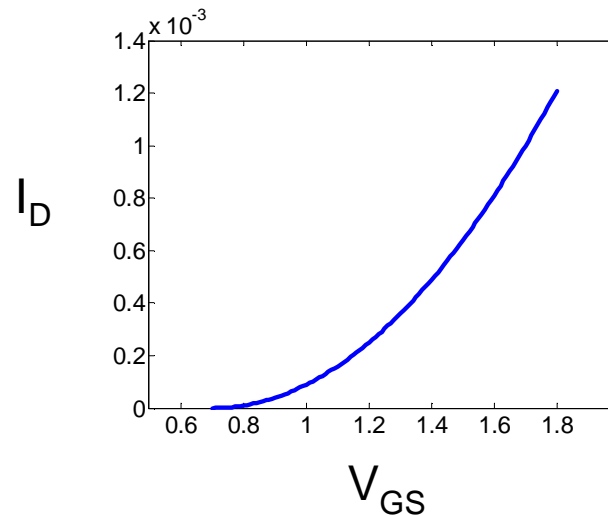
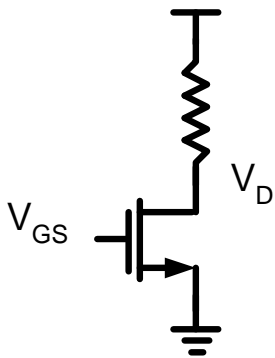


# Cours 8

Modele petit signal CMOS

# Modele petit-signal

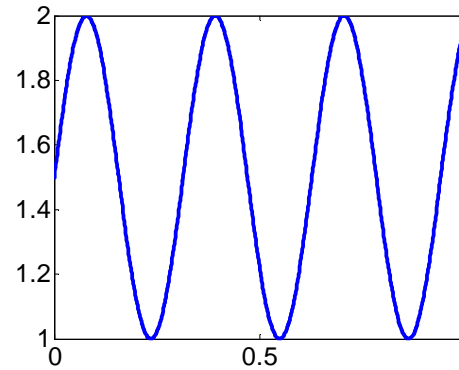
- On aimerait utiliser transistors CMOS comme amplificateur
  - Par exemple, entrer signal dans grille et observer la sortie au drain
- Le probleme? CMOS sont non-lineaires.



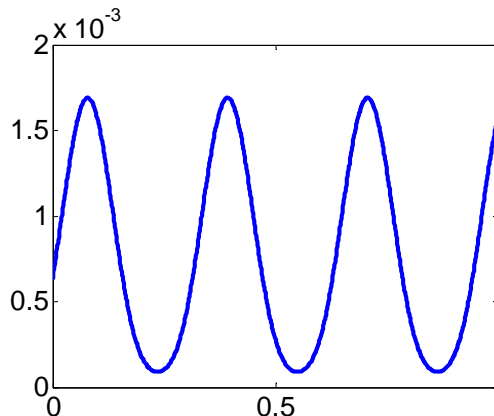
C'est quoi le probleme avec la non-linearite?  
Allons revoir ca...

# Modele petit-signal

- Si on appliquait un sinus a l'entrée:



- Le courant  $I_D$  sera:

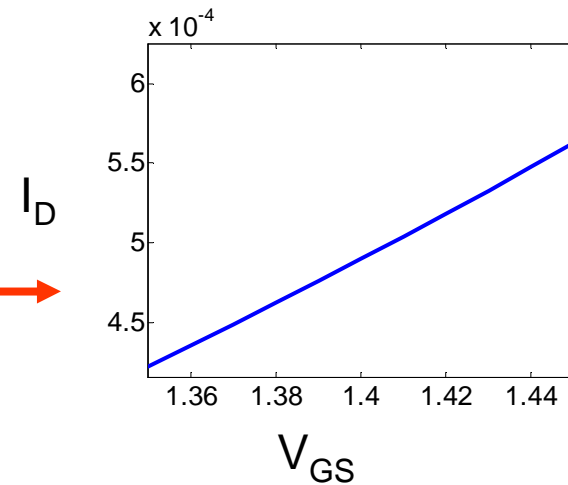
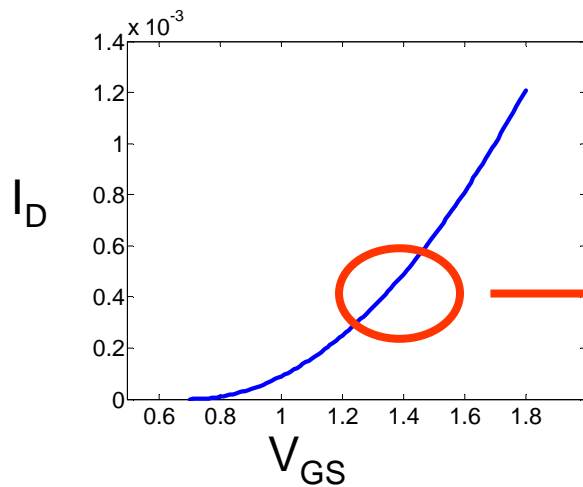


Le bas est plus gros que le haut

C'est le resultat de la non-linearite...

# Modele petit-signal

- Le probleme: relation V-I n'est pas une ligne droite
  - Si on se "rapproche" assez, ca devient droit



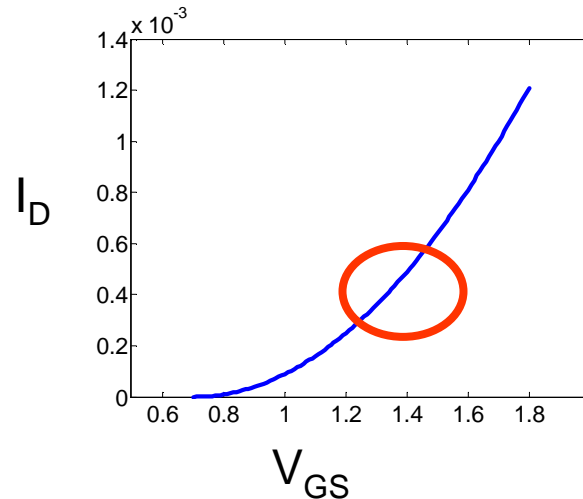
C'est "droit"

- Si  $V_{GS}$  change peu,  $I_D$  change peu

Chose interessante: la relation V-I devient "droite"

# Modele petit-signal

- On met les resistances et sources pour choisir ou on veut “zoomer”



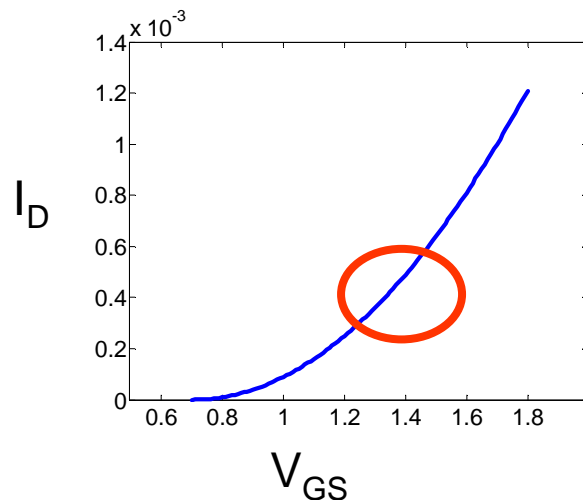
On fait ca lors de l'analyse DC

- Ensuite, on calcule la pente pour savoir comment  $\Delta V_{GS}$  devient  $\Delta I_D$

Ca, c'est l'analyse petit-signal

# Modele petit-signal

- En BJT, on a deduit le comportement avec la serie de Taylor.
- Ici, la derivation est plus facile...
- Commencons par l'equation du courant:



$$I_D = \underbrace{\frac{1}{2} \mu C O X \frac{W}{L}}_{\text{Constant}} \underbrace{(V_{GS} - V_{TH})^2}_{\text{Constant}}$$

On change  $V_{GS}$  et ca change  $I_D$



# Modele petit-signal

- On regroupe les termes:

$$\left( v_{gs}^2 + 2v_{gs}V_{GS} - 2v_{gs}V_{TH} + \underbrace{V_{GS}^2 - 2V_{GS}V_{TH} + V_{TH}^2}_{\downarrow} \right)$$

$$v_{gs} \left[ v_{gs} + 2(V_{GS} - V_{TH}) \right] + \underbrace{(V_{GS} - V_{TH})^2}$$

- Si  $v_{gs}$  petit, c'est negligeable vs  $2(V_{GS} - V_{TH})$ 
  - Hypothese "petit signal"

$$v_{gs} \left[ \cancel{v_{gs}}^0 + 2(V_{GS} - V_{TH}) \right] + (V_{GS} - V_{TH})^2$$



# Modele petit-signal

- On substitue dans l'equation du courant

$$I_D + i_d = \frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L} \left[ \underbrace{2v_{gs} (V_{GS} - V_{TH}) + (V_{GS} - V_{TH})^2} \right]$$

- On distribue dans la parenthese:

$$I_D + i_d = \left[ \mu C_{OX} \frac{W}{L} v_{gs} (V_{GS} - V_{TH}) + \frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \right]$$

- On remarque que ca peut se simplifier...

$$\underbrace{I_D + i_d}_{\leftarrow} = \left[ \mu C_{OX} \frac{W}{L} v_{gs} (V_{GS} - V_{TH}) + \frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \right]$$

# Modele petit-signal

- En enlevant les termes equivalents:

$$\cancel{I_D + i_d} = \left[ \mu C_{OX} \frac{W}{L} v_{gs} (V_{GS} - V_{TH}) + \frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \right] \Rightarrow i_d = \left[ \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) \right] v_{gs}$$

- Si  $v_{gs}$  est petit,  $V_{GS}$  est “constant”
  - On applique  $v_{gs}$  et on obtient  $i_d$ .

$$i_d = \left[ \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) \right] v_{gs}$$

“Constant”


# Modele petit-signal

- Si la section au centre est constante, on peut remplacer par une lettre:

$$i_d = K \cdot v_{gs}$$

- La constante relie un voltage a un courant:
  - C'est un "conductance"
  - On applique V pour avoir I a une AUTRE borne:

TRANSconductance:  $g_m$

$$i_d = \left[ \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) \right] v_{gs} \qquad i_d = g_m v_{gs}$$


# Modele petit-signal

- On peut donc voir que  $g_m$  est donne par:

$$g_m = \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})$$

- Cette equation ressemble un peu a  $I_D$ :

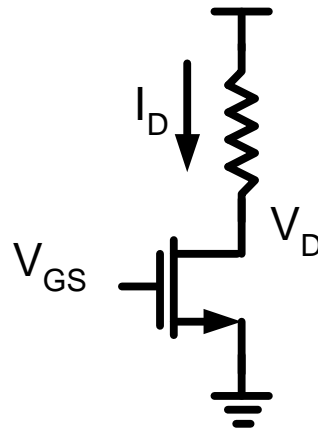
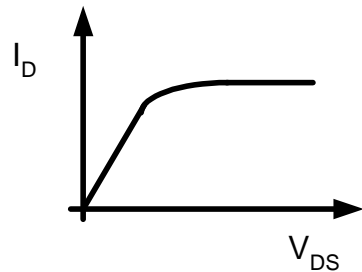
$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 = \frac{1}{2} \underbrace{\mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})}_{g_m} (V_{GS} - V_{TH})$$

- On pourrait ecrire  $g_m$  en fonction de  $I_D$ :

$$I_D = \frac{1}{2} g_m (V_{GS} - V_{TH}) \quad \Rightarrow \quad g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_{TH})}$$

