



Cours d'Electronique

Le transistor JFET (Junction Field Effect Transistor)

©Fabrice Sincère ; version 1.1.0

<http://perso.orange.fr/fabrice.sincere>

Sommaire

1- Transistor JFET canal N et canal P

2- Caractéristiques électriques du transistor JFET canal N

2-1- Montage source commune

2-2- Tensions et courants

2-3- Jonction Grille – Canal

2-4- Caractéristiques de transfert et de sortie

2-5- Zone de blocage

2-6- Zone ohmique

2-7- Source de courant

3- Caractéristiques électriques du transistor JFET canal P

4- Applications

4-1- Résistance commandée en tension

4-2- Interrupteur électronique

4-3- Amplificateur de tension

5- Remarques

Bibliographie

1- Transistor JFET à canal N et à canal P

Le transistor JFET fait parti de la famille des transistors à effet de champ (FET : Field Effect Transistor).

Le transistor MOSFET appartient également à cette famille.

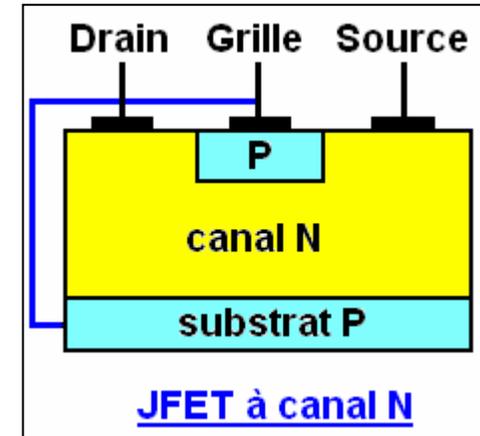
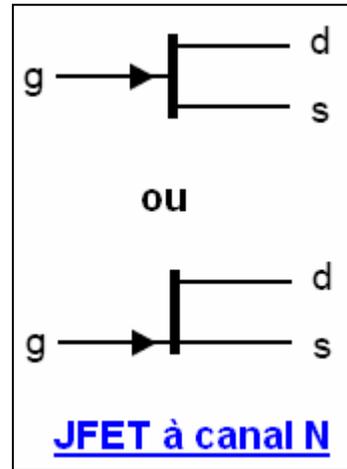
Un transistor JFET possède trois bornes :

- la grille (g)
- le drain (d)
- la source (s)

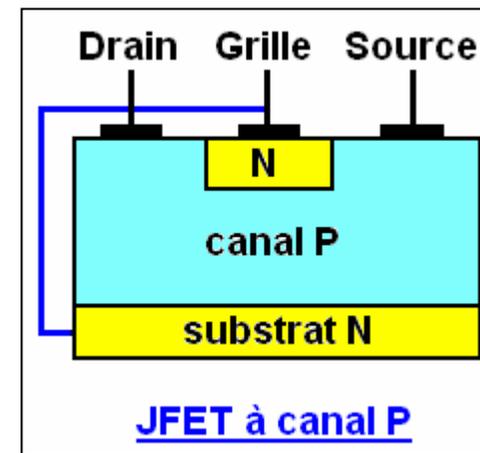
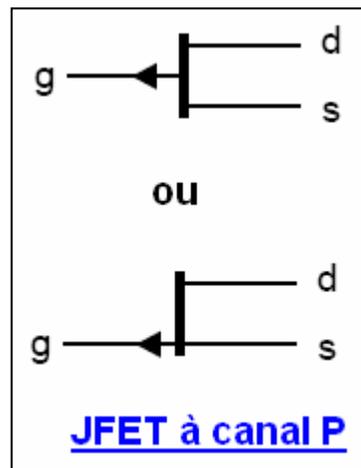


Il existe deux types de transistors JFET :

- à canal N



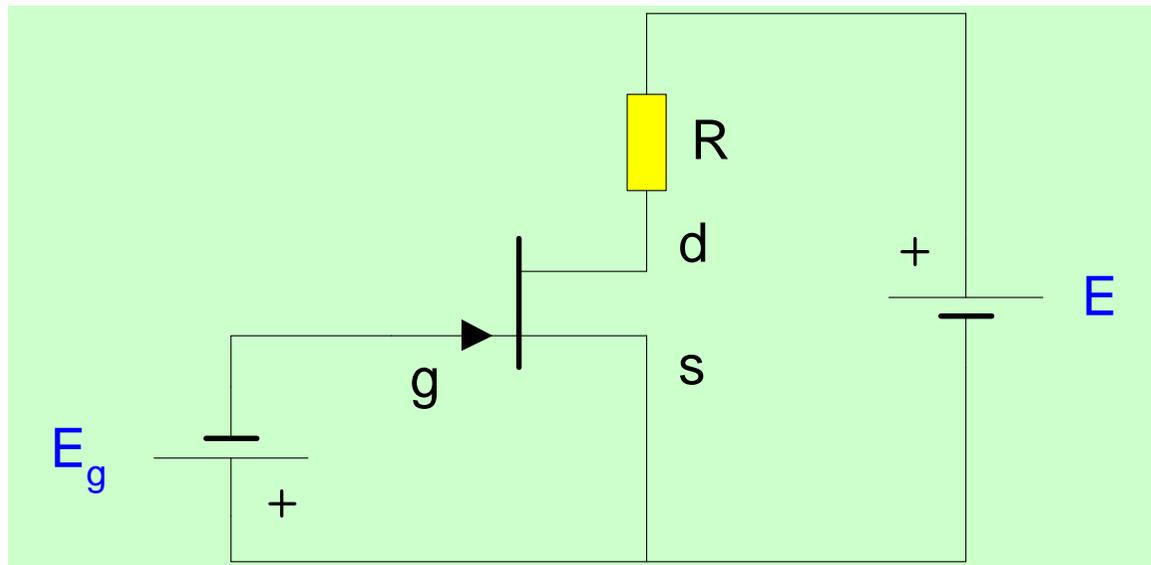
- à canal P



2- Caractéristiques électriques du transistor JFET à canal N

2-1- Montage « source commune »

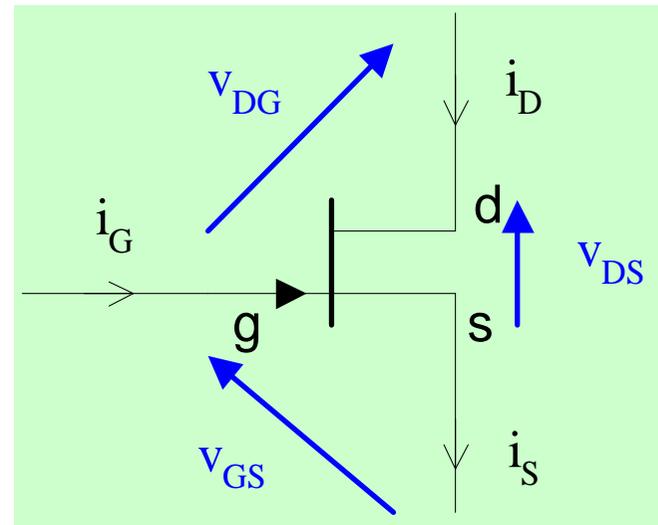
Ce montage nécessite deux sources de tension :



N.B. La source de tension E_g est négative.

2-2- Tensions et courants

Le transistor possédant trois bornes, il faut définir trois courants et trois tensions :



Pour un JFET à canal N en fonctionnement normal :

- la tension v_{DS} est **positive**
- la tension v_{GS} est **négative ou faiblement positive ($< 0,6 \text{ V}$)**
- le courant de grille est quasiment nul **$i_G = 0$**
- le courant entre dans le transistor par le drain (i_D)
- le courant sort du transistor par la source (i_S)

- Loi des nœuds : **$i_S = i_D$**

2-3- Jonction Grille – Canal

La jonction grille - canal est une jonction PN normalement **polarisée en inverse** :

⇒ Le courant de grille est alors négligeable (impédance d'entrée très importante)

⇒ La tension v_{GS} est inférieure à 0,6 V (généralement, on utilise une tension négative ou nulle)

Le transistor JFET est commandé par la jonction grille -canal, autrement dit par la tension de grille v_{GS} .

