

Laboratoire 5 - ELG 2536  
The characteristics of the MOSFET transistor.



ELG 2536 - Electronique I

Université d'Ottawa

Professeur : Mohamed N. Rahmani

Noms et numéros des étudiants :  
Gbegbe Decaho Jacques 300094197  
Ramatoullaye Bahio Sissoko 300144949

Date de soumission : 10-04-2023

### 1) Objectifs de l'expérience

Les objectifs de ce laboratoire MOSFET sont :

1. Comprendre le fonctionnement du MOSFET
2. Mesurer les caractéristiques I-V et déterminer les paramètres de transistor suivants :
  - a) Tension de seuil,  $V_T$
  - b) Paramètre de transconductance,  $\mu_n C_{ox} W/L$ .
  - c) Paramètre de modulation de longueur de canal,  $\lambda$  et tension précoce,  $V_A$ .
3. Pour illustrer l'amplification MOSFET et mesurer le facteur d'amplification à l'aide d'un circuit source commun.

### 2) Pre-Lab

1. Lire la section sur « Le MOSFET comme amplificateur comme commutateur » (Chapitre 5, Sedra-Smith, 7e édition).

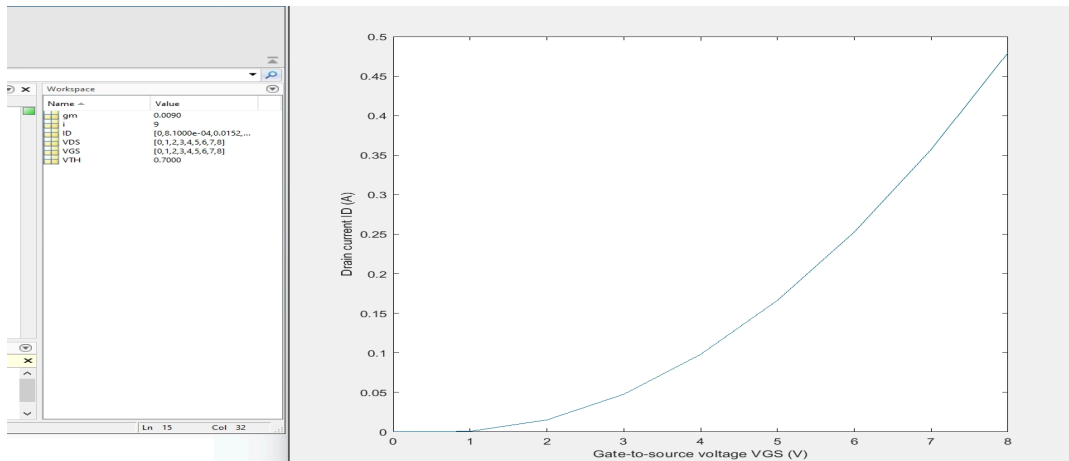
2. Considérez un circuit MOSFET à canal N où les bornes de grille et de drain sont court-circuitées ensemble, comme illustré à la Figure . Supposons que le MOSFET a un paramètre de transconductance de  $g_m = 0,5\text{mA/V}$  et la tension de seuil de  $0,7\text{V}$ .

- a) Identifiez dans quelle région le MOSFET à canal n fonctionne (région Triode ou Saturation région?)

Le MOSFET fonctionne dans la région de saturation car  
 $V_{GS} = V_{DS}$  et  $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$ .

- b) Écrivez le code MATLAB pour calculer le courant de drain pour la tension grille-source suivante,  $V_{GS}$   $V_{GS} = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  et  $8\text{V}$ . Tracez l' $I_D$  de courant de drain par rapport à la porte à la source tension  $V_{GS}$ .

```
VGS = 0:8;  
VDS = VGS;  
ID = zeros(size(VGS));  
for i = 1:length(VGS)  
    if VGS(i) <= VTH  
        ID(i) = 0;  
    else  
        ID(i) = gm*(VGS(i)-VTH)^2;  
    end  
end
```



- c) Pour les amplitudes calculées du courant de drain au point (2) ci-dessus, calculez le carré racine du courant de drain,  $\sqrt{ID}$ . Tracez maintenant l'amplitude de la racine carrée du courant de drain,  $\sqrt{ID}$  par rapport à la tension grille-source. Identifier si la courbe est linéaire, croissante exponentielle ou exponentielle décroissante ?

