

LE TRANSISTOR JFET CANAL N

Structure et caractéristiques

Zone ohmique et de coude

Zone de saturation

Polarisation

Schéma aux petites variations et aux fréquences moyennes

JFET canal P

JFET canal N : montages fondamentaux

TRANSISTOR J.F.E.T. CANAL N

1) DIODE POLARISEE EN INVERSE

Considérons en figure 1 une diode PN au silicium polarisée en inverse par une tension V_{inv} .

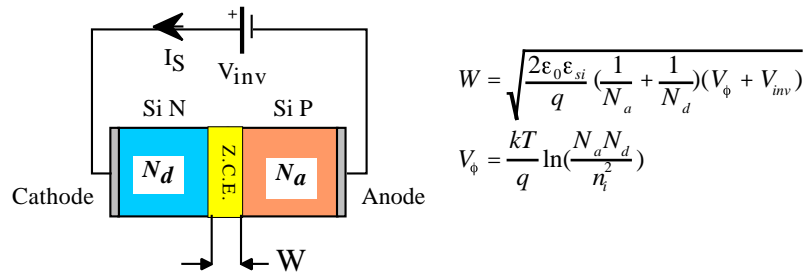


Figure 1: Diode bloquée et sa Z.C.E. d'épaisseur $W = f(V_{in})$

De part et d'autre de l'interface entre le silicium P et le silicium N, se développe une zone de charge d'espace (Z.C.E.) dont l'épaisseur W est proportionnelle à la racine carrée de la tension V_{inv} . Cette Z.C.E. est une zone quasi-isolante. Le fonctionnement du transistor JFET canal N exploite la présence de cette zone.

2) STRUCTURE ET CARACTERISTIQUES DU JFET CANAL N

Dans un barreau de silicium N (figure 2), dont les extrémités constituent le drain et la source du dispositif, on a réalisé la diffusion de deux zones de silicium de type P formant la grille. Sous la zone de grille se trouve le canal N du JFET. Le silicium N du canal est donc pris en "sandwich" par la grille en silicium P.

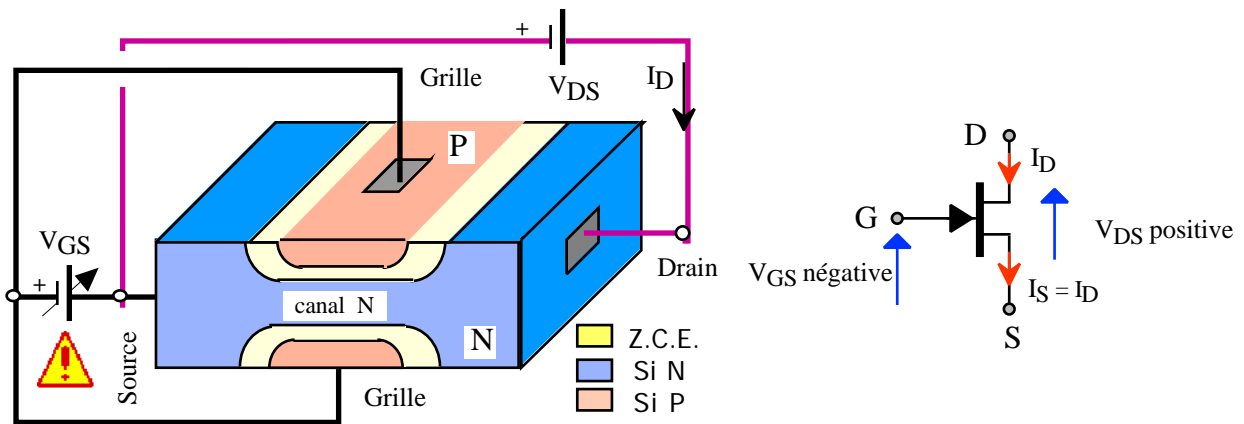


Figure 2 : JFET canal N

Comme le montre la figure 3, les deux zones de charge d'espace des deux diodes PN à cathode et anode communes peuvent moduler l'épaisseur du canal sous l'action d'une tension V_{GS} négative.