N.B. pour un transistor bipolaire (NPN ou PNP), la grandeur de commande est un courant (le courant de base).

2-4- Caractéristiques de transfert et de sortie

Exemple : Transistor BF245C (Philips Semiconductors, Fairchild ...)

Fig. 1 : Caractéristique de transfert $I_D (V_{GS})$ à V_{DS} constante

Fig. 2 : Caractéristique de sortie $I_D (V_{DS})$ à V_{GS} constante

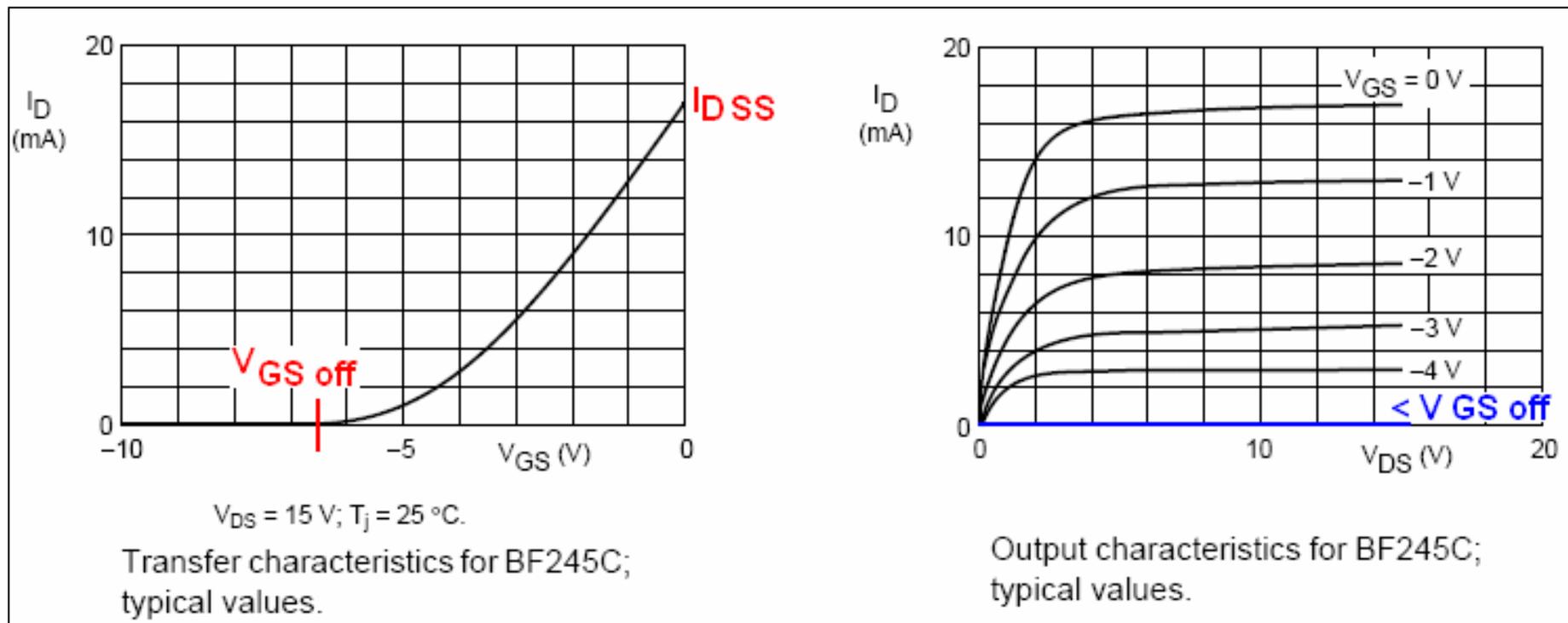


Fig. 1

Fig. 2

2-5- Zone de blocage

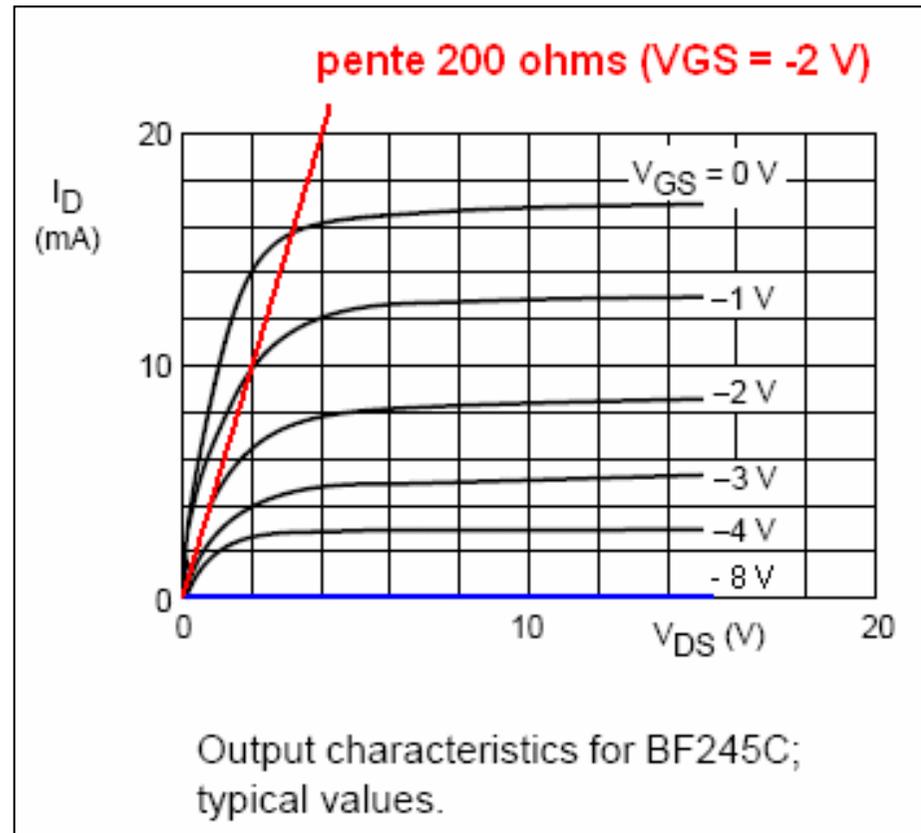
Fig. 1 :

La tension V_{GS} règle le courant qui circule dans le transistor (I_D).

- I_D est maximal ($I_{D_{SS}} = 17 \text{ mA}$ typique) pour $V_{GS} = 0 \text{ V}$
- I_D diminue quand $|V_{GS}|$ augmente.
- Pour $V_{GS} < V_{GS_{off}}$, on peut considérer que le courant I_D est nul ($< 10 \text{ nA}$) : **le transistor est bloqué (off)**.