VGS = 0:8;

VTH = 0.7;

gm = 0.009;

VDS = VGS;

VID = sqrt(ID);

ID = zeros(size(VGS));

for i = 1:length(VGS)

if VGS(i) <= VTH

ID(i) = 0;

else

ID(i) = gm\*(VGS(i)-VTH)^2;

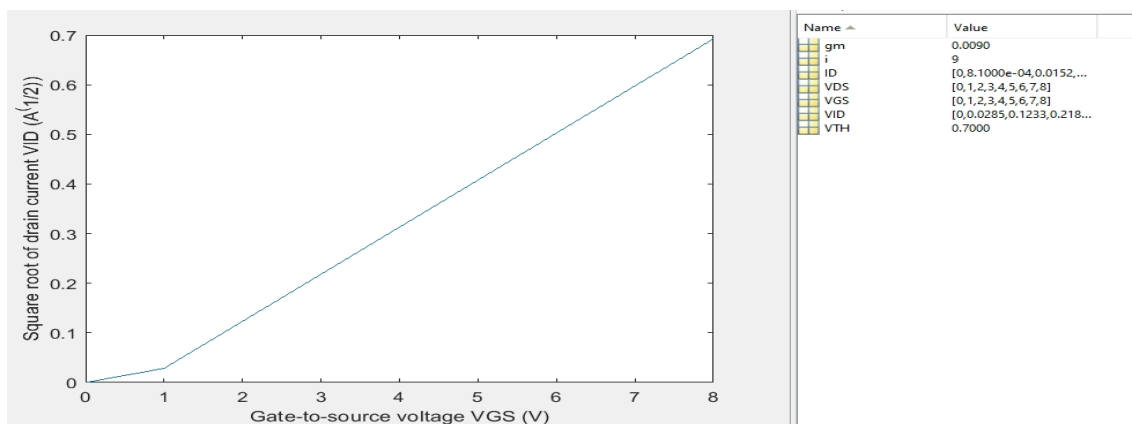
end

end

plot(VGS, VID);

xlabel('Gate-to-source voltage VGS (V)');

ylabel('Square root of drain current VID (A^(1/2))');

