

---

## 6GEI300 - Électronique I

### Examen Partiel #1

Automne 2009

---

#### **Modalité:**

- Aucune documentation n'est permise.
  - Vous avez droit à une calculatrice non programmable.
  - La durée de l'examen est de 3h
  - Cet examen compte pour 20% de la note finale.
- 

#### **Question 1.** Questions théoriques. (15 points)

- a) Qu'est-ce que le niveau de Fermi ? C'est quoi la différence entre  $E_F$  et  $E_I$  ? (1 point)

*Le niveau de Fermi c'est l'énergie où il y a 50% chance de trouver un électron en conduction.  $E_F$  c'est l'énergie de Fermi en général (dope ou non) et  $E_I$  c'est l'énergie de Fermi quand le silicium est intrinsèque.*

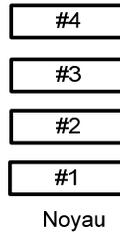
- b) Qu'est-ce qu'une photodiode et comment fait-on pour la faire fonctionner ? Est-ce que le courant résultant est celui de drift ou de diffusion ? Expliquez. (2 points)

*Une photodiode est une diode polarisée en inverse (ne conduit pas) pour faire augmenter la tension dans sa région charge-espace et pour augmenter sa région charge-espace. Quand un photon vient frapper un électron dans la région charge-espace, une paire électron-trou se forme et est poussée par le champ pour former un courant de drift.*

- c) Qu'est-ce qu'un varacteur et comment est-ce qu'il fonctionne ? (2 points)

*Un varacteur est une diode polarisée en inverse. En changeant la tension à ses bornes, on change la taille de la région charge espace. En changeant ça, on change aussi la capacité. Un varacteur est donc une diode qui agit comme une capacité variable.*

d) Les bandes d'énergie sont nommées #1, #2, #3 et #4 dans le diagramme. Lequel (ou lesquels) de ces bandes d'énergies est la bande de conduction ? Et la bande de valence ? (1 point)



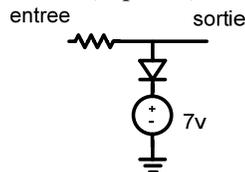
*#4 sera la bande de conduction et #3 sera la bande de valence.*

e) Quels sont les 2 phénomènes qui permettent la conduction en inverse dans une diode ? Décrivez-les brièvement. (2 point)

*Effet Zener : le champ électrique devient assez fort pour arracher les électrons de leur orbite.*

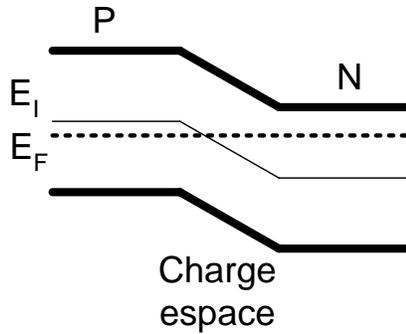
*Effet Avalanche : le champ accélère les charges assez pour que la collision avec une structure atomique génère assez d'énergie pour déloger d'autres électrons. Ces électrons accélèrent eux-aussi et frappent d'autres structures qui délogent encore plus d'électrons.*

f) Dessinez un circuit avec diode (avec alimentation et résistance) qui limite la tension haute à 7v et qui laisse passer toutes les tensions plus faibles. Utilisez le modèle ON-OFF sans chute de tension. (2 point)



g) Voici le diagramme d'énergie d'une diode PN. Recopiez-le dans votre cahier d'examen en identifiant : la zone P, la zone N, la zone charge-espace,  $E_F$  et  $E_i$ . Quelle zone est plus dopée que l'autre ? Expliquez. (3 points)





*Le décalage de niveau de Fermi est plus gros du côté N que du côté P. On s'attendrait donc à ce que N soit plus dopée que P.*

h) Expliquez ce que sont  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  et  $m_s$ , et ce que chacun représente de façon concrète. (2 points)