2-6 – Zone ohmique

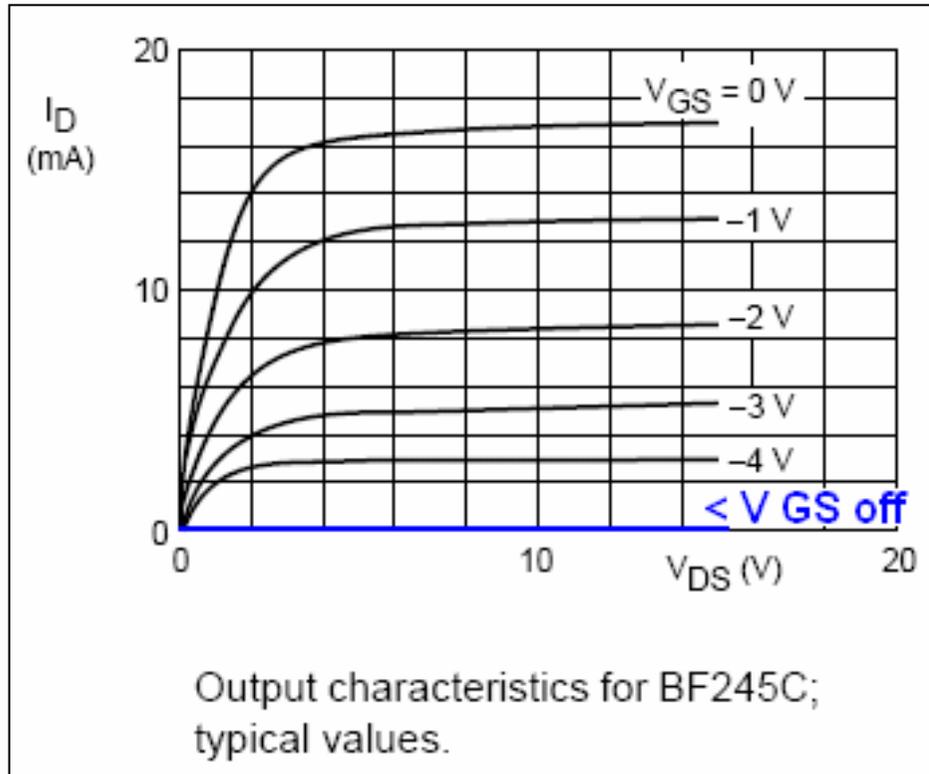
Reprenons la figure 2 :



Pour de faibles niveaux de la tension V_{DS} , la caractéristique de sortie est linéaire : **le transistor se comporte comme une résistance** ($R_{DS\ on}$).

Par exemple, pour $V_{GS} = -2$ V : $R_{DS\ on} = 200\ \Omega$ typique

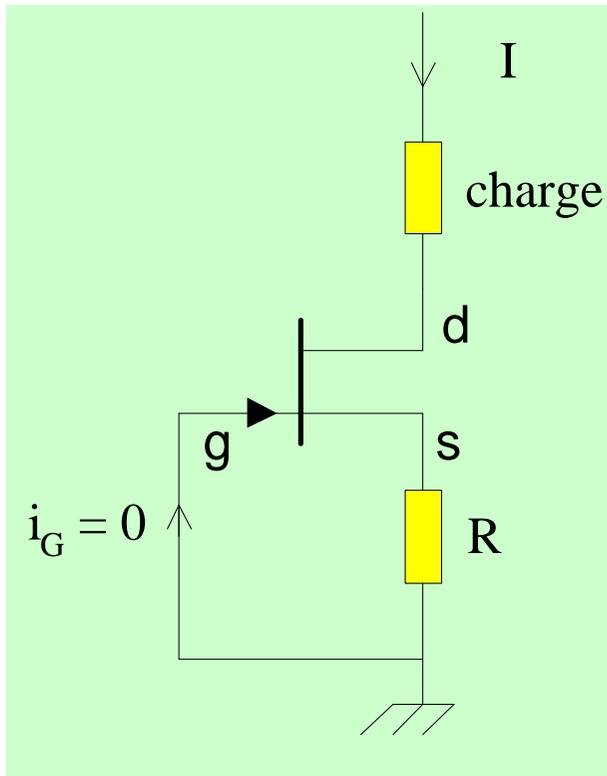
2-7- Source de courant



Pour $V_{DS} > 4$ V environ, la caractéristique de sortie est quasiment horizontale : **le transistor se comporte comme une source de courant.**

Par exemple, pour $V_{GS} = -2$ V : $I_D = 9$ mA (valeur que l'on trouve directement sur la caractéristique de transfert de la figure 1).

- Exemple de schéma



$$V_{GS} = - R I_D$$

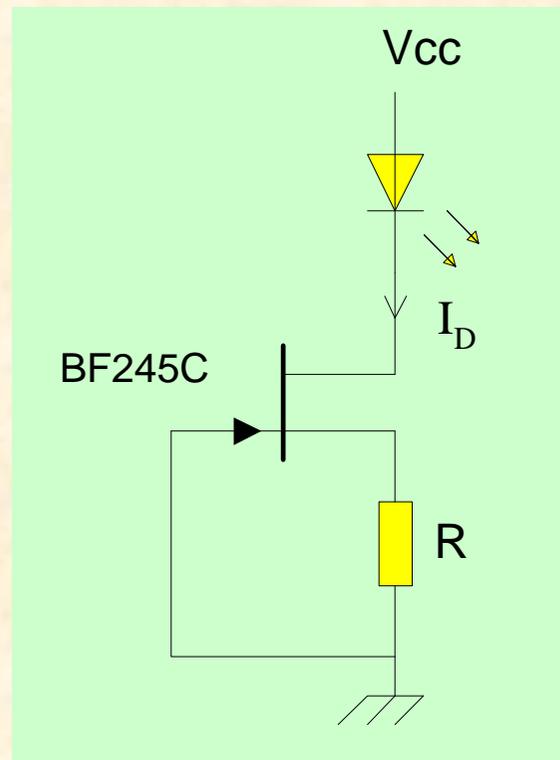
La résistance R permet de régler le courant.

Pour $R = 0 \Omega$:

$$V_{GS} = 0 \text{ V}, I = I_D = I_{D \text{ SS}}.$$

- **Exercice**

On désire alimenter une LED à courant constant (10 mA) avec une source de tension (V_{CC}) qui peut évoluer entre 12 et 24 V. Pour cela, on utilise un transistor JFET BF245C ($I_{DSS} = 17 \text{ mA}$, ce qui est suffisant pour fournir 10 mA) fonctionnant en source de courant :



1) Calculer la valeur de la résistance R.

2) Calculer la tension V_{cc} minimale qui permet d'avoir un courant de 10 mA (on tolère une variation de 1 mA).

On donne : Tension aux bornes de la LED : 2,0 V pour 10 mA

3) Le data sheet du transistor indique que : $P = 300 \text{ mW}$ (max).
Vérifier qu'il n'y a pas de problèmes d'échauffement du transistor.

- Correction

1) D'après la figure 1 :

$$I_D = 10 \text{ mA} \Rightarrow V_{GS} = -1,6 \text{ V} \Rightarrow R = -V_{GS} / I_D = \mathbf{160 \Omega} \text{ (1/4 W)}$$