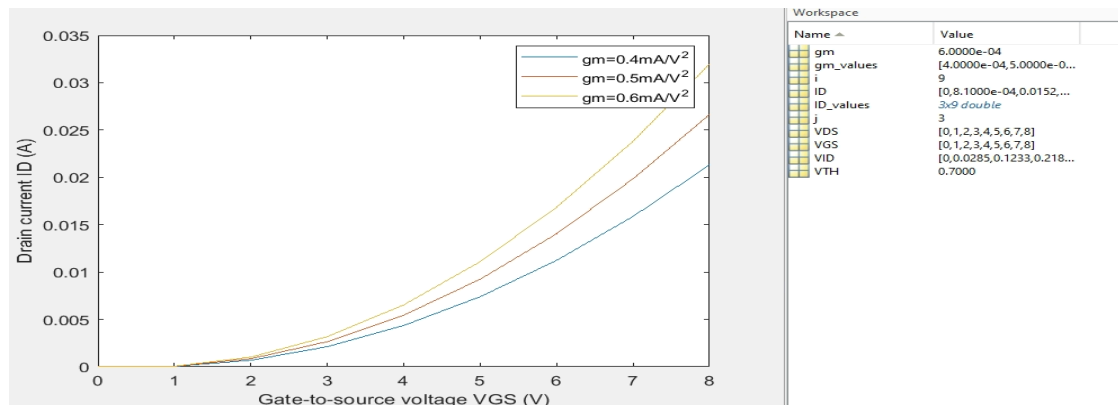


- d) Répétez les points (2a) et (2) pour les valeurs du paramètre de transconductance de 0,4 mA/V<sup>2</sup>, 0,5 mA/V<sup>2</sup> et 0,6 mA/V<sup>2</sup> en gardant tous les autres paramètres du MOSFET à canal n identiques. Identifier l'effet de l'augmentation du paramètre de transconductance sur le courant de drain la courbe.

```

VTH = 0.7;
gm_values = [0.4 0.5 0.6]*0.001;
VGS = 0:8;
VDS = VGS;
ID_values = zeros(length(gm_values), length(VGS));
for j = 1:length(gm_values)
    gm = gm_values(j);
    for i = 1:length(VGS)
        if VGS(i) <= VTH
            ID_values(j, i) = 0;
        else
            ID_values(j, i) = gm*(VGS(i)-VTH)^2;
        end
    end
end
end
plot(VGS, ID_values(1,:), VGS, ID_values(2,:), VGS, ID_values(3,:));
xlabel('Gate-to-source voltage VGS (V)');
ylabel('Drain current ID (A)');
legend('gm=0.4mA/V^2', 'gm=0.5mA/V^2', 'gm=0.6mA/V^2');

```



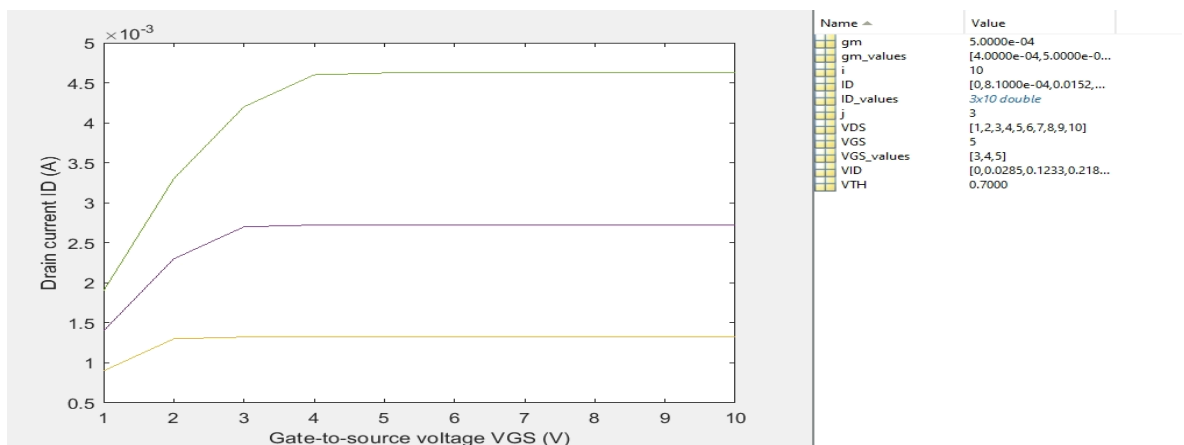
- e) Écrivez un code MATLAB pour tracer l'ID du courant de drain en fonction de la tension drain-source, VDS, caractéristiques pour VGS1 = 3V, VGS2 = 4V et VGS3 = 5V. Utilisez les valeurs suivantes pour VDS

VDS = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10V.

Supposons la tension de seuil du transistor,  $V_T = 1V$ . Identifier et étiqueter correctement la triode et les régions de saturation sur la courbe caractéristique.

Identifier l'effet de l'augmentation de la grille à la tension source sur le courant de drain.

