

Chapitre III. Transistor Bipolaire à Effet de Champ

III.1. Transistor a effet de champ FET

Effet transistor (dans les transistors bipolaires « Chapitre II ») fait intervenir deux types de porteurs (les électrons et les trous) et ils sont utilisés en analogique et en électronique de puissance, les transistors unipolaires (encore appelée TEC ou FET) ne font intervenir qu'un seul type de charges, soit les électrons, soit les trous et ils sont principalement utilisés en électronique numérique (réalisation d'opérations logiques). Ils peuvent être utilisés pour faire des blocs analogiques dans des circuits numériques (régulateur de tension par exemple). Ils sont aussi utilisés pour faire des commandes de puissance (moteurs) et pour l'électronique haute tension (automobile).

Au cours de ce chapitre III nous allons voir **les transistors à grille non isolé les JFET** (Junction Field Effect Transistor) et **les transistors à grille isolée les MOSFET** (Metal Oxyde Silicium FET). Dans les transistors à effet de champ, le passage du courant à travers un canal continu reliant la source au drain est en fait contrôlée par le champ crée par une troisième électrode la grille située sur le canal.

III.1.1 Transistor à effet de champ à jonction JFET

Description

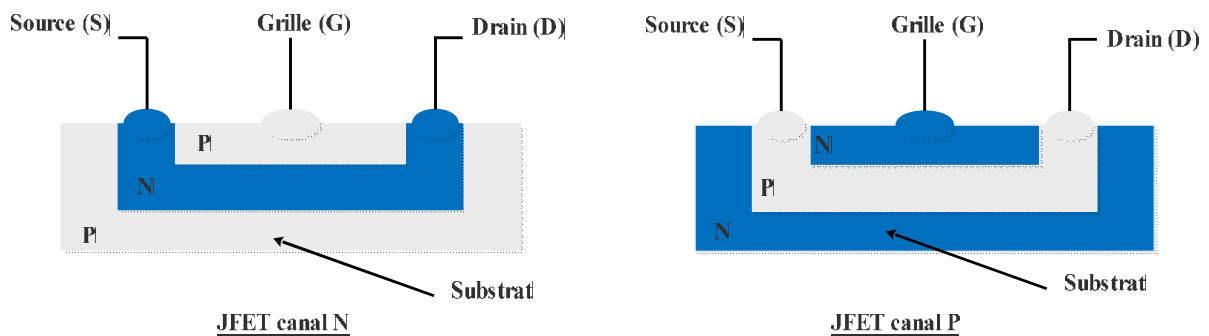


Figure 1. FET à jonction à canal N et P

Le transistor JFET est un composant de structure plane. Il est constitué par une mince couche de matériau semi-conducteur de type N (pour un JFET canal N), sur un substrat de type P.

Une diffusion de type P^+ à la surface de la couche réalise l'électrode de la grille et constituant ainsi une jonction P^+N verticale. Deux diffusions N^+ , aux extrémités du canal, permettent d'assurer les contacts ohmiques de source et de drain.

Pour fabriquer un transistor J-FET on utilise un semi-conducteur, ce dernier peut être de type N ou P figure 1. Dans la figure 2 (a) le semi-conducteur est de type N, il réunit deux contacts métalliques appelés Drain et Source, il est appelé dans ce cas Canal. Si le canal est alimenté par une tension V_{DS} entre le Drain et la Source, cette tension produit un courant I_D qui dépend de la résistance du canal figure 2 (b)