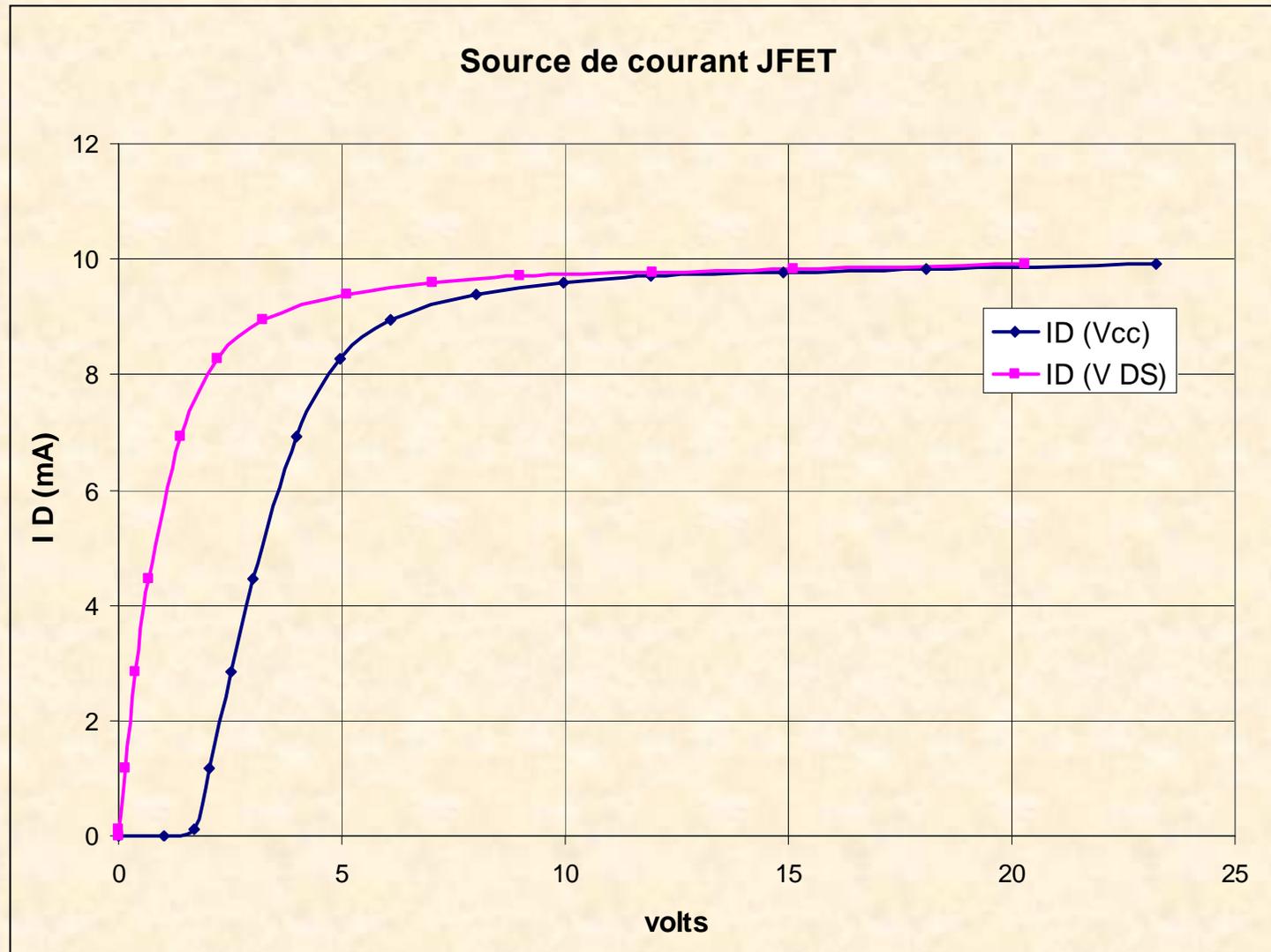
2) D'après la figure 2

$$V_{DS} > 4 \text{ V} \Rightarrow V_{CC} > 4 + 1,6 + 2,0 = \mathbf{7,6 \text{ V}} \text{ (environ)}$$

$$3) P = V_{DS} I_D = (V_{CC} - 1,6 - 2,0) \cdot 0,010$$

$P = 200 \text{ mW}$ pour $V_{CC} = 24 \text{ V}$ donc pas de problèmes d'échauffement.

- Complément : résultats expérimentaux



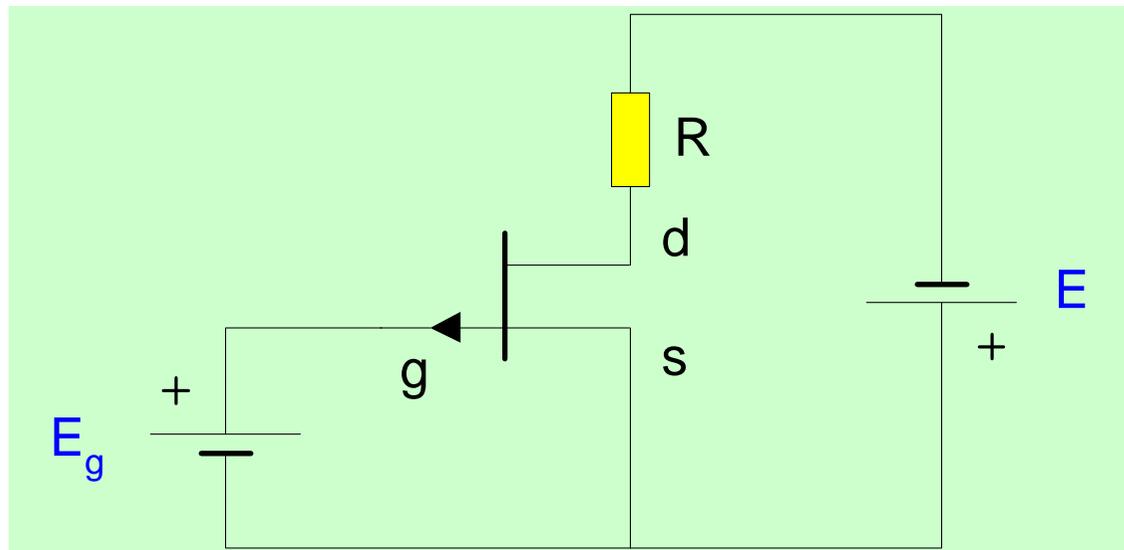
$R = 100 \Omega$, au lieu de 160Ω typique.

L'écart traduit la dispersion des caractéristiques du transistor. 16

3- Caractéristiques électriques du transistor JFET à canal P

Par rapport au transistor JFET à canal N, le sens des courants et le signe des tensions sont inversés.

Le montage source commune devient :



Pour un JFET à canal P en fonctionnement normal :

- la tension v_{DS} est **négative**
 - la tension v_{GS} est **positive ou faiblement négative ($> - 0,6 \text{ V}$)**
 - le courant de grille est quasiment nul $\mathbf{i_G = 0}$
 - le courant entre dans le transistor par la source (i_S)
 - le courant sort du transistor par le drain (i_D)
-
- Loi des nœuds : $\mathbf{i_S = i_D}$

