

TP 2 : Caractérisation des transistors MOS (canal N et canal P)

1.Objectif

L'objectif de ce TP est :

- 1- D'aboutir à travers l'étude des comportements des transistors MOS et des inverseurs CMOS, une initiation au langage de simulation analogique SPICE.
- 2- Ce familiariser avec le kit design du logiciel Orcad PSPICE.
- 3- Une présentation succincte des principaux éléments du langage PSPICE.
- 4- Caractérisation des transistors MOS canal N et canal P.
- 5-Etude de l'effet de forme sur les caractéristiques du Transistor MOSFET.

2.Introduction

Les transistors MOSFET sont parfaits en électronique et surtout pour la commutation rapide et le fonctionnement linéaire. Le transistor MOS est, de loin, le dispositif le plus répandu dans la production actuelle de composants semi-conducteurs, car il est le composant de base de la technologie CMOS (Complementary MOS), qui, à elle seule, englobe plus de 80 % de la production mondiale de circuits intégrés. Le transistor MOSFET se caractérise par le fait que la grille, par l'effet de champ électrique, contrôle à travers l'oxyde de grille la densité de porteurs dans le canal du dispositif et ainsi l'intensité du courant dans le canal. Le canal est relié de part et d'autre à deux régions fortement dopées entre lesquelles est appliquée une tension donnant lieu à la circulation du courant.

3. Principe de base et structure du transistor MOS

Le principe du transistor MOS consiste à moduler la densité de porteurs du canal en jouant sur la polarisation de grille (V_{gs}). Celle-ci permet, par le biais du champ électrique ainsi créé, d'attirer une quantité de porteurs à la surface du semi-conducteur. Une couche conductrice se forme alors à ce niveau et permet la libre circulation d'un courant (I_{ds}), sous réserve de l'application d'un champ électrique (i.e. d'une tension V_{ds}). Cette couche conductrice est appelée « couche d'inversion » ou parfois « canal ».

