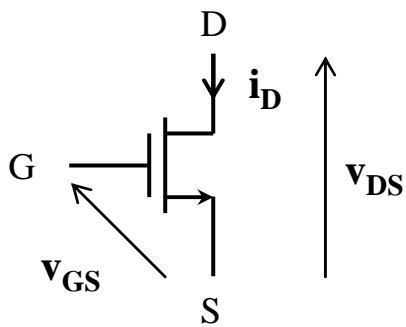
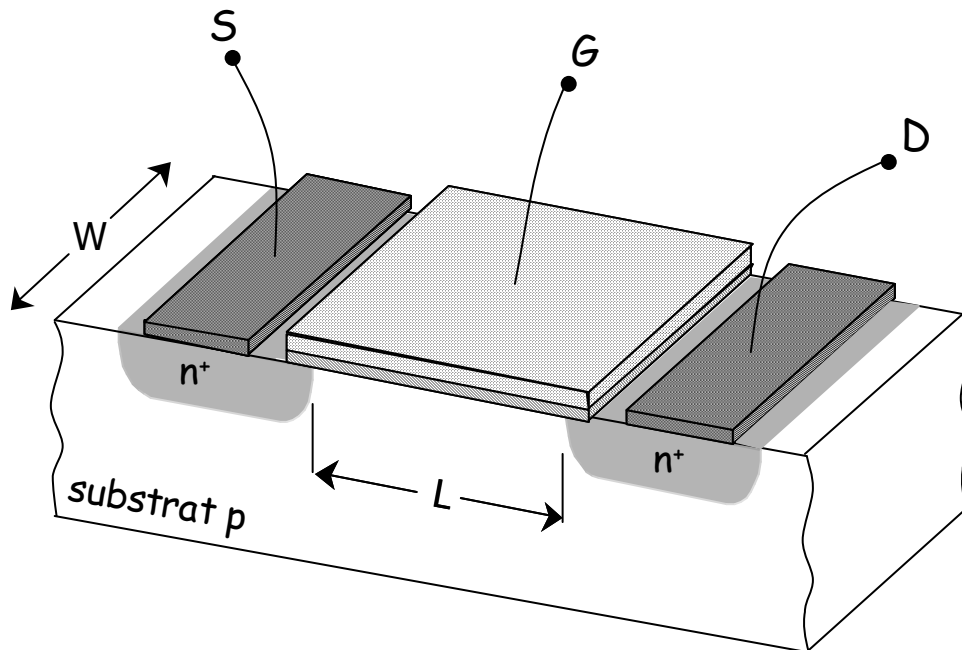


*" It will be shown that a voltage applied to the gate controls current flow between source and drain. "*

Sedra and Smith



( a ) NMOS

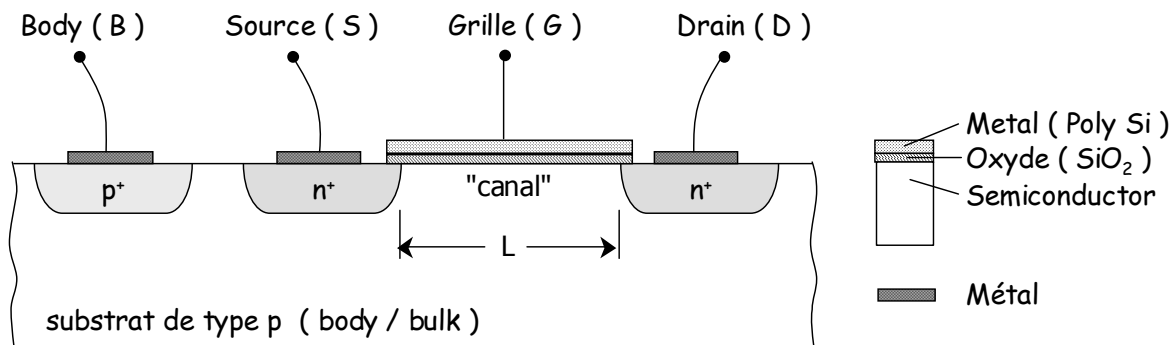




### i . Présentation du MOS – Rappels de cours.

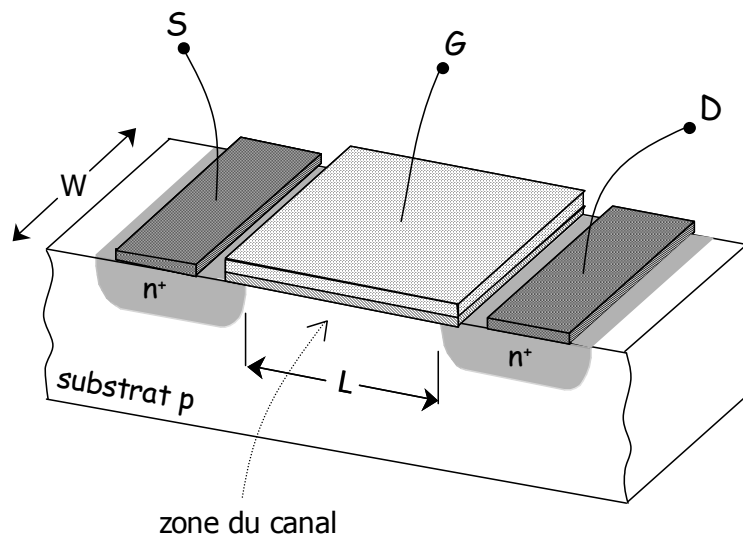
Ce TD est consacré à une première approche de la conception de circuits intégrés en technologie MOS. Ces transistors à effet de champs, dont le nom complet est MOSFET<sup>1</sup> ( Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor ), se sont imposés dans l'industrie micro-électronique.

La figure i.1 donne une vue en coupe d'un NMOS. On notera en plus des contacts classiques de Drain, de Grille et de Source la présence d'un quatrième contact dans le cas des circuits intégrés, le contact de polarisation du substrat, nous le nommerons Body ( B ). Un MOS possède donc quatre "pattes". Dans l'immédiat nous considérerons que la connexion de substrat, le body, est relié à la source ( même potentiel ).



i.1. Vue en coupe d'un transistor MOS de type N ( NMOS ).

La figure i.2 présente une vue en 3D d'un NMOS.

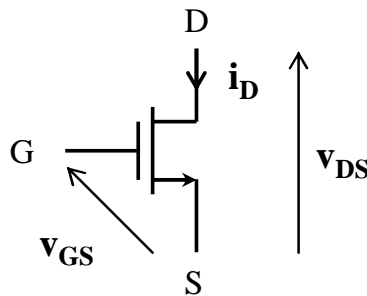


i.2. Structure 3D d'un NMOS.

<sup>1</sup> Nous ne traiterons ici que du MOS à enrichissement ( cf. cours de 1<sup>ère</sup> année ).

Le concepteur d'un circuit intégré choisi les dimensions des canaux de chacun des MOS utilisés dans son design en fonction des caractéristiques électriques désirées. On note  $L$  ( de l'anglais length ) la longueur et  $W$  ( de l'anglais width ) la largeur du canal ( cf. i.2 ). On caractérise les technologies MOS par la longueur minimale de canal que l'on peut obtenir lors de la fonte du circuit ; dans ce TD nous utiliserons les paramètres d'une technologie  $0,35 \mu\text{m}$  ( cf. annexe ).

La figure i.3 donne le symbole usuel simplifié d'un NMOS ( dans le cas où la source et le body sont au même potentiel ). La vue 3D du NMOS a mis en évidence le caractère symétrique de sa structure ; par convention on différencie le drain et la source en appelant drain la diffusion ayant le potentiel le plus élevé.



i.3. Symbole simplifié du NMOS ( cas  $v_{BS}=0$  ).

On rappelle ci-dessous les équations de base au premier ordre d'un NMOS ( cf. Fig. i.3 pour les noms de tensions et de courant ).