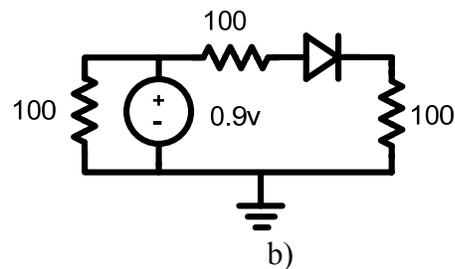
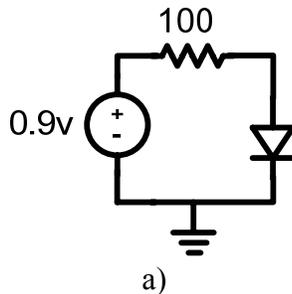
*$n$  : nombre quantique primaire (l'orbite.. distance par rapport au noyau)*

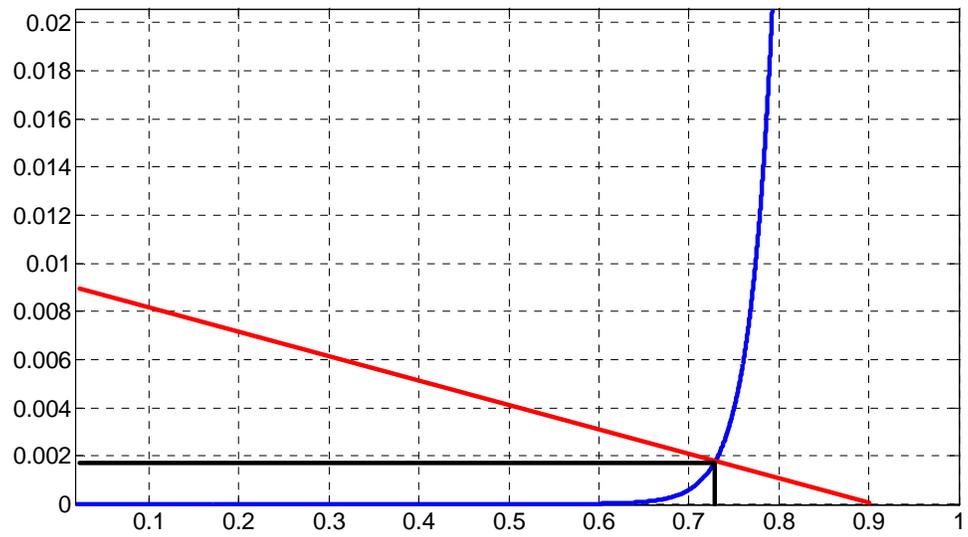
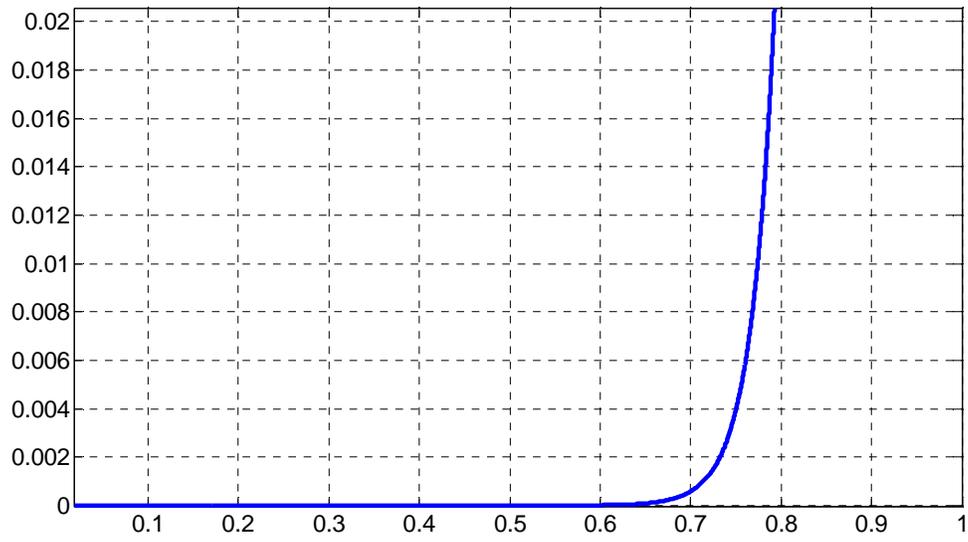
*$l$  : nombre quantique secondaire (forme de l'orbite)*