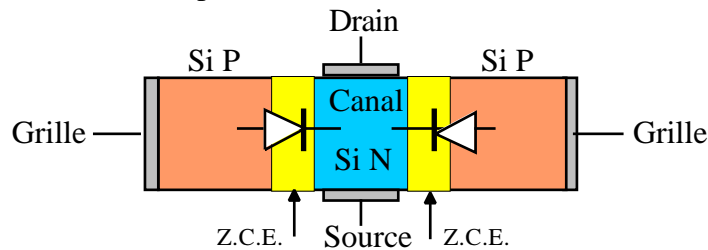


Figure 3 : Coupe au niveau du canal

En fonctionnement normal, la tension V_{DS} doit être positive alors que la grille doit être absolument polarisée négativement par rapport à la source sous peine de destruction du composant (diode grille source alors en direct et courant correspondant excessif).

Les caractéristiques de sortie $I_D = f(V_{DS})$ à V_{GS} constante présentent deux régions (figure 4) :

- Ohmique et de “coude” pour $V_{DS} < V_{DS\text{ saturation}} = V_{GS} - V_{Pincement}$
- Saturation ou de “plateau” ($V_{DS} > V_{DS\text{ sat}}$)

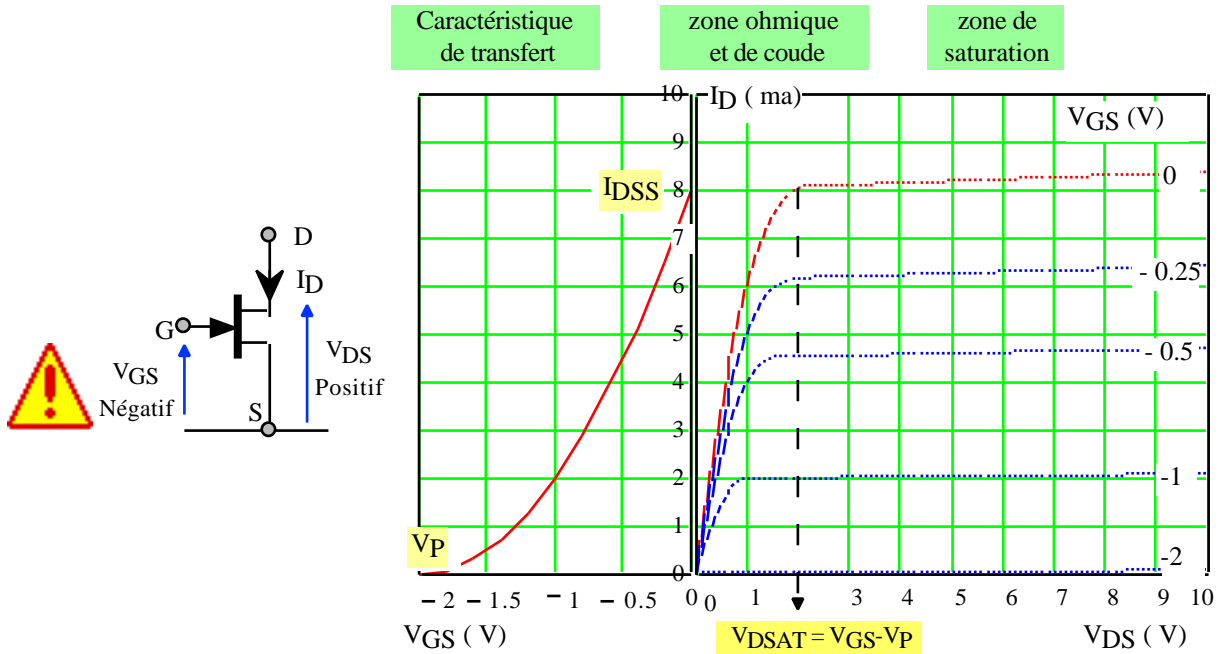


Figure 4 : Caractéristiques du JFET canal N

3) ZONE OHMIQUE ET DE COUDE : $V_{DS} < V_{DS\text{ sat}} = V_{GS} - V_{Pincement}$