En fonction de la tension grille – source effective (  $v_{\text{eff}} = v_{\text{GS}} - V_{\text{tn}}$  ) on distingue quatre modes de fonctionnement pour un NMOS ( on notera que quelque soit le régime de fonctionnement considéré pour un MOS on a toujours  $i_G = 0$  ) :

#### Transistor bloqué

$$v_{\text{GS}} \leq 0 \quad \Rightarrow \quad i_{\text{D}} = 0$$

#### Inversion faible

$$V_{\text{eff}} \leq 0 \quad ( v_{\text{GS}} \leq V_{\text{tn}} ) \quad \Rightarrow \quad i_{\text{D}} \approx 0$$

#### Inversion forte, régime triode

$$V_{\text{eff}} \geq 0 \quad ( v_{\text{GS}} \geq V_{\text{tn}} ) \quad \text{et} \quad v_{\text{DS}} \leq V_{\text{eff}} \quad \Rightarrow \quad i_{\text{D}} = k'_{\text{n}} \cdot (W/L) \cdot [ ( v_{\text{GS}} - V_{\text{tn}} ) \cdot v_{\text{DS}} - v_{\text{DS}}^2 / 2 ]$$

#### Inversion forte, régime saturé

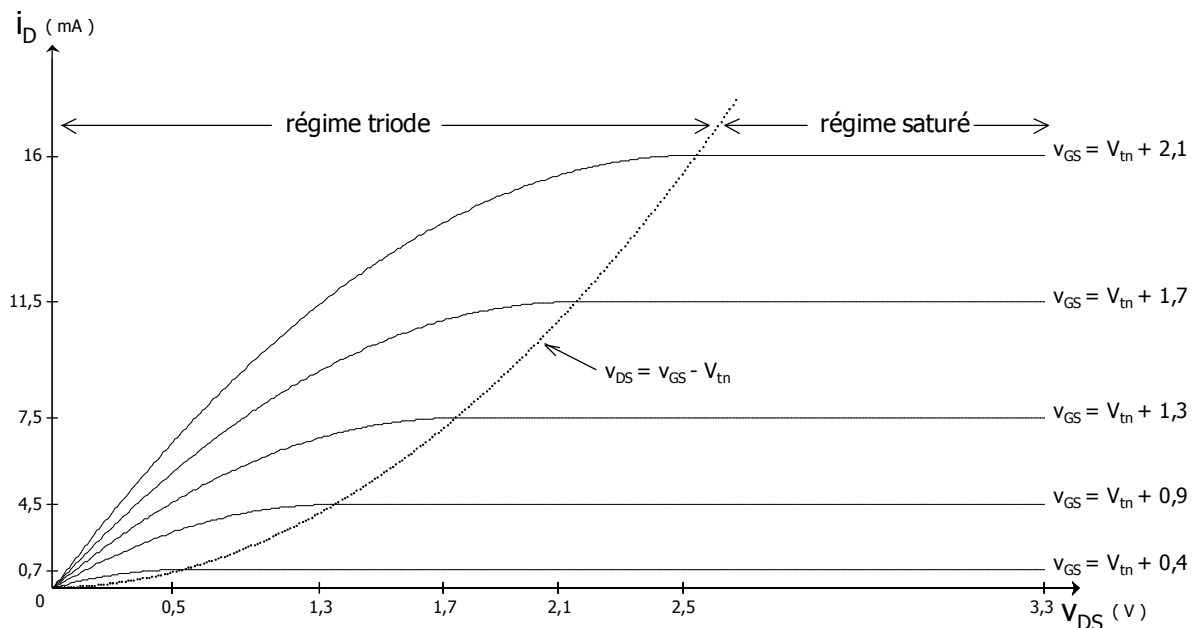
$$V_{\text{eff}} \geq 0 \quad \text{et} \quad v_{\text{DS}} \geq V_{\text{eff}} \quad \Rightarrow \quad i_{\text{D}} = 1/2 \cdot k'_{\text{n}} \cdot (W/L) \cdot ( v_{\text{GS}} - V_{\text{tn}} )^2$$

Avec :

$$V_{\text{tn}} \quad \text{tension de seuil du NMOS} \quad ( \text{V} )$$

$V_{\text{eff}} = v_{\text{GS}} - V_{\text{tn}}$	tension grille – source effective	( V )
$k'_n = \mu_n \cdot C_{\text{ox}}$	facteur de gain du NMOS	( $\mu\text{A}/\text{V}^2$ )
$\mu_n$	mobilité des électrons	( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )
$C_{\text{ox}}$	capacité surfacique de grille	( $\text{F}/\text{cm}^2$ )
$W$	largeur de grille du transistor	( $\mu\text{m}$ )
$L$	longueur de grille du transistor	( $\mu\text{m}$ )

La figure i.4 donne la caractéristique  $i_D - v_{\text{DS}}$  d'un NMOS pour différents  $v_{\text{GS}}$  ( $L=0,35 \mu\text{m}$   $W=10 \mu\text{m}$ ).

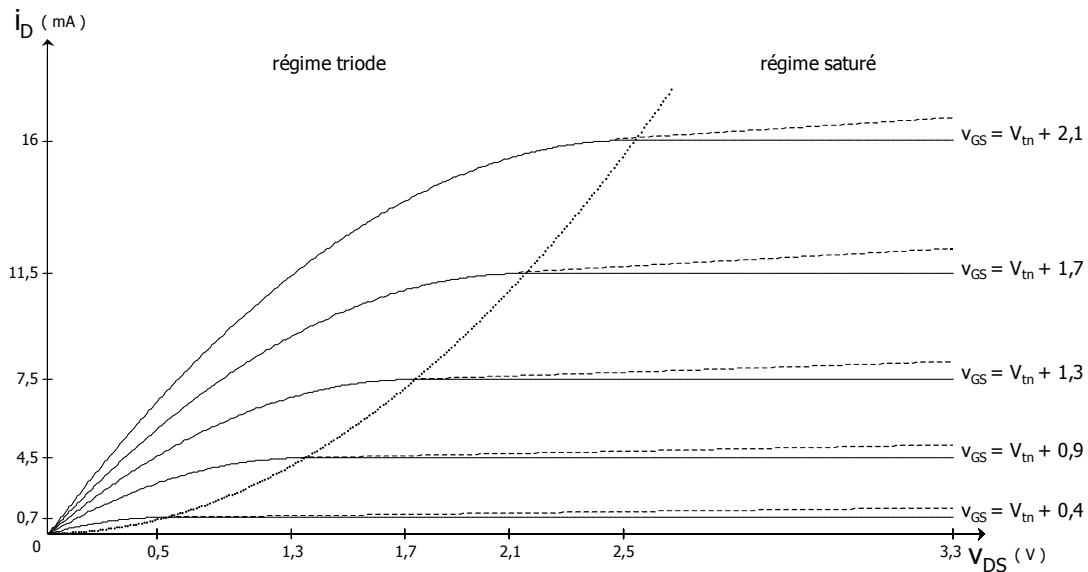


i.4. Caractéristique  $i_D - v_{\text{DS}}$  d'un NMOS.

La modélisation précédente est une modélisation au premier ordre ( c'est à dire grossière ), elle est utilisée en première approche pour les calculs manuels simples permettant la compréhension du fonctionnement de circuits élémentaires. En particulier en régime saturé le courant  $i_D$  augmente légèrement avec  $v_{\text{DS}}$  du fait du pincement du canal et de la modulation de la longueur effective de ce dernier ( cf. cours physique des semi-conducteurs ), on modélise cet effet en réécrivant l'équation de  $i_D$  :

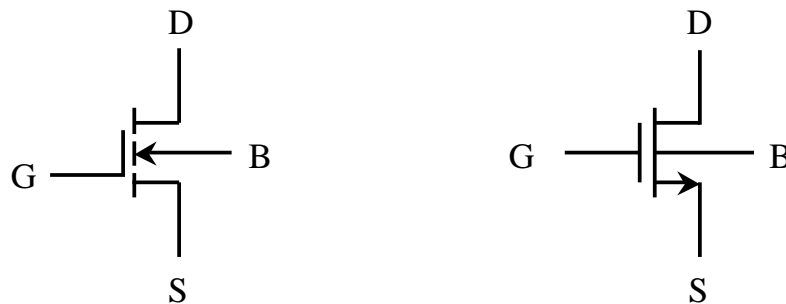
$$i_D = 1/2 \cdot k'_n \cdot (W/L) \cdot (v_{\text{GS}} - V_{\text{tn}})^2 \cdot (1 + \lambda \cdot v_{\text{DS}})$$

avec  $\lambda$  constante positive telle que  $\lambda = 1/V_A$ ,  $V_A$  étant la "tension d'Early" du transistor ( par analogie avec le bipolaire ). La figure i.5 reprend la caractéristique  $i_D - v_{\text{DS}}$  précédente, est représenté en pointillés les modifications apportées au régime saturé. La pente de la caractéristique en régime saturé est  $1/r_0$ ,  $r_0$  étant alors la résistance de sortie du MOS ( celle-ci est en effet finie ).



i.5. Caractéristique  $i_D - v_{DS}$  d'un NMOS intégrant la modulation de la longueur du canal en régime saturé.