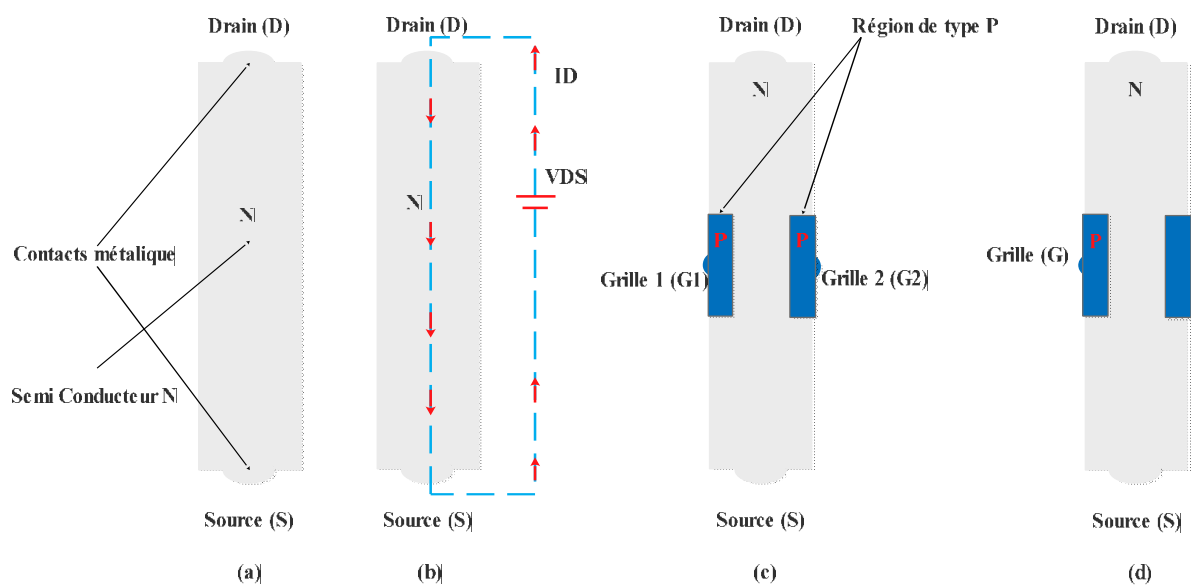


Figure 2. Étapes de fabrication d'un JFET

En insérant dans le semi-conducteur N deux régions de types P de chaque côté du canal, on obtient le TEC à jonction à canal N **figure 2** (c). Chacune des régions P est une électrode de commande appelée Grille. Dans la plus part du temps les deux grilles sont raccordées de l'intérieur, donc on aura une seule Grille figure 2 (d).

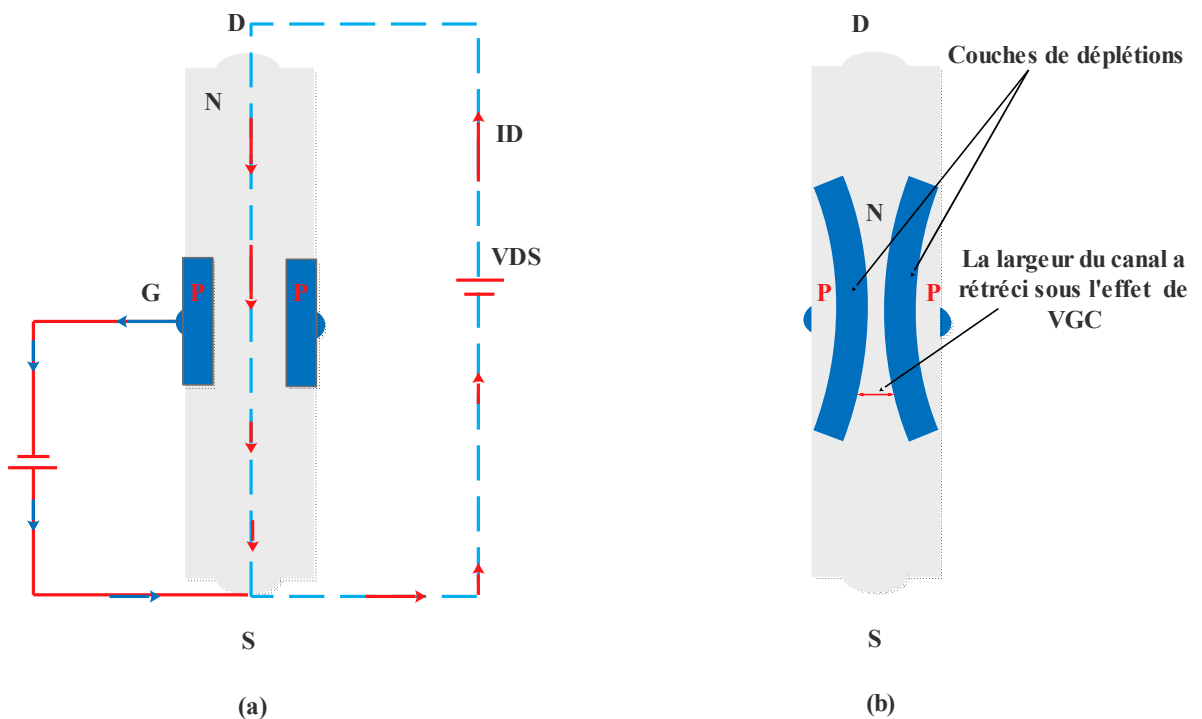
Pour fabriquer un JFET à canal P, on procède de la même manière, on remplace simplement le semi-conducteur de type N par un semi-conducteur de type P et on remplace les régions P par des régions N et on inverse V_{DS} .

