

Les transistors à effet de champ

I / Présentation

Un transistor à effet de champ est un composant semi-conducteur (qui conduit sur commande) comme c'est le cas pour un transistor bipolaire.

Un transistor à effet de champ à jonction, se nomme TEC en français et JFET en anglais [Junction Field Effect Transistor]).

Principe : Contrôler à l'aide d'une tension (champ électrique) la forme et donc la conductivité d'un canal dans le matériau semi-conducteur.

Le transistor est composé :

- une électrode qui injecte les porteurs dans la structure : la **source** (Source).
- une électrode qui recueille les porteurs : le **drain** (Drain).
- une électrode où est appliquée la tension de commande : la **grille** (Gate).

Il est constitué d'un barreau semi-conducteur uniformément dopé (de type P ou N), constituant le canal.

JFET de type Canal N	JFET de type Canal P
<p>Notes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ sens du courant : drain ---> source, donc le drain est à un potentiel positif par rapport à la source => $V_{DS} > 0\text{ V}$ ▶ la jonction grille canal est polarisée en inverse donc la grille doit être à un potentiel négatif par rapport à la source => $V_{GS} < 0\text{ V}$ 	<p>Notes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ sens du courant : source ---> drain, donc le drain est à un potentiel négatif par rapport à la source => $V_{DS} < 0\text{ V}$ ▶ la jonction grille canal est polarisée en inverse donc la grille doit être à un potentiel positif par rapport à la source => $V_{GS} > 0\text{ V}$

On considère que la commande de ce type de transistor à effet de champ se fait par l'application d'une tension Grille Source :

- **V_{GS} négative dans le cas d'un type N,**
- **V_{GS} positive dans le cas d'un type P.**

L'espace drain-source reçoit une tension de polarisation (tension VDS).

Remarques concernant les courants :

En fonctionnement normal, la jonction Grille-Canal est polarisée en inverse : Le courant d'entrée I_G est donc négligeable. Le courant de Drain et de Grille sont donc identiques ($I_D = I_S = \text{Courant du canal}$).

II/ Principe de fonctionnement

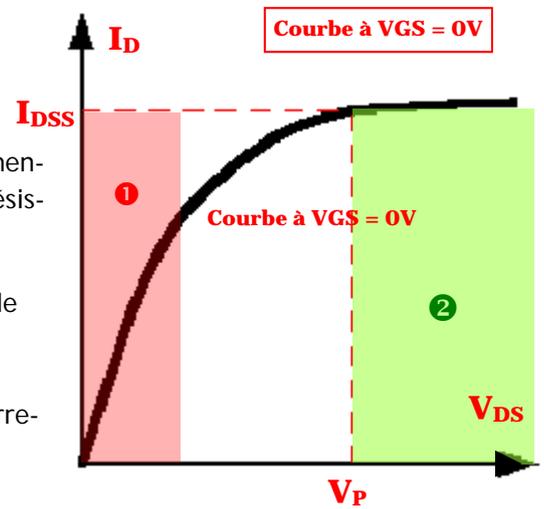
En l'absence de tension VGS :

► Le canal drain-source conduit proportionnellement avec l'augmentation de la tension VDS (Le transistor se comporte comme une résistance) [Zone Ohmique ①]

► Pour une certaine valeur de VDS, le courant de drain ID cesse de croître et devient constant.

C'est la tension de pincement ou Vp (tension de pinch-off) qui correspond au courant de saturation ID que l'on appelle IDSS

[Zone de saturation ②]



En présence d'une tension VGS :

► Si maintenant on applique une tension VGS à l'espace grille-source (polarisation de la jonction en inverse) et que l'on relève, comme précédemment, la valeur de ID en fonction de VDS, on constate pour ce courant, des valeurs plus faibles.

La tension Vp est atteinte plus tôt et correspond à un courant ID moins élevé que IDSS.