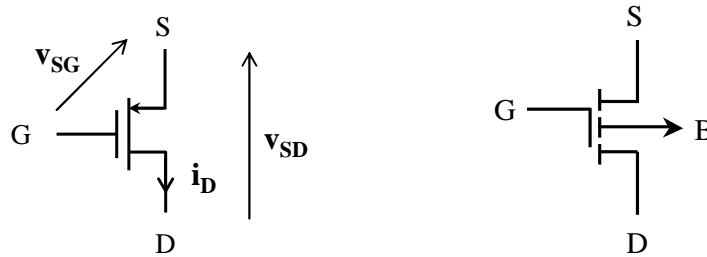
Enfin la figure i.6 rappelle le symbole complet du NMOS ( pour le cas  $v_{BS} \neq 0$  ) et un symbole plus usuel que nous utiliserons en TD.



i.6. Symbole complet du NMOS et symbole usuel utilisé en TD.

Une approche plus fine ( et exacte ) de la modélisation des MOS sort du cadre de ce TD.

De façon similaire, on obtient les équations au premier ordre du PMOS ( Fig. i.7 ) en remplaçant dans les expressions précédentes  $v_{DS}$  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 ( au niveau de leurs symboles respectifs le sens du courant est donné par une flèche sur la patte de la source ).



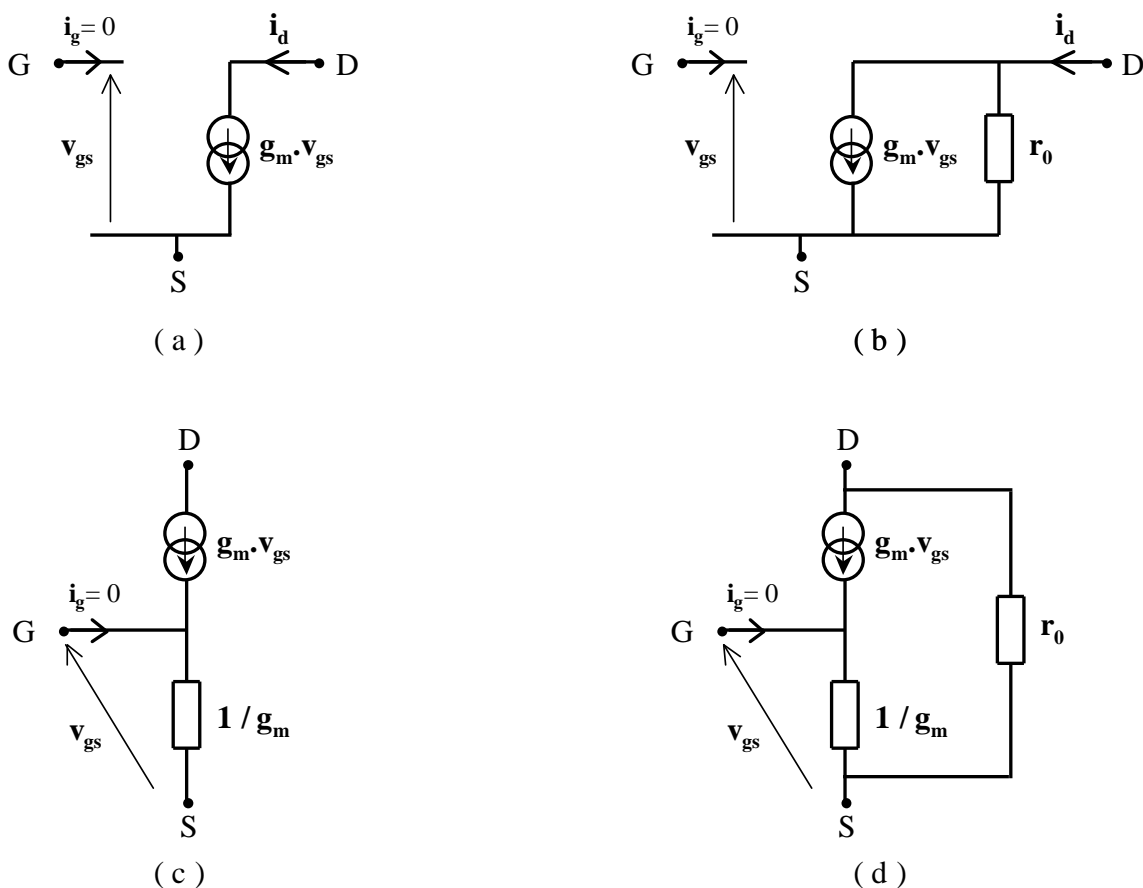
i.7. Symboles simplifié et complet du PMOS.

**Modèles petits signaux.**

Nous utiliserons la convention suivante pour distinguer les tension et les courant instantanés, continus et variables :

$$v_{GS} = V_{GS} + v_{gs}$$

$v_{GS}$  désignant la tension instantanée,  $V_{GS}$  sa composante continu et  $v_{gs}$  sa composante petits signaux ( pour autant que ces dénominations aient un sens ).



i.8. Modèles petits signaux du NMOS.

Le schéma i.8 rappelle les différents modèles petits signaux du NMOS en basse fréquence.

Ces modèles ne s'appliquent que pour une polarisation en régime saturé ( il est à retenir que le MOS utilisé en amplification le sera toujours en régime saturé ). Le ( a ) est le modèle en  $\pi$ ,

c'est le plus couramment utilisé. Il est repris en ( b ) en incluant la résistance de sortie  $r_0$ . Le modèle en T ,( c ), est plus rarement utilisé bien qu'équivalent, il permet de simplifier certains calculs. Il est repris en ( d ) en incluant la résistance de sortie  $r_0$ .

On note  $g_m = ( \partial i_D / \partial v_{GS} )_{v_{DS}=cte}$  la transconductance du transistor, on trouve :

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

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

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

et  $r_0 = ( \partial v_{DS} / \partial i_D )_{v_{GS}=cte}$  la résistance de sortie :

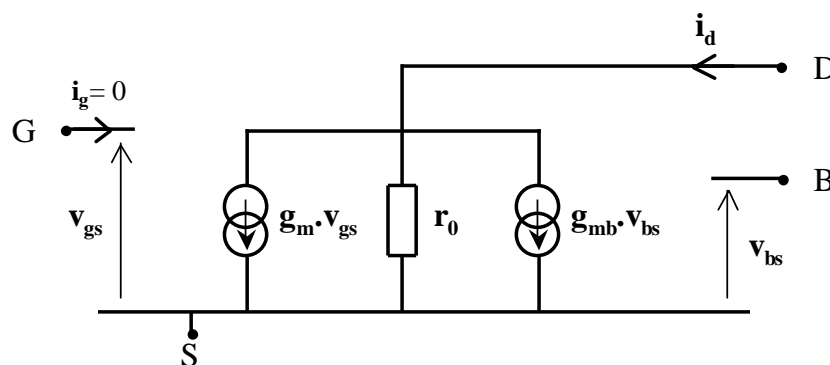
$$r_0 = 1 / (\lambda \cdot I_D) = V_A / I_D$$

Ainsi les paramètres électriques du modèle p. s. du MOS dépendent de sa polarisation.

### Rôle du substrat – "Body Effect".

La validité des équations précédentes est limitée au cas où le substrat ( body ) et la source des transistors sont au même potentiel (  $v_{BS} = 0$  ). Nous ne décrivons pas ici les phénomènes physiques à l'œuvre lorsque ce n'est pas le cas. Il apparaît alors un effet de substrat ( le "body effect" ) est parfois modélisé en considérant que la tension de seuil croît avec  $v_{SB}$ .

Nous nous contenterons d'introduire un nouveau modèle petits signaux pour le régime saturé basse fréquence lorsque  $v_{bs} \neq 0$  ( cf. Fig. i.9 ).



i.9 Modèles petits signaux d'un NMOS intégrant le body effect.