3.1) Zone Ohmique

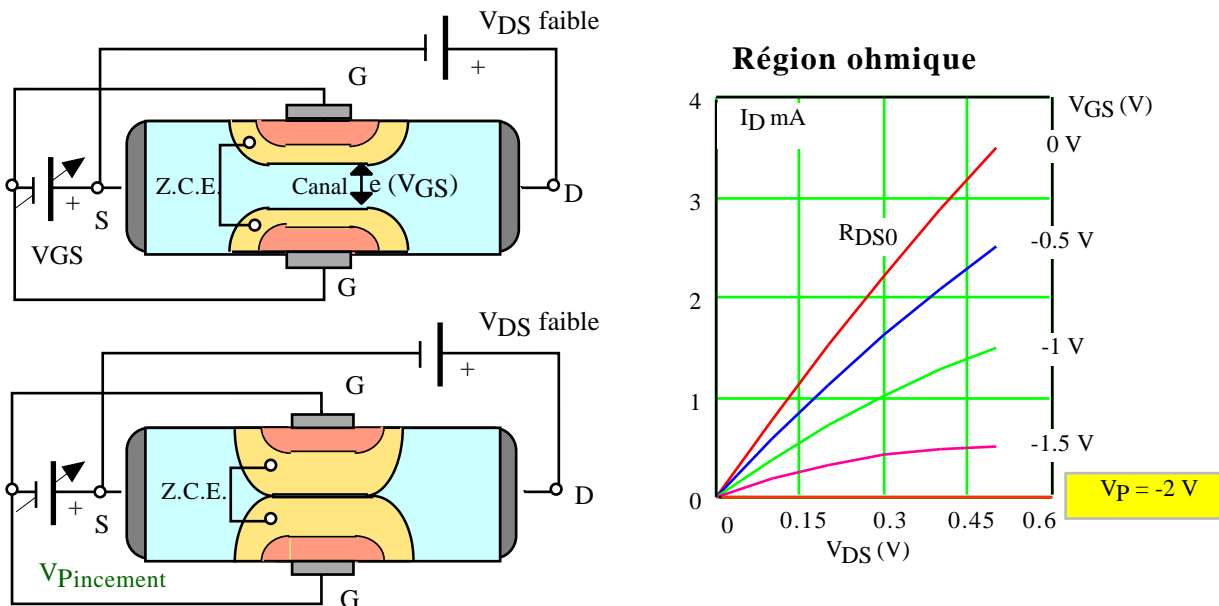


Figure 5

Lorsque la tension V_{DS} est faible, l'épaisseur $e = f(V_{GS})$ du canal est alors uniforme (figure 5) et d'autant plus faible que la tension V_{GS} est négative.

Lorsque V_{GS} est égale à V_P tension de pincement, le canal a une épaisseur e nulle, le JFET est bloqué, soit : $I_D = 0$ mA. **La tension de pincement du canal V_P est une donnée fondamentale du JFET.**

Dans la zone purement ohmique, la résistance drain-source R_{DS} est telle que :

$$R_{DS} = \frac{R_{DS0}}{1 - K|V_{GS}|} \quad (1)$$

R_{DS0} résistance pour $V_{GS} = 0V$ et K (V^{-1}) facteur caractéristique du JFET

3.2) Zone de coude

Lorsque la tension V_{DS} augmente, l'épaisseur du canal dépend à la fois des tensions :

- V_{DS} qui se répartit dans le canal.
- V_{GS} par création d'une zone de charge d'espace.

Par exemple, appliquons une tension $V_{DS} = 2V$, la grille n'étant pas connectée. Comme il est indiqué en figure 6, la tension V_{DS} se répartie linéairement dans le canal.

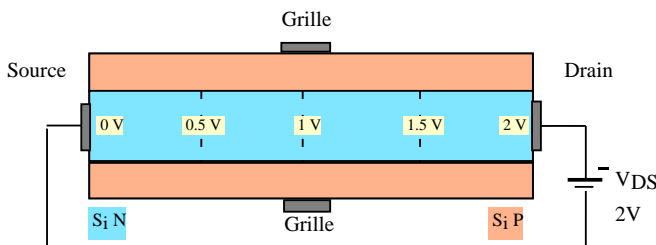


Figure 6

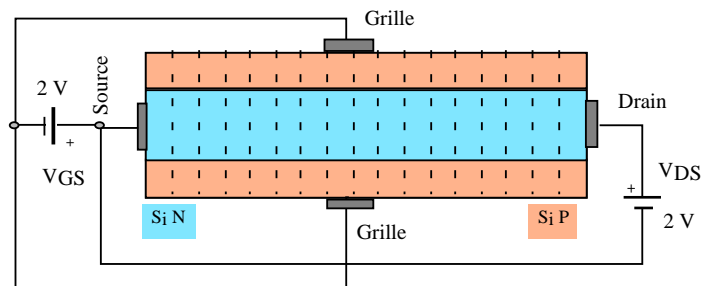


Figure 7

Appliquons maintenant une tension V_{GS} de $-2V > V_P$ et découpons le canal et la grille en n diodes PN (figure 7). Compte-tenu des tensions appliquées, la figure 8 donne une image électrique de la tension inverse des diodes considérées ($n=5$).

