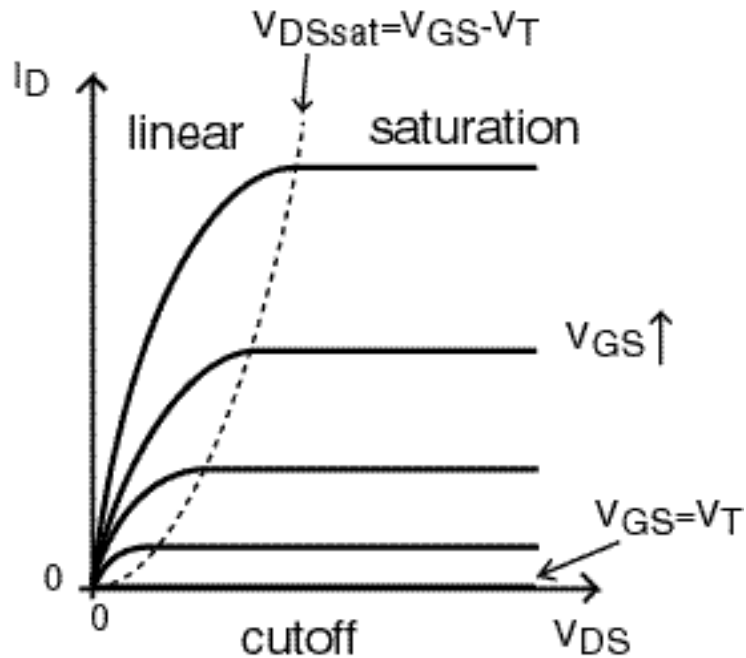
$$I_{Dsat} = \left[\frac{W}{L} \cdot \mu_n C_{ox} \left(V_{GS} - \frac{V_{DS}}{2} - V_T \right) \cdot V_{DS} \right]_{V_{DS}=V_{GS}-V_T}$$

$$I_{Dsat} = \frac{1}{2} \frac{W}{L} \mu_n C_{ox} [V_{GS} - V_T]^2$$

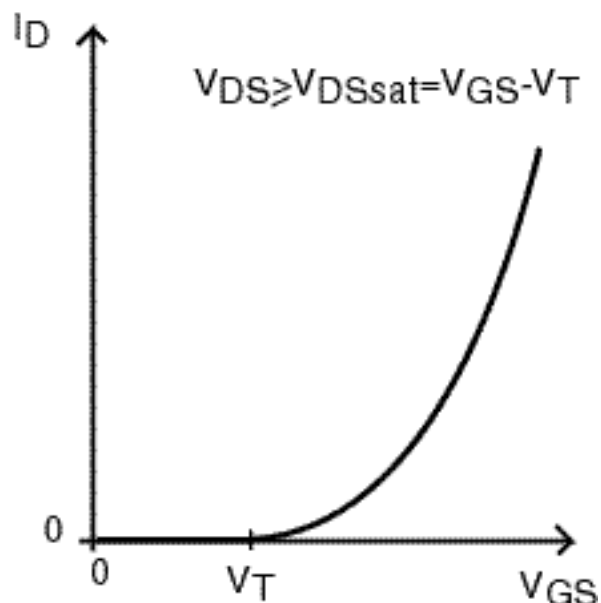
On reparlera de la **saturation** plus tard

I-V Caractéristiques (Suite.....)

Caractéristiques de sortie



Caractéristique de transfert



Caractéristiques "réelles" A suivre donc!