Le body effect est alors modélisé en considérant que le body agit comme une seconde grille. On insère une source de courant supplémentaire entre le drain et la source de valeur  $g_{mb} \cdot v_{bs}$ ,  $g_{mb}$  étant sa transconductance. On a généralement  $g_{mb} = \chi \cdot g_m$  avec  $\chi$  de l'ordre de 0,1 à 0,3.



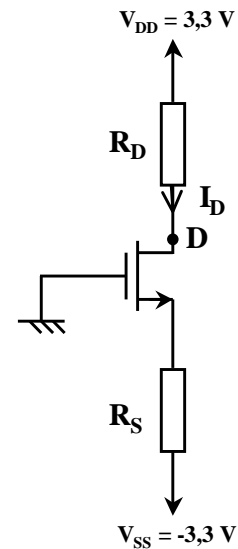
**TD1 – Le transistor MOS en DC.**

**1.1.**

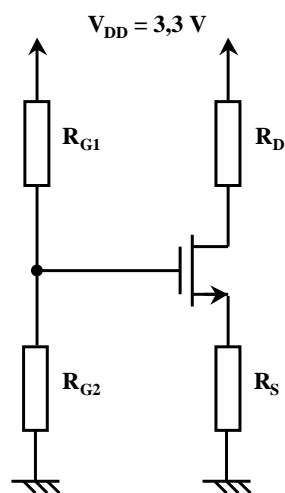
Dimensionner le circuit ci contre afin d'obtenir une polarisation du transistor telle que  $I_D = 100 \mu A$  et  $V_D = 1 V$ .

A quelle régime de fonctionnement correspond cette polarisation ?

On considère que la modulation de la longueur du canal est négligeable ( $\lambda = 0$ ) et on prend  $W=40\mu m$  et  $L=1\mu m$  ( les paramètres électriques du transistor sont donnés en annexe ).



**1.2.**



Donner le potentiel de chacun des nœuds et le courant circulant dans chacune des branches de ce circuit.

On prend  $R_{G1} = R_{G2} = 5 M\Omega$ ,  $R_D = R_S = 10 k\Omega$ ,  $W = 30 \mu m$ ,  $L = 1 \mu m$  et  $\lambda = 0$ .

Expliquer le choix des valeurs de  $R_{G1}$  et  $R_{G2}$ .

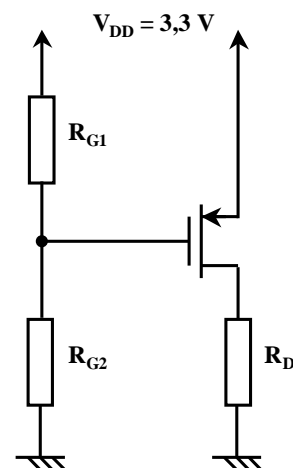
**1.3.**

Dimensionner le circuit ci-contre afin que le transistor fonctionne en saturation avec  $I_D = 150 \mu A$  et  $V_D = 1,8 V$ .

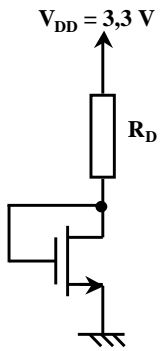
On prend  $L = 10 \mu m$  et on suppose  $\lambda = 0$ .

Choix de W : trouver l'expression  $I_D = f( V_{SD} )$  à la limite des régimes triodes et saturés, en déduire le choix de W.

Quelle est la valeur maximale de  $R_D$  assurant un fonctionnement en saturation ?



## 1.4.

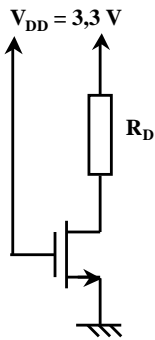


Dimensionner le circuit ci-contre pour obtenir  $I_D = 200 \mu\text{A}$ . Donner la valeur de  $V_D$ .

On prend  $L = 2 \mu\text{m}$ ,  $W = 10 \mu\text{m}$  et on considère  $\lambda = 0$ .

Réponse :  $V_D = 1,1 \text{ V}$  et  $R_D = 11 \text{ k}\Omega$ .

## 1.5.



Dimensionner ce circuit de façon à avoir  $V_D = 0,1 \text{ V}$ .

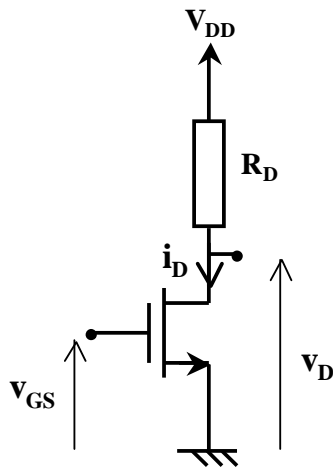
On prend  $W = 6 \mu\text{m}$  et  $L = 1 \mu\text{m}$ .

Que vaut  $r_{DS}$ , la résistance drain source à ce point de polarisation ?

Réponse :  $I_D = 0,3 \text{ mA}$ ,  $R_D = 11 \text{ k}\Omega$  et  $r_{DS} = 333\Omega$ .

## TD2 – Le transistor MOS en amplification.

### 2.1. Montage de base.



On considère le montage amplificateur source commune ci-contre ( il s'agit ici d'un montage d'étude, nous verrons ultérieurement une façon pratique de le réaliser ).

La tension grille source instantanée  $v_{GS}$  s'écrit sous la forme  $v_{GS} = V_{GS} + v_{gs}$ , avec  $V_{GS}$  terme continu de polarisation et  $v_{gs}$  un terme variable petits signaux.

#### a. Point de polarisation.

On ne s'intéresse ici qu'aux composantes continues des différents signaux.

Donner le régime de fonctionnement du transistor pour un montage amplificateur, et préciser les conditions de polarisation.

Exprimer  $I_D$  et  $V_D$  ( avec  $\lambda = 0$  ).

#### b. Courant de drain.

b.1. En considérant désormais qu'un signal variable est ajouté (  $v_{GS} = V_{GS} + v_{gs}$  ) exprimer  $i_D$  sous la forme de la somme d'un terme continu, d'un terme d'amplification et d'un terme quadratique.

b.2. A quoi correspond le terme quadratique ? A quelle condition peut on écrire  $i_D$  sous la forme  $i_D \cong I_D + i_d$  ?

b.3. En déduire l'expression de  $g_m = i_d / v_{gs}$  la transconductance du transistor. Remarque ?

#### c. Gain en tension.

c.1. Exprimer  $v_D$  sous la forme  $v_D = V_D + v_d$ . En déduire l'expression du gain en tension petits signaux  $A_v = v_d / v_{gs}$ .

c.2. Tracer l'allure de  $v_{GS}$  et  $v_D$  pour un  $v_{gs}$  triangulaire. Quelles sont les conditions de fonctionnement à respecter ?

d. Séparation des analyses DC et petits signaux.

d.1. Retrouver l'expression du gain en tension petits signaux à partir du schéma équivalent petits signaux du transistor.

d.2. Dans la pratique on trouve un gain en tension inférieur. Proposer une explication et trouver une valeur plus précise de  $A_v$ .

e. Ecritures de la transconductance.

e.1. Rappeler l'expression de  $g_m$  trouvée précédemment. Comment faire pour obtenir une transconductance élevée ? Inconvénients ?

e.2. Exprimer  $g_m$  en fonction de  $\sqrt{I_D}$ , la comparer avec celle d'un transistor bipolaire.

e.3. Retrouver l'expression de  $g_m$  en fonction de  $I_D$  et de la tension effective  $V_{\text{eff}} = V_{\text{GS}} - V_{\text{tn}}$ . Quelle conclusion en tirer sur l'on compare la transconductance des bipolaires et des MOS ?

e.4. Quelles sont les principaux avantages des transistors MOS par rapport aux transistors bipolaires ?

**2.2. Dimensionnement.**

On cherche à dimensionner le montage précédent ( largeur du transistor, valeur de la résistance et polarisation ) de façon à obtenir un gain en tension en régime petits signaux de 20 dB.

On fixe arbitrairement  $I_D = 100 \mu\text{A}$ ,  $V_D = 1,7 \text{ V}$  et  $L = 2 \mu\text{m}$ .

a. Dimensionnement.

On pourra dans un premier temps calculer  $R_D$  puis  $g_m$  avant d'en déduire  $V_{\text{GS}}$  et  $W$ .

b. Linéarité.