III.1.1 L'effet de champ

En partant de la figure 2 (d) avec les deux grilles raccordées et en les polarisant par une tension V_{GS} négative figure 3 (a) on aura l'apparition de deux couches appelées couches de **déplétions** figure 3 (b).

Donc le nom d'effet de champ vient de l'apparition de ces deux couches de déplétions qui entourent chaque jonction PN.

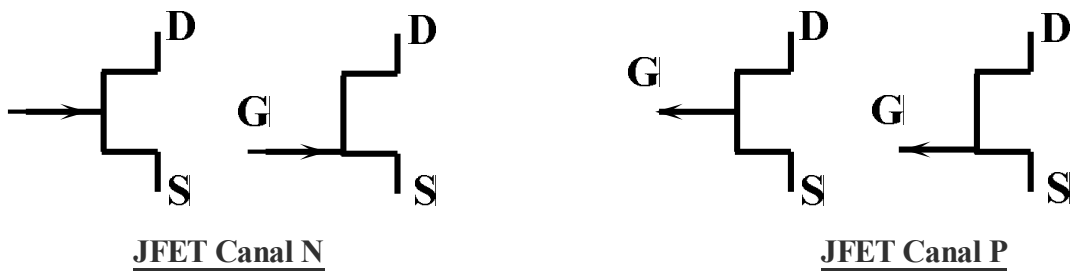
Le courant qui circule de du Drain vers la Source doit passer par le canal resserré entre les deux couches de déplétions. Les dimensions de ces deux couches déterminent la largeur du canal de conduction, plus la tension V_{GS} est négative et plus le canal de conduction devient étroit car les couches de déplétions se rapprochent l'une de l'autre sous l'effet du courant I_G sortant de V_{GS} qui vient se retrancher au courant I_D sortant de V_{DS} .



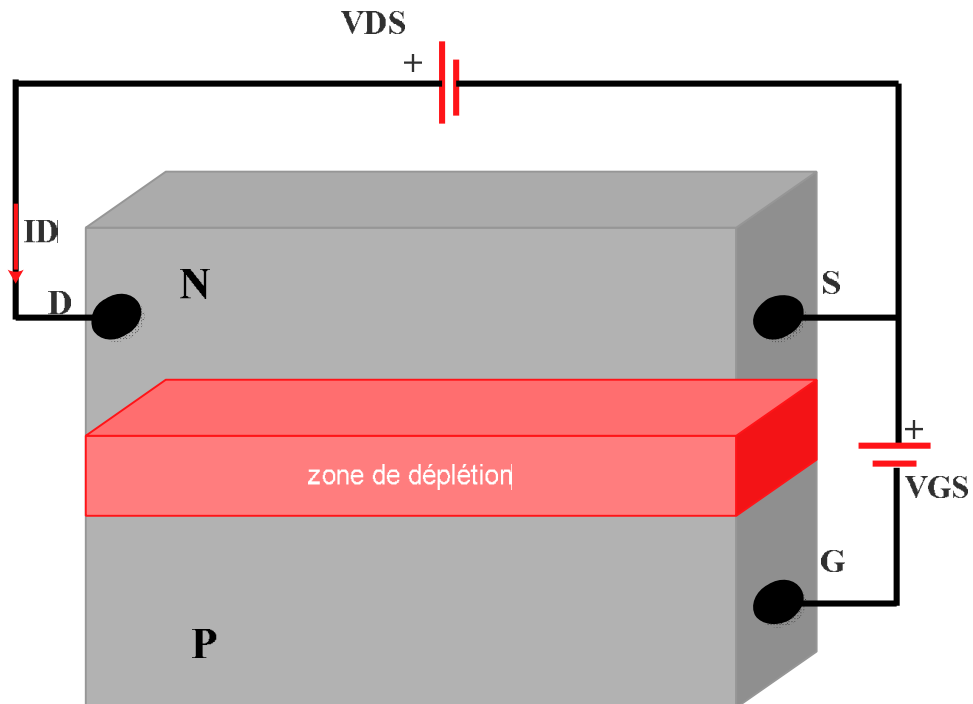
Autrement dit la tension grille V_{GS} commande le courant entre la Source et le Drain, plus la tension grille est négative et plus ce courant est faible.