4- Applications

4-1- Résistance commandée en tension

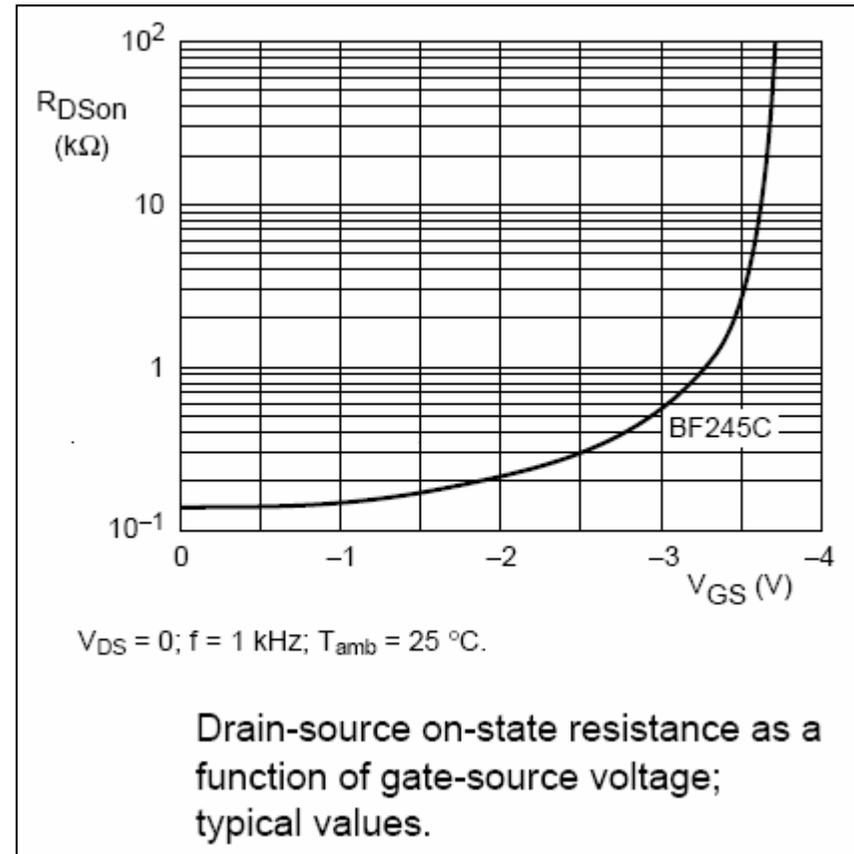
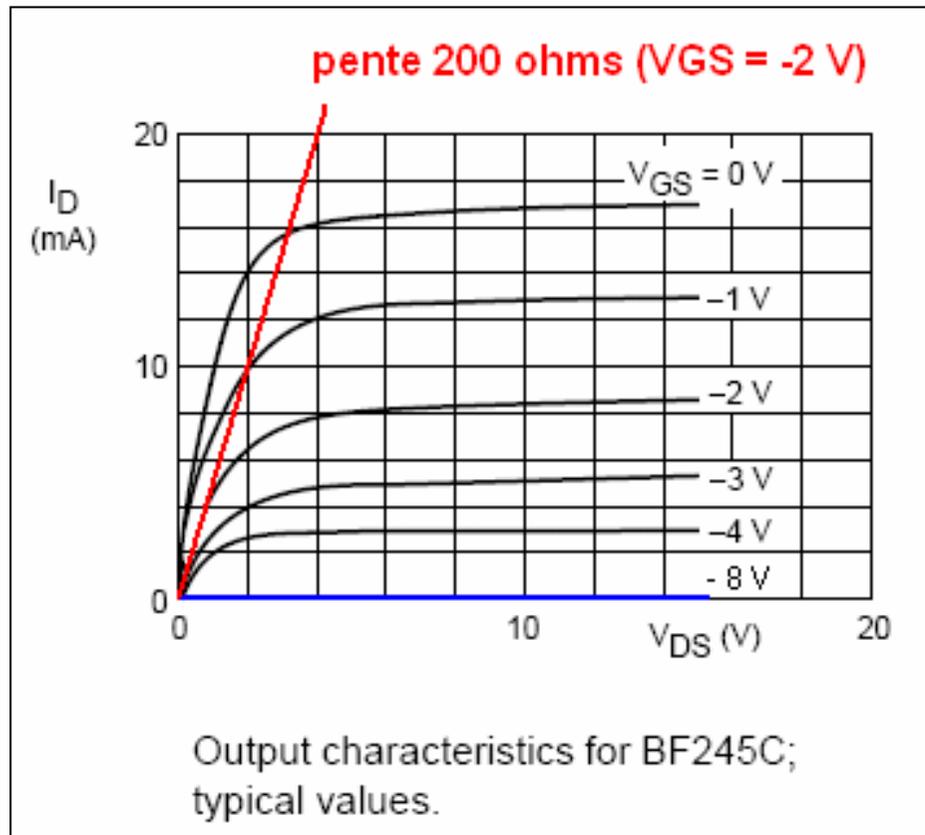


Fig. 3

Le transistor est utilisé dans la zone ohmique.

Pour rester dans la zone de linéarité, la tension V_{DS} doit être proche de 0 V (au plus quelques centaines de mV).

V_{DS} peut même être légèrement négative (car dans ces conditions, la jonction grille - canal est encore polarisée en inverse).

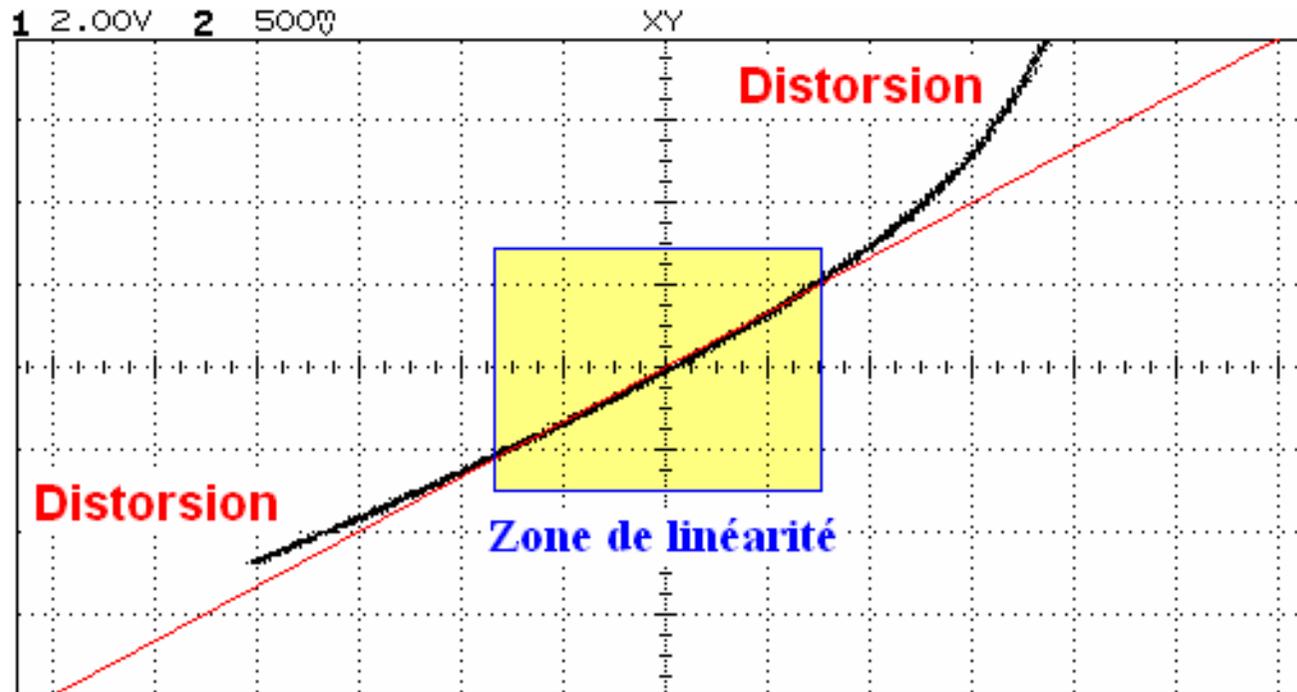
En définitive, il est possible que la tension V_{DS} soit alternative, et donc d'avoir un **courant I_D alternatif**.

Vu entre le drain et la source, le transistor se comporte comme une résistance ($R_{DS\ on}$).

$R_{DS\ on}$ est réglable par la tension de grille V_{GS} (figure 3).

- $R_{DS\ on}$ est minimale pour $V_{GS} = 0\ V$
- $R_{DS\ on}$ augmente quand $|V_{GS}|$ augmente

