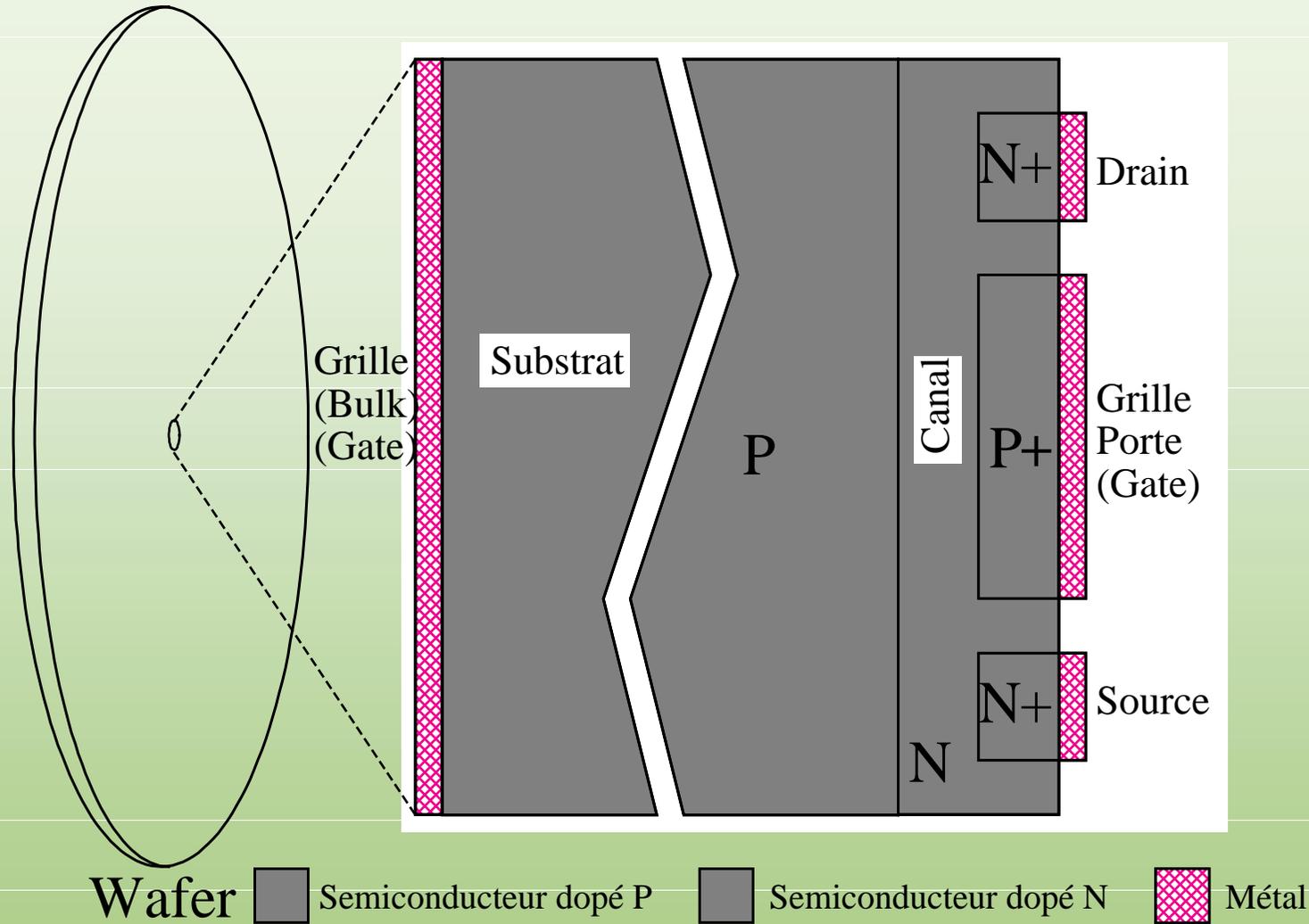


# 6ème leçon : Le transistor à effet de champ à jonction : le JFET

- **I. Structure et symbole**
- **II. Comportement du JFET**
  - Régime linéaire ou ohmique
  - Régime saturé ou transistor
- **III. Courbes caractéristiques**
- **IV. L'amplification classe A avec un JFET.**
  - Schéma équivalent petits signaux