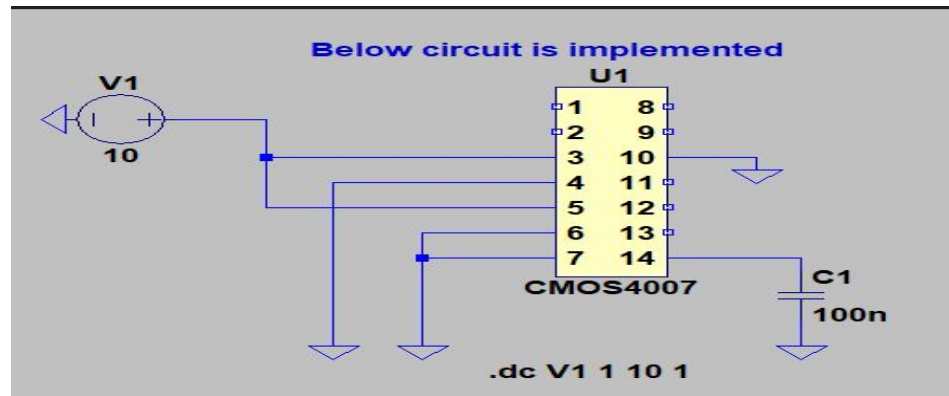
```
VTH = 0.7;
VGS_values = [3 4 5];
VDS = 1:10;
gm = 0.5*0.001;
ID_values = zeros(length(VGS_values), length(VDS));
for j = 1:length(VGS_values)
    VGS = VGS_values(j);
    for i = 1:length(VDS)
        if VGS <= VTH
            ID_values(j, i) = 0;
        elseif VDS(i) <= VGS-VTH
            ID_values(j, i) = gm*(VGS-VTH)*VDS(i) - 0.5*gm*(VDS(i))^2;
        else
            ID_values(j, i) = 0.5*gm*(VGS-VTH)^2;
        end
    end
end
end
plot(VDS, ID_values(1,:), VDS, ID_values(2,:), VDS, ID_values);
xlabel('Gate-to-source voltage VGS (V)');
ylabel('Drain current ID (A)');
```



### 3) In-Lab Experiment

#### 3.1. ID versus VGS characteristics and determination of VT H and knW/L

- 1) Build the circuit shown in Figure 2

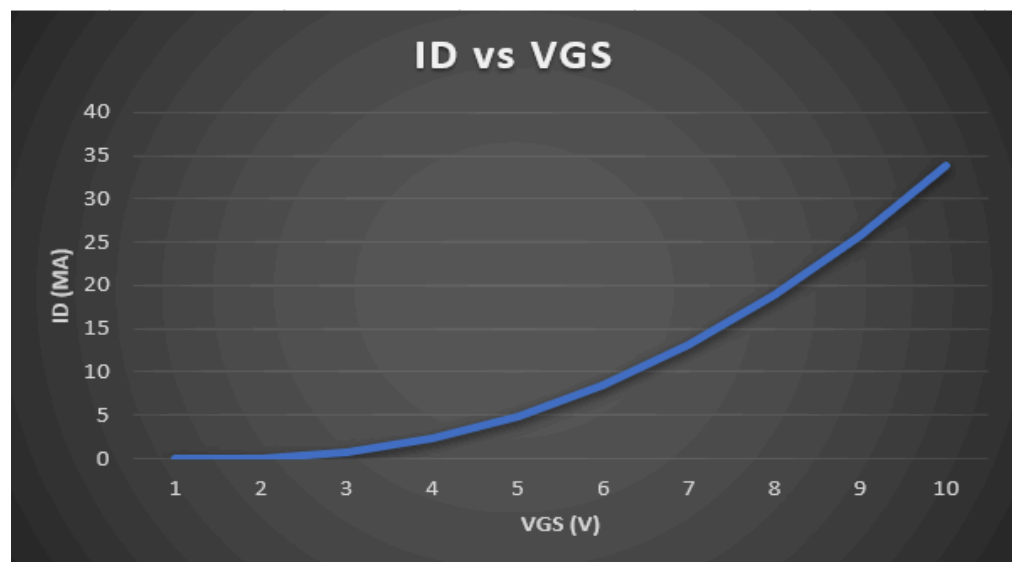


circuit construit à partir de la figure 2

- 2) Vary the gate voltage ( $V_{GS}=V_{DS}$ ) from 0V to 10V in the steps of 1V and record the corresponding drain current  $I_D$  in Table 1 below using analog multimeter in current measurement mode with proper current range setting.