Cette nouvelle tension Vp' est égale à : $Vp' = Vp - VGS$

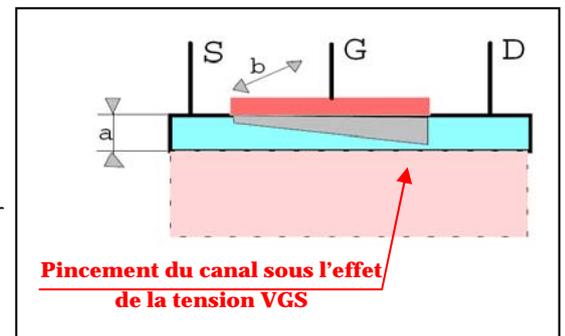
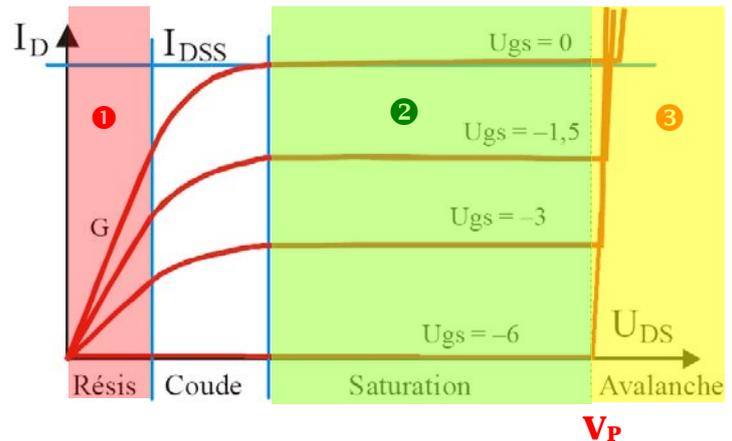
Plus VGS augmente, plus le courant ID diminue.

A partir d'un certain seuil de VGS, le courant ID s'annule.

On considère généralement que le courant ID devient égal à zéro pour : $VGS = Vp$.

Tout se passe comme si le champ électrique, créé par la tension de polarisation inverse de la jonction grille-source, diminuait la largeur de conduction du canal (effet de pincement du canal).

C'est la zone de déplétion ou d'appauvrissement.



Note sur le phénomène d'avalanche : Le phénomène d'avalanche est destructeur pour le transistor.

Il s'agit en fait de la destruction de la jonction Drain-Grille. [Zone d'avalanche ③]

Il est caractérisé par une tension d'avalanche notée BVDG [Break-Down Voltage Drain Grille]

Cette tension est donnée pour la relation suivante : $BVDG = VDS + VGS$

Ordre de grandeur :

Selon les types de transistors, Vp s'échelonne entre 0,5 et 15 volts.

La tension BVDG varie entre 3 et 25 fois Vp, toujours en fonction du type de transistor.

III/ Utilisation du transistor JFET :

Sur le même principe qu'un transistor bipolaire utilisé en commutation, le transistor à effet de champ peut se comporter comme un interrupteur commandé en tension.

DEUX ETATS POSSIBLES :

INTERRUPTEUR	JFET de type Canal N	JFET de type Canal P
OUVERT	<p>Conditions : $V_{GS} > V_P$ (avec V_{GS} négatif) V_{DS} positif (sens de conduction) <i>Note : Résistance R_{DSOFF} = Très grande</i></p>	<p>Conditions : $V_{GS} > V_P$ (avec V_{GS} positif) V_{DS} négatif (sens de conduction) <i>Note : Résistance R_{DSOFF} = Très grande</i></p>
FERME	<p>Conditions : $V_{GS} = 0V$ V_{DS} positif (sens de conduction) <i>Note : Résistance R_{DSON} = quelques ohms</i></p>	<p>Conditions : $V_{GS} = 0V$ V_{DS} négatif (sens de conduction) <i>Note : Résistance R_{DSON} = quelques ohms</i></p>

