

---

## 6GEI300 - Électronique I

### Examen Partiel #1

Automne 2008

---

#### **Modalité:**

- Aucune documentation n'est permise.
  - Vous avez droit à une calculatrice non programmable.
  - La durée de l'examen est de 2h45
  - Cet examen compte pour 20% de la note finale.
- 

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

a) Expliquez le lien qui existe entre les termes suivants : silicium intrinsèque, silicium extrinsèque, dopage, conductivité, silicium de type P et silicium de type N.  
(3 points)

*Le silicium intrinsèque c'est le silicium pur sans rien.  
Pour augmenter la conductivité, on peut ajouter des impuretés. On appelle ça le dopage. On a le choix de soit ajouter des atomes avec plus de trous (type P) ou des atomes avec plus d'électrons (type N).*

b) Comment changent  $E_F$  et  $E_i$  lorsqu'on dope le silicium avec :

i) plus de trous

*$E_F$  est décalé vers le bas  
 $E_i$  ne change pas.*

ii) plus d'électrons ?

*$E_F$  est décalé vers le haut  
 $E_i$  ne change pas.*

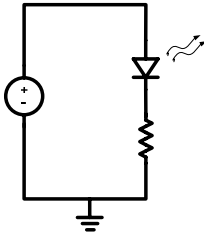
c) On dit qu'en équilibre, il existe un courant de drift et de diffusion. Cependant, on sait qu'il y a un champ électrique causé par  $V_B$  qui bloque la diffusion. Comment peut-il y avoir un courant de diffusion si  $V_B$  bloque la diffusion ? (1 point)

*Même à la température de la pièce, les électrons ont souvent assez d'énergie pour passer à la bande de valence. Il y a continuellement des paires électrons-trous qui se forment. Quand une paire électron-trou se forme dans la région charge-espace, la tension  $V_B$  va*

pousser les charges pour créer un courant qui S'OPPOSE à la diffusion. En se faisant,  $V_B$  perd de son amplitude et donc la diffusion peut recommencer.

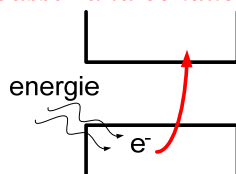
d) Expliquez, à l'aide d'un circuit, le fonctionnement des diodes électroluminescentes (LED). Expliquez aussi d'où provient cette lumière. (2 points)  
On sait que, si on fournissait assez d'énergie aux électrons de la bande de valence, qu'ils passeraient à la bande de conduction.

L'effet inverse existe aussi. En recombinaison un trou et un électron, ça va laisser sortir de l'énergie. Cette énergie est parfois sous la forme de chaleur ou parfois sous la forme de lumière (si le semiconducteur est le bon). Alors, pour générer de la lumière, on n'a qu'à forcer la recombinaison. On sait qu'il y a beaucoup de recombinaison qui se produit lorsque le courant circule dans une diode. Pour générer de la lumière, il faut simplement faire conduire une diode.

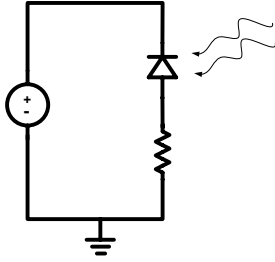


e) Expliquez, à l'aide d'un circuit, le fonctionnement des photodiodes. D'où proviennent les charges qui donnent le courant ? Est-ce que c'est le courant de diffusion ou le courant de drift qui est responsable pour ce courant ? (1 point)

On sait que pour faire passer un électron de la bande de valence à la bande de conduction qu'on n'avait qu'à fournir de l'énergie. On a vu que cette énergie pouvait être thermique. Une autre façon de fournir de l'énergie, c'est en envoyant de la lumière. Quand les photons frappent un électron, l'électron pourra avoir assez d'énergie pour passer à la conduction.