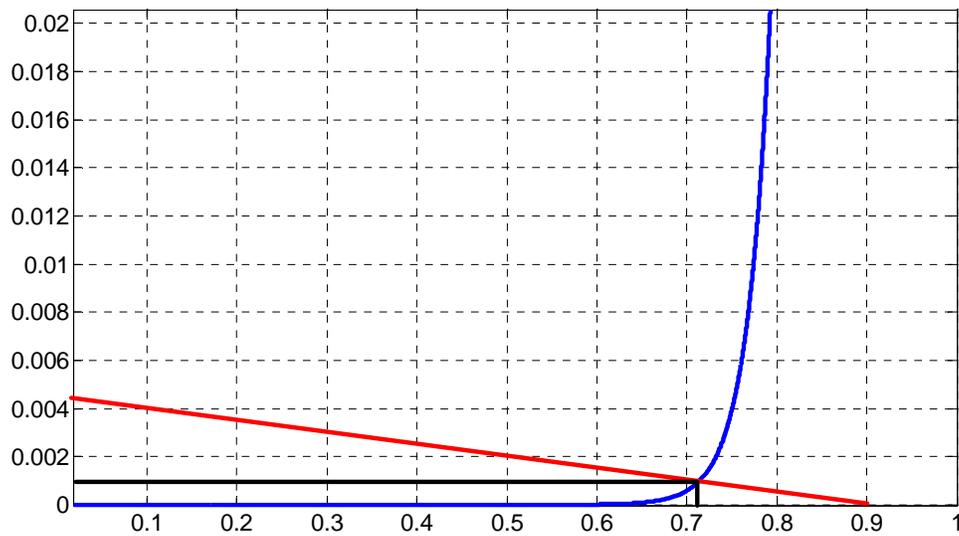
*$m_l$  : nombre quantique magnétique (orientation de l'orbite)*

*$m_s$  : spin (rotation sur lui-même)*

**Question 2.** Pour les circuits suivants, trouvez  $V_D$  et  $I_D$  en utilisant la méthode graphique. Recopiez la courbe I-V de la diode dans votre cahier d'examen et tracez les courbes de charge pour chacun des deux circuits. (6 points)







**Question 3.** . Considérez les 3 circuits suivants. Répondez aux questions en utilisant le modèle ON-OFF avec chute de 0.7v. (9 points)

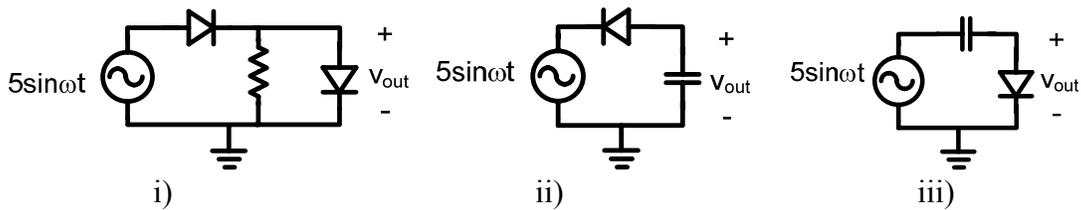
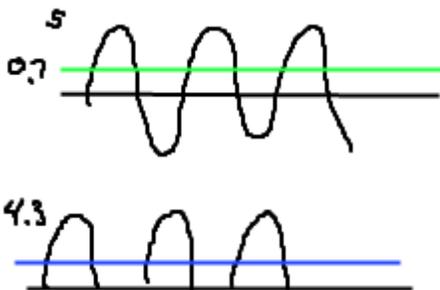
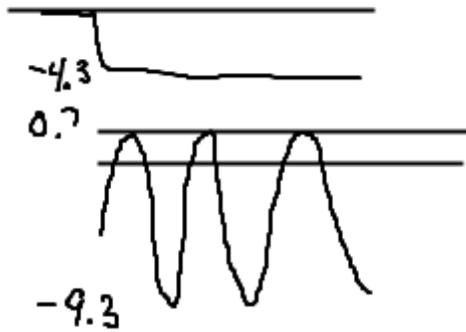