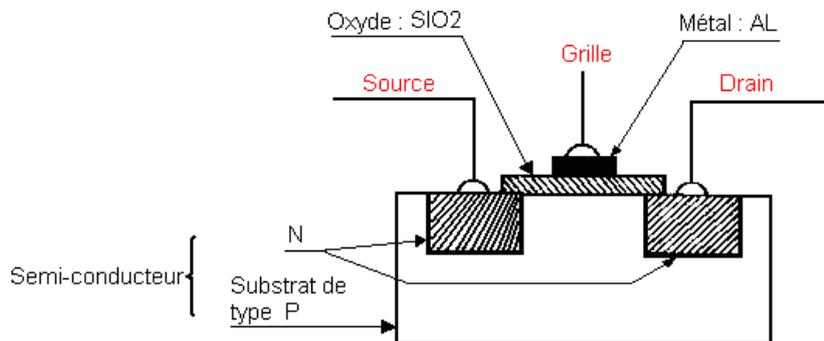
IV/ Transistor M.O.S

Un transistor M.O.S. (Métal-Oxyde Semi-conducteur) est un transistor de type « à effet de champ » (comme le TEC).

La différence avec le TEC consiste en l'absence d'une jonction entre la Grille et le canal. En effet une couche de Métal+Oxyde isole la grille du canal.

Il existe trois types de transistors M.O.S. Ceux dont le canal est à appauvrissement et ceux dont le canal est à enrichissement sous l'effet de la tension V_{GS} et un dernier type qui est la combinaison des deux.

IV.1 Les transistors M.O.S à enrichissement

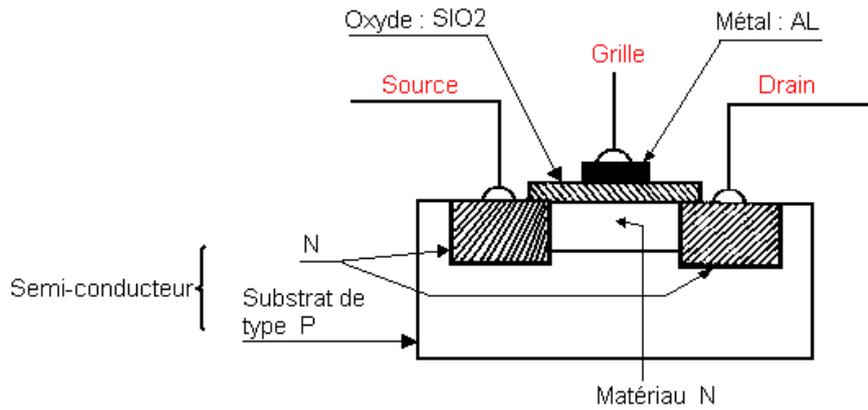


Structure d'un transistor MOS à enrichissement de type N

Principe : L'application d'une tension V_{GS} positive permet de créer un canal entre le Drain et la Source, laissant le passage à un courant I_D .

Aux variations de la tension V_{GS} correspondent des variations du courant I_D .
 En absence de tension V_{GS} , le courant I_D est quasi nul.

IV.2 Les transistors M.O.S à appauvrissement



Structure d'un transistor MOS à appauvrissement de type N

Principe : En absence d'une tension V_{GS} , le transistor est conducteur (comme pour le TEC). En effet il existe dans ce cas un canal en absence de tension V_{GS} qui conduit le courant I_D .

L'application d'une tension V_{GS} Négative permet d'appauvrir le canal qui devient moins conducteur jusqu'à le bloquer complètement.