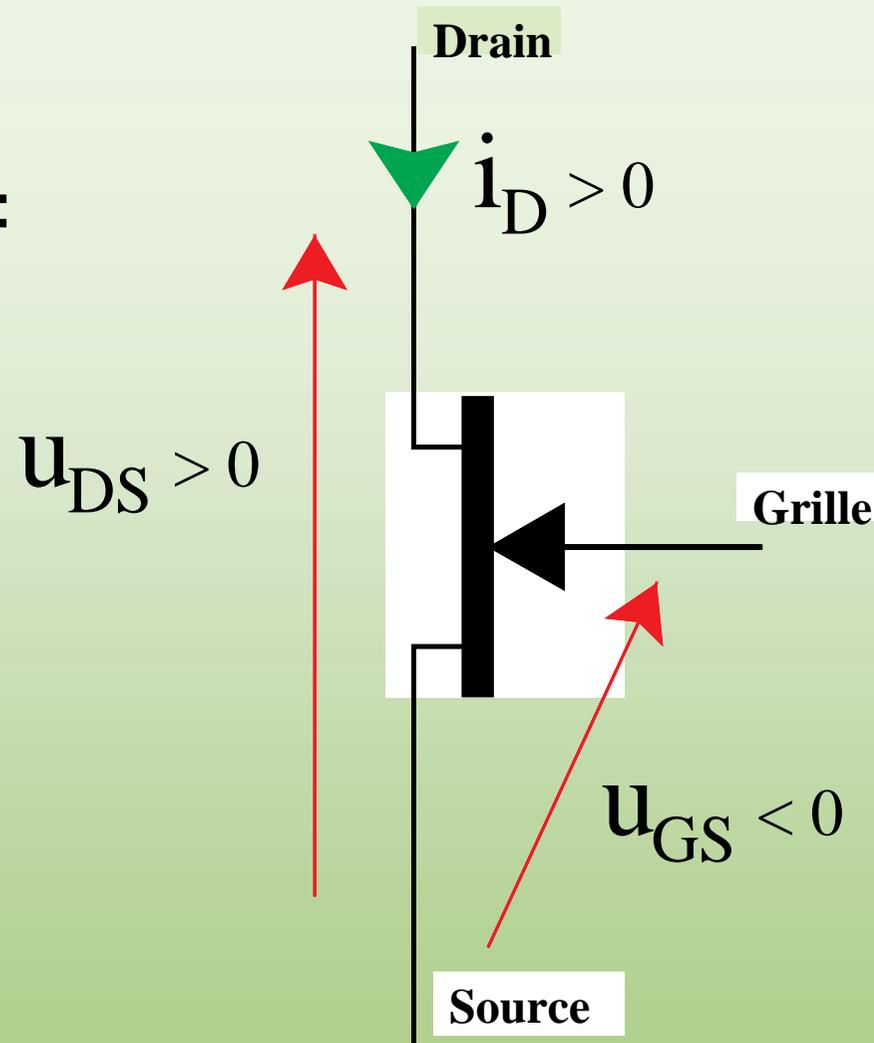
# Structure du JFET

- Junction Field Effect Transistor



## Symbole du JFET à canal N

- La diode grille-canal doit être bloquée soit, pour un NJFET :  $u_{GS} < 0$



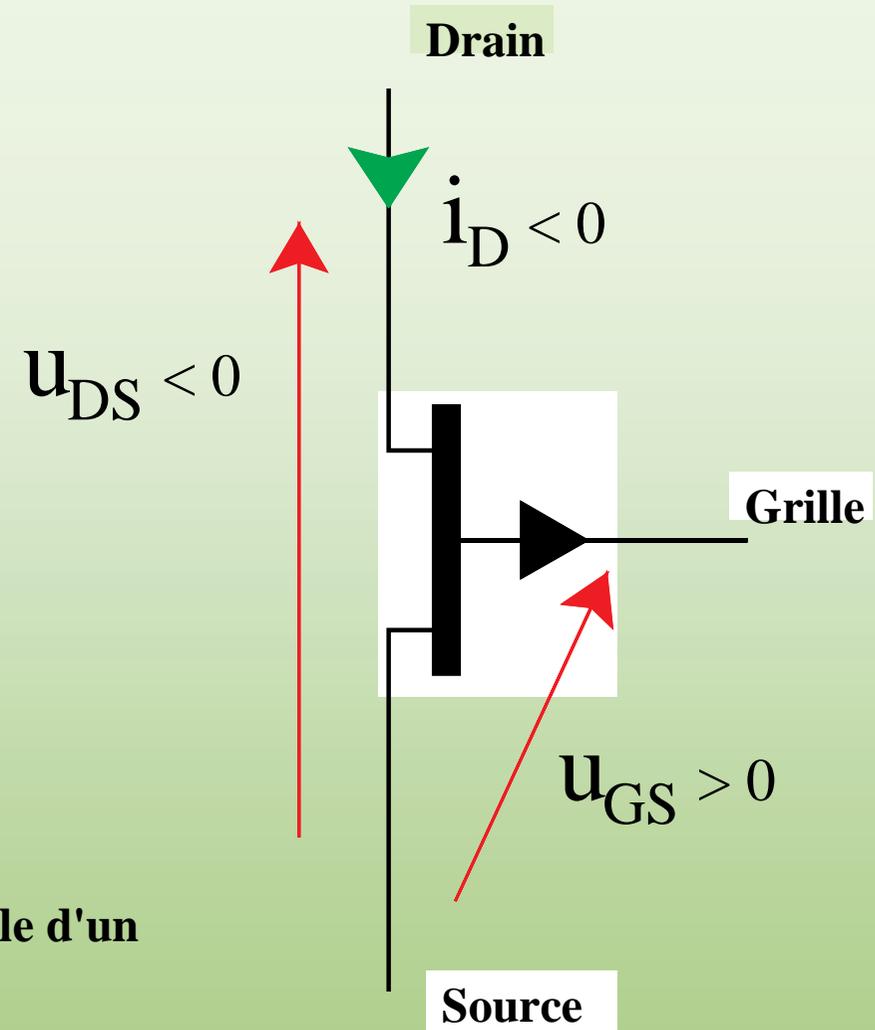
Sur le symbole, la flèche indique le sens passant de la diode grille-canal

## Symbole du JFET à canal P

- Même principe de fonctionnement, la diode grille-canal doit être bloquée.  
Pour un PJFET :  
 $u_{GS} > 0$

Sur le symbole, la flèche indique le sens passant de la diode grille-canal

La structure d'un PJFET est identique à celle d'un NJFET, les dopages P et N étant échangés

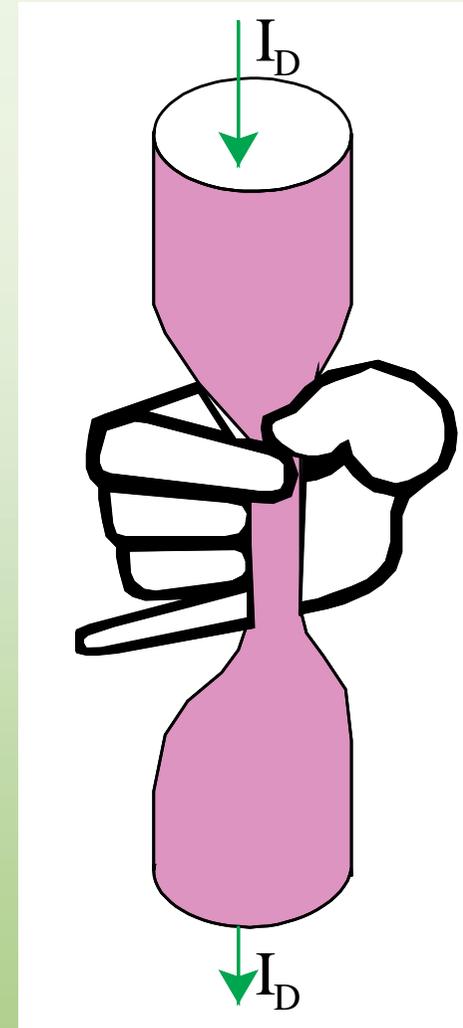


## Modèle (très) sommaire du JFET

- **Analogie hydraulique :**  
le JFET est un tuyau pincé,  
qui contrôle le courant  $I_D$ .
- **Deux modes de fonctionnement :**
  - **Résistance variable.** Lorsque le canal est "serré", sans être pincé, sa résistance  $R_{DS}$  dépend de la taille du trou, suivant la loi classique :