Quand le photon frappe la région charge espace, il existe un champ électrique qui le poussera dans la direction du courant de drift. En mettant une tension INVERSE aux bornes de la diode, on fait grossir la région charge espace et en même temps la tension. Ça augmentera les chances que les photons frappent cette région et en plus, quand ça frappe, le champ sera aussi beaucoup plus fort.



f) Enumérez les électrons (en termes de nombres quantiques) qui sont présents dans le carbone (6). (1 point)

n	l	$m_l$	$m_s$	Total
1	0	0	↑ ↓	2
2	0	0	↑ ↓	2
	1	-1	↑	1
		0	↑	1

g) Comment change la valeur de  $V_B$  avec le dopage ? Est-ce que ça devient plus gros avec un plus gros dopage ? Est-ce que ça devient plus petit avec un gros dopage ? Utilisez les équations pertinentes pour supporter vos conclusions. (1 point)

*Prenons cette equation pour savoir ce que ca nous dit.*

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

*$p_p$  c'est le dopage (en trous) du cote P.  $p_n$  c'est le nombre de trous du cote n. On sait que le dopage c'est  $n_n$  et la relation entre  $p_n$  et  $n_n$  c'est*

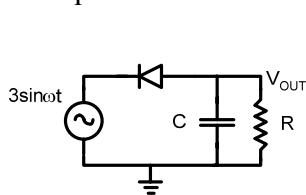
$$n_i^2 = n_0 p_0$$

*Donc, si le dopage du cote N augmente ( $n_n$  augmente),  $p_n$  deviendra plus petit puisque  $n_i^2$  est constant. Donc, si les 2 dopages sont elevés, le numerateur deviendra gros et le numerateur deviendra petit et  $V_B$  deviendra gros.*

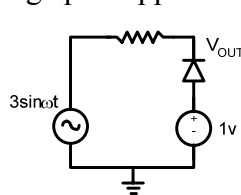
$$V_B = kT \ln\left(\frac{p_p}{p_n}\right)$$

*On peut faire le meme raisonnement avec l'autre equation aussi.*

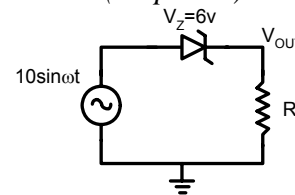
**Question 2.** Pour chacun des 3 circuits suivants, dessinez le signal de sortie  $V_{OUT}$ . Pour toutes les diodes, utilisez le modèle ON-OFF avec chute de 0.7v. Pour le circuit a), considérez que la constante RC est large par rapport a la période. (10 points)



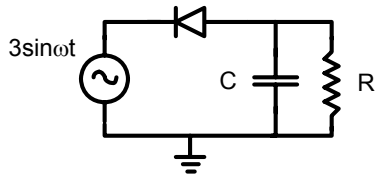
a)



b)



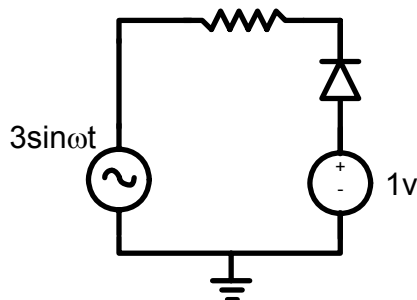
c)



La diode va conduire quand la tension a la source est 0.7v plus faible que celle au condensateur. A cause de la resistance, on s'attendrait a ce que le condensateur soit a 0 au debut. Pendant que la tension monte a la source, la diode ne conduit pas. Ca va commencer a conduire quand la tension chute a -0.7. Ca va continuer a conduire jusqu'a ce que la source arrive a -3v a quel point le condensateur est a -2.3v et cesse de conduire.

Si la resistance etait elevee (et/ou condensateur eleve), la tension ne devrait pas beaucoup changer pendant que la source remonte a 3v et redescende a -3v.

Si la valeur du RC etait faible, on aurait une « decharge » exponentielle qui voudrait ramener le signal a 0v.