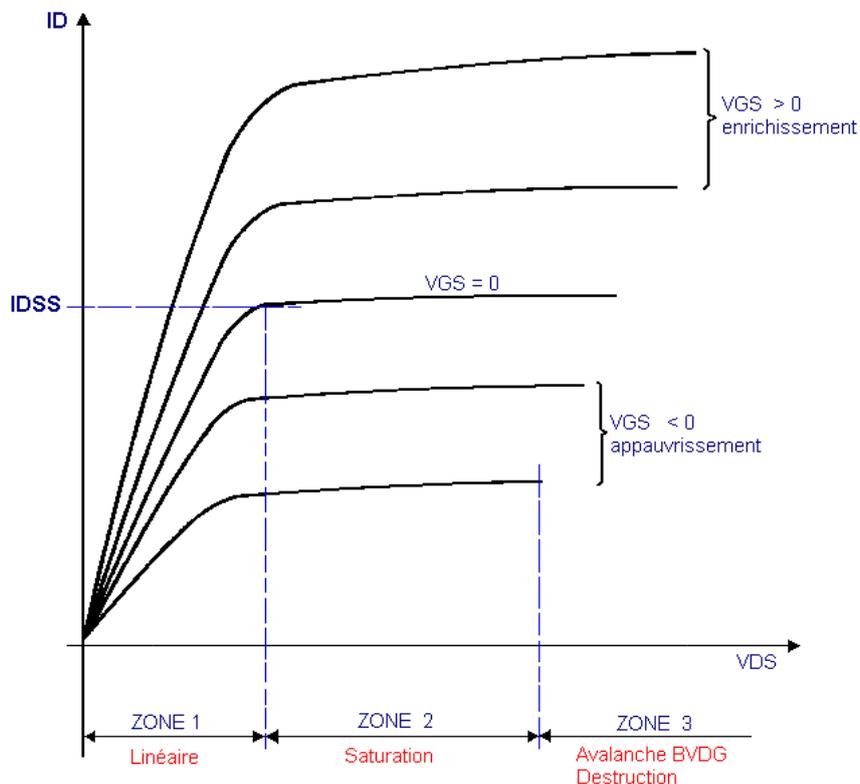
IV.3 Les transistors M.O.S à enrichissement ET appauvrissement

Principe : Ce type de transistor à effet de champ fonctionne selon les deux modes (effets combinés):

- ▶ Enrichissement,
- ▶ Appauvrissement.

Par conception, ce transistor est légèrement conducteur (canal mince) pour une tension $V_{GS}=0$.

- ▶ Une tension V_{GS} Positive aura un effet d'enrichissement du canal (plus conducteur)
- ▶ Une tension V_{GS} Négative aura un effet d'appauvrissement du canal (moins conducteur)



Caractéristique d'un transistor M.O.S à enrichissement ET appauvrissement

V/ Symbole des transistors JFET et M.O.S

Ci-dessous la représentation symbolique des différents types de transistors à effet de champ.



Transistor à effet de champ à jonction (TEC ou FET).



Transistor à effet de champ MOS à appauvrissement.



Transistor à effet de champ MOS à enrichissement.



Transistor à effet de champ MOS à appauvrissement et à enrichissement.

VI Notes :

Paramètres du transistor MOSFET :

Vgs : c'est la tension entre la grille du transistor, équivalent à la base d'un bipolaire, et la source. Il faut noter que pour un transistor MOS, le respect de ce paramètre est crucial, car autrement, on risque le claquage du transistor.

Idss : courant circulant entre le drain et la source: c'est le courant continu maximal qui peut circuler sans destruction du composant. La plupart des datasheets de ces transistors décrivent le courant max en pointe, pendant une période de temps très court.

Rdson : c'est la résistance série entre le drain et la source, pour une tension VGS (grille source) donnée. On veillera à ce que la puissance générée dans cette résistance soit dissipée par le boîtier du transistor: $P=RI^2$.

Vds : C'est la tension drain source maximale avant destruction du composant.

Vth : C'est le seuil du MOS

Ciss : Capacité d'entrée: capacité de grille. en cas d'ajout d'une résistance de grille, on veillera à ce que le filtre RC passe bas ainsi créé, ne gêne en rien quant au bon fonctionnement du circuit.

Coss : Capacité de sortie