III.1.3 Symboles schématique

Il existe deux types, les transistors à canal N et les transistors à canal P selon le dopage du canal, donc les symboles les plus utilisés pour les JFET à canal N et P sont présentés ci-dessous :



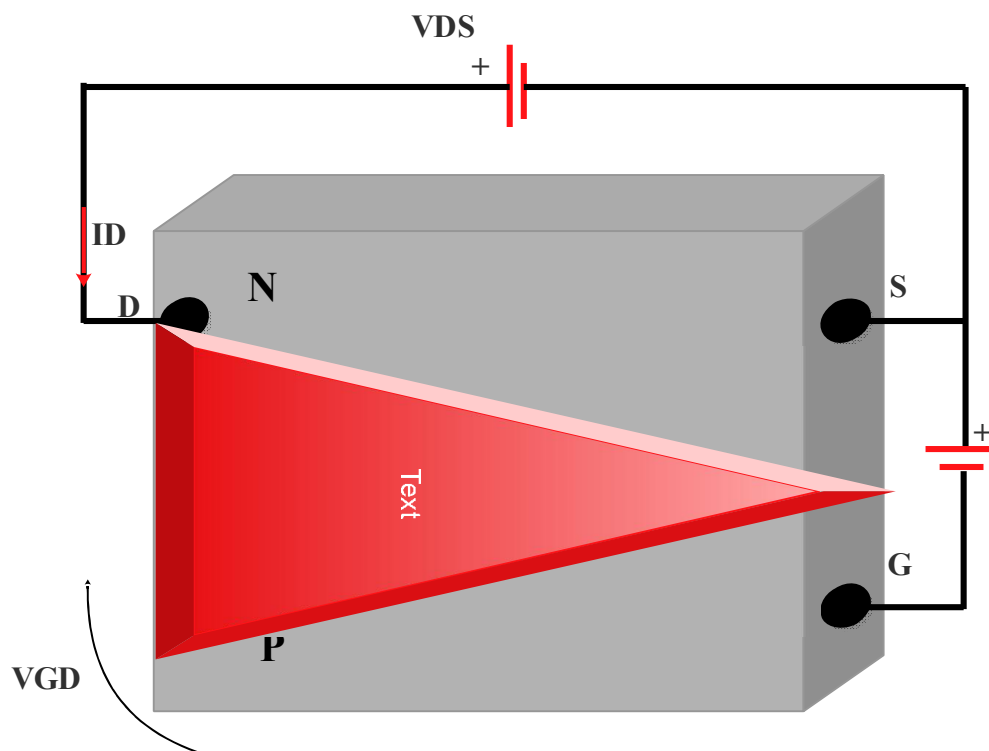
III.1.4 Fonctionnement de JFET



Lorsque la tension de grille est de $V_{GS} = 0V$ et qu'une petite tension V_{DS} , est appliquée entre le drain et la source, la zone de déplétion est très fine. C'est là que le courant à travers le canal, I_D est le plus grand. Ce courant s'appellera le courant maximum de saturation I_{DSS} . Le JFET est alors fortement conducteur. Comme la jonction PN grille-canal est polarisée en inverse, le courant qui va la traverser sera très faible et sera même fréquemment négligé (courant de fuite « vu déjà dans la partie principe de fonctionnement de la diode »). Dans ce cas, le courant de source I_S sera égal au courant de drain I_D . $I_S = I_G + I_D \approx I_D$.

Lorsque la tension V_{GS} devient négative, la zone déplétée s'étend réduisant la taille du canal et donc sa conductance. Lorsque $V_{GS} = V_{GSoff}$, les deux zones déplétées se rejoignent, la section du canal tend vers 0, donc la résistivité du matériaux tendra vers l'infinie alors ya aucun courant qui passe $I_D = 0$. La conductance tend alors vers 0 (impédance infinie).

Pour $V_{DS} > 0$, le potentiel du drain est supérieur au potentiel de la source $V_D > V_S$. La tension inverse grille canal sera donc plus importante du coté du drain. La zone de déplétion s'élargit donc di coté le drain du transistor. Lorsque $V_{DS} \nearrow$ augmente, il y a **pincement** du canal pour $V_{DS} = V_P$. Si $V_{DS} \nearrow \nearrow$ augmente encore, le canal se rétrécit et le courant est limité $V_P = V_{GSoff}$.