On considère un signal  $v_{\text{gs}}$  de forme sinusoïdale tel que  $v_{\text{gs}} = V_{\text{gs}} \cdot \sin(\omega t)$ .

On définit le taux de distorsion harmonique du second ordre comme étant le rapport de l'amplitude de l'harmonique à la pulsation  $2\omega$  par l'amplitude du fondamental à la pulsation  $\omega$  exprimé en pourcentages.

b.1. Exprimer le taux de distorsion harmonique du second ordre ( on rappelle la formule de trigonométrie bien connue  $\cos(2\theta) = 1 - 2 \cdot \sin^2\theta$  ).

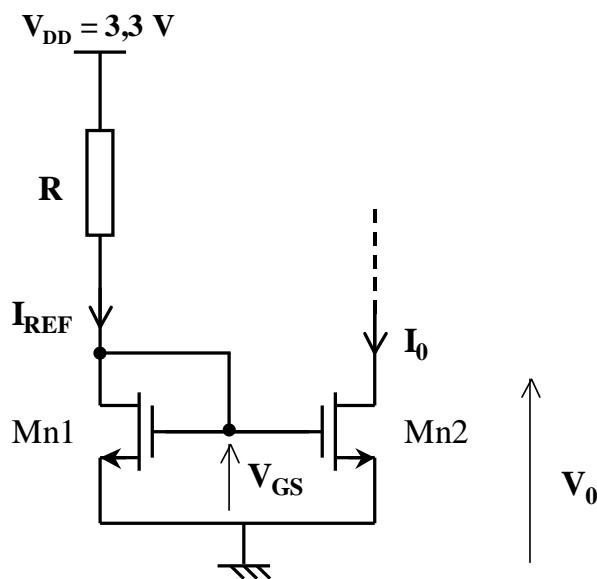
b.2. Donner la valeur maximale acceptable de  $v_{\text{gs}}$  pour avoir un taux de distorsion de 1% au plus.

Réponses :  $R_D = 16 \text{ k}\Omega$ ,  $g_m = 625 \mu\text{A/V}$ ,  $V_{\text{GS}} = 0,78 \text{ V}$ ,  $W = 22 \mu\text{m}$ ,  $v_{\text{gsmax}} = 12,8 \text{ mV}$ .

**TD3 – Polarisation par sources de courant.**

La réalisation de résistances élevées en technologie MOS est relativement coûteuse en termes de surface ( c'est aussi vrai pour les capacités ) et par conséquence en termes financiers. Aussi, dans la mesure du possible leur utilisation est limitée au maximum, tant que cela n'induit pas une dégradation importante des performances. Aussi les méthodes de polarisation utilisées en conception intégrée diffèrent elles de celles vues précédemment qui sont adaptées aux circuits discrets ; elles sont basées sur l'utilisation de sources de courant.

**3.1. Source de courant.**



Le schéma ci-contre présente la structure de source de courant la plus simple en technologie MOS.

Dans les premières questions on considèrera  $\lambda = 0$ .

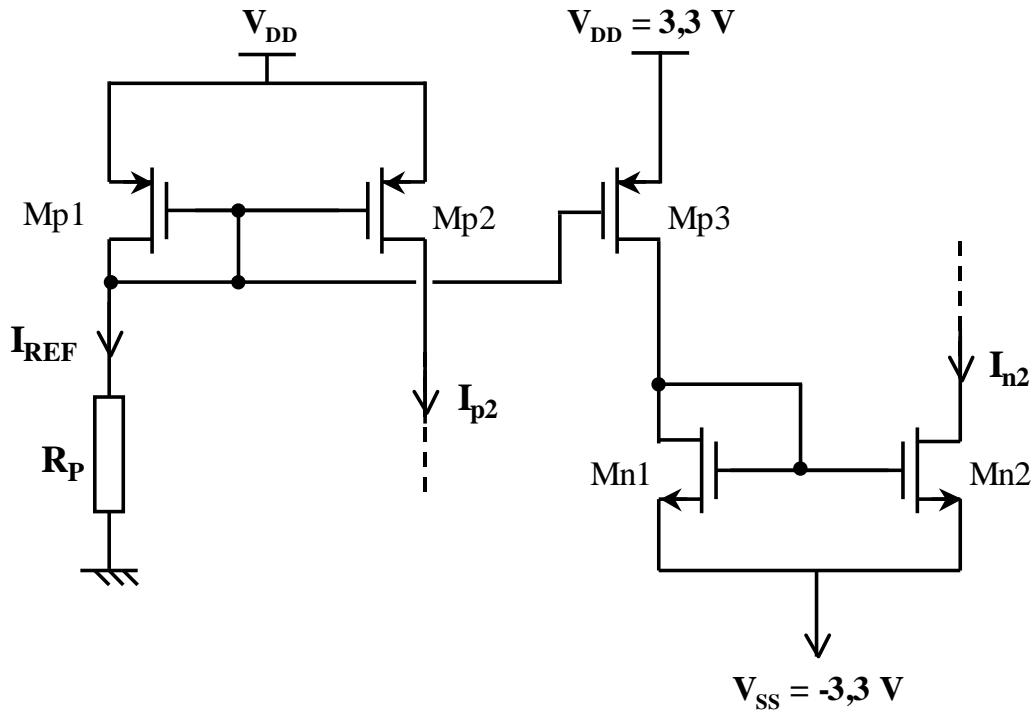
- a. Quelle est le régime de fonctionnement du transistor Mn1 ? Exprimer  $I_{D1}$ , le courant de drain de Mn1.
- b. Quelle condition doit vérifier  $V_0$  pour que Mn2 fonctionne en saturation ? Exprimer  $I_{D2}$  dans ce cas.
- c. Etablir une relation entre  $I_0$  et  $I_{REF}$ . Quand parle-t-on de miroir ou de source de courant ?
- d. Quel composant permet de fixer la valeur de  $I_{REF}$  ? Donner l'expression de  $I_{REF}$  en fonction de  $V_{DD}$ , R et  $V_{GS}$ .
- e. On ne néglige plus la modulation de longueur de canal ( $\lambda \neq 0$  ).  
Tracer  $I_0$  en fonction de  $V_0$  dans le cas où Mn1 et Mn2 sont identiques. Que vaut  $R_{out}$  la résistance de sortie de la source de courant ? Proposer une façon d'augmenter la résistance de sortie d'une source de courant.

Quels sont les paramètres importants d'une source de courant de bonne qualité ?

### f. Dimensionnement.

Proposer un design permettant de réaliser un miroir de courant tel que  $I_0 = 100 \mu\text{A}$  et  $V_{0\text{min}} = 0,3 \text{ V}$  ( on prendra arbitrairement  $L = 2 \mu\text{m}$  ).

### 3.2. Distribution des courants dans un circuit intégré.

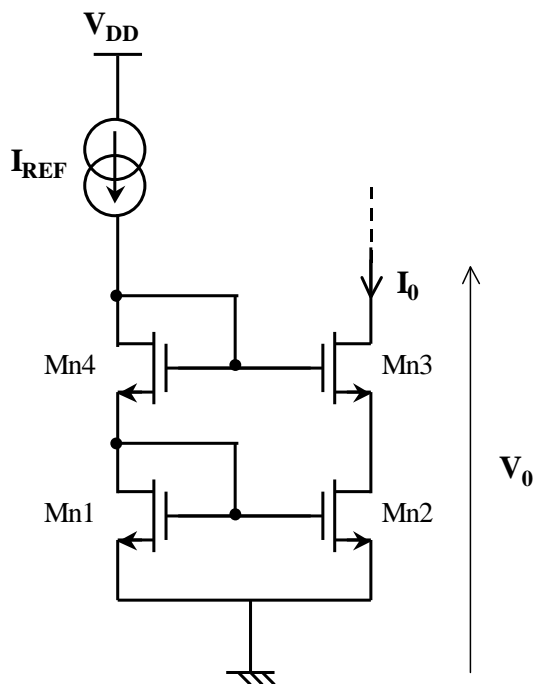


Une fois qu'une référence de courant est générée sur un circuit intégré, elle peut être utilisée pour générer à son tour plusieurs courants constants de polarisation en différentes parties du design. La structure ci-dessus en présente un exemple, elle permet de générer les courants  $I_{p2}$  et  $I_{n2}$ .