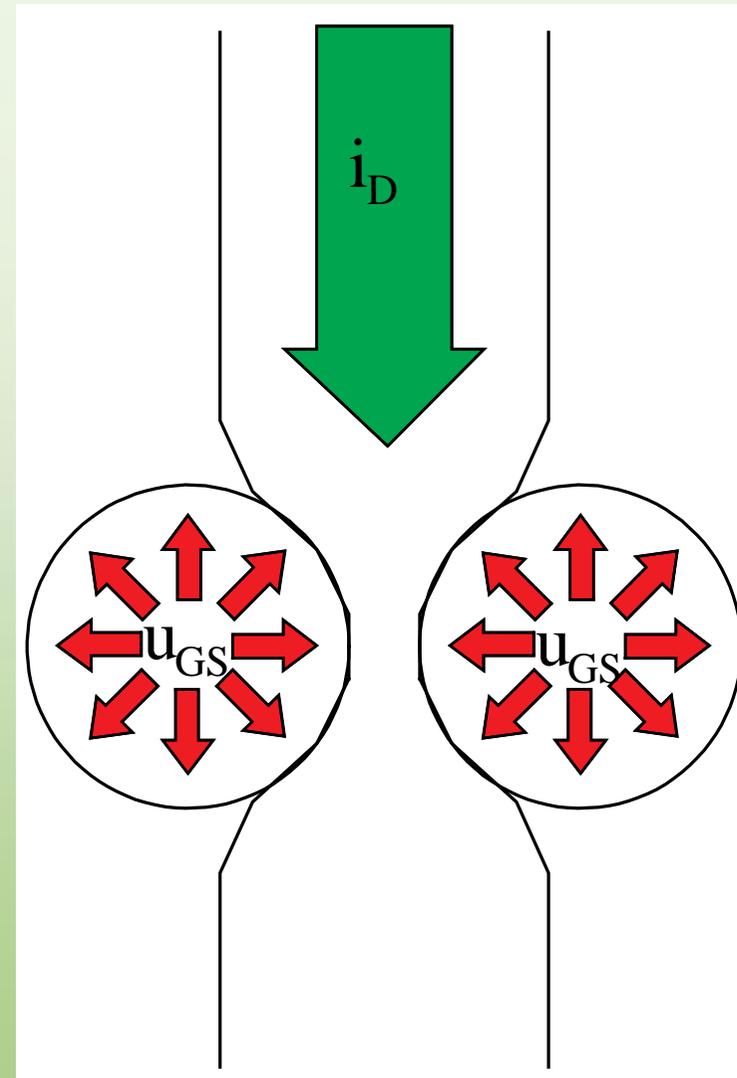
$$R = \rho \frac{l}{s} = \text{résistivité} \frac{\text{longueur}}{\text{section}}$$

- **Transistor.** Lorsque le tuyau est pincé, les électrons, particules quantiques, ont chacun une probabilité de franchir le pincement. Ceux qui passent forment le courant  $I_{DS}$ .



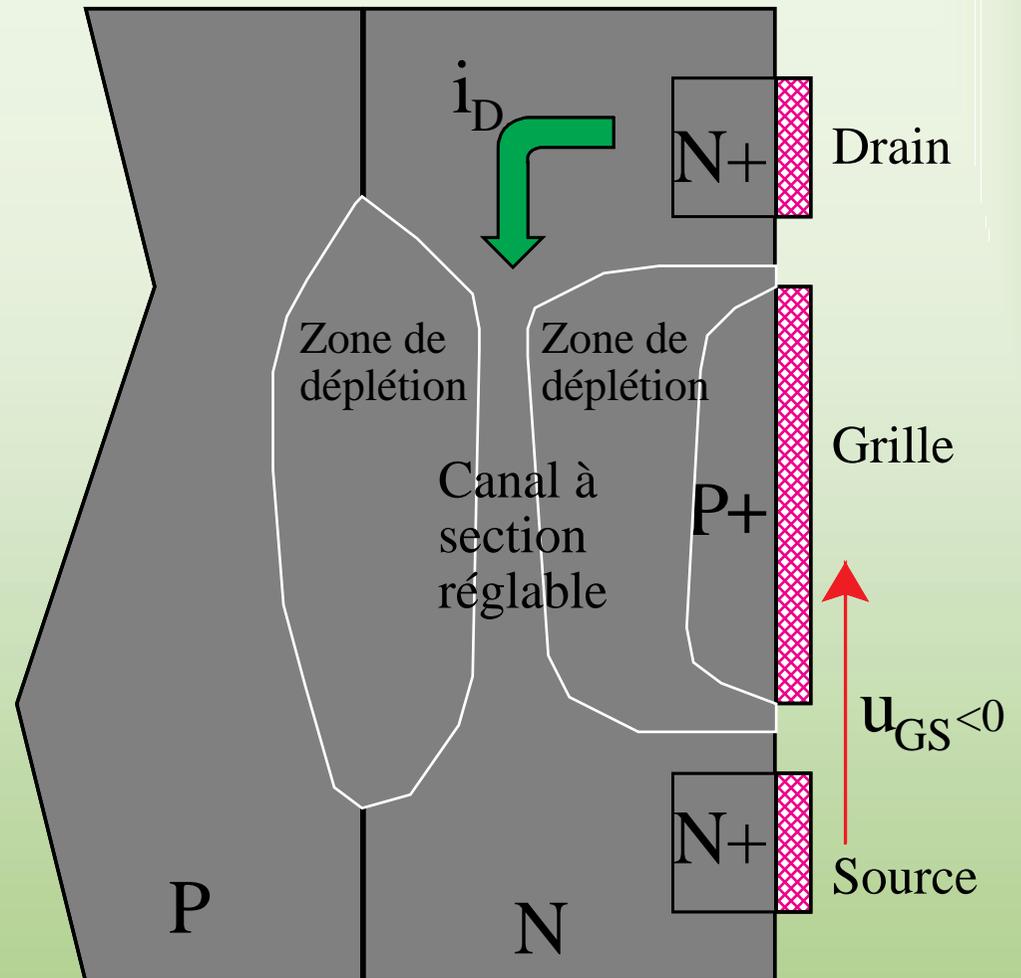
## Modèle sommaire (suite)

- C'est la tension grille-source,  $u_{GS}$  dite "tension de grille" qui commande le "serrage" du tuyau.
- $u_{GS}$  est une tension de diode bloquée