La figure 2 illustre l'effet de champ dans un transistor MOS

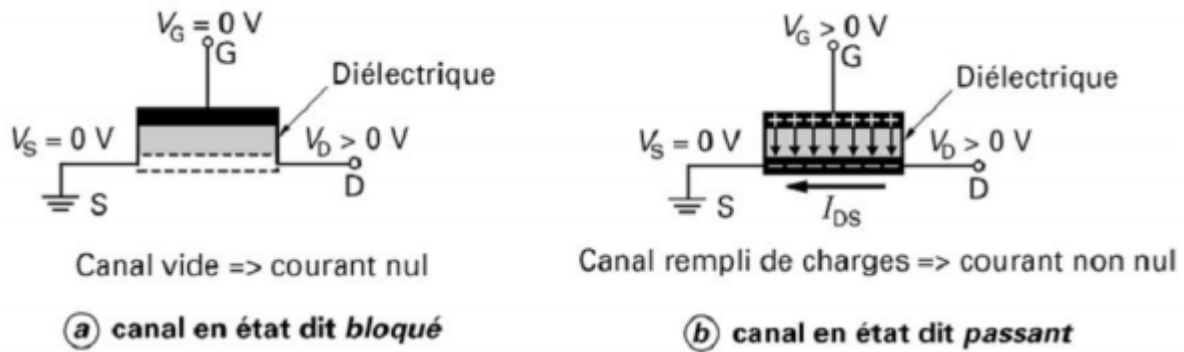


Figure 2 - Effet de champ dans un transistor MOS

l'une des électrodes (grille G) commande l'intensité du champ électrique et par conséquent la densité de charges électriques mobiles ; l'autre (canal) possède deux contacts (dits de source S et de drain D) à ses extrémités, entre lesquels est appliquée une différence de potentiel. Le canal conduit plus ou moins de courant en fonction de son niveau de remplissage en charges mobiles. De ce fait, le transistor MOS peut aussi être considéré comme une résistance modulable électro statiquement et reliant deux contacts (source et drain). En résumé, un transistor MOS (TMOS) peut être considéré comme une capacité plane, à la différence près que les charges d'une des faces sont mises en mouvement latéral. Dans cette structure, la tension de grille (V_g) commande la quantité de charges et la tension de drain (V_d) les met en mouvement. Le transistor MOS moderne contient une grille G en silicium polycristallin (plus rarement en d'autres matériaux, par exemple, en métal), séparée du substrat en silicium monocristallin par une couche mince de diélectrique, le plus souvent SiO_2 . Les régions de source et drain font partie intégrante du substrat, dont ils diffèrent par leur type de conduction. Suivant le type des porteurs assurant le passage du courant, on peut parler de transistors MOS à canal N (ou NMOS, conduction par électrons) et de transistors à canal P (ou PMOS, conduction par trous).

La figure 2(a) ci-dessous présente l'architecture d'un transistor MOS sur silicium de type N. L'architecture classique est constituée de quatre terminaux qui permettent d'analyser le comportement électrique du transistor : la grille (V_g), la source (V_s), le drain (V_d) et le contact du substrat (V_b).

La structure du transistor étant identique selon sa largeur, on le représente communément dans le plan (x,y). La figure 2 (b) ci-dessous donne un exemple plus détaillé.

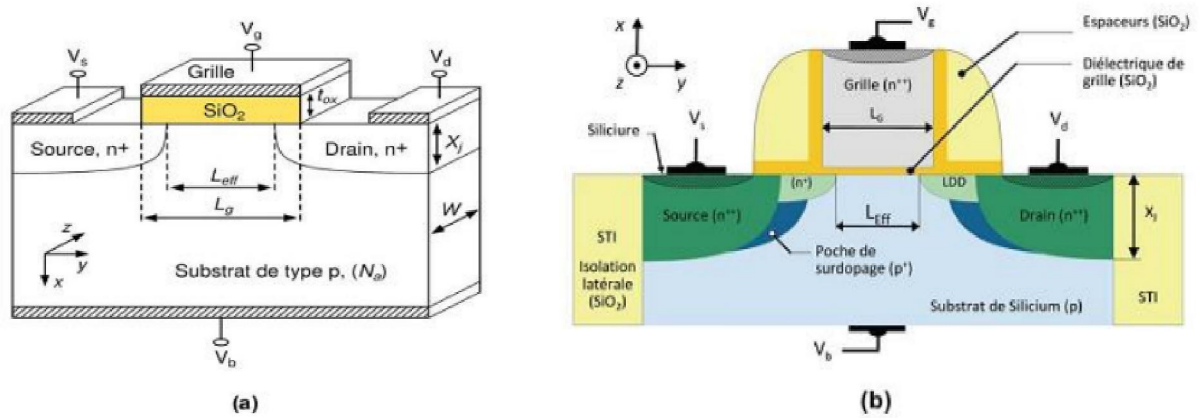


Figure 2 (a ,b): Architecture d'un transistor NMOS

Enfin, dans le MOSFET, il existe deux modes de fonctionnement :

- 1- « à enrichissement » qui correspond à une conduction par canal d'inversion induit.
- 2- « à appauvrissement » qui correspond à une conduction par porteurs majoritaires (canal enterré préexistant physiquement que l'on bloque par désertion).

Nous considérerons par la suite le cas d'un transistor NMOS à enrichissement, où la conduction est assurée par les électrons, porteurs minoritaires du substrat.

4. Caractéristiques électriques idéales du transistor MOS

Les transistors MOS sont caractérisés électriquement en utilisant les graphiques

$I_{ds} = f(V_{gs})$ et $I_{ds} = f(V_{ds})$. Ces caractéristiques sont schématisées de manière idéale en figure 2, ce qui nous permet de relier les différents régimes de la capacité MOS définis dans le paragraphe précédent aux modes de fonctionnement du transistor MOSFET.