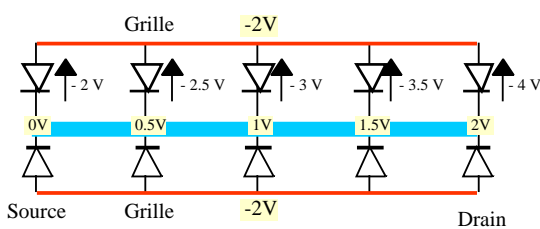


Figure 8

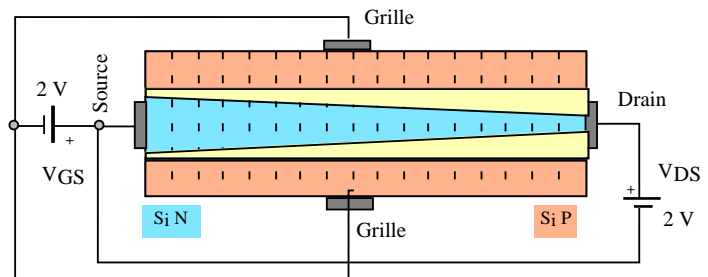


Figure 9

Les diodes qui sont situées près du drain sont plus fortement bloquées que les diodes situées du côté de la source car soumises à une tension inverse plus importante. Le canal a donc tendance à se rétrécir du côté du drain (voir § 1). Le canal prend alors la forme d'un entonnoir (figure 9). La résistance du canal n'est plus linéaire, on décrit alors la zone de coude des caractéristiques.

Le courant de drain dans la zone de coude est tel que :

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{V_P^2} \left[2(V_{GS} - V_P)V_{DS} - V_{DS}^2 \right] \quad (2)$$

4) ZONE DE SATURATION OU DE PLATEAU : $V_{DS} \geq V_{DS\text{ sat}} = V_{GS} - V_P$

4.1) Courant maximal de drain I_{DSS} .

Supposons une tension V_{GS} nulle (figure 10)

a) Lorsque la tension V_{DS} atteint la valeur de saturation $V_{DS\text{ sat}} = V_{GS} - V_P$, il se produit à nouveau un pincement du canal en P_1 . Cependant, contrairement à la zone ohmique, ce pincement local du canal, ne provoque pas l'annulation de courant I_D . En effet, les électrons circulants de la source vers le drain, possèdent en P_1 , une énergie cinétique suffisante pour rejoindre le drain.

On a alors atteint le courant de saturation de drain I_{DSS} , deuxième donnée fondamentale.

b) Lorsque la tension V_{DS} est supérieure à $V_{DS\text{ sat}}$, le courant I_D reste sensiblement constant car on assiste à deux effets antagonistes :

Si V_{DS} , la résistance R_{DS} (P_1 se déplace en P_2) et le rapport V_{DS}/R_{DS} est invariable.

4.2) Equation dans la zone de plateau.

Pour les tensions V_{GS} négatives, les mêmes phénomènes se reproduisent. Mais l'association des effets des tensions V_{GS} et V_{DS} conduit à un courant de drain inférieur au courant maximal I_{DSS} .