VGS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ID	$2 \times 10^{-9}$	0.0236	0.686	2.3	4.87	8.46	13.11	18.86	25.73	33.8
$\sqrt{I_D}$	$4.472 \times 10^{-5}$	0.154	0.83	1.51	2.21	2.9	3.62	4.34	5.1	5.8

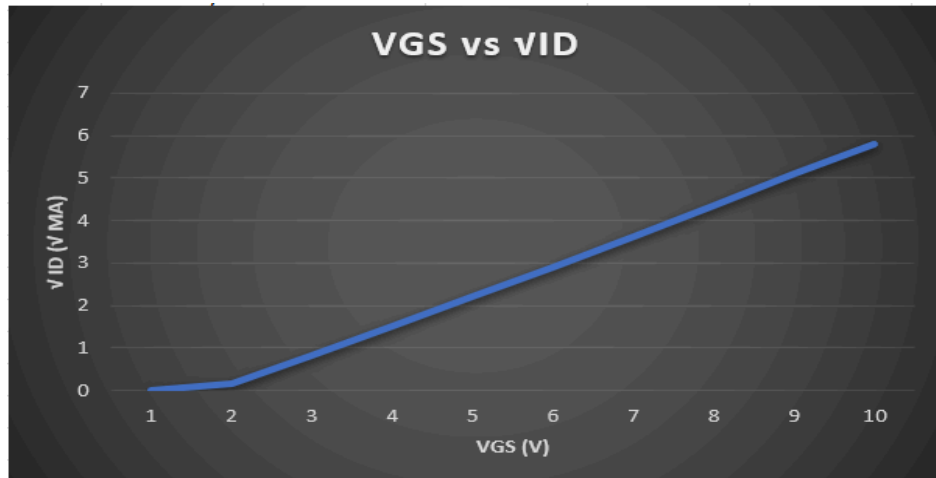
- 3) Plot the  $I_D$  vs.  $V_{GS}$  graph from the observed readings in Table 1 above.



- 4) Hence  $\sqrt{I_D}$  becomes zero at  $V_{GS} = V_{TH}$ .

$V_{TH} = 2V$  car  $\sqrt{I_D}$  est presque nul jusqu'à 2v et commence à augmenter ensuite.

- 5) Compute the slope of  $\sqrt{I_D}$  versus  $V_{GS}$ . The trans-conductance parameter  $k_n \frac{W}{L}$  can be computed from the slope as,  $k_n \frac{W}{L} = 2 \times \text{slope of } \sqrt{I_D} \text{ versus } V_{GS} = \dots \text{ mA/V}^2$



- 6) compute the slope  
 $\Delta V_{GS} = 5V, \Delta \sqrt{I_D} = 2.21 \sqrt{\text{mA}}$   
 $\Delta V_{GS} = 10V, \Delta \sqrt{I_D} = 5.8 \sqrt{\text{mA}}$   
 $\text{pente} = (5.8 - 2.21) / (10 - 5) = 0.72$   
 $\text{La transconductance} = 2 * \text{pente} = 2 * 0.72 = 1.44 \text{ mA/V}^2$