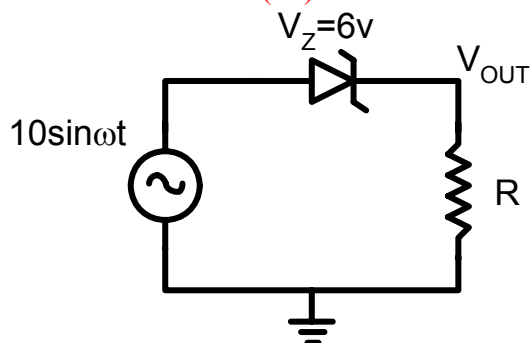


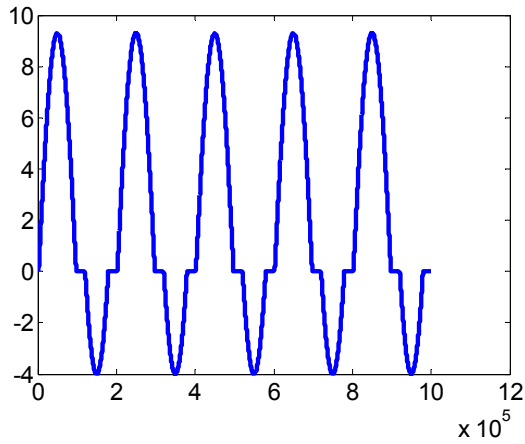
La diode conduit quand il y a une difference de potentiel de 0.7v a ses bornes. Ca va se produire quand la tension de la source baisse a 0.3v ou moins. Sinon, la diode ne conduit pas.

Quand ca conduit, la tension de sortie sera mise a 0.3.

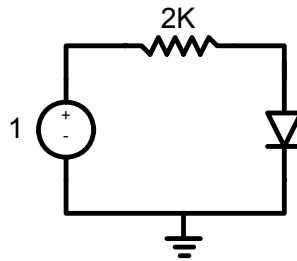
Quand ca ne conduit pas, la tension de sortie sera celle de l'entree.

Une application c'est celle de limiteur. Ca empeche la tension de baisser en dessous d'une certaine valeur (1v).





**Question 3.** Trouvez la tension aux bornes de la diode et le courant qui passe dans le circuit en utilisant la méthode graphique. Recopiez la courbe I-V de la diode dans votre cahier d'examen pour dessiner la courbe de charge et montrez les points importants sur le graphique. (6 points)