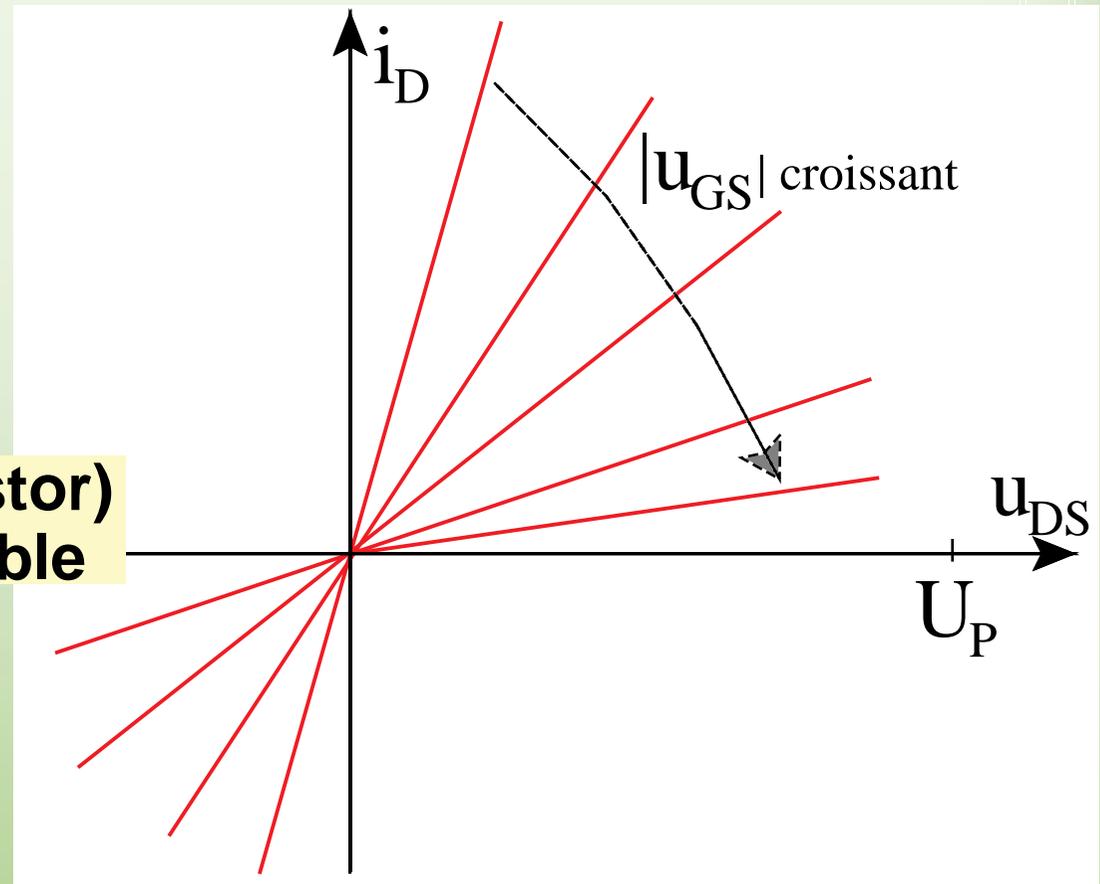
# Physique du JFET en mode résistif

- **Mode résistance variable dépendante de  $u_{GS}$ .**
- **Si la tension  $u_{DS}$  aux bornes du canal n'est pas trop forte ( $u_{DS} < U_{DSS} \sim U_P$ )**
- **La diminution de la section conductrice du canal (le "serrage") est obtenue par l'extension de la zone de déplétion de la diode bloquée.**



## Caractéristiques en mode résistif

- Si  $u_{DS}$  n'est pas trop élevée :  $u_{DS} < U_{DSS} \sim U_P$   
la caractéristique du JFET est celle d'un dipôle passif linéaire (résistor) de pente (résistance) variable
- $U_P$  : tension de pincement