Figure 1. Circuits pour la question 2

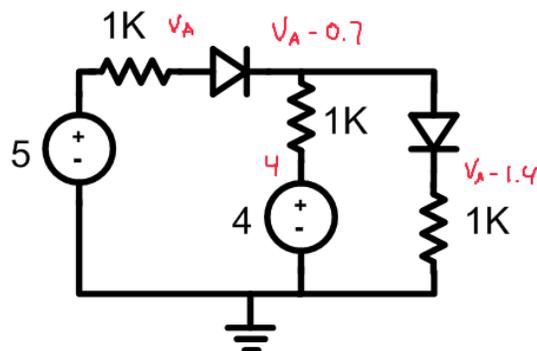
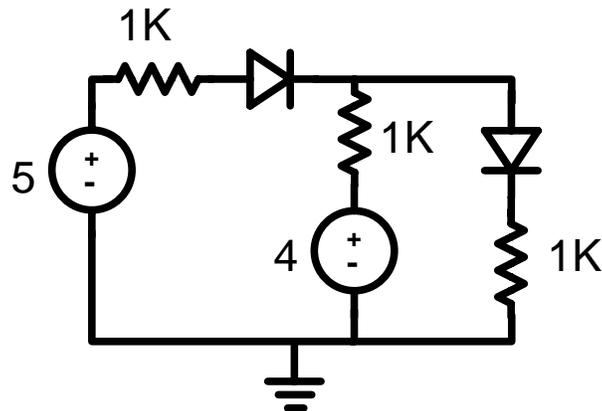
- a) Tracez  $V_{OUT}$  pour le circuit à gauche. (3 points)
- b) Tracez  $V_{OUT}$  pour le circuit au centre. (3 points)
- c) Tracez  $V_{OUT}$  pour le circuit à droite. (3 points)





**Question 4** Pour le circuit suivant, répondez aux questions suivantes avec le modèle ON-OFF avec chute de 0.7v. (10 points)

- Dites si chacune des diodes conduit ou pas. (4 points)
- Quel est le courant qui circule dans chacune des branches (il y en a 3) ? (6 points)



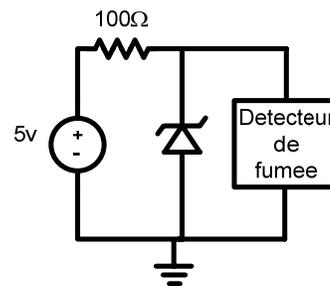
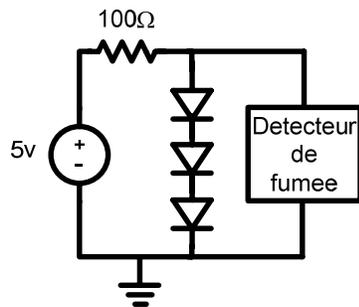
$$\frac{5 - V_A}{1k} = \frac{V_A - 0.7 - 4}{1k} + \frac{V_A - 1.4}{1k}$$

$$5 - V_A = V_A - 4.7 + V_A - 1.4$$

$$11.1 = 3V_A$$

$$\Rightarrow V_A = \frac{11.1}{3}$$

**Question 5.** Vous voulez faire un circuit qui fournit une tension d'alimentation à un détecteur de fumée qui fonctionne à 2.1v. Quand il est au repos, il tire 5mA. Quand il sonne, il tire 25mA. En feuilletant les livres, vous avez trouvé 2 circuits possibles: (8 points)



- De combien va fluctuer la tension qui alimente le détecteur de fumée avec l'implémentation avec les diodes PN ? (4 points)
- De combien va fluctuer la tension qui alimente le détecteur de fumée avec l'implémentation avec la diode Zener ? (4 points)

