Corrigé de l'exercice 5.

Question 1.

En reprenant l'expression de la largeur de la zone de charge d'espace d'une jonction PN, dans laquelle on fait tendre la densité d'atomes accepteurs vers l'infini (une jonction Métal/Semiconducteur peut être vue comme une jonction PN dans laquelle le côté métal possède une infinité d'atomes dopants) et polarisée en inverse par une tension V_{GS} :
$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_{sc}}{qN_d}(\phi_0 - V_{GS})}$, où ϕ_0 correspond à la barrière de potentielle de la jonction Shottky. Pour une telle jonction, on prend comme référence le niveau E_0 pour lequel les électrons sont arrachés au milieu. En référençant ce niveau par rapport au niveau de Fermi, on note $q\phi_m = E_0 - E_F$,le travail d'extraction pour le métal et $q\phi_s = E_0 - E_F$, travail d'extraction pour le semiconducteur :

$$\begin{aligned} q\phi_s &= E_0 - E_F \\ &= E_0 - E_c + E_c - E_F \\ &= q\chi + E_c - E_F \end{aligned}$$

Or, $n = N_d = N_c \exp -\frac{E_c - E_F}{kT}$, d'où : $\phi_s = \chi + \frac{kT}{q} \ln \frac{N_c}{N_d}$
et : $\phi_0 = \phi_m - \phi_s$
AN :$\phi_s = 4.12V$ et $\phi_0 = 0.98V$

Question 2.

On cherche $V_{GS} = V_T$ tel que le canal soit pincé c'est à dire tel que la zone de charge d'espace occupe tout le canal, ie tel que $W = a$
D'où : $\frac{a^2 qN_d}{2\epsilon_{sc}} = \phi_0 - V_T$
Posons $V_p = \frac{a^2 qN_d}{2\epsilon_{sc}}$
On a alors : $\boxed{V_T = \phi_0 - V_p}$
A.N. : V_p=2.16V
V_T=−1.18V

Question 3.

La zone de charge d'espace est soumise, à l'abscisse y, à la tension : $V_{ZCE}(y) = V_{GS} - V(y)$
On en déduit alors la largeur de cette ZCE à l'abscisse y : $W(y) = \sqrt{\frac{2\epsilon_{sc}}{qN_d}(\phi_0 - V_{ZCE})}$
Soit : $\boxed{W(y) = \sqrt{\frac{2\epsilon_{sc}}{qN_d}(\phi_0 - V_{GS} + V(y))}}$

Question 4.
La tension de saturation V_{DSsat} est la tension $V(L) = V_{DSsat}$ telle que $W(L) = a$. Soit :

$$\begin{aligned}
\frac{a^2 q N_d}{2\epsilon_{sc}} &= \phi_0 - V_{GS} + V_{DSsat} \\
V_p &= \phi_0 - V_{GS} + V_{DSsat} \\
V_{DSsat} &= V_p + V_{GS} - \phi_0 \\
V_{DSsat} &= V_{GS} - V_T
\end{aligned}$$

Question 5.
hypothèses :
$V_T \leq V_{GS} \leq 0$
$0 \leq V_{DS} \leq V_{DSsat}$
Le canal se comporte comme une résistance :
$dV(y) = dR \times I_{DS} = I_{DS}\frac{dy}{\sigma_n S}$,
où $\sigma_n = q\mu_n N_d$ est la conductivité et $S = Z(a - W(y))$ est la surface du canal.
On obtient alors : $\boxed{dV(y) = I_{DS}\frac{dy}{q\mu_n N_d Z(a-W(y))}}$

Question 6.
On a donc : $I_{DS}dy = q\mu_n N_d Z(a - W(y))dV(y)$
Or, $W(y)^2 = a^2\frac{\phi_0 - V_{GS} + V(y)}{V_p}$
Soit, en dérivant : $2W(y)dW = \frac{a^2}{V_p}dV(y)$

L'équation devient : $I_{DS}dy = q\mu_n N_d Z(a - W(y))W(y)\frac{2V_p}{a^2}dW$
En supposant I_{DS} constant le long du canal N de longueur L :

$$\begin{aligned}
I_{DS}L &= \frac{2q\mu_n N_d Z V_p}{a^2}\int_{W_1}^{W_2}(a - W(y))W(y)dW \\
I_{DS} &= \frac{2q\mu_n N_d Z V_p}{a^2 L}(a\frac{W_2^2 - W_1^2}{2} - \frac{W_2^3 - W_1^3}{3})
\end{aligned}$$

Question 7.

$W_1^2 = \frac{a^2}{V_p}(\phi_0 - V_{GS})$
$W_2^2 = \frac{a^2}{V_p}(\phi_0 - V_{GS} + V_{DS})$
D'où : $\boxed{I_{DS} = \frac{2q\mu_n N_d Z V_p a}{L}(\frac{V_{DS}}{2V_p} - \frac{(\phi_0+V_{DS}-V_{GS})^{3/2}-(\phi_0-V_{GS})^{3/2}}{3V_p^{3/2}})}$

<u>Remarque :</u> dans la suite, on posera $I_p = \frac{2q\mu_n N_d Z V_p a}{L}$

Question 8.

On cherche $I_{DS} = I_{DSsat}$ lorsque $V_{DS} = V_{DSsat} = V_p - \phi_0 + V_{GS}$
L'expression précédente devient : $I_{DSsat} = I_p(\frac{V_{GS}+V_p-\phi_0}{2V_p} - \frac{V_p^{3/2}-(\phi_0-V_{GS})^{3/2}}{3V_p^{3/2}}$
ou encore : $\boxed{I_{DSsat} = I_p(\frac{1}{6} + \frac{V_{GS}-\phi_0}{2V_p} + \frac{(\phi_0-V_{GS})^{3/2}}{3V_p^{3/2}}}$

Question 9.

On cherche g_m définit par $g_m = \frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{DS}}$
Pour $V_{DS} = V_{DSsat}$: $g_m = I_p(\frac{1}{2V_p} - \frac{(\phi_0-V_{GS})^{1/2}}{2V_p^{1/2}})$.
AN : $g_m = 3.61mS$