- Courbe expérimentale $V_{DS} (I_D)$ à $V_{GS} = \text{constante}$



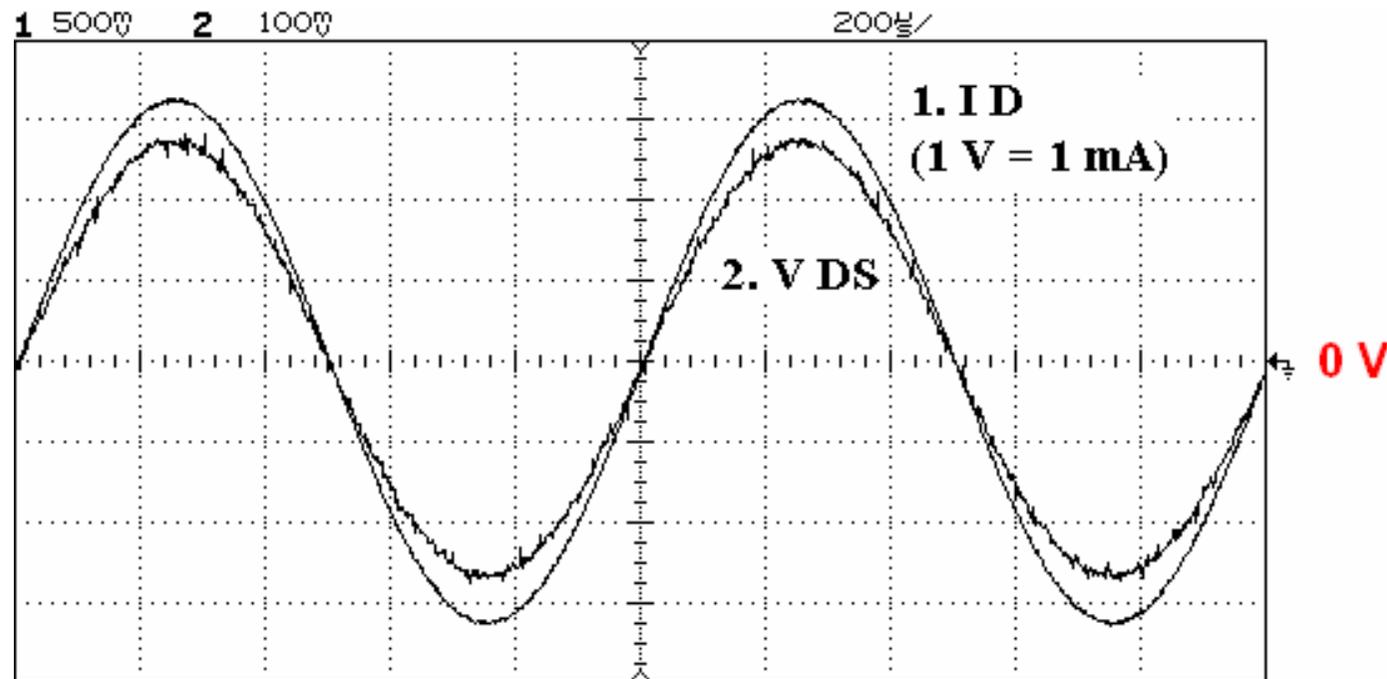
Axe des ordonnées : voie 2 (V_{DS})

Axe des abscisses : voie 1 ($I_D : 1 \text{ V} = 1 \text{ mA}$)

$V_{GS} = -1,0 \text{ V}$

Pente à l'origine : $R_{DS \text{ on}} = 170 \Omega$

• Oscillogramme



V_{DS} est une tension sinusoïdale alternative de petite amplitude (1 kHz, amplitude ± 270 mV).

I_D est également sinusoïdal alternatif : le transistor fonctionne en régime linéaire.

$$R_{DS\ on} = V_{DS} / I_D = 270\ \text{mV} / 1,6\ \text{mA} = 170\ \Omega$$

(pour $V_{GS} = -1,0$ V).

4-2- Interrupteur électronique

Le transistor fonctionne en commutation (2 états).

1) Interrupteur ouvert :

$$V_{GS} \leq V_{GS\ off}$$

Le transistor est bloqué ($I_D = 0$).

ou :

2) Interrupteur fermé :

$$V_{GS} = 0\ V$$

Le transistor fonctionne dans la zone ohmique, et se comporte comme une résistance ($R_{DS\ on}$).

• Considérons le transistor **J108** (JFET canal N, spécialement conçu pour les applications de commutation) :

- $R_{DS\ on} = 8\ \Omega$ (pour $V_{GS} = 0\ V$)
- $I_{D\ SS} = 80\ mA$
- $V_{GS\ off} = -10\ V$

La commande du transistor est simple :

On applique une tension V_{GS} binaire,

- $0\ V$
- $-12\ V$

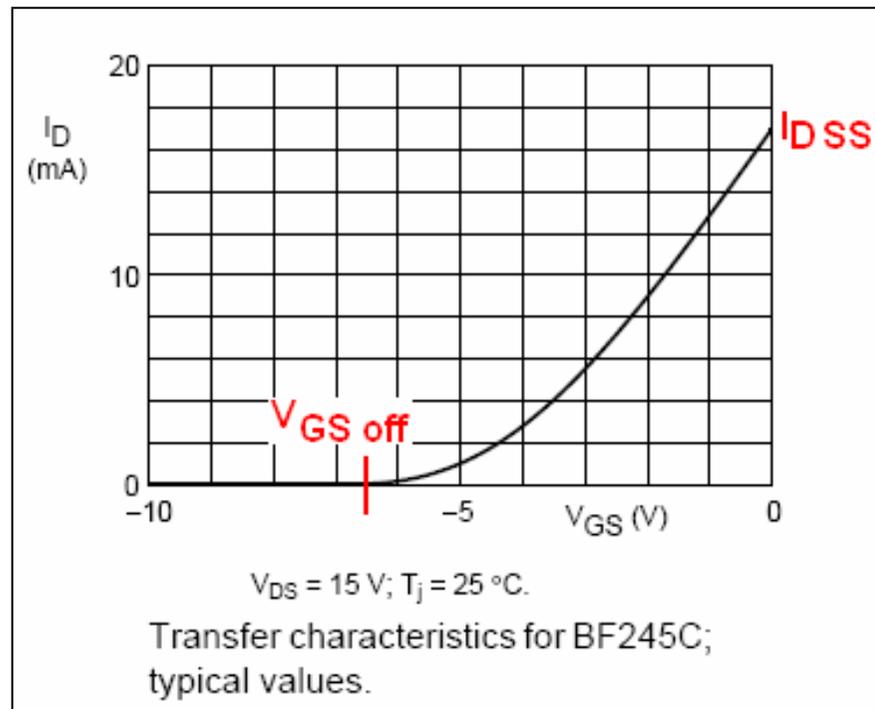
Remarque :

En interrupteur fermé, le courant est limité à 80 mA : c'est peu.

Pour travailler avec des courants beaucoup plus importants, il faut utiliser des transistors MOSFET de puissance.

4-3- Amplificateur de tension

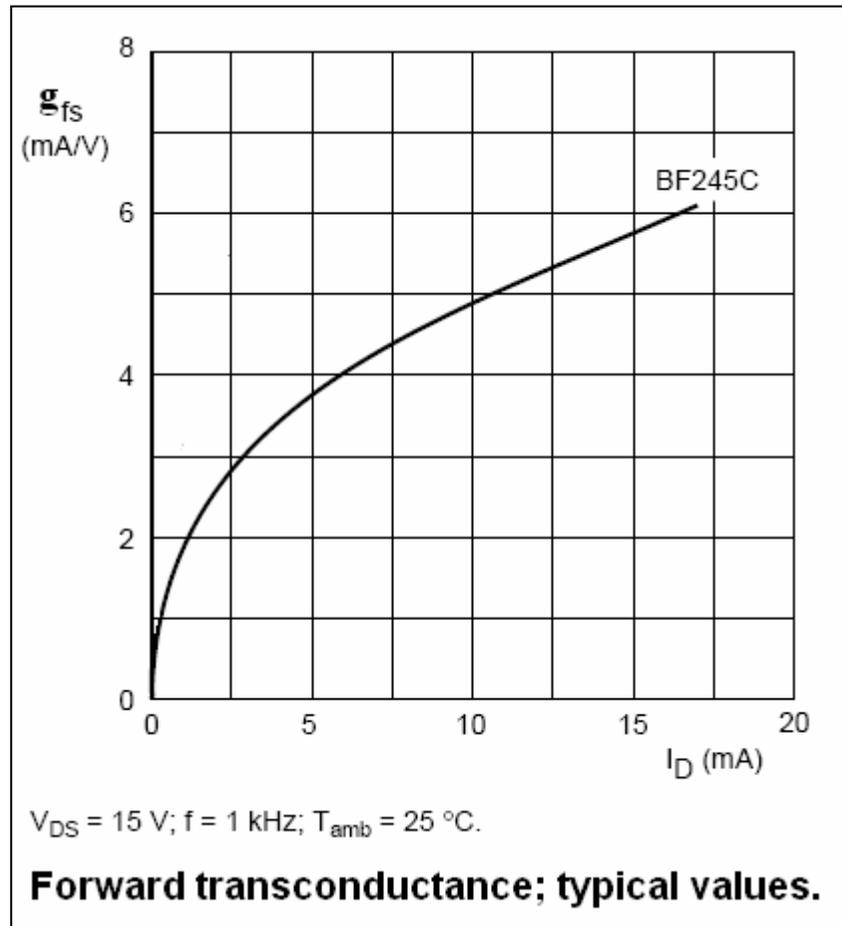
- Définition de la **transconductance** g_{fs}



g_{fs} est la pente de la caractéristique de transfert $I_D (V_{GS})$.