# Modele petit-signal

- Pour amplifier on veut etre en saturation
  - Pourquoi?
- Imaginons qu'on est en region lineaire:



$$I_D = \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS}$$

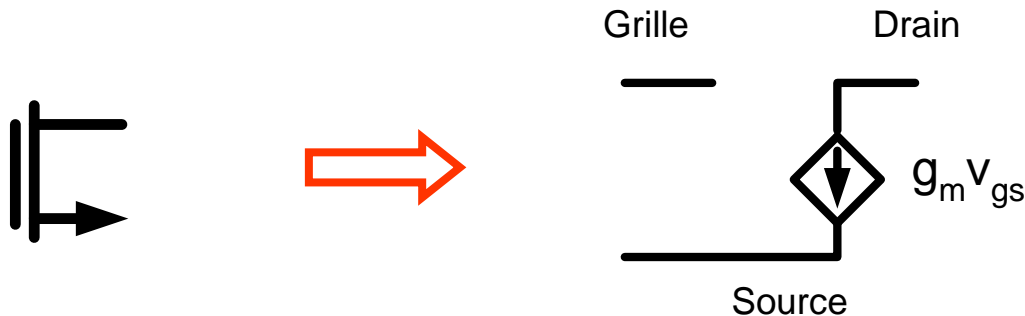
1. Si  $V_{GS}$  augmente
  2.  $I_D$  va augmenter
  3.  $V_{DS}$  va baisser
- } Tout est encore bon

Baisse de  $V_{DS}$  va faire BAISSER  $I_D$

Pour gros gain, on veut  $I_D$  independent de  $V_{DS}$ : Saturation

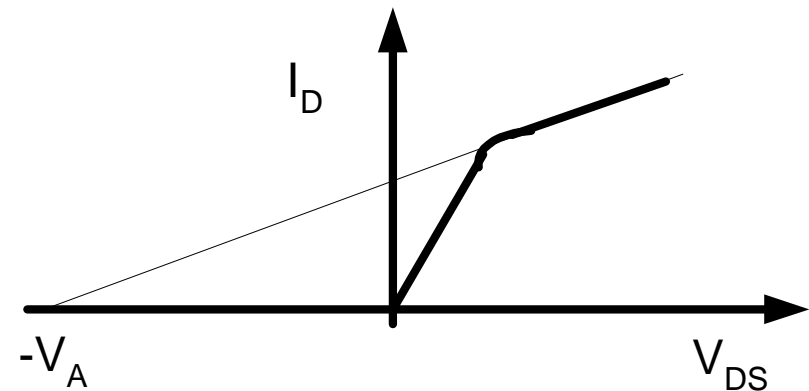
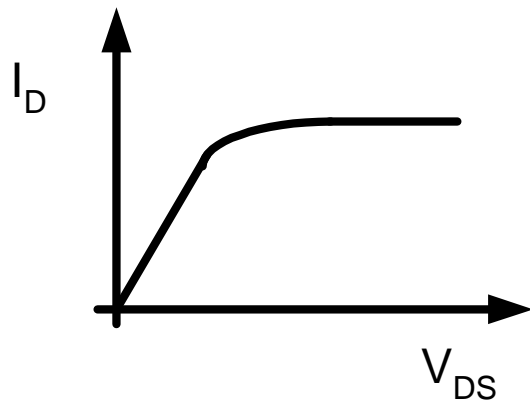
# Modele petit-signal

- Derivons le modele petit signal:
  - Premierement, aucun courant n'entre dans la grille
  - Grille sera circuit ouvert
- Il y a un courant entre drain et source:  $i_d$
- Ce courant est donne par  $g_m v_{gs}$
- Le modele petit signal se resume donc a:



# Modele petit-signal

- En saturation l'équation du courant ne depend pas de  $V_{DS}$
- En realite, le  $V_{DS}$  affecte  $I_D$  (un peu)
- On modelise ca avec une resistance de sortie:  $r_o$

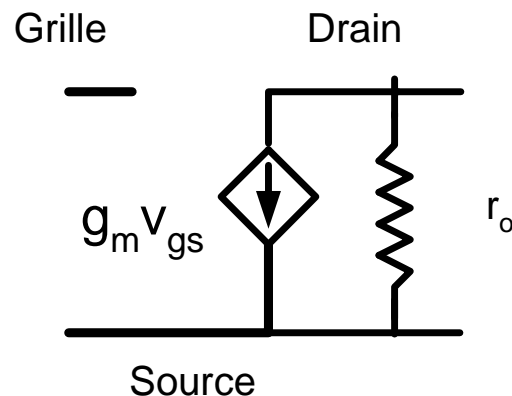


# Modele petit-signal

- On calcule la valeur avec:

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{1}{\lambda I_D}$$

- $V_A$ : Tension de Early
- $\lambda$ : coefficient de modulation de canal



L'un ou l'autre sera  
donne

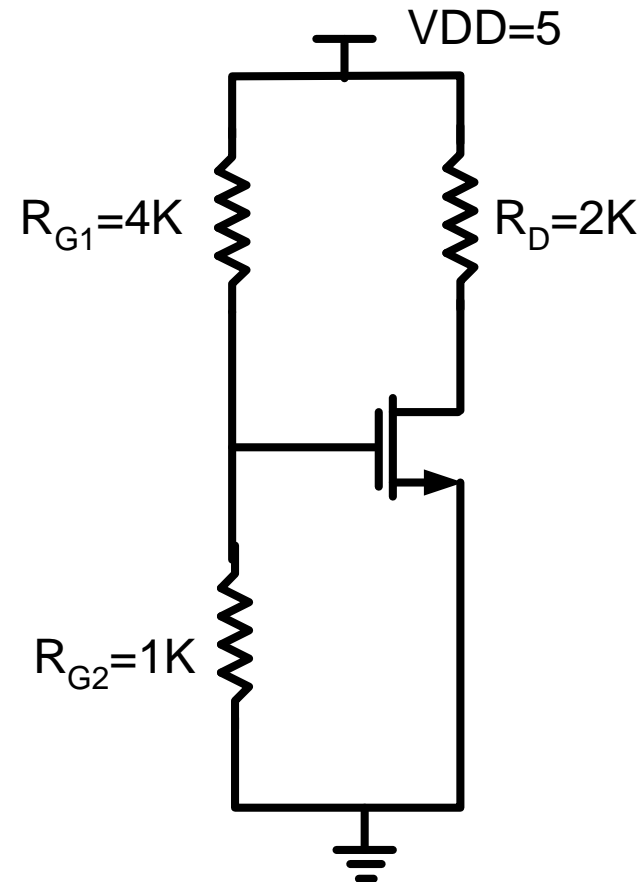


# Exemple

- Trouver le gain  $v_{out}/v_{in}$ :
  - Utilisez  $\mu C_{OX}(W/L)=0.05$  et  $V_A=100$

- Etapes suggerees:

- Analyse DC
- Trouver  $I_D$
- Calculer  $g_m$
- Calculer  $r_o$
- Analyse petit signal

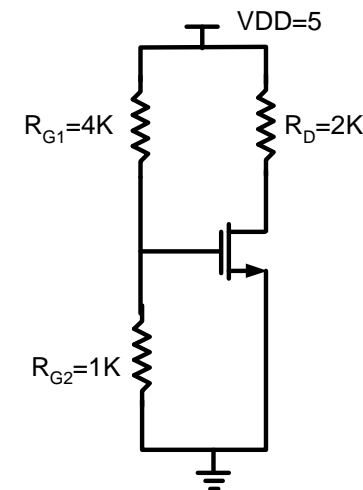


# Exemple

- Hypothese: on est en saturation
- On veut le courant. L'equation c'est:

$$I_D = \underbrace{\frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L}}_{\text{connu}} \underbrace{(V_{GS} - V_{TH})^2}_{\text{connu}}$$

- Pour trouver  $I_D$ , il faut  $V_{GS}$ :
  - $V_S = 0$  (connecte au ground)



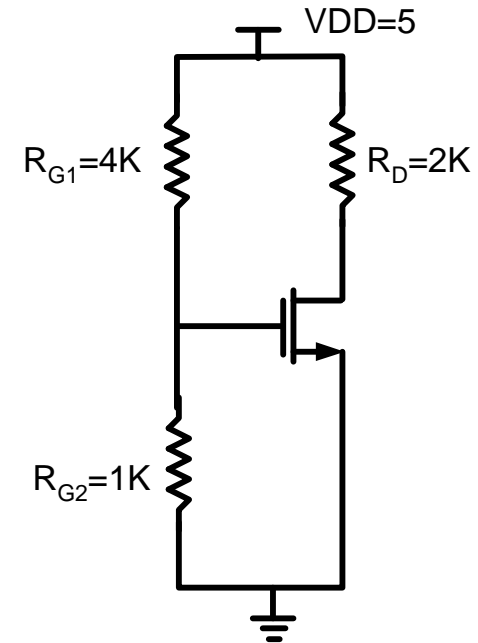
# Exemple

- Pour trouver  $V_G$ :
  - Courant  $I_G=0$
- $V_G$ : diviseur de tension

$$V_G = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} VDD$$

- Puisque  $V_S=0$ ,  $V_G=V_{GS}$ :

$$V_{GS} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} VDD$$



# Exemple

- On re-ecrit l'equation du courant  $I_D$ :

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \frac{W}{L} \left( \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} - V_{TH} \right)^2$$

- On substitue avec les chiffres:

$$I_D = \frac{1}{2} (0.05) \left( \frac{1K}{5K} 5 - 0.7 \right)^2 = 2.25mA$$

- On verifie  $V_D$  pour la saturation:

$$V_D = 5 - (2.25mA) \cdot 2K = 0.5 \quad V_{GD} = 1 - 0.5 < 0.7 : \text{saturation}$$

Le  $I_D = 2.25mA$  est bon...

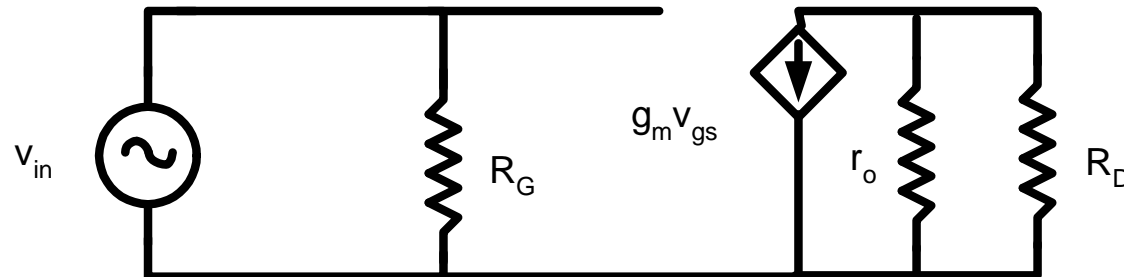
# Exemple

- Avec  $I_D$ , on peut calculer les paramètres petit signal:

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_{TH})} = 0.015$$

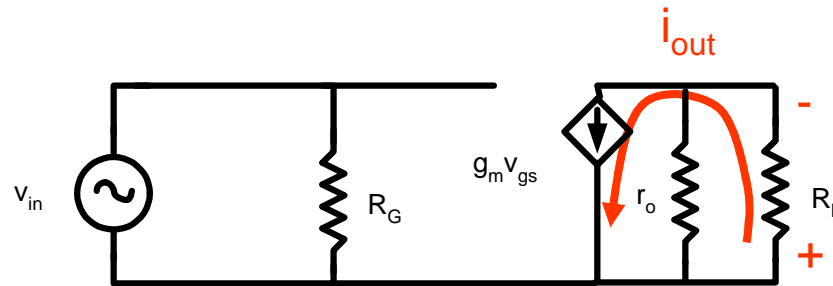
$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = 44444\Omega$$

- On dessine le circuit:



# Exemple

- Pour trouver  $v_{out}$



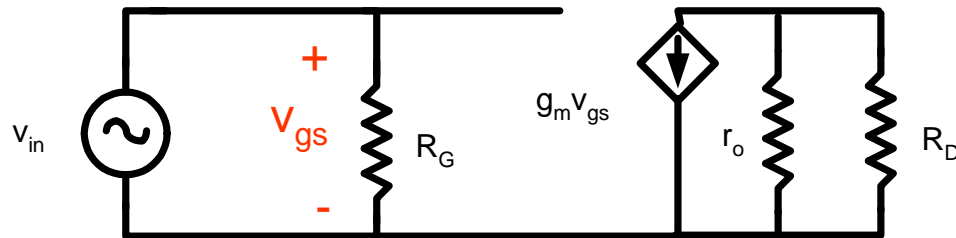
$$v_{out} = -i_{out} (R_D \parallel r_o)$$

- On sait que  $i_{out}$  est genere par la source:

$$v_{out} = -\underline{g_m v_{gs}} (R_D \parallel r_o)$$

# Exemple

- On sait que  $v_{gs} = v_{in}$ .  $v_{OUT}$  devient donc:



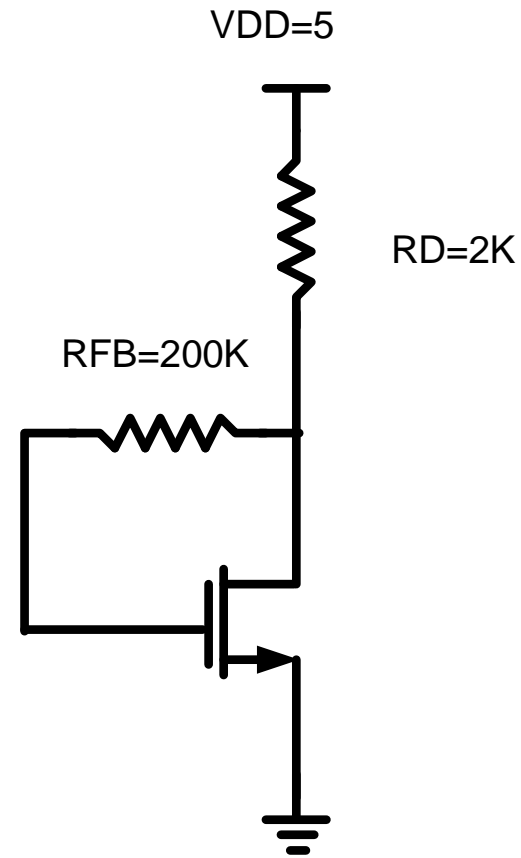
$$v_{out} = -g_m v_{in} (R_D \parallel r_o)$$

- Le gain devient:  $\frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_m (R_D \parallel r_o)$
- En substituant avec les chiffres:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -0.015(2K \parallel 44K) = -28.7$$

# Exemple (seul)

- Exemple (seul):
  - $V_A=100$
  - $\mu C_{OX}(W/L)=0.05$
  - Trouvez  $I_D$
  - Calculez  $g_m$  et  $r_o$
  - Trouvez le gain (entrée grille)





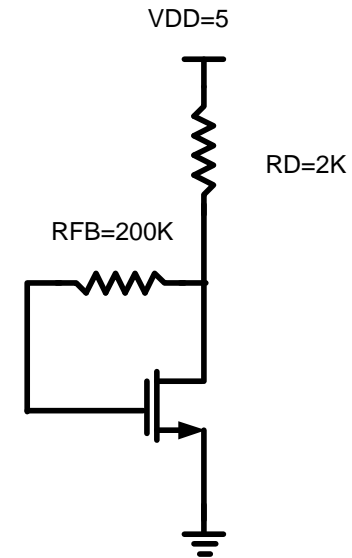
# Exemple (seul)

- Hypothese: On est en saturation
- On cherche le courant:

$$I_D = \underbrace{\frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L}}_{\text{connu}} \underbrace{(V_{GS} - V_{TH})^2}_{\text{connu}}$$

- Sachant que  $I_G=0$ ,
  - $V_{GS}=V_G=V_D$ :

$$V_{GS} = V_G = V_D = VDD - I_D R_D$$



# Exemple (seul)

- Il ne reste qu'à trouver  $I_D$ :

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{OX} \frac{W}{L} (V_{DD} - I_D R_D - V_{TH})^2$$

- On substitue par les chiffres:

$$I_D = \frac{1}{40} (4.3 - 2KI_D)^2$$

- On developpe:

$$I_D = \left( \frac{1}{40} 18.49 + \frac{1}{40} 4MI_D^2 - \frac{1}{40} 17.2KI_D \right)$$

Attention: c'est facile de faire des erreurs avec K et M

# Exemple (seul)

- On reformatte sous une forme “classique”:

$$0 = 0.46225 + 100KI_D^2 - 431I_D$$

- Equation du 2e ordre. Solution:

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

- Avec nos chiffres:

$$\frac{431 \pm \sqrt{431^2 - 4(100K)(0.46225)}}{200000} = \frac{2.3mA}{2mA}$$

# Exemple (seul)

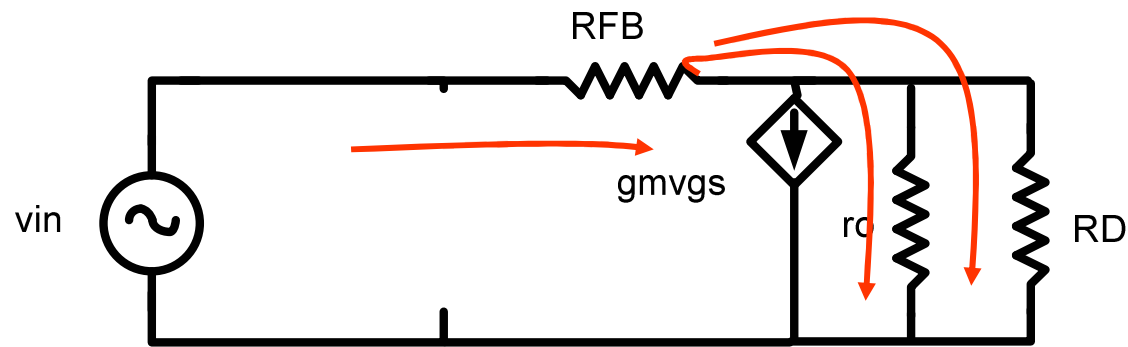
- Prenons la premiere solution  $I_D=2.3mA$ 
  - On obtient  $V_D=V_{GS}=0.4 < 0.7$ : cut-off
  - Cut-off et  $I_D=2.3mA$ ?: Contradiction.
- Prenons la deuxieme solution  $I_D=2mA$ 
  - On obtient  $V_D=V_{GS}=1$ : On est correct.
  - $V_{GD}=0$ : on est en saturation
- Avec  $I_D$ , on calcule parametres petit signal

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_{TH})} = \frac{2(2mA)}{(0.3)} = 0.013 \qquad r_o = \frac{V_A}{I_D} = 50K\Omega$$

Passons a l'analyse petit signal...

# Exemple (seul)

- On dessine le circuit petit signal



- Pour l'analyser on écrit les équations:

$$\frac{v_{in}}{R_{FB}} - \frac{v_{out}}{R_{FB}} = g_m v_{in} + \frac{v_{out}}{r_o \parallel R_D}$$

# Exemple (seul)

- $v_{in}$  a gauche et  $v_{out}$  a droite:

$$\frac{v_{in}}{R_{FB}} - g_m v_{in} = \frac{v_{out}}{R_{FB}} + \frac{v_{out}}{r_o \parallel R_D}$$

- On regroupe les  $v_{in}$  et les  $v_{out}$ :

$$v_{in} \left( \frac{1}{R_{FB}} - g_m \right) = v_{out} \left( \frac{1}{R_{FB}} + \frac{1}{r_o \parallel R_D} \right)$$

- On isole  $v_{out}/v_{in}$ :

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{\left( \frac{1}{R_{FB}} - g_m \right)}{\left( \frac{1}{r_o \parallel R_D} + \frac{1}{R_{FB}} \right)}$$

# Exemple (seul)

- En substituant avec les valeurs:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{\left( \frac{1}{200K} - 0.013 \right)}{\left( \frac{1}{50K \parallel 2K} + \frac{1}{200K} \right)}$$

- Le gain devient:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -24.75$$

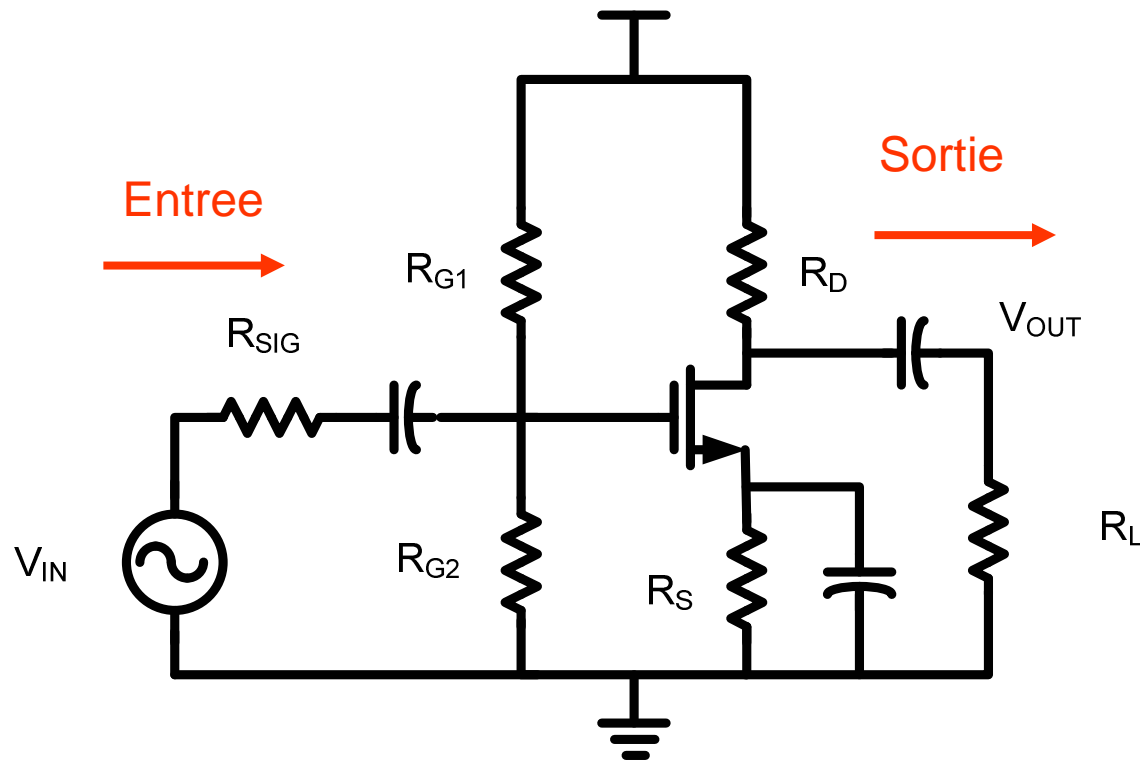
# Configurations d'amplificateur

- 3 configurations d'amplificateur CMOS:
  - Source commune (Emetteur commun)
  - Grille commune (Base commune)
  - Drain commun (Collecteur commun)
- Caracteristiques: gain,  $R_{IN}$  et  $R_{OUT}$
- On va derivier ces caracteristiques pour chaque configuration.
  - Considerez ca comme 3 exemples d'analyse de circuits...