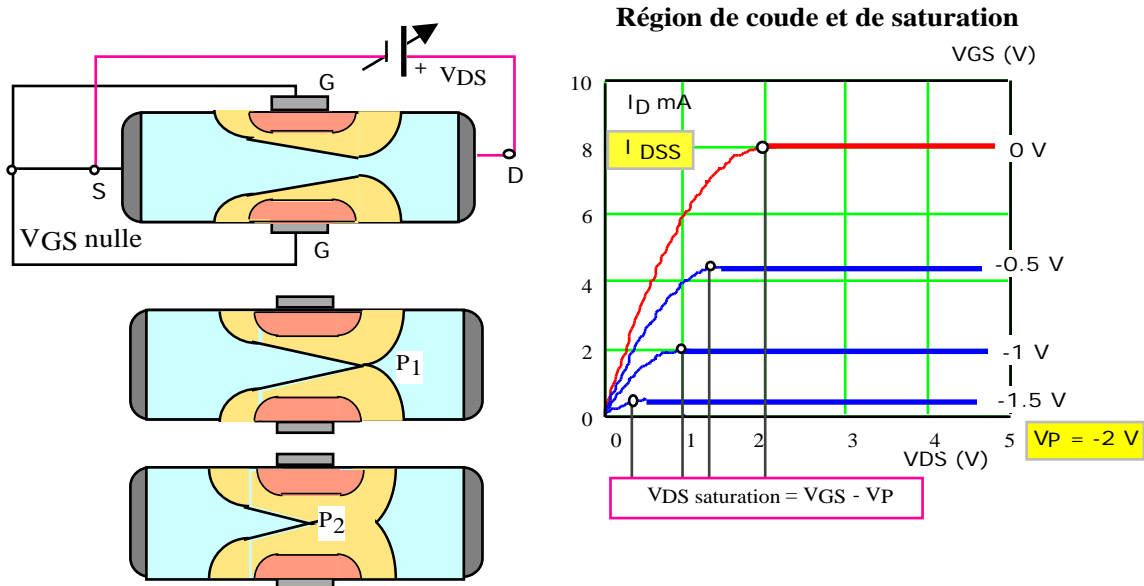


Figure 10

4.3) Dans la zone de plateau, le JFET est une source de courant imparfaite dépendante des tensions V_{GS} et V_{DS} :

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2 (1 + \lambda \cdot V_{DS}) \quad (3)$$

- I_{DSS} : courant maximal de saturation pour $V_{GS} = 0\text{ V}$
- V_P : tension de pincement du canal
- $(\lambda \cdot V_{DS})$: paramètre lié à la résistance interne de la source de courant ($-1/$ correspond à un effet Early)

5) POLARISATION DU JFET CANAL N

On considère en figure 11 un montage à transistor JFET canal N. On définit la droite de charge $V_{DS} = V_{CC} - (R_S + R_D) I_D$, sur laquelle on se fixe un point de repos en choisissant par exemple une tension $V_{DS\ repos}$. On en déduit de manière habituelle sur les caractéristiques : $I_{D\ repos}$ et la tension $V_{GS\ repos}$.

Polariser le JFET revient à définir la tension négative $V_{GS\ repos}$. La jonction grille-source étant bloquée, le courant de grille I_G est très faible. Dans ces conditions, si on connecte entre grille et masse une résistance R_{GG} (peu importe sa valeur), sa tension aux bornes sera nulle. On déduit :

$$V_{GS\ repos} = 0 - R_S I_{D\ repos}$$

La polarisation est donc assurée par une résistance de source R_S , de valeur convenable, associée au courant de drain qui la traverse. Cette polarisation est dite "automatique". En effet si pour une raison quelconque, le courant I_D augmente, V_{GS} diminuant, entraîne une diminution de I_D . La position du point de repos est sensiblement stable.