$$g_{fs}(I_D) = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

Fig. 4



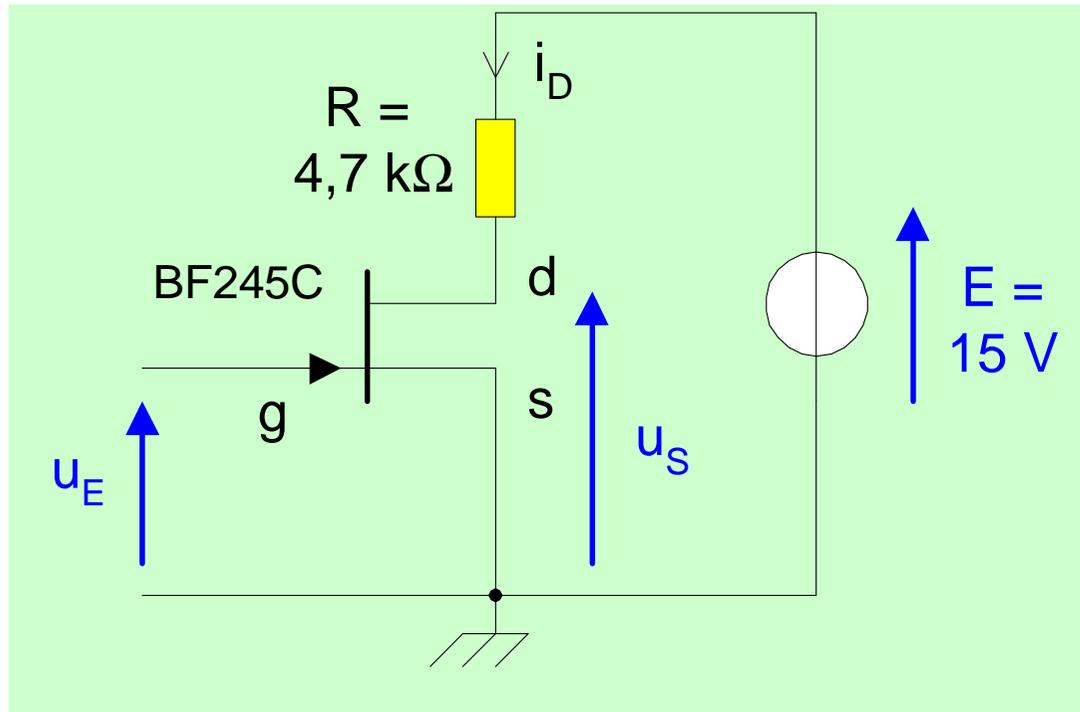
La transconductance g_{fs} augmente quand I_D augmente.

D'après la figure 4 :

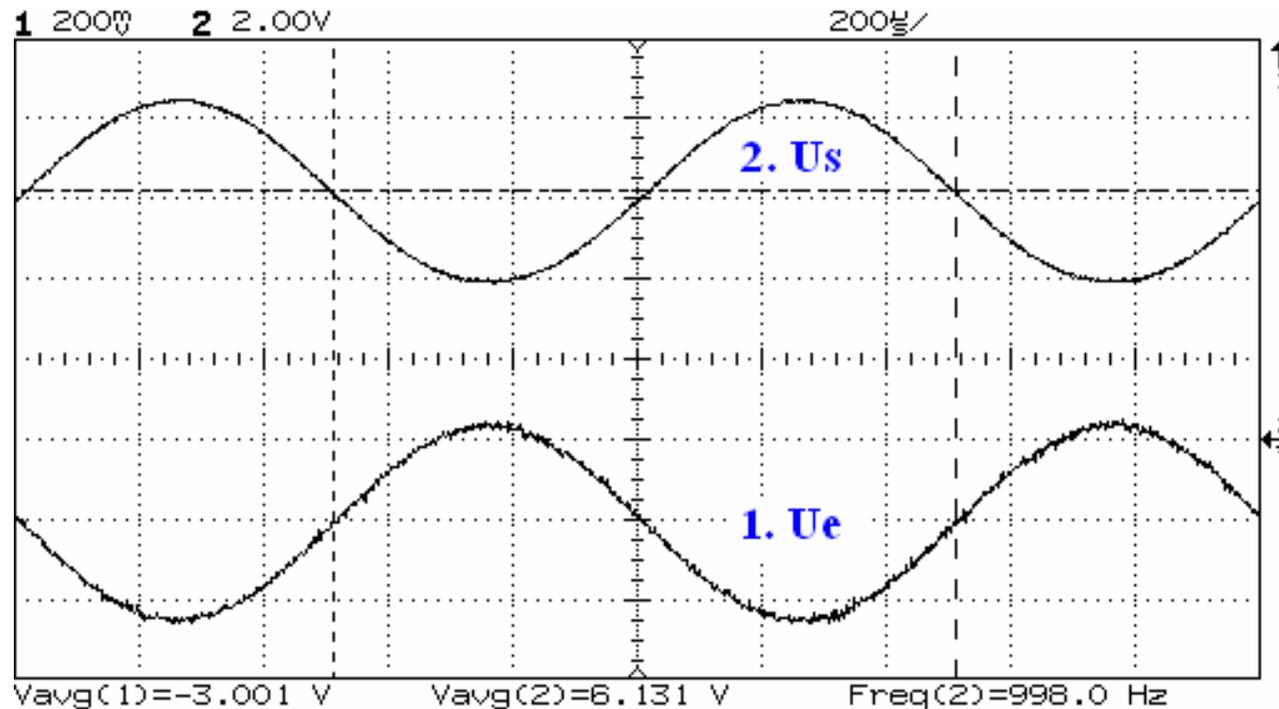
$g_{fs} = 6 \text{ mA/V}$ (ou 6 mS) pour $I_D = I_{DSS} = 17 \text{ mA}$

- **Amplificateur de tension**

Schéma de principe :