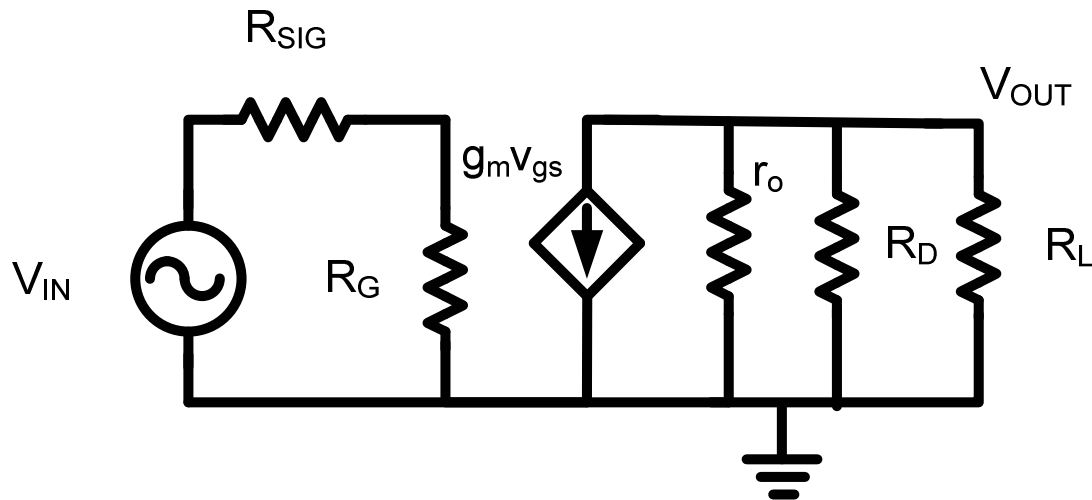
# Amplificateur Source Commune

- Equivalent a l'emetteur commun.



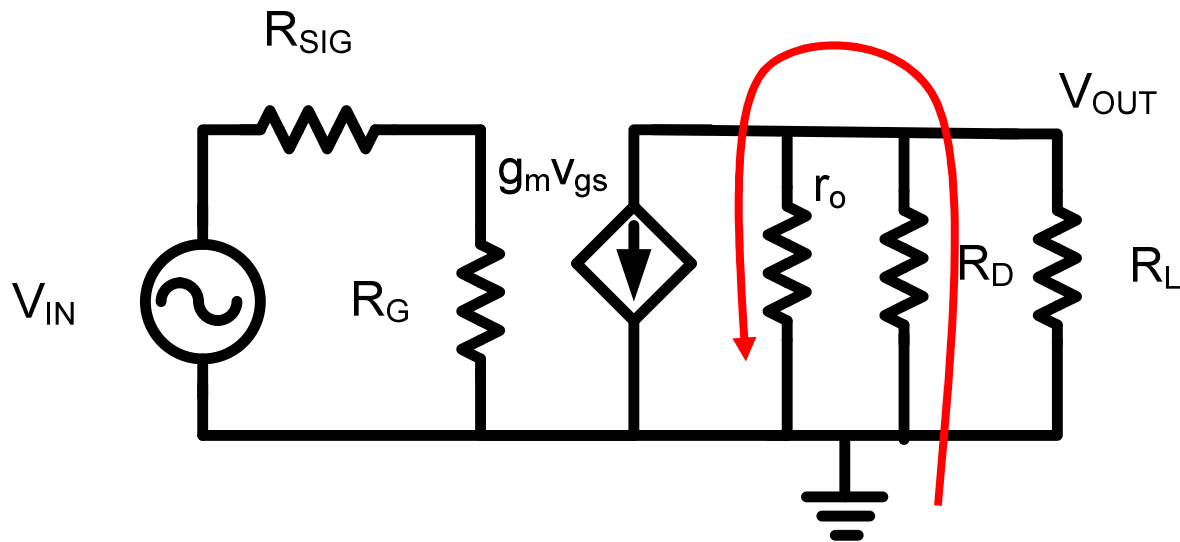
# Amplificateur Source Commune

- Apres analyse DC, on fait 2 choses:
  - On met les sources independantes DC  $\rightarrow 0$
  - On remplace le transistor par son modele AC
- Circuit equivalent petit-signal:



# Amplificateur Source Commune

- Pour trouver le gain, on écrit l'équation au noeud de sortie:



$$v_{out} = -g_m v_{gs} (r_o \parallel R_D \parallel R_L)$$

# Amplificateur Source Commune

- On ne connaît pas  $v_{gs}$ . On le trouve en faisant un diviseur de tension:

$$v_{gs} = \frac{R_G}{R_G + R_{SIG}} v_{in}$$

- On substitue:

$$v_{out} = -g_m \left( \frac{R_G}{R_G + R_{SIG}} \right) v_{in} (r_o \parallel R_D \parallel R_L)$$

# Amplificateur Source Commune

- On isole le gain:

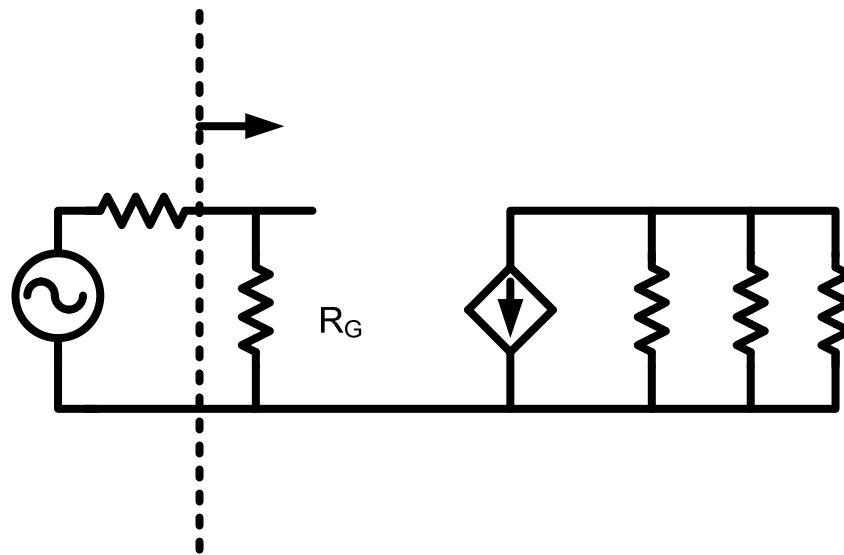
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \underbrace{-g_m (r_o \parallel R_D \parallel R_L)}_{\text{Gain intrinseque}} \underbrace{\left( \frac{R_G}{R_G + R_{SIG}} \right)}_{\text{Diviseur de tension a l'entree}}$$

Gain intrinseque

Diviseur de tension  
a l'entree

# Amplificateur Source Commune

- Pour  $R_{IN}$ , on ignore la resistance de la source.

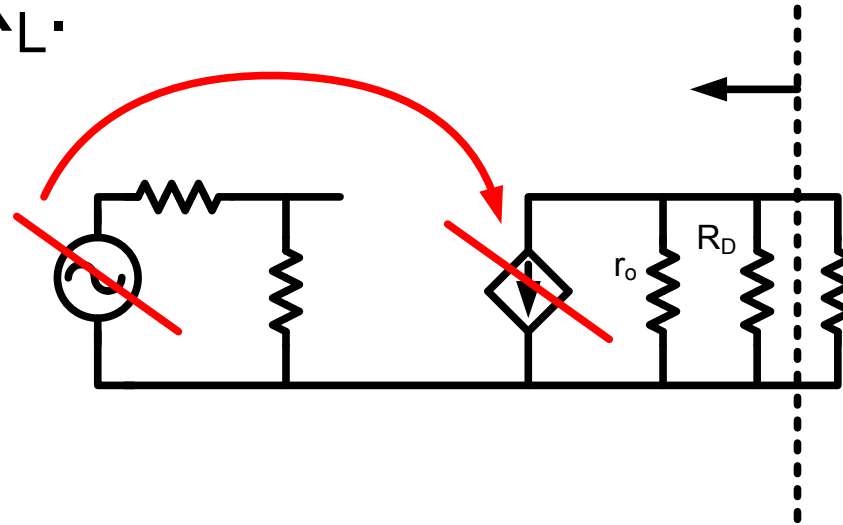


- Resistance a l'entrée se trouve avec:

$$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} = R_G$$

# Amplificateur Source Commune

- Pour  $R_{OUT}$ , on met l'entrée a 0.
- On ignore  $R_L$ .



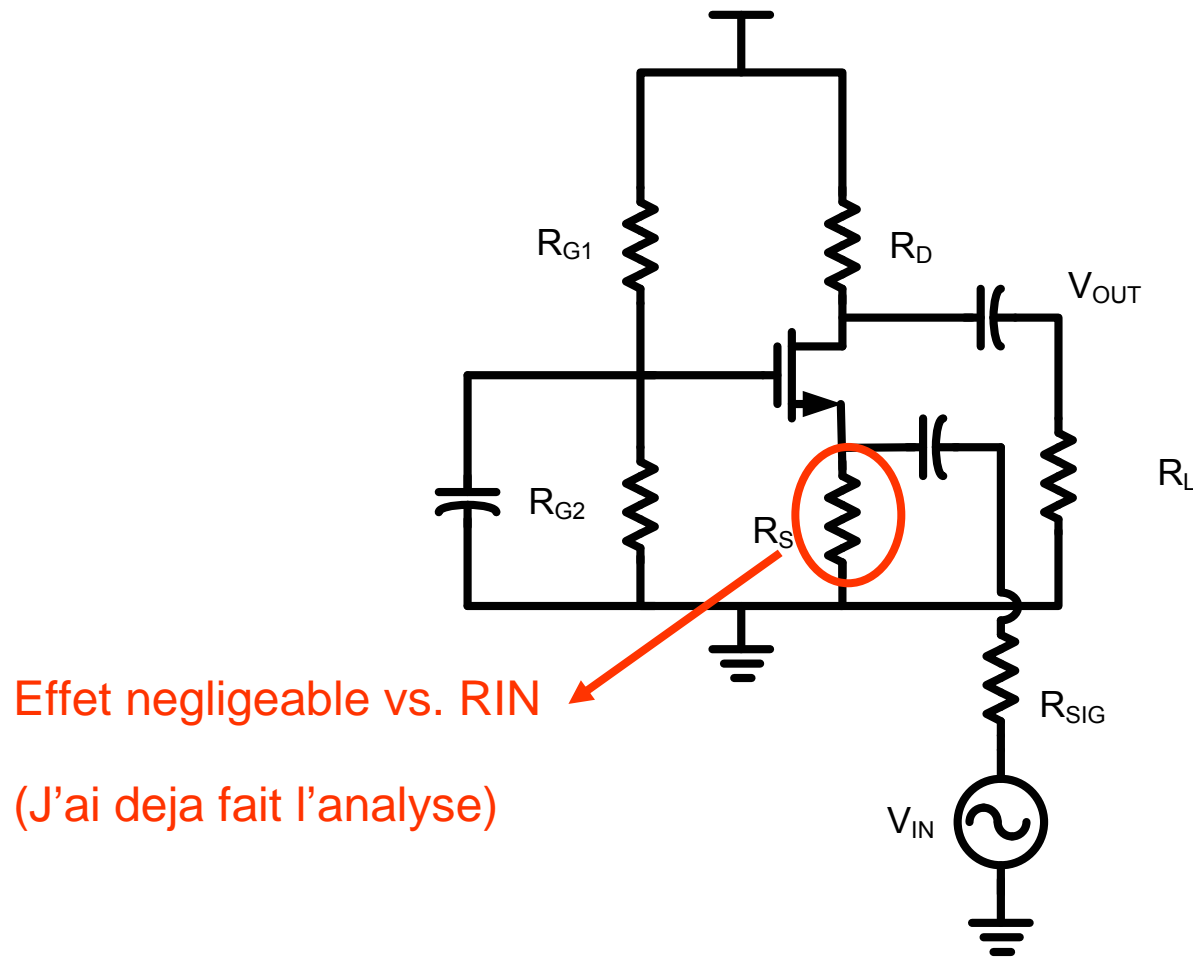
- Resistance a la sortie se trouve avec:

$$R_{OUT} = r_o \parallel R_D$$

On passe a la grille commune...