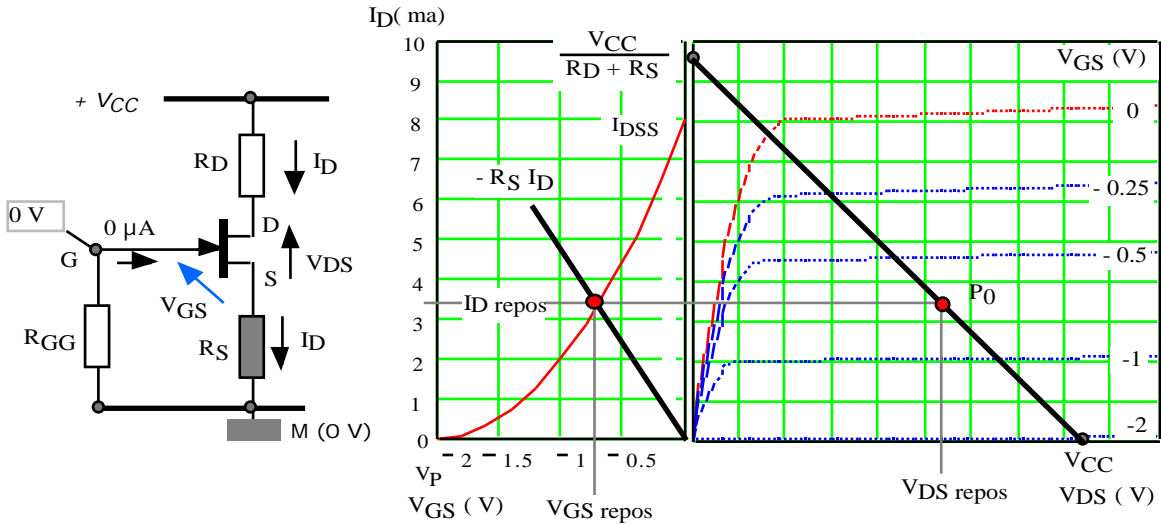


Figure 11

6) SCHEMA AUX PETITES VARIATIONS ET FREQUENCES MOYENNES

Pour de petites variations de fréquences moyennes, autour d'un point de repos, le transistor JFET canal N est simulé par le schéma équivalent de la figure 12 comportant :

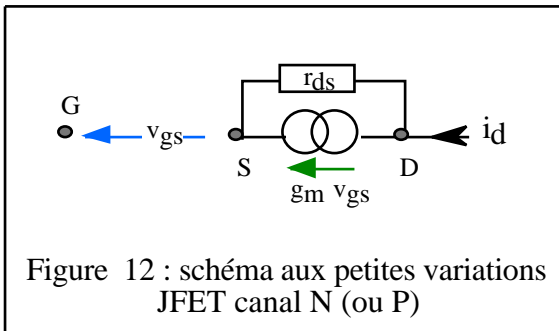


Figure 12 : schéma aux petites variations JFET canal N (ou P)

- Entre grille et source, une résistance r_{gs} de valeur élevée (résistance dynamique d'une jonction bloquée) habituellement négligée.
- Un **générateur de courant** $g_m v_{gs}$, **circulant toujours de D vers S** et **dépendant** de la tension instantanée v_{gs} . L'imperfection du générateur de courant est représentée par la résistance interne r_{ds}

Connaissant les caractéristiques essentielles du composant : I_{DSS} , V_P et λ , la transconductance g_m et la résistance interne r_{ds} sont données par :

$$g_m = \left[\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \right]_{V_{DS\ const}} = - \frac{2}{V_P} \sqrt{I_{DSS} \cdot I_{D\ repos}} \quad r_{ds} = \left[\frac{\partial V_{DS}}{\partial I_D} \right]_{V_{GS\ const}} = \frac{1 + \lambda \cdot V_{DS\ repos}}{\lambda \cdot I_{D\ repos}}$$