### 3.2. $I_D$ versus $V_{DS}$ characteristics and determination of output resistance $r_o$

- 1) Build the circuit
- 2) tableau 3

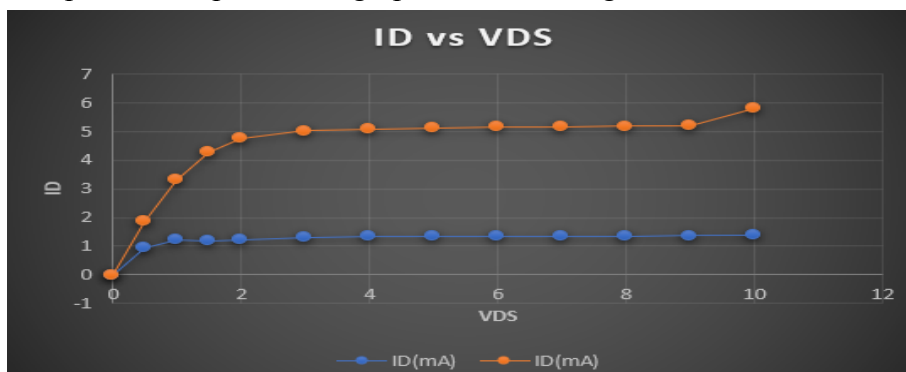
$V_{DS}$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_D$ (mA)	$-10.75 * 10^{-3}$	0.928	1.232	1.177	1.233	1.311	1.323	1.332	1.34	1.348	1.355	1.361	1.367

$V_{DS}$	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_D$ (mA)	$-11.7 * 10^{-3}$	1.863	3.294	4.273	4.772	5.019	5.083	5.120	5.145	5.165	5.181	5.196	5.807

Table 3 :  $I_D$  vs  $V_{DS}$  for constant of  $V_{GS}=3$  and  $V_{GS}=5$

- 3) Compute the slope of each graph at drain voltage of 5V



4) Compute the output resistance  $r_0$  as,  $r_0 = 1 / \text{slope}$

$$V_{GS} = 3V \quad V_{GS} = 5V$$

$$r_0(3V) = 16.2 \quad r_0(5V) = 3$$

5) Find the corresponding value of early voltage,  $V_A$  as :

$$V_A = I_D * r_0$$

$$V_A(3V) = 1.332 * 16.2 = 21.58mV$$

$$V_A(5V) = 5.120 * 3 = 15.36mV$$

6) Find the corresponding value of channel length modulation parameter,  $\lambda$  as :

$$\lambda = 1 / V_A$$

$$\lambda_3 = 1 / 21.58 = 0.046 V^{-1}$$

$$\lambda_5 = 1 / 15.36 = 0.065 V^{-1}$$

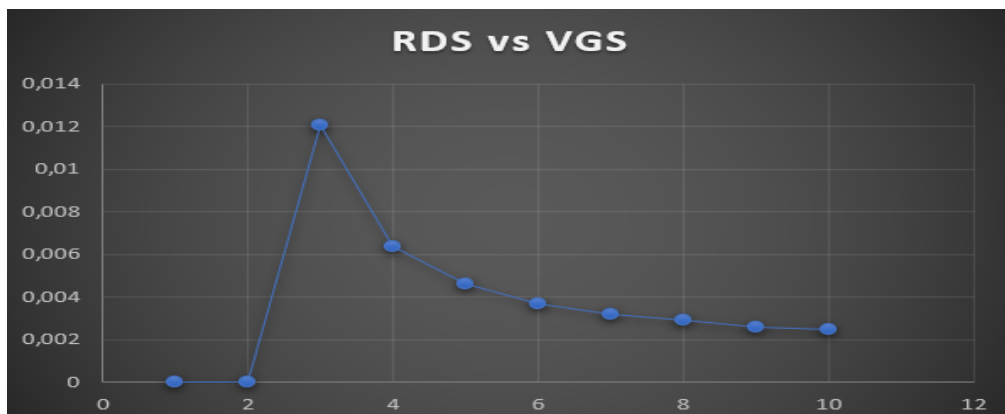
3.3) ID versus VGS for small values of VDS (determination of resistance of MOSFET in triode region)

1.