Dimensionner ce circuit de façon à avoir  $I_{\text{REF}} = 20 \mu\text{A}$ ,  $I_{p2} = 80 \mu\text{A}$  et  $I_{n2} = 40 \mu\text{A}$  ( on prendra  $\lambda = 0$  ). On prendra  $L = 2 \mu\text{m}$  pour l'ensemble des transistors et on réglera le swing des sources de façon à avoir  $V_{\text{Dp}2\text{max}} = 3,1 \text{ V}$  et  $V_{\text{Dn}2\text{min}} = -3,1 \text{ V}$ .

### 3.3. Miroirs de courant cascodes.

#### a. Miroir cascode.



Un montage cascode ( cf. schéma ci-contre ) permet d'augmenter la résistance de sortie au prix d'une réduction de la plage de tension acceptable en sortie du miroir.

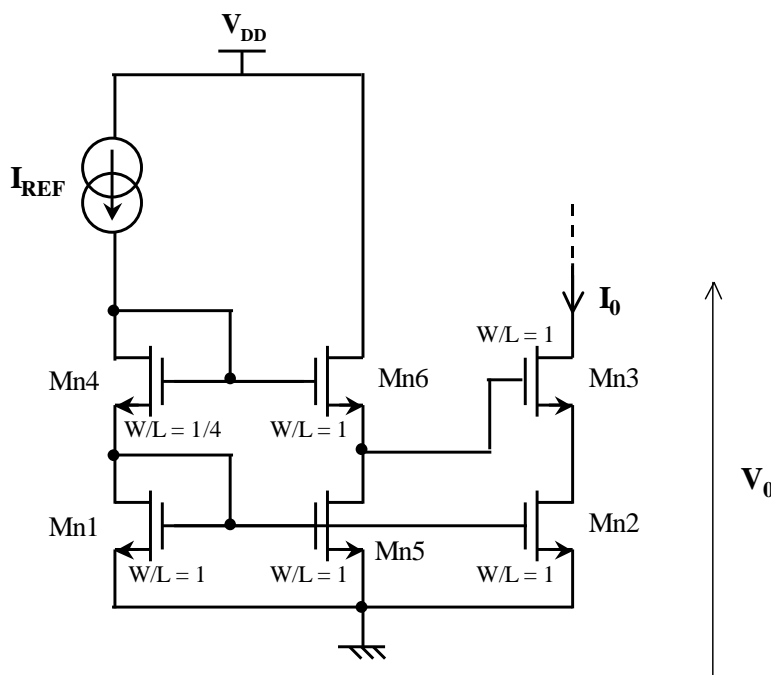
##### a.1. Calcul de la résistance de sortie.

Les transistors connectés en diode Mn1 et Mn4 ayant une résistance faible (  $1 / g_m$  ) on fera l'hypothèse pour le calcul de  $R_{out}$  que les grille de Mn2 et Mn3 sont connectées à la masse en régime petits signaux. Et toujours afin de simplifier le calcul on négligera le body effect au niveau de Mn3.

Dessiner le schéma équivalent petits signaux permettant de déterminer la résistance de sortie, la calculer.

##### a.2. En considérant que tous les transistors du cascode sont identiques trouver le potentiel de la grille de Mn3. En déduire la condition de fonctionnement du miroir cascode. Conclusion ?

#### b. Cascode amélioré.



Le design ci-contre correspond à un miroir cascode amélioré. Le rapport des dimensions du transistor Mn4 ( marqué  $W/L=1/4$  ) est le quart du rapport des dimensions de tous les autres transistors ( marqués  $W/L=1$  ).

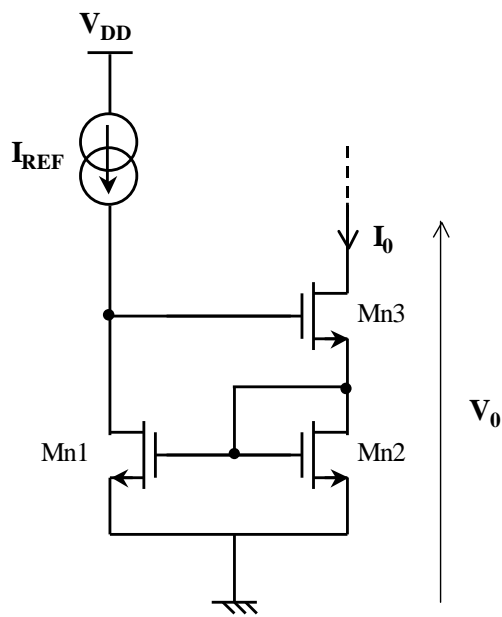
##### b.1. Par analogie avec le montage cascode classique

donner la résistance de sortie de ce miroir.

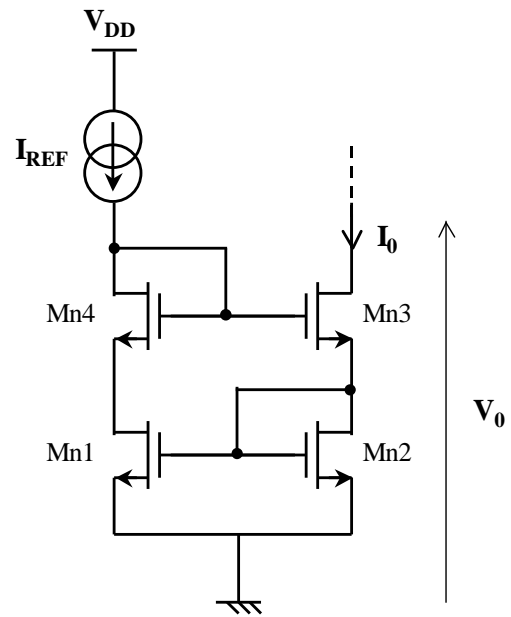
b.2. Exprimer  $V_{GS4}$  la tension grille source du transistor Mn4 en fonction de  $V_{GS}$  la tension grille source de Mn1, Mn2 et Mn5 et de  $V_{tn}$  (on prendra  $\lambda = 0$ ). En déduire  $V_{G6}$  et  $V_{G3}$  les tension de grille des transistors Mn6 et Mn3.

Quelle est le limitation du swing du montage cascode amélioré proposé ? Conclusion.

### 3.4. Miroirs Wilson.



( a ) - Wilson



( b ) - Wilson amélioré

a. Retrouver des résultats similaires au montage cascode dans le cas d'un miroir de Wilson.

b. Comparer les tension de drain de Mn1 et Mn2, qu'en déduire concernant  $I_{REF}$  et  $I_0$  ?

c. Quelle amélioration est apportée par le montage ( b ) ?

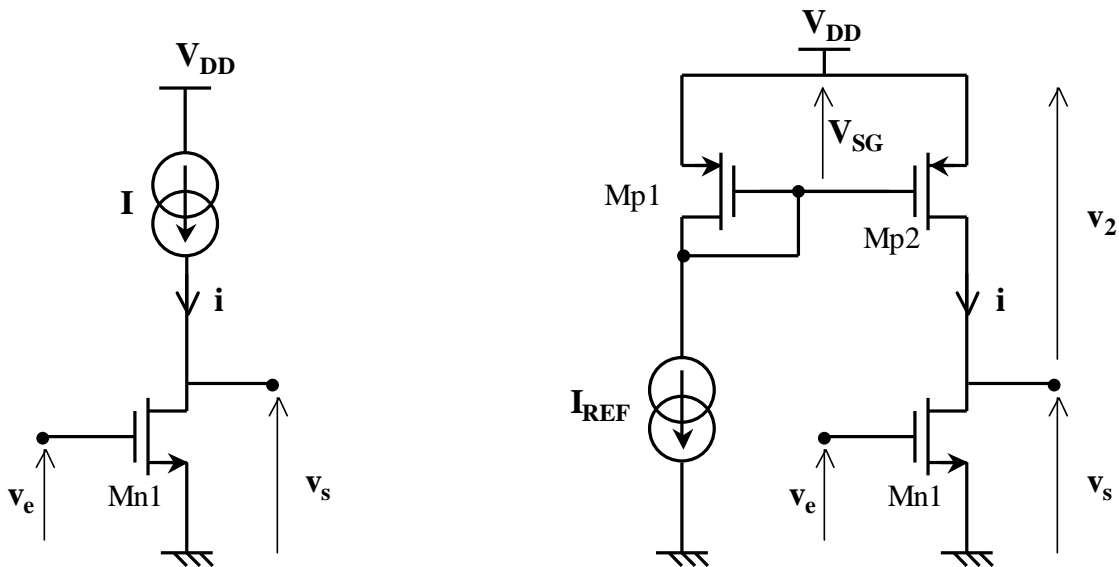


**TD4 – Montage amplificateur source commune intégré.**

Les trois TD suivants sont consacrés à l'étude des trois montages amplificateurs élémentaires en technologie CMOS intégrée.