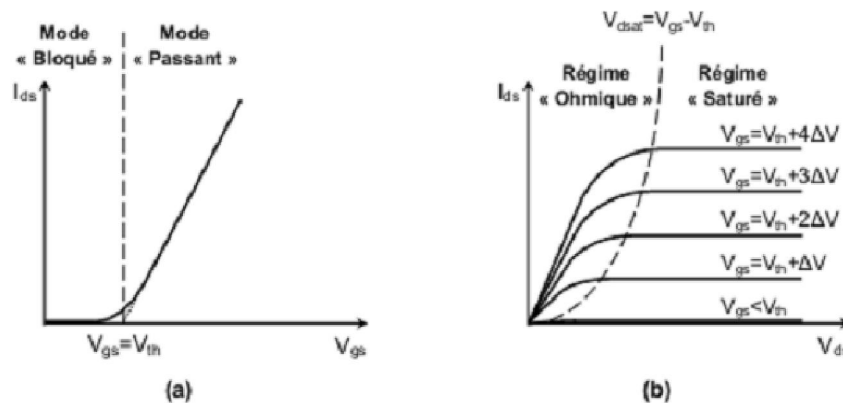


Figure 3. Caractéristiques idéales d'un transistor MOS (a) Graphique $I_{ds}=f(V_{gs})$. (b) Graphique $I_{ds}=f(V_{ds})$. La ligne $V_{dsat} = V_{gs} - V_{th}$ sépare le régime ohmique du régime saturé.

4.1 MOSFET à appauvrissement D-MOSFET

Le D-MOSFET le drain et la grille sont reliés par un canal étroit du même type : N pour D-MOSFET canal N.

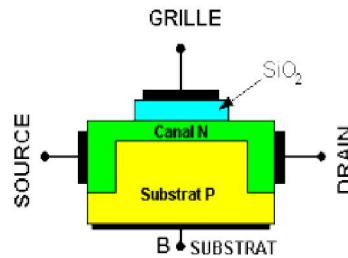
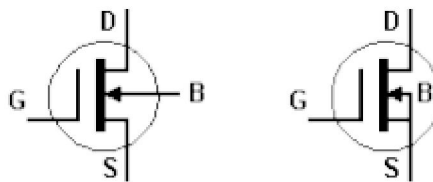


Figure 4. Structure D-MOS canal N

A/ Régime d'appauvrissement

Dans le cas du D-MOSFET canal N, si on applique une tension négative sur la grille par rapport au substrat, les électrons sont repoussés et la conductivité du canal diminue.

B/ Représentation



4.2 Structure du MOS à appauvrissement canal P

Le D-MOSFET le drain et la grille sont reliés par un canal étroit du même type : P pour D-MOSFET canal P.

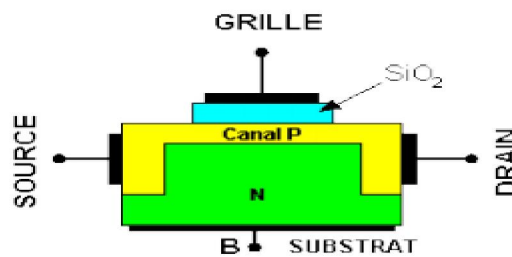
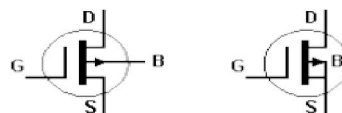


Figure 5. Structure D-MOS canal P

A/ Régime d'appauvrissement

Dans le cas du D-MOSFET canal P, si on applique une tension positive sur la grille par rapport au substrat, les trous sont repoussés et la conductivité du canal diminue.