Chaque diode PN a un  $r_d$  est de  $10\Omega$ ,  $V_B=0.7v$ . La diode Zener que vous avez trouvé a une tension  $V_Z$  de 2.1v et une résistance  $R_Z$  de  $5\Omega$ . Quand il est en conduction avant, il a les mêmes caractéristiques que des diodes PN.

$$I_s = \frac{5 - 2.1}{100} = 29mA$$

Quand il sonne, il y a 25mA qui s'en va dans le détecteur de fumée. Il en reste 4mA.  
Quand il ne sonne pas, il tire 5mA et donc, il en reste 24mA qui s'en va dans la diode.

Il y a donc un changement de 20mA.

Avec la diode Zener, on a une résistance de  $5\Omega$ . On aura donc un changement de 100mV.

Avec les diodes « normales », on a une résistance totale de  $30\Omega$ . Ca donnerait une variation de  $600\text{mV}$ .

**Question 6.** Questions sur les semiconducteurs. (12 points)

- a) Le carbone est un élément avec 6 électrons. Énumérez les et dites combien d'électrons sont sur le dernier niveau (plus éloigné du noyau)? (2 points)

$n = 1 \quad l=0 \quad ml=0 \quad \text{UP DOWN}$

$n = 2 \quad l=0 \quad ml=0 \quad \text{UP DOWN}$

$n = 2 \quad l=1 \quad ml=-1 \quad \text{UP}$

$n = 2 \quad l=1 \quad ml=0 \quad \text{UP}$

Dernier niveau c'est le niveau 2, et sur ce niveau, il y a 4 électrons.

Pour les prochaines questions, considérez les blocs de silicium dopés suivants à 300K:



- b) Estimez la quantité de dopant qu'on a ajoutée dans le bloc N. (2 points)

$$n_0 = n_i e^{(E_F - E_i)/kT}$$

$$n_0 = 1.5 \times 10^{10} e^{(2.8 - 2.3)/8.62 \times 10^{-5} \times 300}$$

$$n_0 = 3.7 \times 10^{18}$$

- c) Combien de trous trouve-t-on dans la bande de valence? (2 points)

$$n_i^2 = n_0 p_0$$

$$p_0 = \frac{2.25 \times 10^{20}}{3.7 \times 10^{18}} = 60$$

- d) Estimez la quantité de dopant qu'on a ajoutée dans le bloc P. (2 points)

$$p_0 = n_i e^{(E_i - E_F)/kT}$$

$$p_0 = 1.5 \times 10^{10} e^{(2.3 - 1.9)/8.62 \times 10^{-5} \times 300}$$

$$p_0 = 7.8 \times 10^{16}$$

- e) Combien de d'électrons trouve-t-on dans la bande de conduction? (2 points)

$$n_i^2 = n_0 p_0$$

$$n_0 = \frac{n_i^2}{p_0} = 2874$$

- f) On décide maintenant de connecter (théoriquement) ces blocs ensemble. Calculez le voltage du champ qui se forme entre ces 2 régions. (2 points)

$$V_B = kT \ln\left(\frac{p_p}{p_n}\right)$$

$$V_B = 8.62 \times 10^{-5} 300 \ln\left(\frac{7.8 \times 10^{16}}{60}\right) = 0.9$$

## Équations

### Constantes

$$k : 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$$

$$1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$q : 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n_i \text{ à } 300\text{K} : 1.5 \times 10^{10}$$

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/kT}}$$

$$n_0 = N_c e^{-(E_c - E_F)/kT}$$

$$p_0 = n_i e^{(E_i - E_F)/kT}$$

$$n_i^2 = n_0 p_0 = n_i p_i$$

$$n_0 = n_i e^{(E_F - E_i)/kT}$$

$$p_0 = N_v e^{(E_V - E_F)/kT}$$

$$V_B = kT \ln\left(\frac{p_p}{p_n}\right)$$

$$V_B = kT \ln\left(\frac{n_n}{n_p}\right)$$

$$I = I_s \left( e^{\frac{V}{kT}} - 1 \right)$$