Nous commençons par l'étude de l'amplificateur source commune. En technologie intégrée nous avons vu que l'on limite dans la mesure du possible l'utilisation de composants passifs ; ici, la résistante de charge ( cf. TD 2 ) est remplacée par une source de courant. On parle alors de charge active.

**4.1.**



a. Mp1 et Mp2 forment un miroir de courant polarisé par la source de courant  $I_{REF}$ .

Tracer la caractéristique  $i - v_2$  de ce miroir. A quelle condition fonctionne il effectivement en miroir de courant et quelle est alors sa résistance de sortie ?

b. Caractéristique de transfert  $v_S - v_E$ .

Reporter la caractéristique du miroir de courant dans le système d'axes  $i - v_S$ . Tracer dans le même repère la caractéristique  $i - v_S$  du transistor Mn1 pour plusieurs valeurs de  $v_E$ .

En déduire la caractéristique de transfert  $v_S - v_E$  du montage amplificateur source commune à charge active.

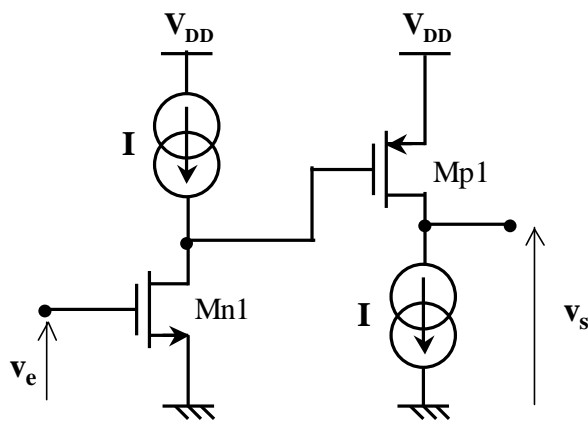
c. Dessiner le schéma équivalent petits signaux de ce montage et calculer le gain en tension correspondant en fonction de  $g_{m1}$ ,  $r_{01}$  et  $r_{02}$ .

En supposant que Mn1 et Mp2 aient la même tension d'Early  $V_A$ , exprimer  $A_v$  en fonction de  $V_A$ ,  $(W/L)_{Mn1}$  et de  $I_{REF}$ .

#### d. Dimensionnement.

Dimensionner le montage source commune afin d'obtenir un gain en tension de 40 dB. On impose une même longueur de grille  $L = 2 \mu\text{m}$  pour tous les transistor, cette longueur correspondant (très approximativement) à une tension d'Early  $V_A$  de l'ordre de -20 V pour les PMOS et NMOS, une intensité  $I_{\text{REF}} = 20 \mu\text{A}$  et une plage de fonctionnement pour  $v_s$  symétrique.

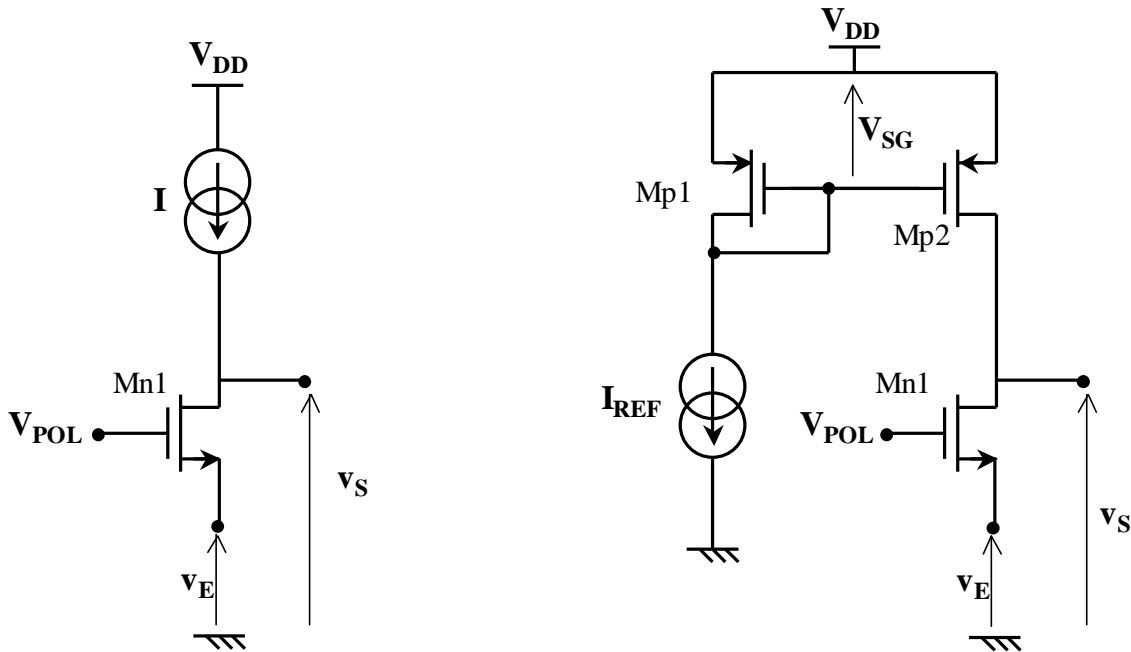
#### 4.2.



Donner le gain global de ces deux amplificateurs source commune cascades en fonction de  $g_m$  et  $r_0$ . On considérera que les sources de courant sont idéales.

**TD 5 – Montage amplificateur grille commune intégré.**

**5.1.**



Dans le montage grille commune, la grille du NMOS utilisé en amplification est connectée à une tension de polarisation constante  $V_{POL}$  ; le nom de cette architecture provient du fait que la grille est au potentiel nul en régime petits signaux.

- a. Dessiner le schéma équivalent petits signaux de l'amplificateur grille commune et exprimer  $A_v$ , le gain en tension, en fonction de  $g_{m1}$ ,  $g_{mb1}$ ,  $r_{01}$  et  $r_{02}$ .
- b. Calculer la résistance d'entrée de ce montage ( on pourra éventuellement regrouper les deux sources de courant pour simplifier le calcul ).
- c. Comparer les caractéristiques de l'amplificateur grille commune avec celles de l'amplificateur source commune.

**5.2.**

a. En écrivant  $g_{mb1} = \chi \cdot g_{m1}$  et en considérant  $r_{01}=r_{02}=|V_A|/I_{REF}$  montrer que pour l'amplificateur précédent on peut écrire :

$$A_v = ( 1 + \chi ) \cdot V_A / V_{eff1} \quad \text{et} \quad R_e = V_{eff1} / I_{REF} ( 1 + \chi )$$