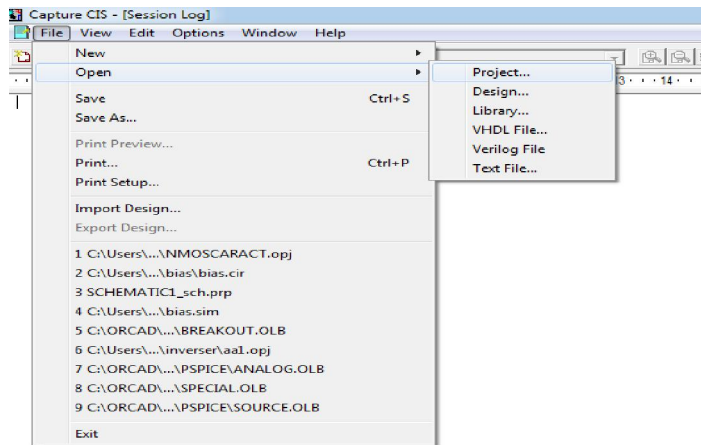
B/ Représentation



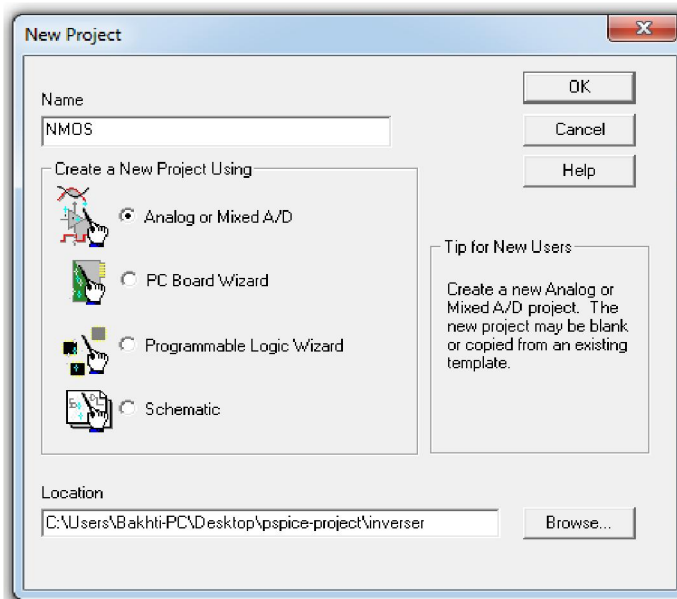
5. Simulation

Dans la partie simulation réalisez le schémas en suivant les étapes :

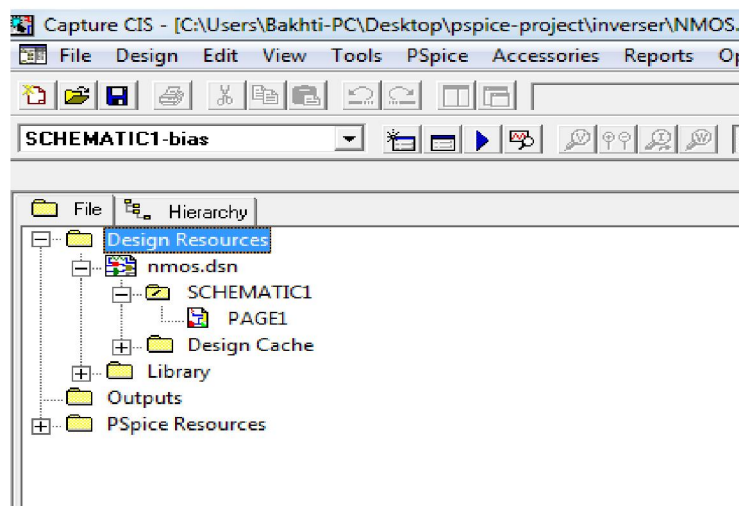
- a- Ouvrir Orcad Capture CIS
- b- Cliquer sur "File" et New Project



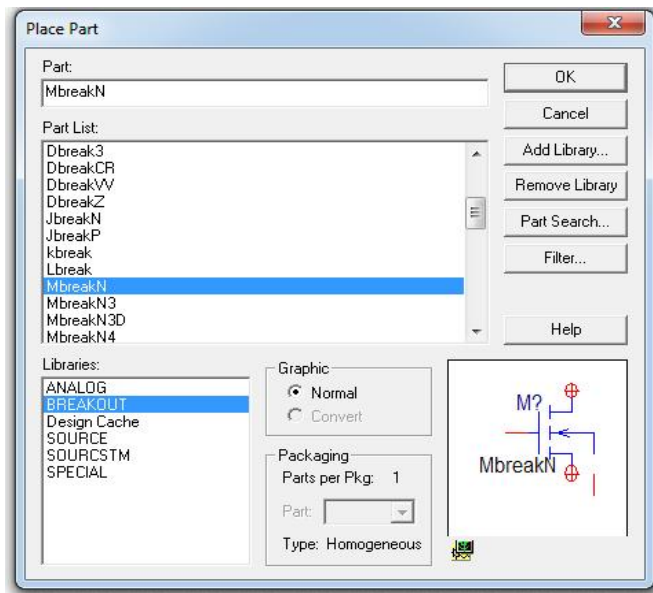
c- Donner un nom et cliquer sur “ok”