# Amplificateur Grille Commune

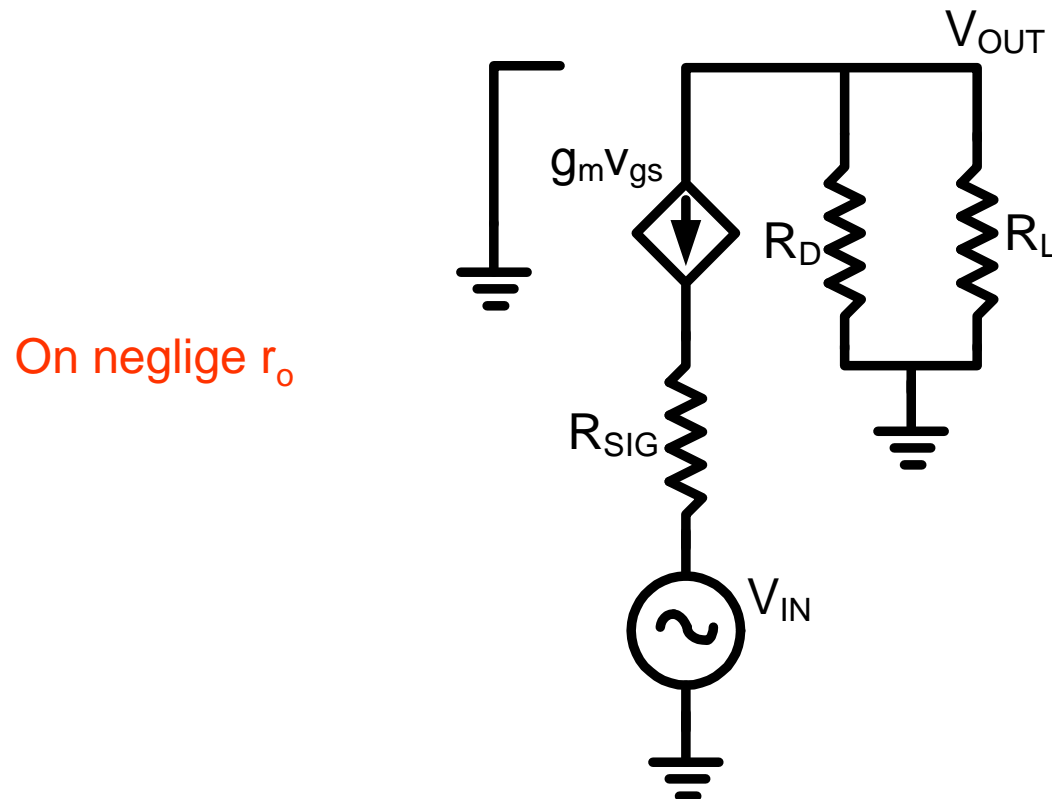
- Equivalent a la base commune





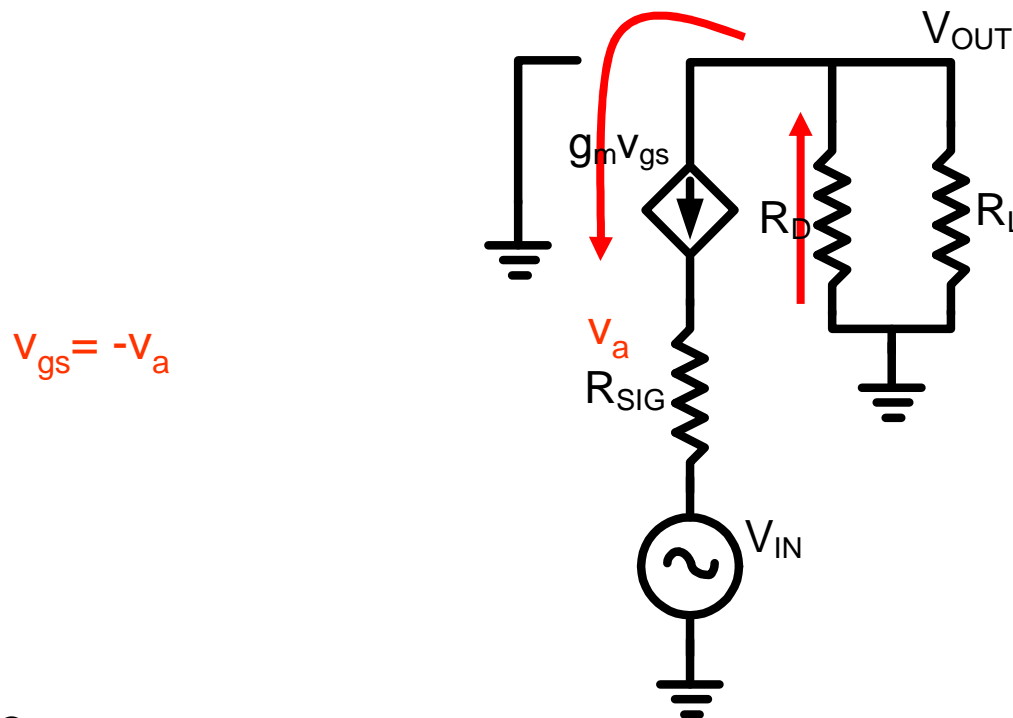
# Amplificateur Grille Commune

- Circuit equivalent petit signal:
  - Source DC = 0
  - Transistor remplace par modele petit signal



# Amplificateur Grille Commune

- On écrit l'équation du noeud à la sortie:

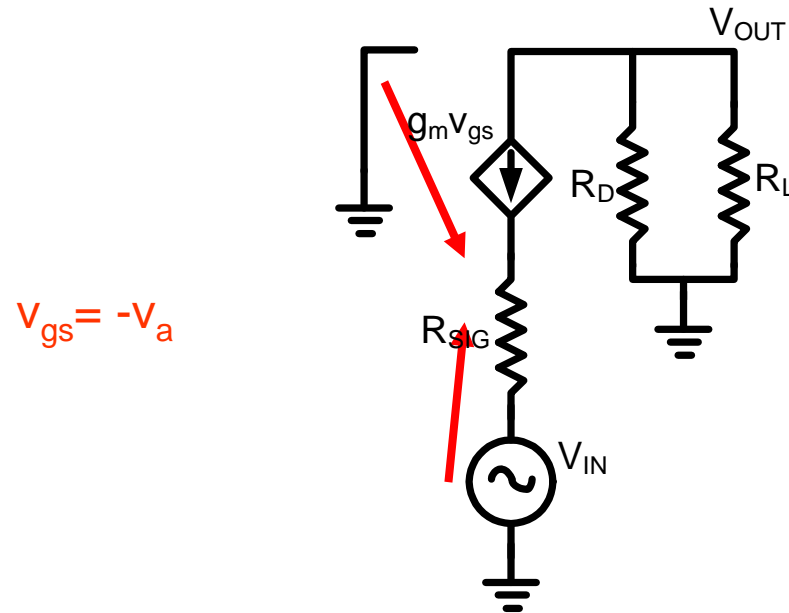


$$\frac{0 - v_{out}}{R_D \parallel R_L} = g_m v_{gs}$$

$$\frac{-v_{out}}{R_D \parallel R_L} = -g_m v_a$$

# Amplificateur Grille Commune

- On ne connaît pas  $v_a$ ...
  - On écrit donc une autre équation:



$$\frac{v_{in} - v_a}{R_{SIG}} + g_m v_{gs} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{v_{in} - v_a}{R_{SIG}} - g_m v_a = 0$$

# Amplificateur Grille Commune

- On met les  $v_a$  a droite :

$$\frac{v_{in}}{R_{SIG}} = g_m v_a + \frac{v_a}{R_{SIG}}$$

- On factorise:

$$\frac{v_{in}}{R_{SIG}} = \left( g_m + \frac{1}{R_{SIG}} \right) v_a$$

- Meme denominateur:

$$\frac{v_{in}}{R_{SIG}} = \left( \frac{R_{SIG} g_m + 1}{R_{SIG}} \right) v_a$$

# Amplificateur Grille Commune

- Les denominateurs s'annulent

$$\frac{v_{in}}{\cancel{R_{SIG}}} = \left( \frac{g_m R_{SIG} + 1}{\cancel{R_{SIG}}} \right) v_a$$

- On isole:

$$\frac{v_{in}}{g_m R_{SIG} + 1} = v_a$$

# Amplificateur Grille Commune

- On entre  $v_a$  dans la première équation:

$$\frac{v_{out}}{R_D \parallel R_L} = g_m \frac{v_{in}}{g_m R_{SIG} + 1}$$

- On isole  $v_{out}/v_{in}$ :

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = g_m \frac{R_D \parallel R_L}{g_m R_{SIG} + 1}$$

Regardons ça de plus proche...

# Amplificateur Grille Commune

- Le gain de la grille commune est:

Gain intrinseque

$$\frac{g_m (R_D \parallel R_L)}{[1 + g_m R_{SIG}]} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

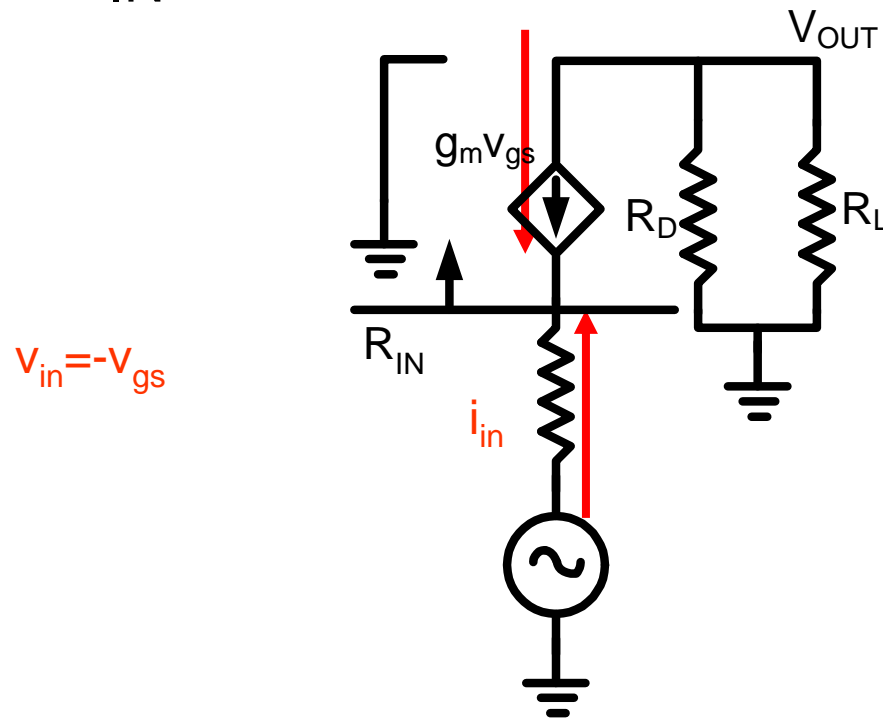
Diviseur de tension  
a l'entree

(La preuve viendra quand on calcule  $R_{IN}$ )

Justement, allons trouver  $R_{IN}$ ...