Sur un graphe  $i_D(u_{DS})$ , la pente est la conductance, ici :  $1/R_{DS}$

# Modèle équivalent en mode résistif

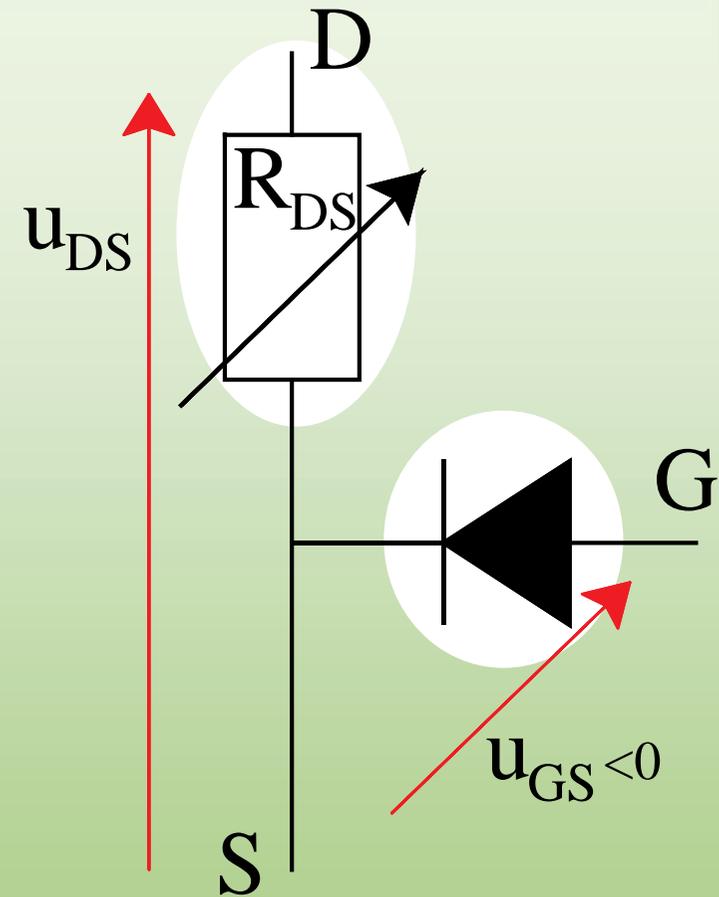
- Diode bloquée et résistance variable

$$R_{DS} = \frac{R_{DS0}}{1 - \frac{|u_{GS}|}{U_P}}$$

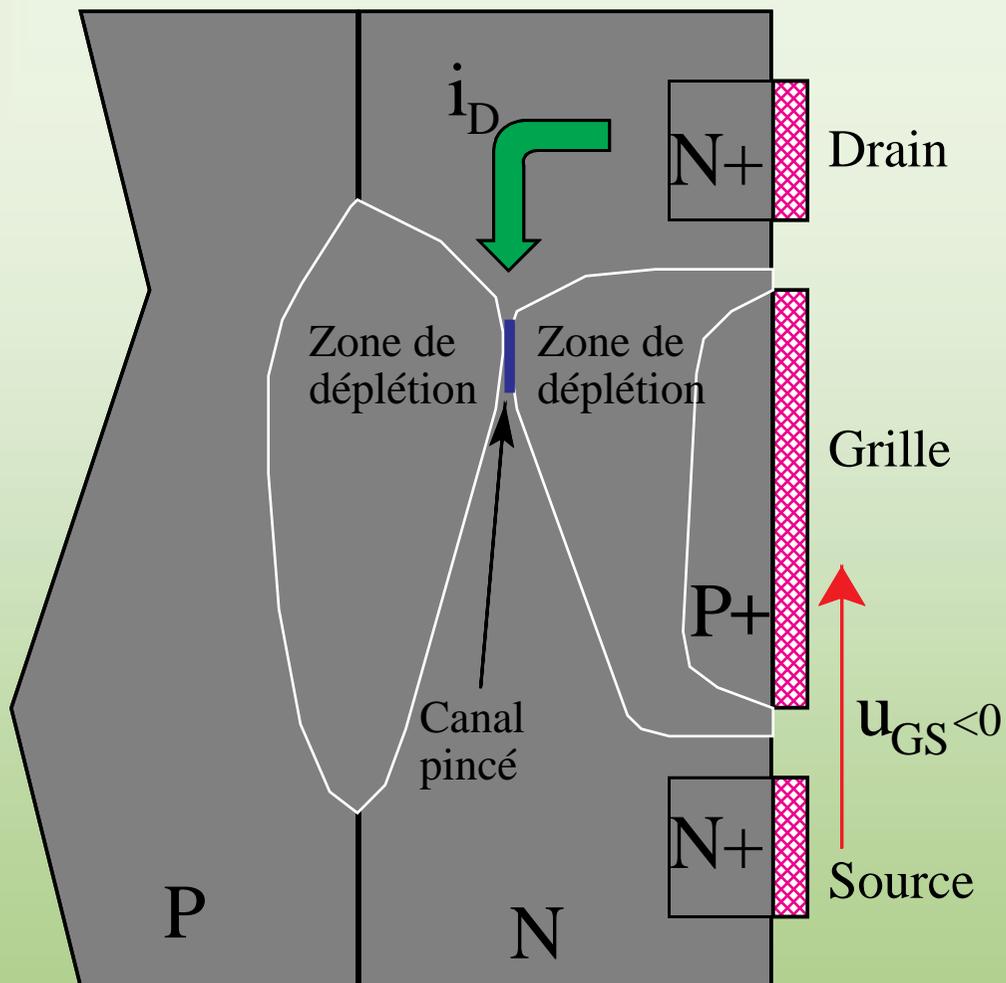
Il s'agit d'une équation empirique

$R_{DS0}$  : Résistance drain-source à  $u_{GS} = 0$

$U_P$  : tension de pincement (1 à 10 V)



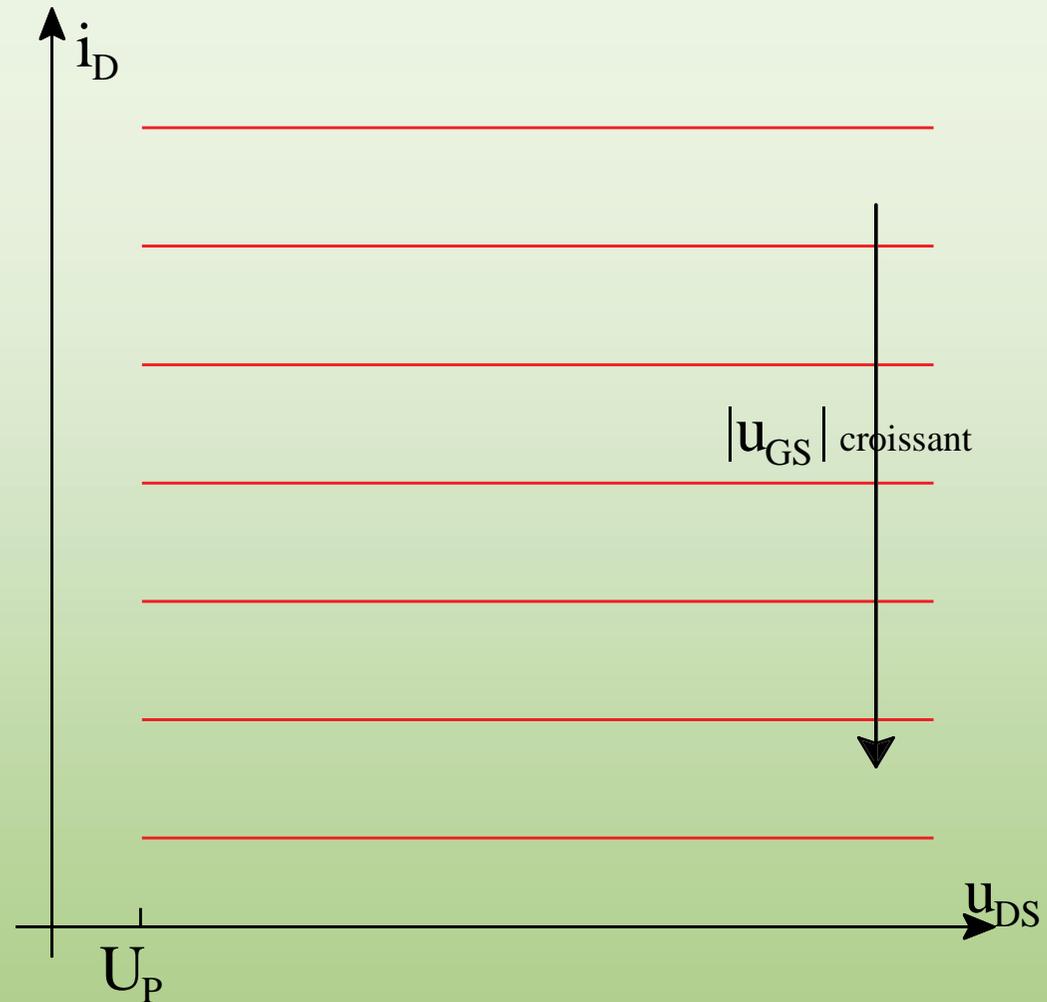
# Physique du JFET en mode transistor



- Ce mode apparaît au-delà d'une tension drain-source suffisante :  $u_{DS} > U_P$ .
- $|u_{GD}| > |u_{GS}|$  : la zone de déplétion s'étend plus du côté du drain.
- Le canal se ferme sur une longueur dite "de pincement", qui varie suivant  $u_{GS}$ .
- Les électrons ont chacun une probabilité de franchir la zone qui varie suivant la longueur. Ils forment le courant  $i_D$ .