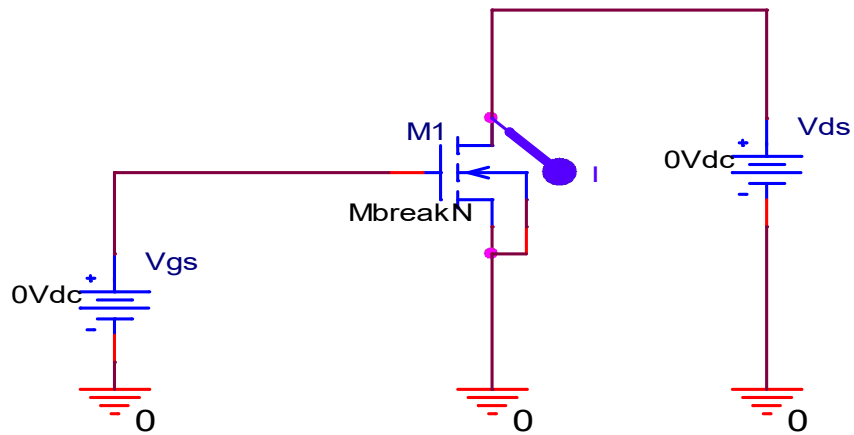
d- Sélectionner “Create Blank Project ” et Cliquer sur “ OK”



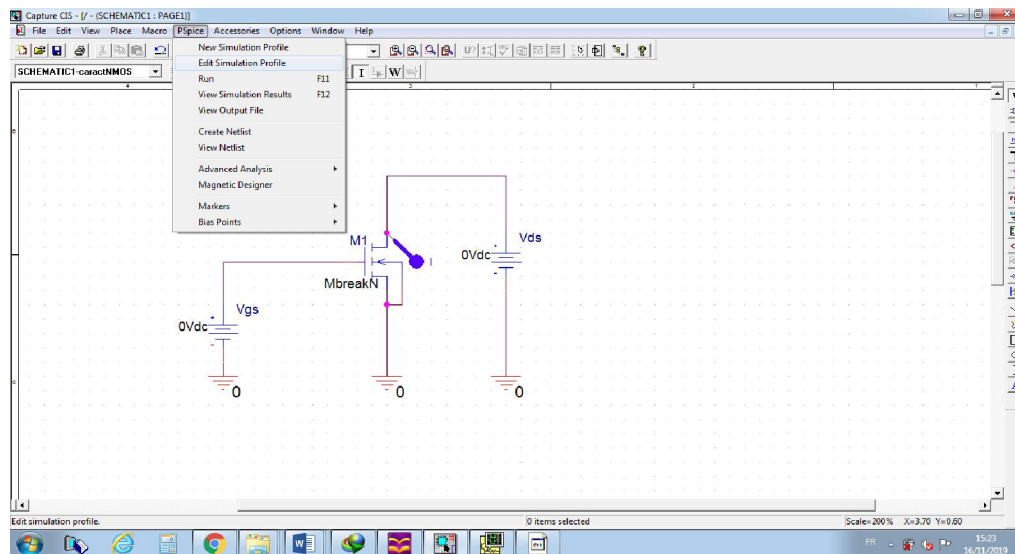
e -Prenez les composants nécessaires de PSPICE librairie et cliquer sur “OK”