# Amplificateur Grille Commune

- Pour  $R_{IN}$  on écrit l'équation à l'entrée

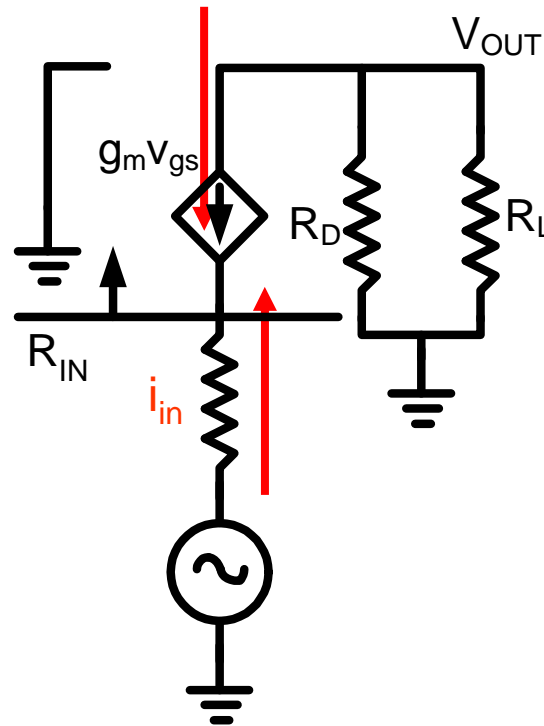


$$i_{in} + g_m v_{gs} = 0$$



# Amplificateur Grille Commune

- On voit que  $v_{gs} = 0 - v_{in}$



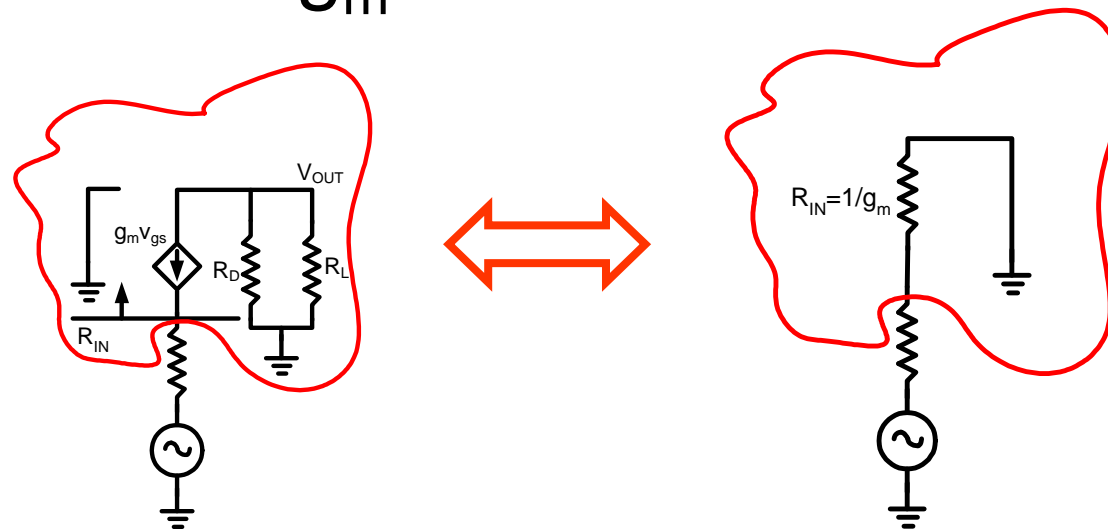
$$i_{in} - g_m v_{in} = 0$$

# Amplificateur Grille Commune

- La resistance a l'entrée devient:

$$R_{IN} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \frac{1}{g_m}$$

- Du point de vue de la source, il y a une resistance  $1/g_m$

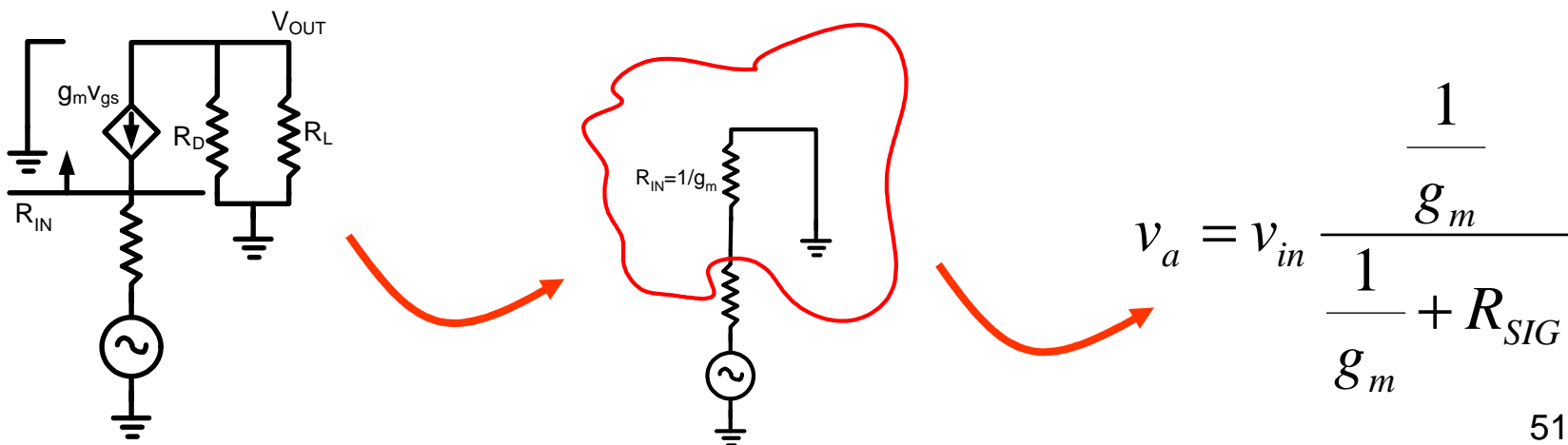


# Amplificateur Grille Commune

- Retournons a l'equation du gain:

Diviseur de tension  $\longrightarrow$  
$$\frac{g_m (R_D \parallel R_L)}{[1 + g_m R_{SIG}]} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

- $V_a$ : Diviseur de tension entre  $R_{SIG}$  et  $R_{IN}$ .
- Si  $R_{IN}=1/g_m$ , on aurait



# Amplificateur Grille Commune

- En le manipulant un peu, on obtiendrait:

$$v_a = v_{in} \frac{\frac{1}{g_m}}{\frac{1}{g_m} + \frac{g_m}{g_m} R_{SIG}} = v_{in} \frac{1}{1 + R_{SIG} g_m}$$

- On compare avec le gain:

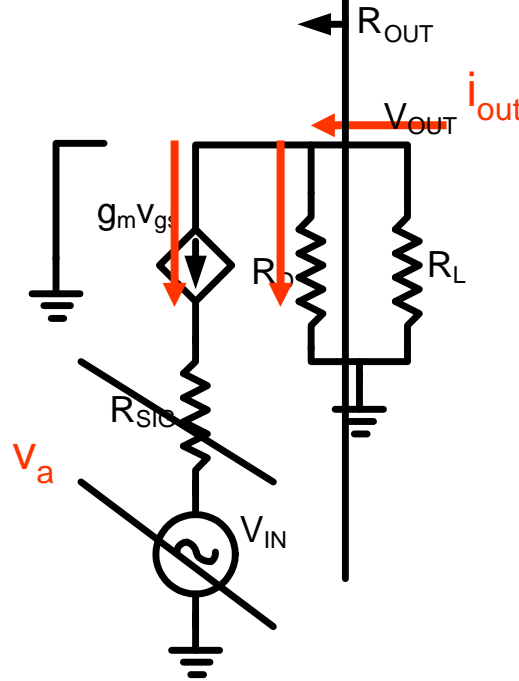
$$\frac{g_m (R_D \parallel R_L)}{[1 + g_m R_{SIG}]} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

Ca confirme que  
c'est un diviseur  
de tension

Passons maintenant a  $R_{OUT}$

# Amplificateur Grille Commune

- Pour trouver  $R_{OUT}$  on écrit l'équation à la sortie

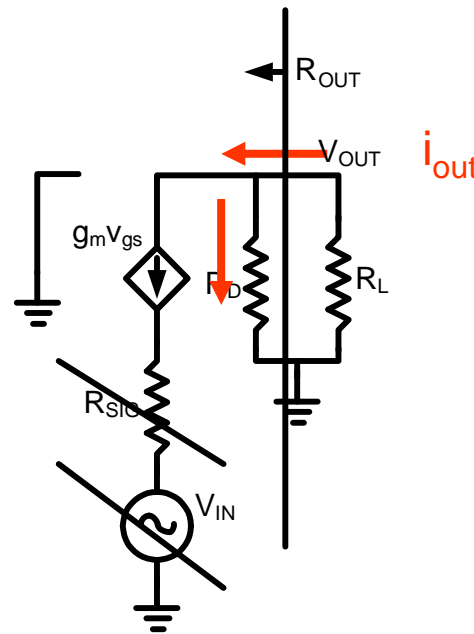


Puisque  $R_{SIG}$  et  $V_{IN}$  sont 0...

$$i_{out} = \frac{v_{out}}{R_D} + g_m v_{gs} \quad \xrightarrow{0}$$

# Amplificateur Grille Commune

- L'équation devient donc:

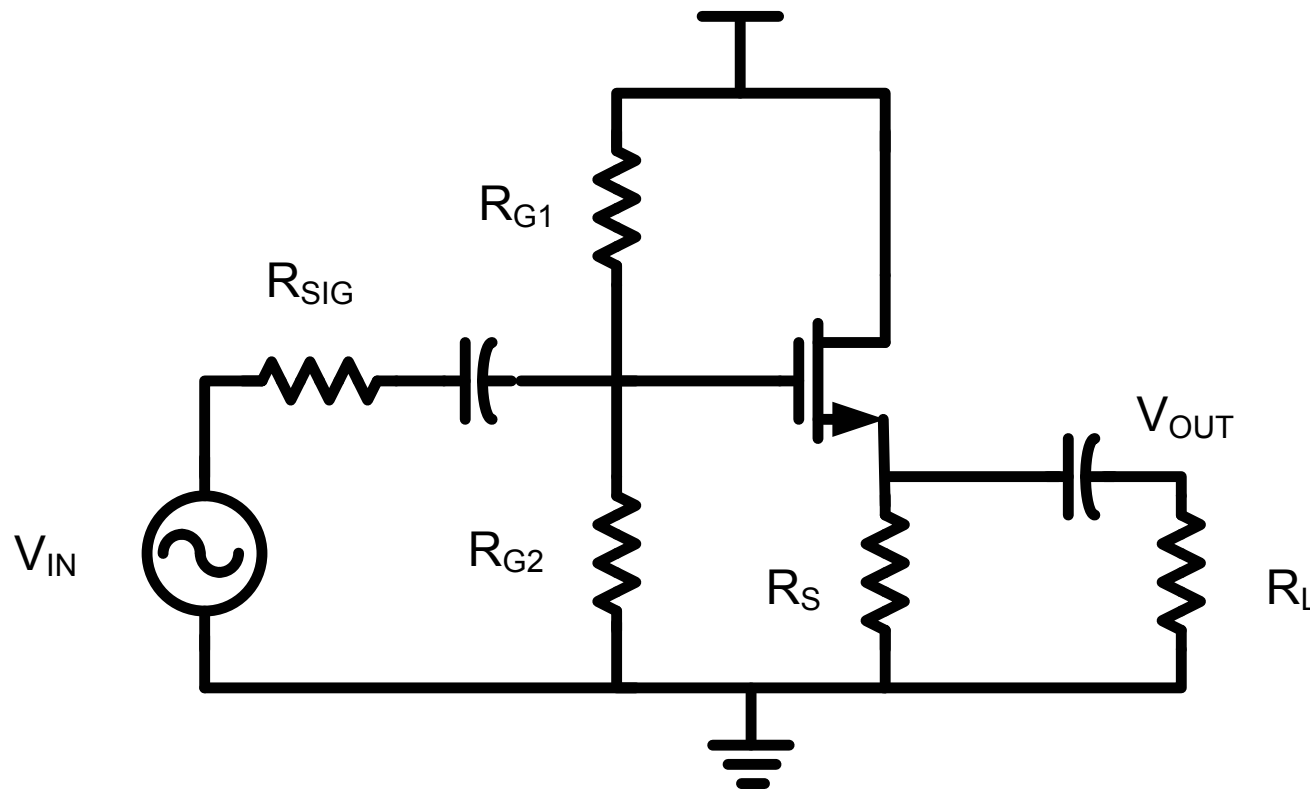


$$i_{out} = \frac{v_{out}}{R_D}$$

$$R_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}} = R_D$$

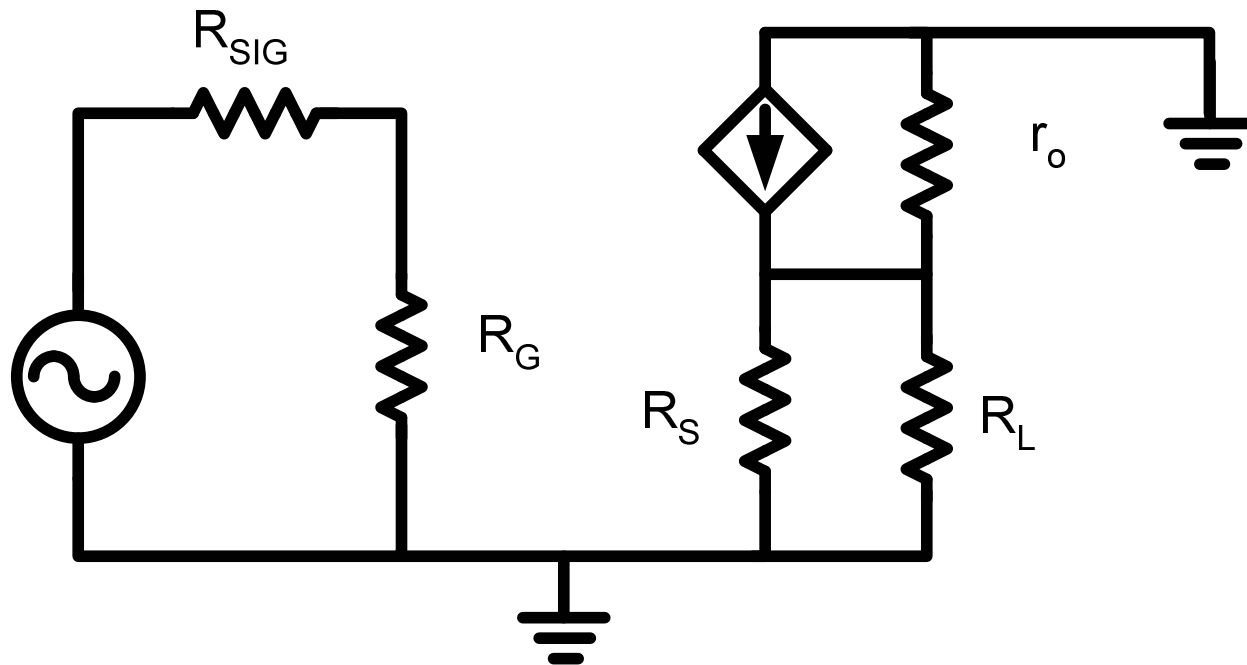
# Amplificateur drain commun

- Equivalent au collecteur commun



# Amplificateur drain commun

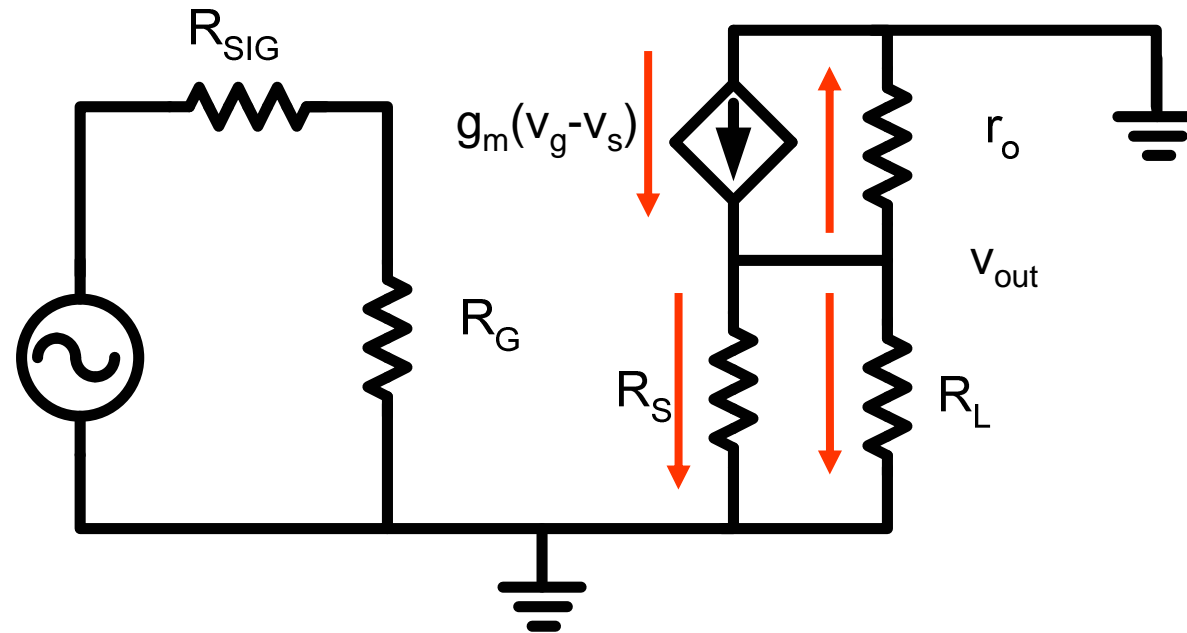
- Circuit equivalent petit-signal
  - Source DC  $\rightarrow 0$
  - On remplace le transistor par son modele AC





# Amplificateur drain commun

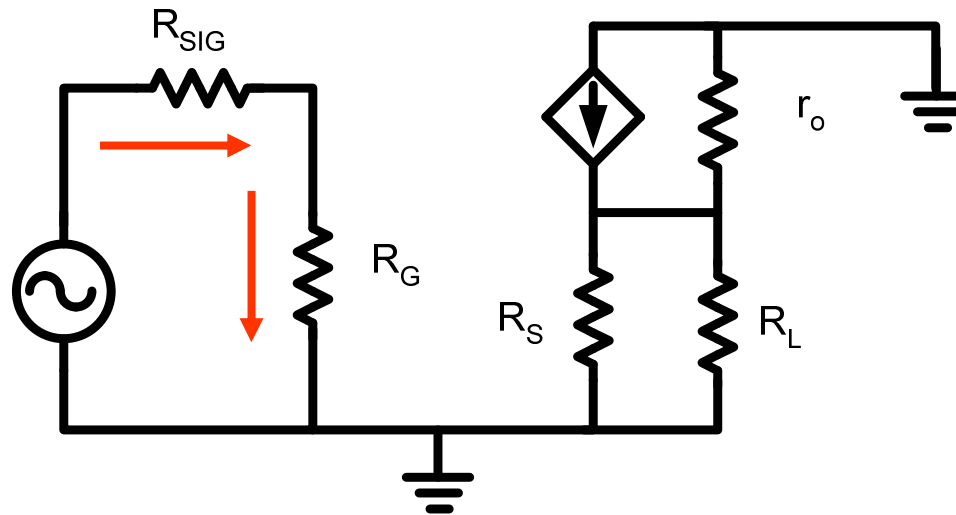
- On écrit l'équation à la sortie



$$g_m(v_g - v_s) = \frac{v_s}{r_o \parallel R_L \parallel R_S}$$

# Amplificateur drain commun

- On sait que  $v_s = v_{out}$
- On ne connaît pas  $v_g$ , alors on écrit une 2e équation:



Diviseur de tension

$$v_g = v_{in} \frac{r_g}{r_{sig} + r_g}$$

# Amplificateur drain commun

- On substitue  $v_{gs}$  dans l'autre equation.

$$\underline{g_m \left( v_{in} \frac{r_g}{r_{sig} + r_g} - v_{out} \right) = \frac{v_{out}}{r_o \parallel R_L \parallel R_S}}$$

- On met  $v_{out}$  d'un bord et  $v_{in}$  de l'autre:

$$v_{in} \frac{g_m r_g}{r_{sig} + r_g} = v_{out} \left( \frac{1}{r_o \parallel R_L \parallel R_S} + g_m \right)$$

# Amplificateur drain commun

- On sur le meme denominateur (a droite)

$$v_{in} \frac{g_m r_g}{r_{sig} + r_g} = v_{out} \left( \frac{1}{r_o \parallel R_L \parallel R_S} + g_m \frac{r_o \parallel R_L \parallel R_S}{r_o \parallel R_L \parallel R_S} \right)$$

- On manipule pour isoler  $v_{out}/v_{in}$ :

$$\frac{r_g}{(r_{sig} + r_g)} \frac{g_m (r_o \parallel R_L \parallel R_S)}{(1 + g_m r_o \parallel R_L \parallel R_S)} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

Regardons ca de plus proche...

# Amplificateur drain commun

- On se dit que certains termes deviennent négligeables:

$$\frac{r_g}{(r_{sig} + r_g)} \frac{g_m (r_o \parallel R_L \parallel R_S)}{[1 + g_m (r_o \parallel R_L \parallel R_S)]} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

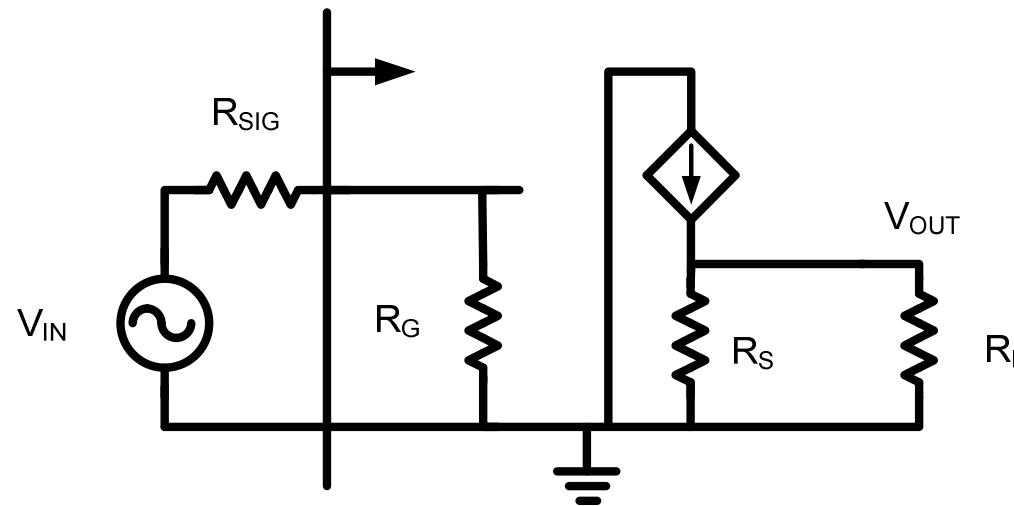
$R_G \gg R_{SIG}$        $g_m(r_o \parallel R_L \parallel R_S) \gg 1$