JFET CANAL P

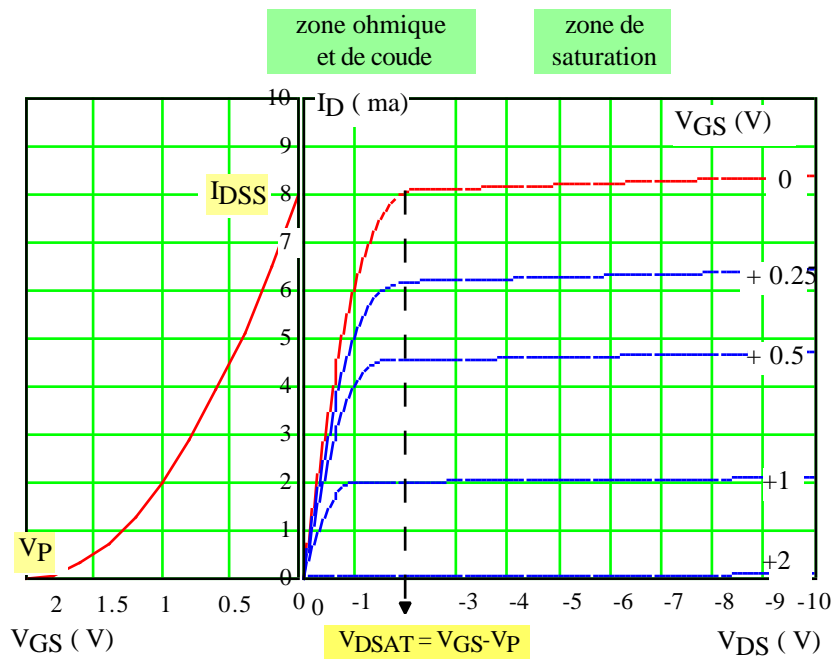
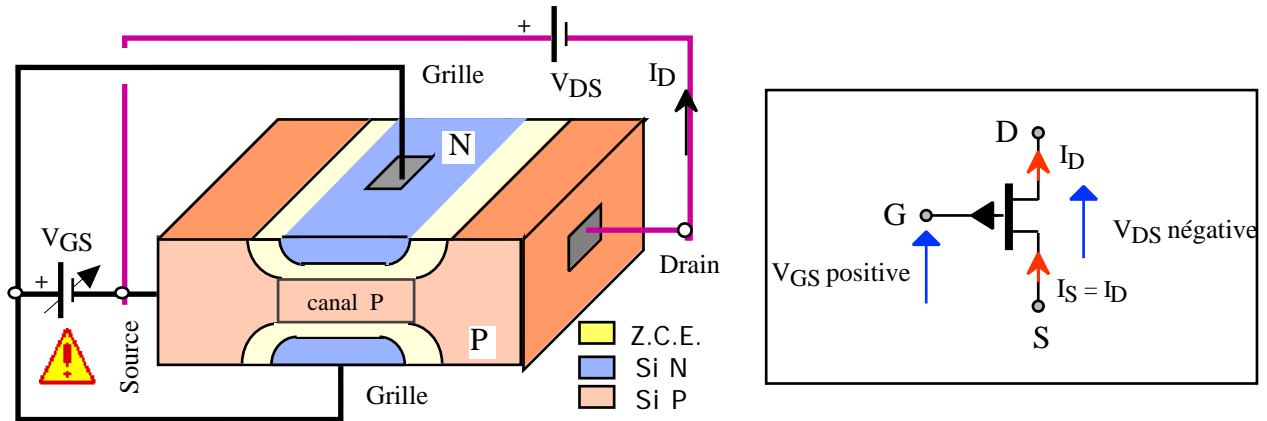


Figure 13 : JFET canal P structure et caractéristiques

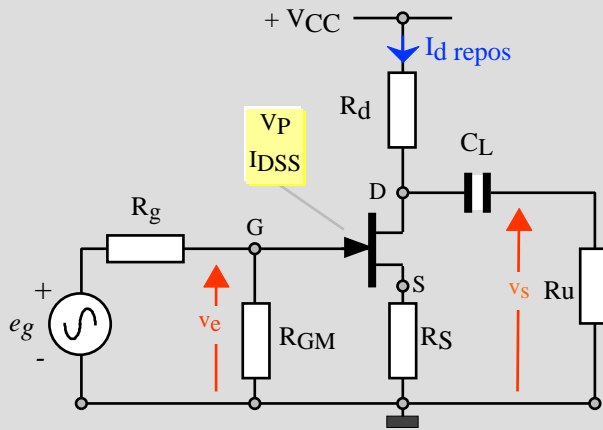
La tension V_{GS} du JFET canal P doit être comprise entre 0 et V_P qui est positive. Sa tension V_{DS} est négative. Expression du courant I_D du JFET canal P dans la zone de plateau :

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right]^2 (1 + \lambda \cdot |V_{DS}|)$$

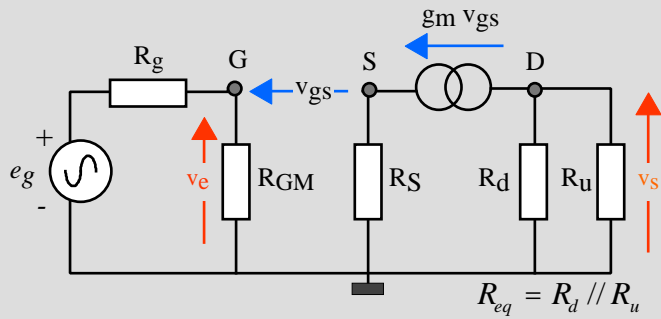
Son schéma équivalent aux fréquences moyennes et aux petites variations est identique à celui du JFET canal N avec :

$$g_m = \left| -\frac{2}{V_P} \right| \sqrt{I_{DSS} \cdot I_{D\text{ repos}}} \qquad r_{ds} = \frac{1 + \lambda \cdot |V_{DS\text{ repos}}|}{\lambda \cdot I_{D\text{ repos}}}$$