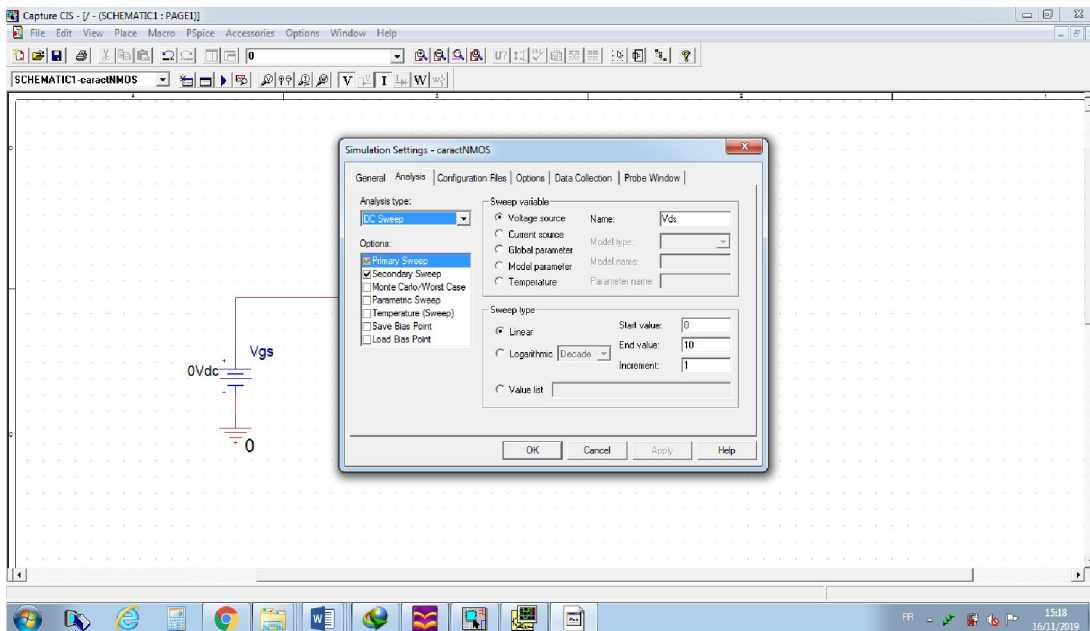


f- Connecte les composants avec "wire"



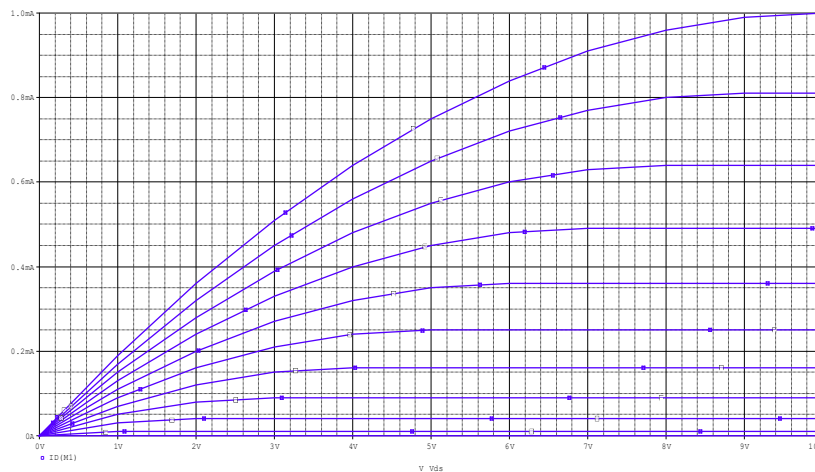
g- Configuré les sources Continues en cliquant PSPICE menu





h-Simulation

Dans le cas où les erreurs de conception n'existent pas nous aurons des courbes similaires à celle e figure ci-dessous



6-Question

A - Analyser la caractéristique $I_{ds} = f(V_{ds})$ et Calculer la résistance de la partie ohmique pour chaque tension V_{gs} que peut-on en conclure?

B - Tracer et discuter la caractéristique $I_{ds} = f(V_{gs})$.

C- Etudier l'effet de la forme sur la caractéristique du transistor (L, W, K_p, K_n)

D- Refaire le même travail avec un Transistor PMOS.