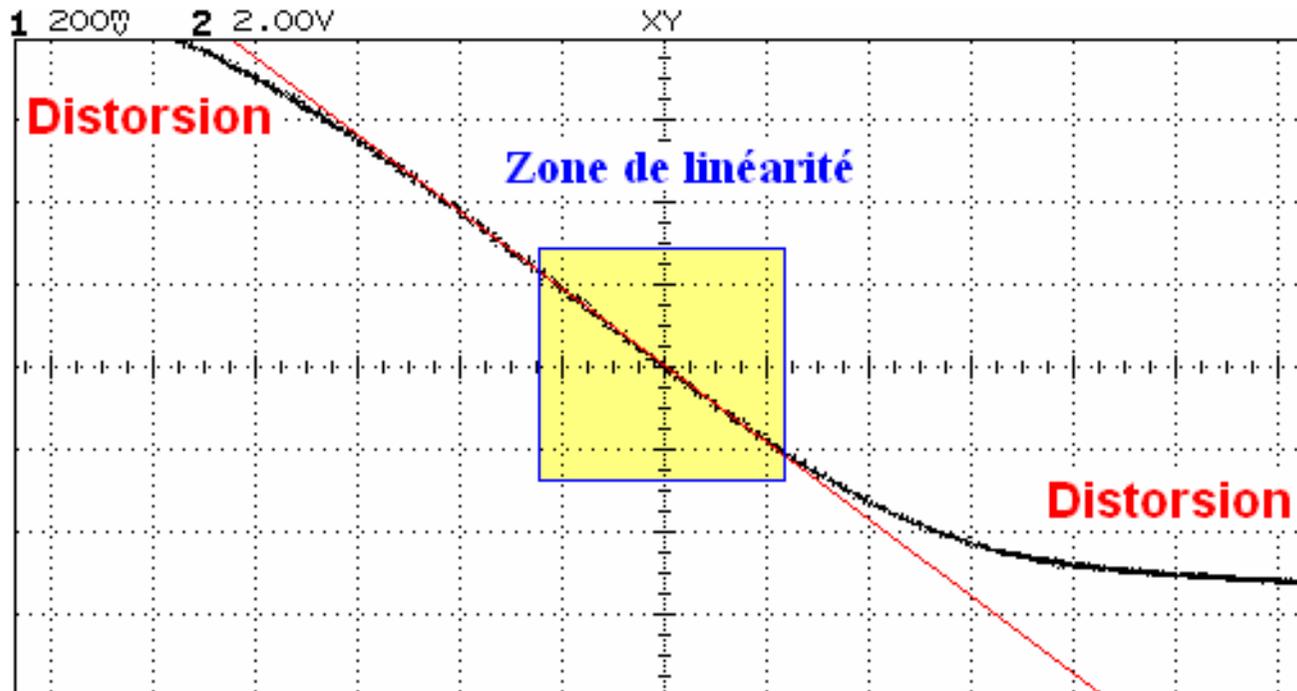
- **Oscillogramme**



$u_E (= v_{GS})$ est une tension sinusoïdale négative de petite amplitude (fréquence 1 kHz, amplitude ± 230 mV, valeur moyenne $-3,0$ V). u_S est également sinusoïdale (amplitude $\pm 2,2$ V, valeur moyenne $+6,1$ V) : le transistor fonctionne en régime linéaire.

Amplification en tension = $-2,2 \text{ V} / 230 \text{ mV} = -9,6$

- Courbe expérimentale $u_S(u_E)$



Axe des ordonnées : voie 2 (composante alternative de u_S)

Axe des abscisses : voie 1 (composante alternative de u_E)

Pente à l'origine : - 9,5

- **Valeur théorique de l'amplification en tension**

Loi des branches : $E = R \cdot I_D + U_S$

$$\Rightarrow \Delta U_S = -R \cdot \Delta I_D$$

(Le symbole Δ représente l'écart avec la valeur moyenne)

$$g_{fs} = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_E}$$

\Rightarrow Amplification en tension :

$$A = \frac{\Delta U_S}{\Delta U_E} = -g_{fs} \cdot R$$

Application numérique :

$V_{GS} = -3,0 \text{ V}$ (en valeur moyenne) $\Rightarrow i_D = 5,5 \text{ mA}$ (figure 1)

$\Rightarrow g_{fs} = 3,7 \text{ mS}$ (figure 4).

$A = -4700 \times 0,0037 = -17$ (valeur typique).

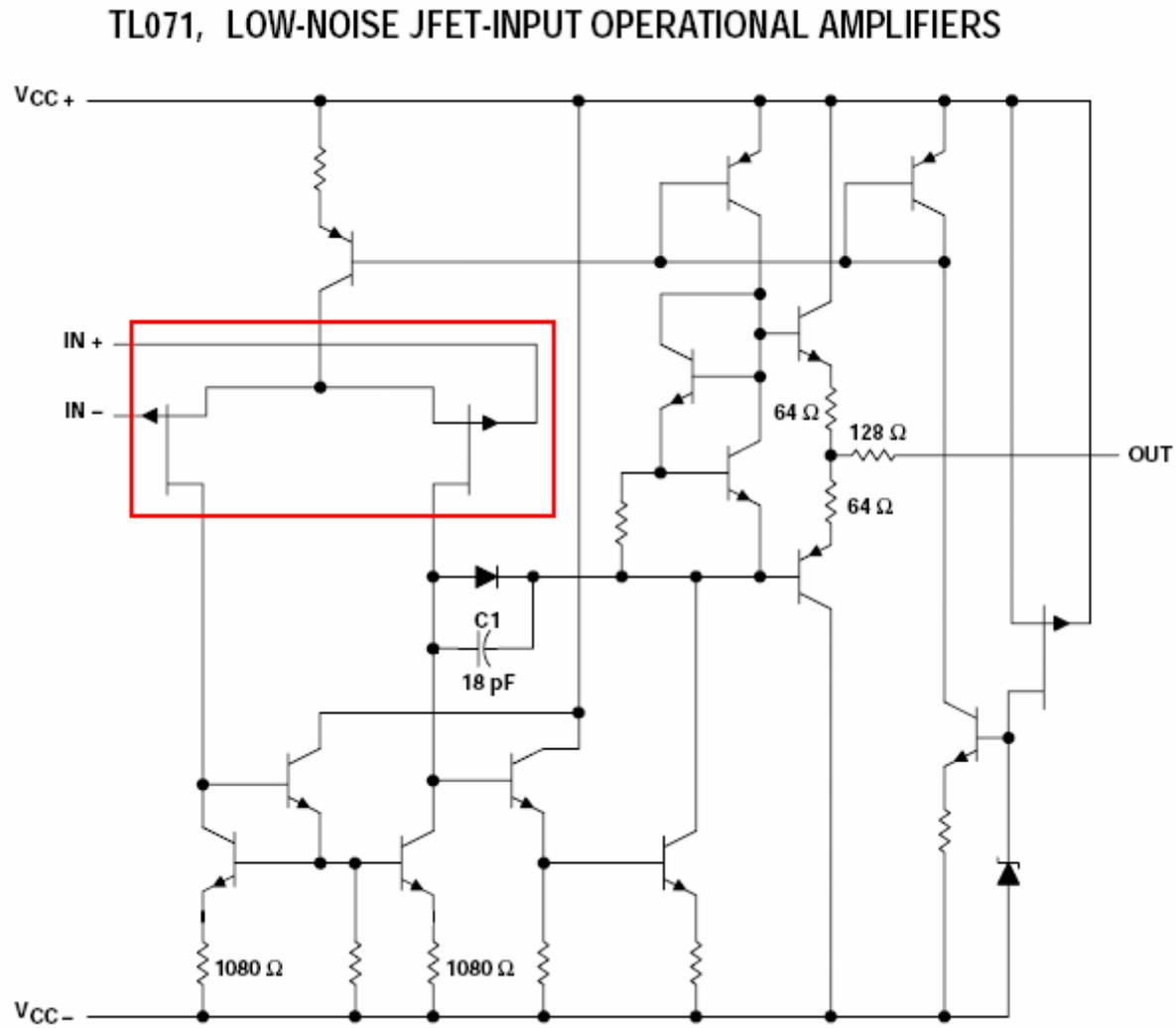
Expérimentalement, on a mesuré $-9,6$.

L'écart est dû à la dispersion des caractéristiques du transistor. 30

5- Remarques

- Il n'existe pas de transistor JFET de puissance (I_{DSS} est limité à quelques dizaines de mA).
- Les transistors JFET ont un faible bruit électrique (inférieur à celui des transistors bipolaires).
- Les transistors JFET sont couramment utilisés dans les amplificateurs à hautes fréquences (plusieurs centaines de MHz).
- Certains transistors JFET ont les broches de drain et de source interchangeables (c'est le cas du BF245C et du J108).

- Certains amplificateurs opérationnels ont un étage d'entrée à transistors JFET (par exemple le TL071) :



Bibliographie

- ✓ Site web de Philips Semiconductors
- ✓ Site web de Texas Instruments
- ✓ Site web de Fairchild
- ✓ Horowitz & Hill, Traité de l'Électronique (Volume 1)