JFET CANAL N : MONTAGES FONDAMENTAUX



Amplificateur Source commune



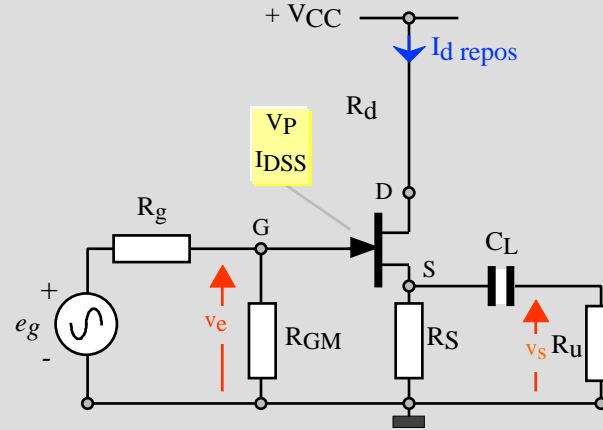
$$A_v = -\frac{g_m R_{eq}}{1 + g_m R_s}$$

$$R_e = R_{GM}$$

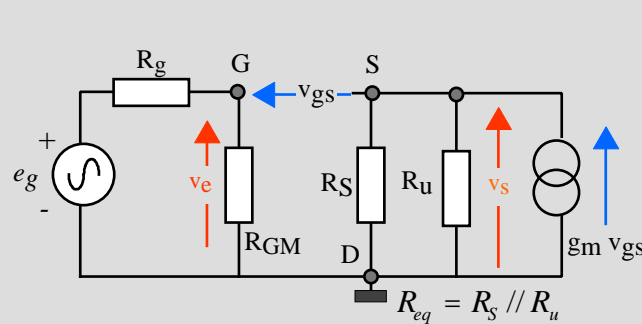
$$R_s = R_d$$

$$g_m = -\frac{2}{V_p} \sqrt{I_{DSS} I_{D \text{ repos}}}$$

rds infinie



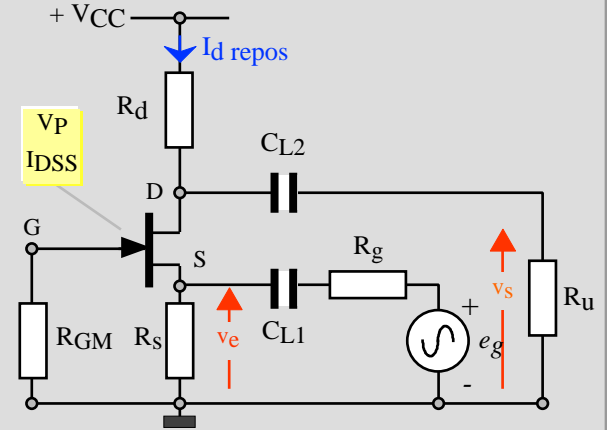
Amplificateur Drain commun



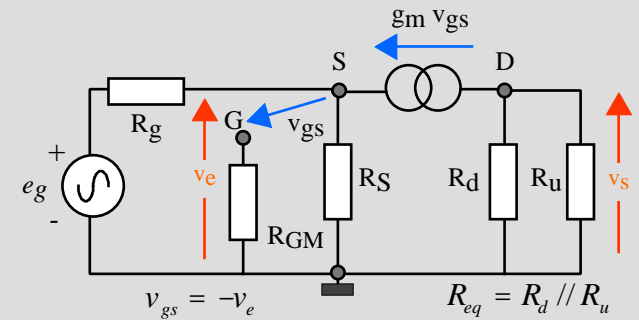
$$A_v = \frac{g_m R_{eq}}{1 + g_m R_{eq}}$$

$$R_e = R_{GM}$$

$$R_s = \frac{R_s}{1 + g_m R_s}$$



Amplificateur Grille commune



$$A_v = g_m R_{eq}$$

$$R_e = R_s // \frac{1}{g_m}$$

$$R_s = R_d$$

TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A JONCTION : JFET CANAL N