- On se retrouve avec:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = 1$$

# Amplificateur drain commun

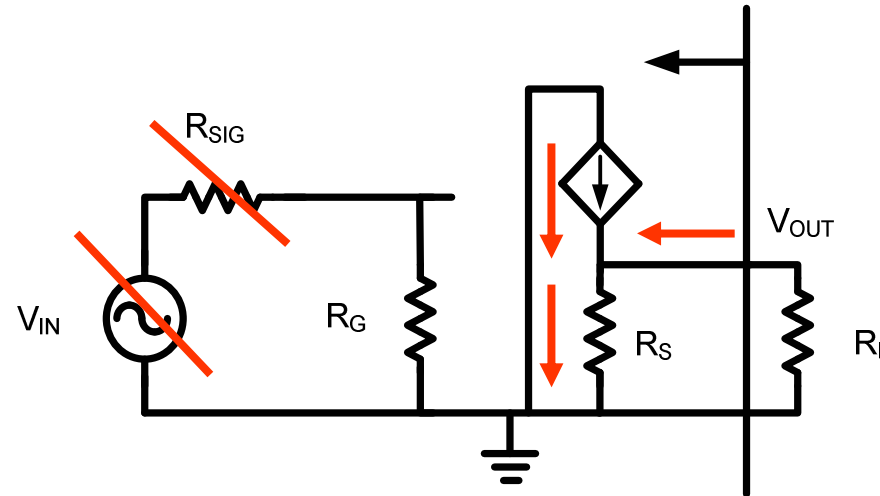
- Le  $R_{IN}$  se trouve par examination visuelle..



$$R_{IN} = R_G$$

# Amplificateur drain commun

- Pour trouver  $R_{OUT}$ , on écrit l'équation au noeud de sortie



$$i_{out} + g_m (0 - v_{out}) = \frac{v_{out}}{R_S}$$

# Amplificateur drain commun

- En isolant  $v_{out}/i_{out}$ , on obtient:

$$R_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}} = \frac{1}{\left( \frac{1}{R_S} + g_m \right)}$$

- **Si**  $R_S \gg 1/g_m$ , ça se simplifie a ceci:

$$R_{out} = \frac{v_{out}}{i_{out}} = \frac{1}{g_m}$$



# Resume

- Connexion des amplificateurs

Configuration	Entree	Sortie	Ground
SC	Grille	Drain	Source
GC	Source	Drain	Grille
DC	Grille	Source	Drain

# Resume

- Resume des caracteristiques

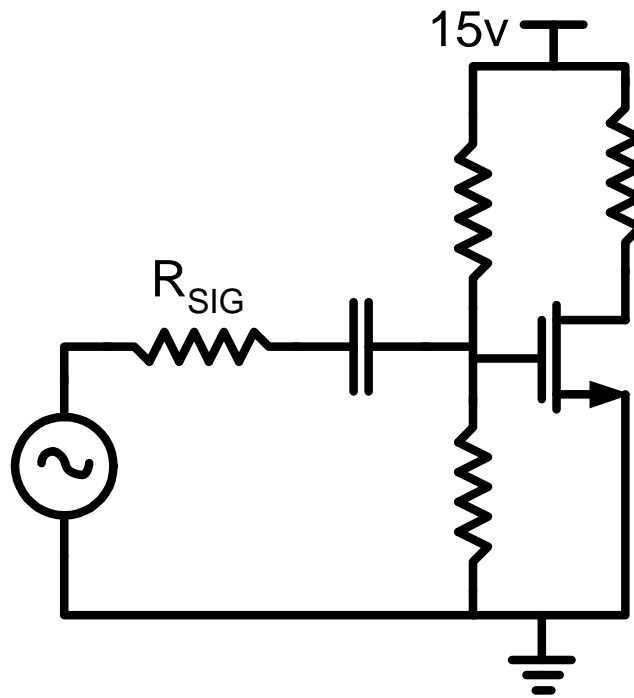
Configuration	RIN	ROUT	GAIN
SC	Eleve	Eleve	Eleve
GC	Faible	Eleve	Eleve
DC	Eleve	Faible	Faible

# Exemple

- Concevez un amplificateur source-commune avec un gain de 5 avec  $R_{IN}$  de  $75\Omega$  si:
  - Vous avez une seule source de 15v
  - Votre transistor a  $\mu C_{OX}(W/L)$  de 0.01
  - Votre signal a une resistance interne de  $75\Omega$

# Exemple

- Pour se simplifier la vie, on va simplement mettre la source au ground



# Exemple

- Commencons par trouver  $R_{IN}$
- On sait que  $R_{IN}$  c'est la resistance de la grille
  - Donc, la combinaison parallele des 2 resistances
- Ca doit donner  $75\Omega$ . La facon la plus facile:
  - Mettre  $150\Omega$  en haut et  $150\Omega$  en bas.
- Ca nous donne le  $V_{GS}$ :  $7.5v$

# Exemple

- Pour amplifier, je veux être en saturation
- Mon courant sera donné par:

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{OX} \left( \frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_{TH})^2$$

- On connaît toutes les valeurs:

$$I_D = \frac{1}{2} 0.01 (7.5 - 0.7)^2 = 231.2 \text{mA}$$

# Exemple

- Avec  $V_G=7.5v$ ,  $V_D$  doit être plus que 6.8v
- Mon courant est 231mA et donc  $R_D$  maximal est de  $35.5\Omega$
- Pour un gain total de 5, j'ai besoin d'un gain total de 10 (diviseur à l'entrée)
- Le gain intrinsèque c'est:

$$-g_m R_D$$

- Le  $g_m$  est calculé comme suit:

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_{TH})} = 0.068$$

# Exemple

- Le gain maximal est de  $-2.4\dots$ 
  - Il faut essayer autre chose
- Quoi faire?
  - Je sais que mon gain c'est  $-g_m R_D$
  - J'aimerais donc augmenter  $R_D$
  - Probleme:  $I_D$  trop gros.. Je sortirais de la saturation
  - Solution: Reduire  $I_D$  en reduisant  $V_{GS}$
- Allons voir si ca tient avec des calculs approximatifs...



# Exemple

- Si je baisse  $V_{GS}$ ,  $I_D$  baisse (carre)

$$\downarrow I_D = \frac{1}{2} \mu C_{ox} \left( \frac{W}{L} \right) (V_{GS} \downarrow - V_{TH})^2$$

- Si  $I_D$  baisse (carre) et  $V_{GS}$  baisse,  $g_m$  va baisser

$$\downarrow g_m = \frac{2I_D \downarrow}{(V_{GS} - V_{TH}) \downarrow}$$

Pas une bonne nouvelle...

- Si  $I_D$  baisse (carre),  $R_D$  peut augmenter (carre) pour avoir le meme  $V_D$

$$V_D = VDD \uparrow - R_D \uparrow I_D \downarrow$$

$$\uparrow \text{gain} = - \downarrow g_m R_D \uparrow$$

Le gain va augmenter quasi-lineairement

# Exemple

- On va essayer de diviser  $V_{GS}$  par 3 pour lui donner 2.5v
  - Comment est-ce qu'on va faire ça?

- On sait que ces 2 equations doivent tenir:

$$2.5 = 15 \frac{R1}{R1 + R2}$$

$$75 = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}}$$

- 2 equations a 2 variables, c'est facile a resoudre...

# Exemple

- Ca nous donne  $R1=90$  et  $R2=450$ 
  - $R2$  c'est la resistance en haut!
- Avec  $V_{GS}=2.5$ , j'aurais  $I_D=0.0162$ 
  - Mon courant est beaucoup plus petit
- Je peux calculer mon  $g_m$ :
  - $g_m=0.018$  (cette valeur a aussi baissee)
- Un  $g_m$  moins gros fait que le gain est moins gros...

# Exemple

- Puisque  $I_D$  a baisse,  $R_D$  peut augmenter par le meme facteur si  $V_D$  reste pareil
  - $V_G$  a baisse et donc  $V_D$  peut meme etre plus bas
  - On pourrait avoir  $R_D$  encore plus gros...
- Pour etre en saturation,  $V_D$  doit etre plus que  $V_G - V_{TH} = 1.8v$

$$V_D = VDD - R_D I_D \quad R_D = 814\Omega$$

- J'ai un gain de -14.65

# Exemple (seul)

- Concevez un amplificateur grille-commune avec un gain de 5 avec  $R_{IN}$  de  $75\Omega$  si:
  - Vous avez une seule source de 15v
  - Votre transistor a  $\mu C_{OX}(W/L)$  de 0.01
  - Votre signal a une resistance interne de  $75\Omega$

# Exemple (seul)

- On sait que  $R_{IN}$  est donne par  $1/g_m$ .
- Pour  $R_{IN}=75$ , on aurait besoin de

$$g_m = \frac{1}{75} \cong 0.013$$

- On sait aussi que  $g_m$  est donne par:

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_{TH})} = 0.013$$

# Exemple (seul)

- Nous avons 1 equation a 2 variables:

- Il y a donc une infinite de possibilites

$$\frac{2I_D}{g_m} = (V_{GS} - V_{TH})$$

- Cependant, on veut aussi que ca reste en saturation:

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{OX} \left( \frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_{TH})^2$$

- On substitue et ca donne...

$$I_D = \frac{1}{2} \mu C_{OX} \left( \frac{W}{L} \right) \left( \frac{2I_D}{g_m} \right)^2$$

# Exemple (seul)

- On remplace par des chiffres:

$$I_D = \frac{0.01}{2} (150I_D)^2$$

- $I_D$  s'annule des 2 bords:

$$200 = I_D (150)^2$$

- On simplifie et ca donne:

$$\frac{1}{112.5} = I_D$$



# Exemple (seul)

- Ayant trouve  $I_D$ , on peut maintenant trouver  $V_{GS}$ :

- On utilise cette equation:

$$\frac{2I_D}{g_m} = (V_{GS} - V_{TH}) \qquad 150I_D = (V_{GS} - V_{TH})$$

- On isole  $V_{GS}$ :

$$150I_D + V_{TH} = V_{GS}$$

- Et ca donne...

$$V_{GS} = 3.36$$

# Exemple (seul)

- Assurons-nous d'avoir le bon gain...
  - En matching d'impedance parfait, on a une division de tension par 2 a l'entrée (denominateur = 2)

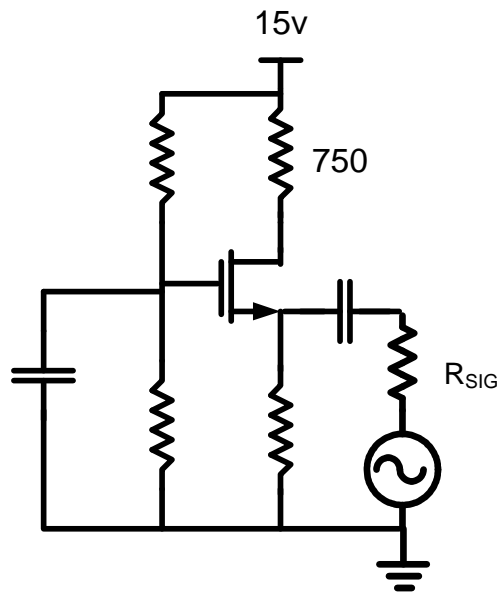
$$\frac{g_m (R_D \parallel R_L)}{[1 + g_m R_{SIG}]} = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

- Il faut que  $g_m R_D$  soit 10 pour que le gain total soit 5
  - Avec  $g_m = 1/75$ , il faut que  $R_D$  soit 750

$$g_m (R_D \parallel R_L) = \frac{1}{75} R_D = 10 \quad \Rightarrow \quad R_D = 750$$

# Exemple (seul)

- Il faut maintenant trouver le reste des paramètres:
  - On sait que  $V_{GS}=3.36$  et que  $V_S=I_D \cdot R_S$
  - Si  $R_S$  trop petit, il affectera la resistance a l'entrée
  - Si  $R_S$  trop gros, on tombera en cutoff



On essaie  $R_S=500$

Ca donne  $V_S=4.45$

Et ca, ca donne  $V_G=7.805$

# Exemple (seul)

- Il faut finalement trouver  $R_{G1}$  et  $R_{G2} \dots$
- Puisqu'on n'a pas d'autres contraintes, on fait une division de tension:

$$\frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} 15 = 7.805$$

- En manipulant un peu, on retrouve:

$$\frac{0.48}{0.52} R_{G2} = R_{G1}$$

# Exemple (seul)

- Si  $R_{G2}=10K$  on aura  $R_{G1}=9.23K$