# Caractéristiques en mode transistor

- Dans ce mode, dit aussi mode "saturé", ou "pincé", le JFET se comporte comme un générateur de courant parfait...
- ... Dont le courant dépend de  $u_{GS}$ .
- Au repos ( $u_{GS} = 0$ ),  $I_D = I_{DSS}$ , courant de saturation
- Au maximum :  $|u_{GS}| = U_P \Rightarrow I_D = 0$



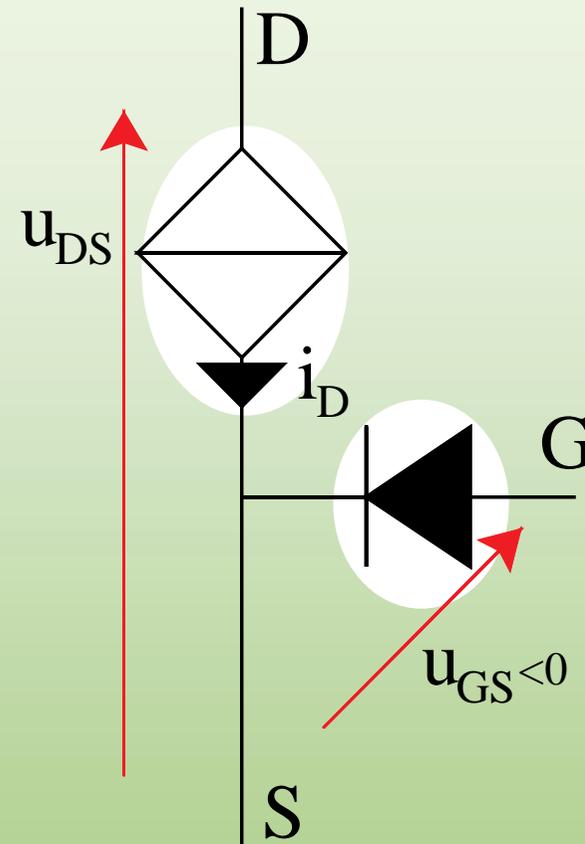
# Modèle équivalent du mode transistor

- Diode bloquée et générateur de courant commandé

$$i_D = I_{DSS} \left[ 1 - \left| \frac{u_{GS}}{U_P} \right| \right]^2$$

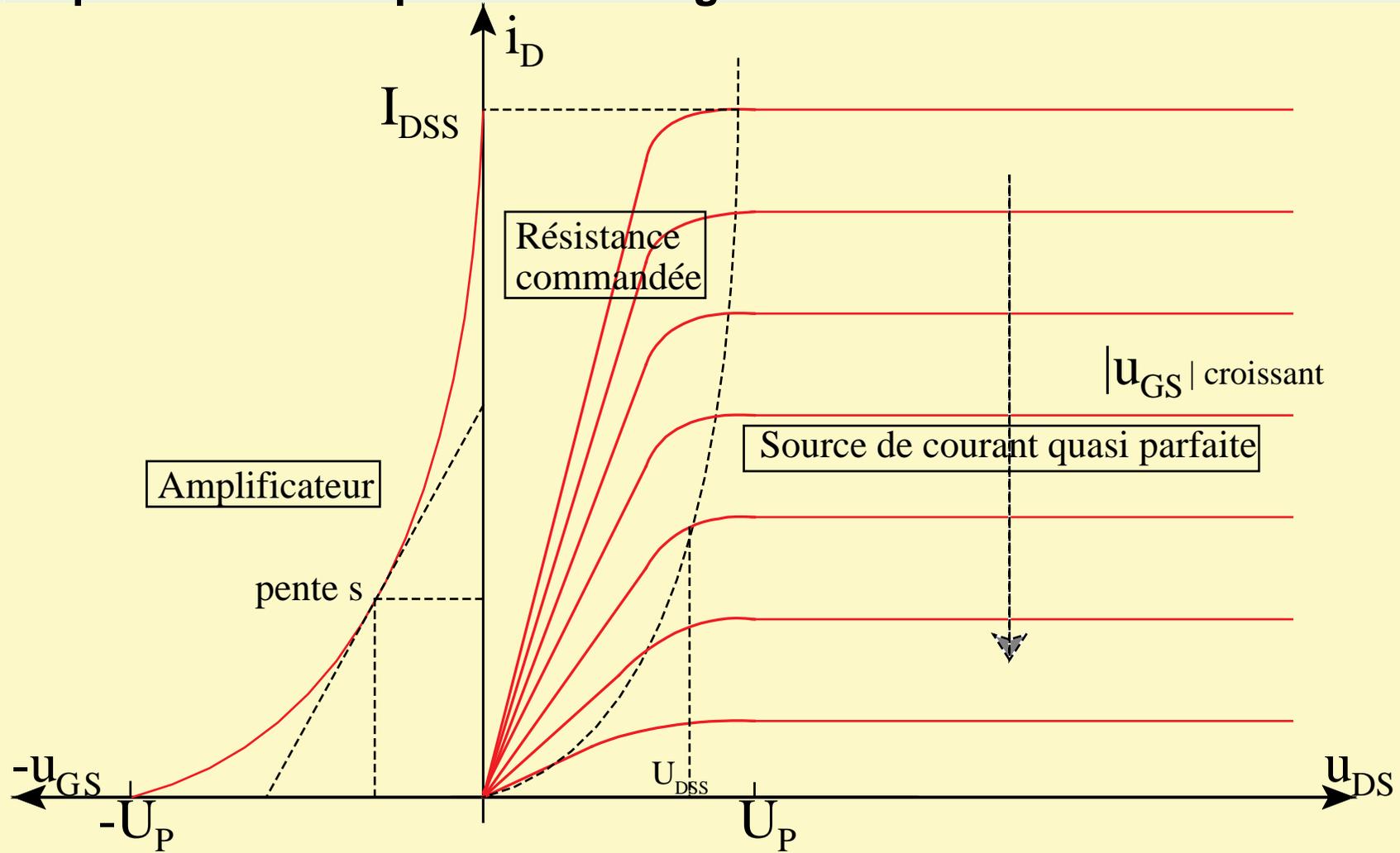
Equation empirique

Si  $u_{GS} < -U_P$ , tension de pincement  
le transistor est bloqué :  $i_D = 0$



# Caractéristiques complètes du JFET

- Chaque zone correspond à un usage du JFET



## Gain ou transconductance du JFET

- C'est la pente de  $i_D(u_{GS})$  unité : mA / V.

$$s = \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} = 2 \frac{I_{DSS}}{U_P} \left( 1 + \frac{u_{GS}}{U_P} \right) = 2 \frac{\sqrt{I_D I_{DSS}}}{U_P}$$

$i_D(u_{GS})$  est une parabole, donc  $s$  dépend du point de repos. Il est possible d'obtenir  $s$  très grand.