VGS(V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ID(mA)	0	0	16.5	31.4	43.5	53.6	62.2	69.5	75.9	81.5
RDS(kΩ)	0	0	0.0121	0.0064	0.0046	0.0037	0.0032	0.0029	0.0026	0.0025

Table 4: ID versus VGS  $V_{DS} = 0.2 V$

2. Plot the magnitude of  $r_{DS}$  as a function of  $V_{GS}$

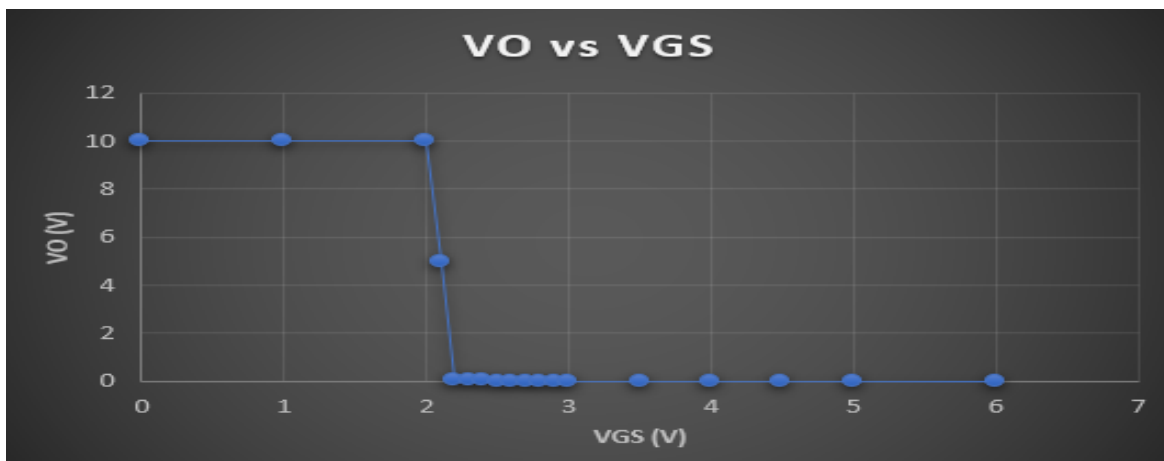


3.4) Transfer characteristics of MOSFET amplifier and amplification factor of MOSFET

VGS (V)	0	1	2	2.1	2.2
V0 (V)	10	10	10	4.96	0.059



VGS (V)	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
V0 (V)	0.0362	0.0268	0.0021	0.0018	0.0016
VGS (V)	2.8	2.9	3	3.5	4
V0 (V)	0.0014	0.0012	0.0011	0.0008	0.0006
VGS (V)	4.5	5	6		
V0 (V)	0.00052	0.00045	0.00036		



#### 4) Conclusion

Dans cette expérience, nous recherchons essentiellement sur le fonctionnement du MOSFET transistors. Le laboratoire comporte quatre parties. La première partie consiste à déterminer  $V_{TH}$  en utilisant les caractéristiques  $I_D$  vs  $V_{GS}$ . La deuxième partie consiste à déterminer la sortie résistance  $r_0$  en utilisant les caractéristiques  $I_D$  vs  $V_{DS}$ . La troisième partie consiste à déterminer la résistance du MOSFET dans la région de la triode en utilisant l' $I_D$  vs  $V_{GS}$  caractéristiques pour une petite valeur de  $V_{DS}$ . Enfin, la quatrième partie consiste à déterminer le facteur d'amplification pour le MOSFET. A la fin de ce lab nous avons pu être en mesure d'approfondir nos connaissances en matière d'opérations sur les MOSFET. Ainsi que déterminer les paramètres d'un transistor et pour illustrer l'amplification MOSFET, puis mesurer le facteur d'amplification à l'aide d'un circuit source commun. On pourra à l'avenir utiliser nos connaissances acquises dans nos projets futurs.