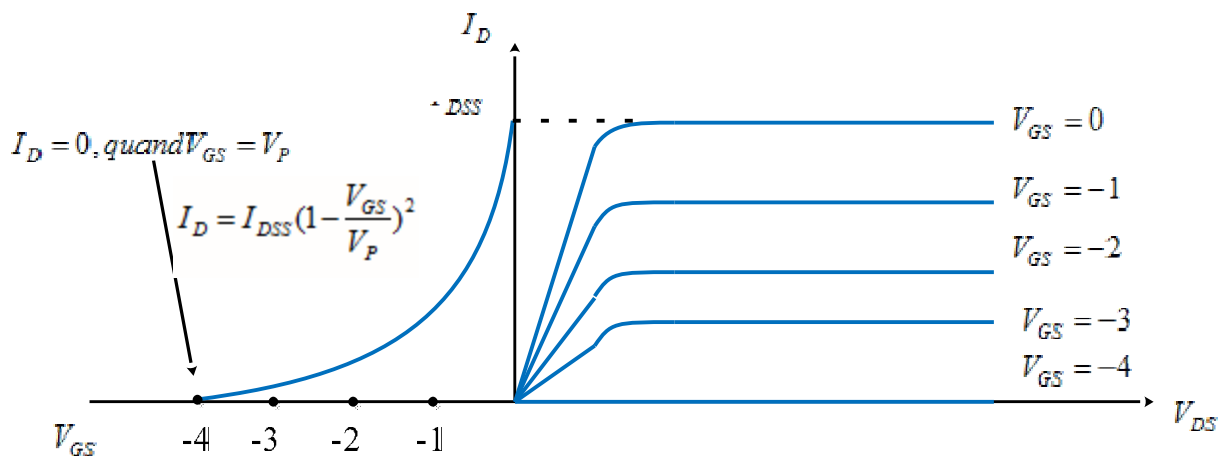
Remarque: Le JFET à canal P fonctionne de la même manière que le JFET à canal N décrit ci-dessus à la seule différence près que :

1) Le courant dans le canal est dû à la conduction des trous et non des électrons. Il est donc inversé.

2) La polarité de la tension de grille doit être inversée afin de polariser la jonction PN dans le bon sens.

III.1.5 Réseau caractéristique de JFET à canal N

Tout comme dans le cas des transistors bipolaires, il est nécessaire de polariser un JFET. Il faut donc déterminer la tension V_{GS} qui produira le courant de drain I_D désiré.



Caractéristiques du FET à jonction à canal N

Le JFET présente des caractéristiques différentes à différentes étapes de fonctionnement en fonction des tensions d'entrée. Les caractéristiques de JFET à différentes régions sont expliquées ci-dessous. Principalement, le JFET fonctionne dans des régions ohmiques, de saturation, de blocage et de claquage :

a) Région ohmique : En l'absence de tension V_{GS} , le canal drain-source conduit proportionnellement avec l'augmentation de la tension V_{DS} (Le transistor se comporte comme une résistance), Le courant de drain dans la zone de coude est tel que

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

b) Saturation ou région active : En l'absence de tension V_{GS} et pour une certaine valeur de V_{DS} , le courant de drain I_D cesse de croître et devient constant. C'est la tension de pincement ou V_P (tension de pinch-off) qui correspond au courant de saturation I_D que l'on appelle I_{DSS} . Si maintenant on applique une tension V_{GS} à l'espace grille-source (polarisation de la jonction en inverse) et que l'on relève, comme précédemment, la valeur de I_D en fonction de V_{DS} , on constate pour ce courant, des valeurs plus faibles. La tension V_P est atteinte plus tôt et correspond à un courant I_D moins élevé que I_{DSS} .

Plus V_{GS} augmente, plus le courant I_D diminue. A partir d'un certain seuil de V_{GS} , le courant I_D s'annule. C'est ce qu'on appelle **la région de blocage**. Le courant de drain dans la région de saturation peut être défini en utilisant l'équation de **Shockley** en fonction de courant de saturation drain-source I_{DSS} , de tension de pincement V_P et de tension grille-source V_{GS} comme:

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

I_{DSS} : Courant maximal de saturation pour $V_{GS} = 0$ V

$V_{GSoff} = V_P$: Tension de pincement du canal

λ : Paramètre lié à la résistance interne de la source de courant correspond à un effet Early.

c) Région de blocage : Le JFET entre dans cette région lorsque la tension de grille est négative, puis le canal se ferme, c'est-à-dire que le courant ne traverse pas le canal.

pour $V_{GS} < V_S$, $I_D \approx 0$, transistor bloqué.

d) Région de claquage: Si la tension de drain à source V_{DS} est suffisamment élevée, le canal du JFET claque et dans cette région, le courant maximal incontrôlé passe à travers le dispositif.

Note : Tout ce qui a été dit pour le TEC canal N reste valable à l'exception du sens des courants et des tensions qui s'inversera également. Le TEC canal P est moins pratique vu la tension négative qu'il exige.

Bonne Compréhension