A cause de cette forme parabolique, le domaine linéaire est peu étendu de part et d'autre du point de repos (la tangente se sépare rapidement de la courbe).

# Usages possibles du JFET

- **Interrupteur**

- Si  $u_{DS} > U_P$ , le JFET est assimilable à un interrupteur entre D et S

- $u_{GS} = 0 \Rightarrow$  Saturation,  $I_D = I_{DSS} \Rightarrow$  court-circuit entre D et S  $\Leftrightarrow$  fermé

- $u_{GS} = -U_P \Rightarrow$  Blocage,  $I_D = 0 \Rightarrow$  circuit ouvert entre D et S  $\Leftrightarrow$  ouvert

- Peu utilisé, en raison des signes opposés de  $u_{GS}$  et  $u_{DS}$

- **Résistance commandée**

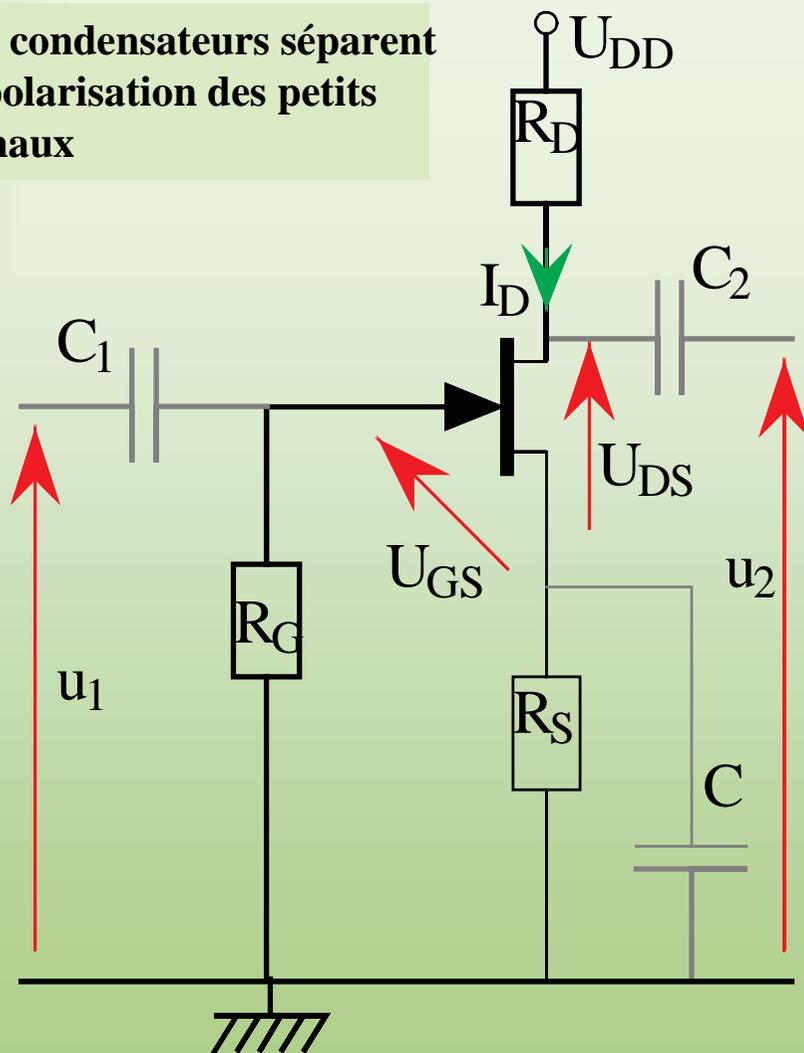
- De nombreux circuits réclament une résistance qui dépend d'une tension. Par exemple, la régulation du gain d'un amplificateur, pour l'empêcher de saturer.

- **Amplificateur**

- Essentiellement le montage "source commune", qui permet d'obtenir un grand gain et surtout une énorme impédance d'entrée.

# Le JFET en source commune, un montage de classe A

Les condensateurs séparent la polarisation des petits signaux



- Le point de repos à  $U_{GS} < 0$  est assuré par la présence de  $R_S$ .

$$U_{GS} = -R_G I_G - R_S I_D \sim -R_S I_D < 0$$

$I_G$  est un courant de diode bloquée  
 $I_G \sim 0$ , donc :  $R_G I_G = 0$

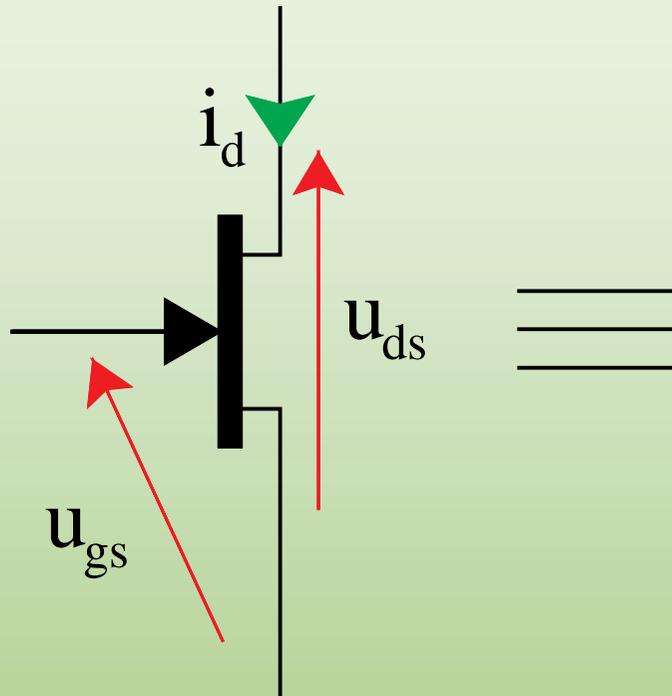
Pour calculer le point de repos,  
nous avons aussi besoin de :