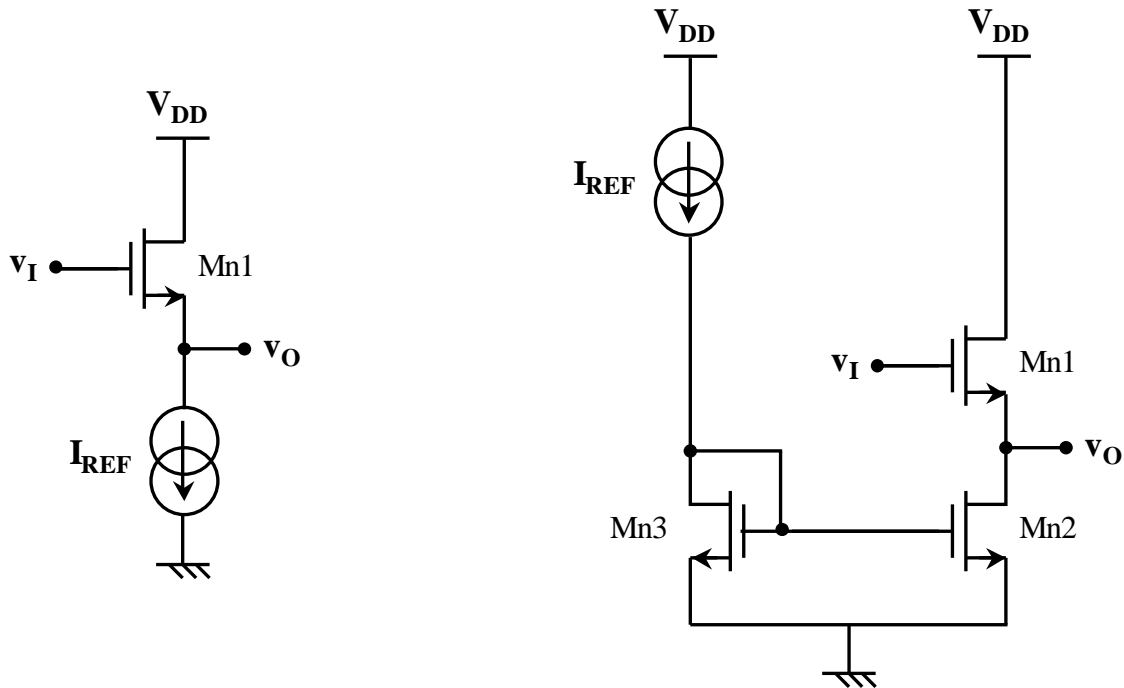
**b. Dimensionnement.**

On prend  $|V_A| = 50 \text{ V}$  et  $\chi = 0,2$ . Trouver les valeurs de  $V_{\text{eff1}}$ ,  $I_{\text{REF}}$  et  $(W/L)_1$  permettant d'obtenir un gain de 40 dB et une résistance d'entrée de 10 k $\Omega$ .

Réponses :  $V_{\text{eff1}} = 0,6 \text{ V}$ ,  $I_{\text{REF}} = 50 \text{ }\mu\text{A}$ ,  $(W/L)_1 = 1,58$ .

**TD 6 – Amplificateur drain commun intégré – Montage suiveur.**

**6.1.**



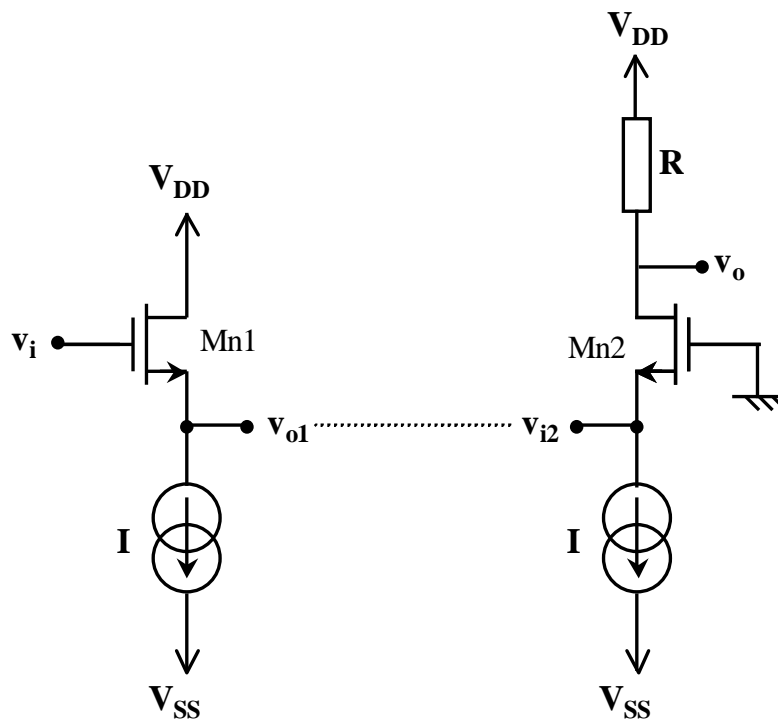
a. Dessiner le schéma équivalent petits signaux du montage amplificateur drain commun.

Afin de simplifier le schéma précédent montrer que l'on peut remplacer la source de courant de c.e.m.  $g_{mb1}V_{bs1}$  par une résistance dont vous préciserez la valeur. En déduire l'expression du gain en tension petits signaux.

b. En procédant de façon similaire calculer la résistance de sortie du montage.

c. Quelle est l'utilité de l'amplificateur suiveur ( drain commun ) ?

## 6.2. Amplificateur à deux étages.



a. Exprimer le gain en tension à vide de l'étage suiveur  $v_{o1}/v_i$  et sa résistance de sortie  $R_{o1}$  en fonction de  $g_{m1}$  et  $\chi$  ( en considèrera  $r_{o1}$  la résistance de sortie de Mn1 et celle de la source de courant comme étant quasi infinies ).

b. Exprimer le gain en tension de l'étage grille commune  $v_o/v_{i2}$  et sa résistance d'entrée  $R_{i2}$  en fonction de  $g_{m2}$ ,  $\chi$  et  $R$  ( en considèrera  $r_{o2}$  la résistance de sortie de Mn2 et celle de la source de courant comme étant quasi infinies ).

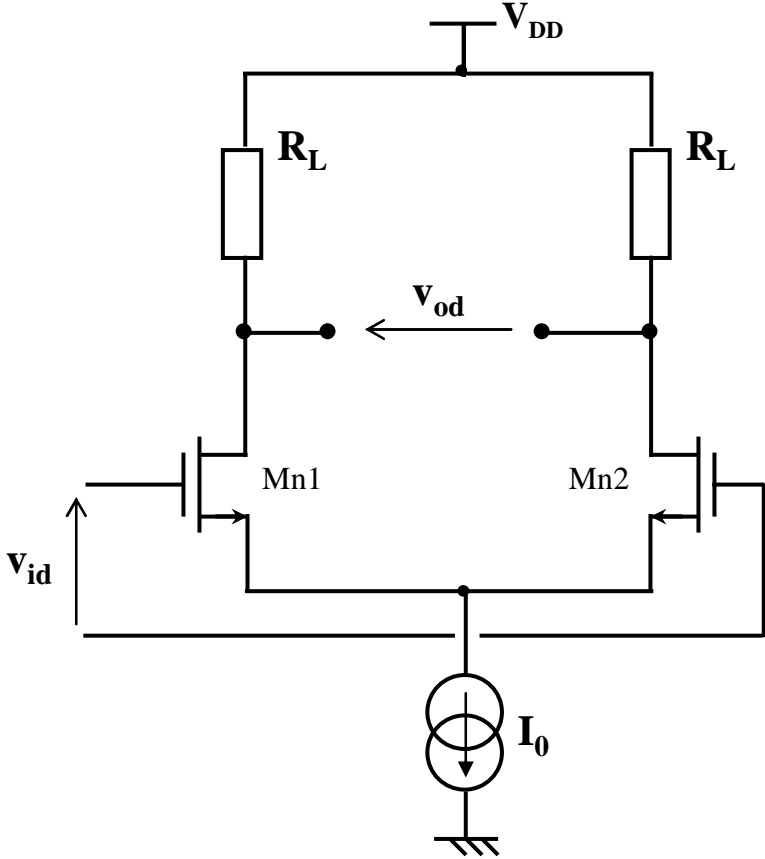
c. On relie  $v_{o1}$  et  $v_{i2}$ . Calculer le gain global  $v_o/v_i$ .

### d. Dimensionnement.

La polarisation continue du drain de Mn2 est fixée à 0 V ( on rappelle  $V_{DD}=3,3$  V ). Déterminer la valeur de la somme des tensions effectives de Mn1 et Mn2 permettant d'obtenir un gain global de 25 V/V.

On choisira  $V_{eff1}=V_{eff2}$  et  $I = 30 \mu\text{A}$ . Calculer  $R$  et le rapport de dimension des transistors.

**TD 7 – Paire différentielle.**



## Annexe

Paramètres d'une technologie MOS 0,35 $\mu$ m alimentée en 3,3 volts.

	Tension de seuil ( V )	Facteur de gain ( $\mu$ A/V <sup>2</sup> )
NMOS	$V_{tn} = 0,46$	$k'_n = 175$
PMOS	$V_{tp} = -0,60$	$k'_p = 58$

**Bibliographie**

"Microelectronic Circuits", A.S. Sedra, K.C. Smith, Oxford University Press. ( MIC GEN SEDR )

"Analysis and Design of Analog Integrated Circuits", P.R. Gray, P.J. Hurst, S.H. Lewis, R.G. Meyer, John Wiley & Sons.

"Design of Analog CMOS Integrated Circuits", B. Razavi, McGraw-Hill.