$$U_{DD} - U_{DS} = (R_S + R_D) I_D$$

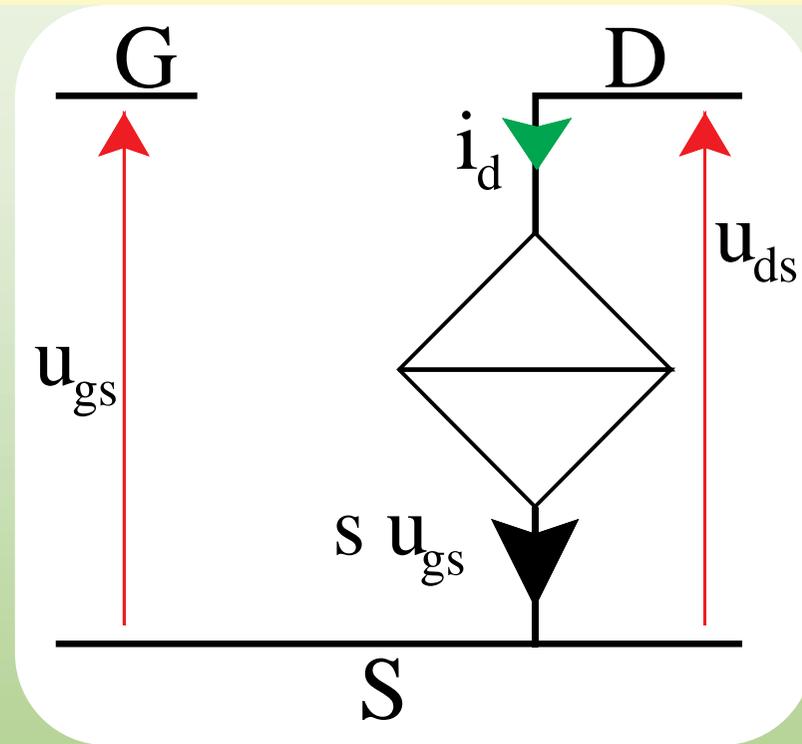
$$i_D = I_{DSS} \left[ 1 - \left| \frac{u_{GS}}{U_P} \right| \right]^2$$

# Schéma équivalent petits signaux de tous les transistors à effet de champ

- **Sortie : Générateur de courant parfait commandé**
- **Entrée : Circuit ouvert**



"gain"  $s = i_d / u_{gs} = y_{21}$

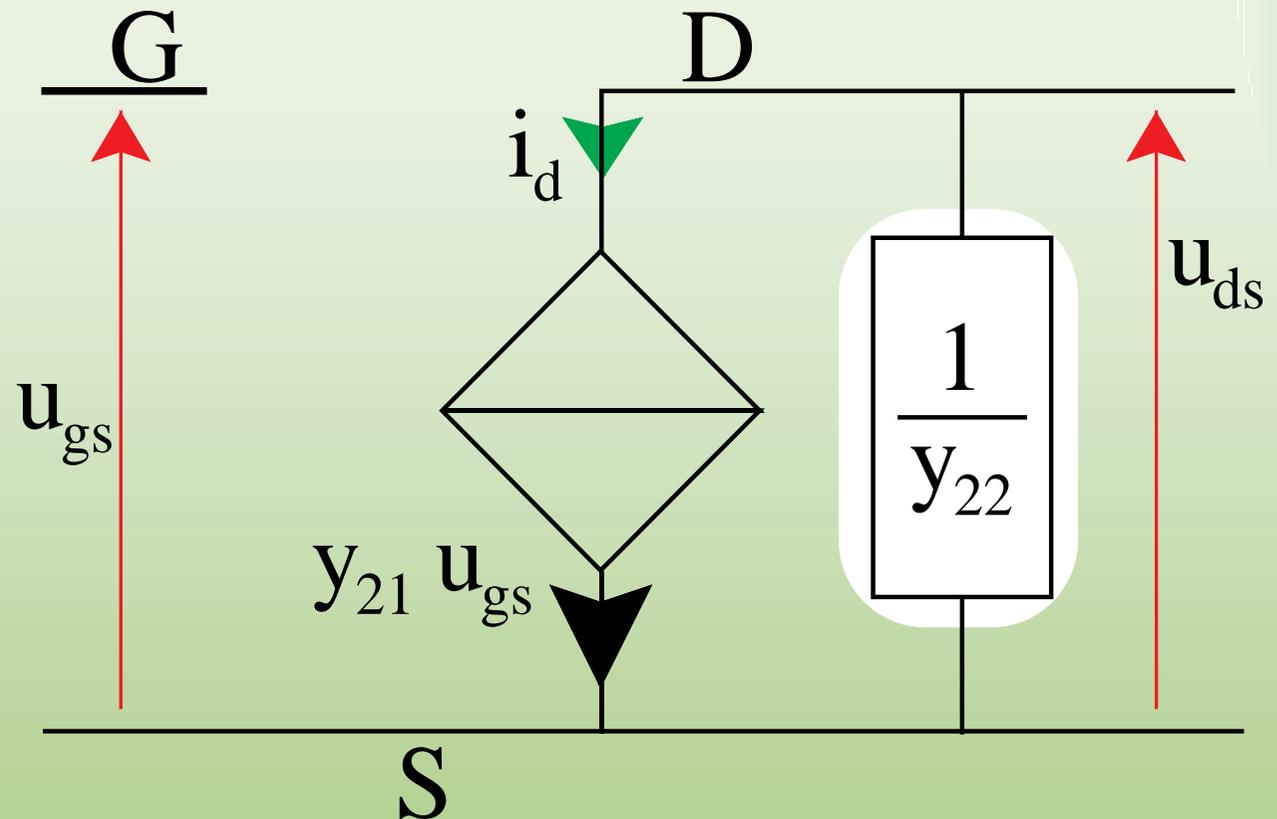


admittance d'entrée  $y_{11} = 0$

# $i_d$ augmente légèrement avec $u_{ds}$

- A  $U_{gs}$  constant

Comme pour l'effet Early du bipolaire, cette propriété est modélisée par une admittance de sortie, notée ici  $y_{22}$ .



# En HF, i faut tenir compte de la capacité de la diode grille-canal bloquée

- En HF, une diode bloquée se comporte comme un petit condensateur