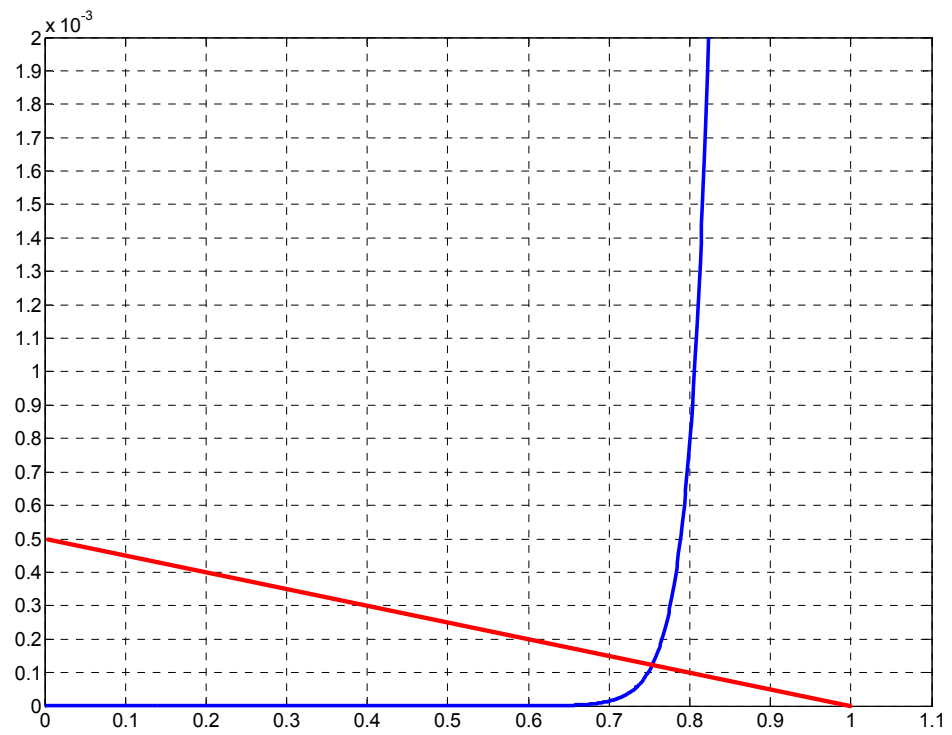
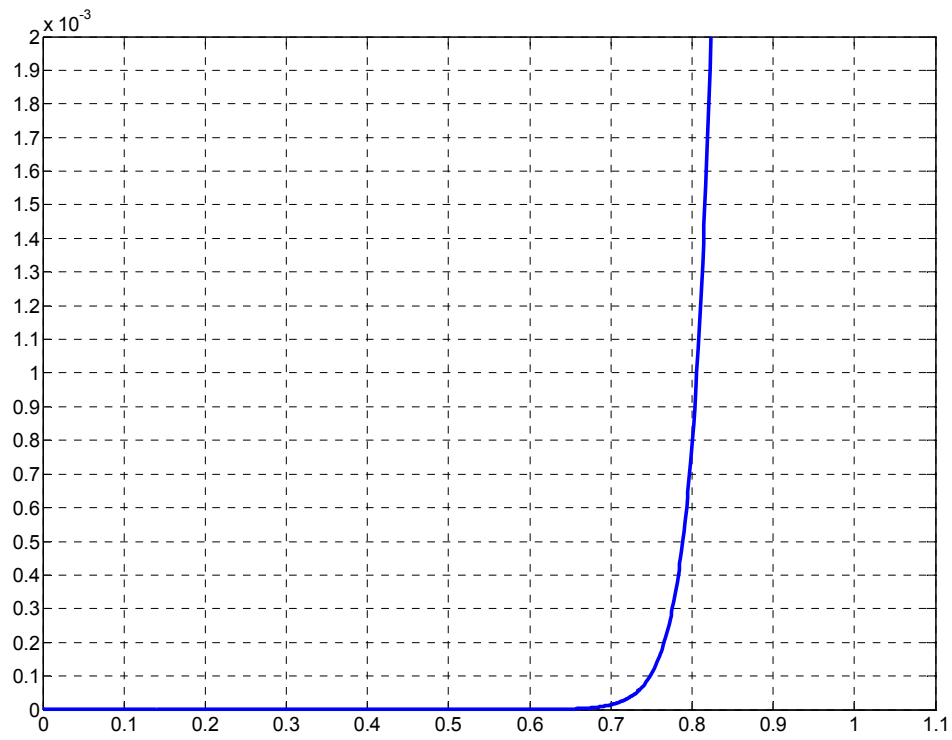
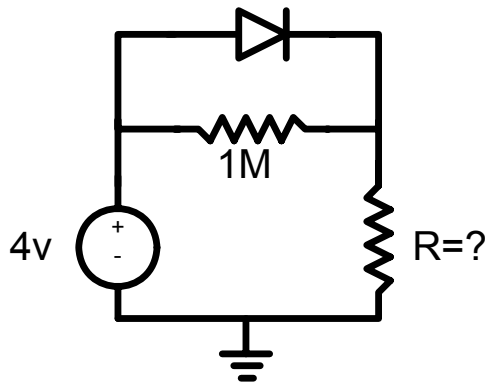


Figure 3. Circuits pour la question 3

A peu pres 0.75v et 1. 25mA.



$$4 \frac{R}{1M + R} = 3.3$$

$$4R = 3.3M + 3.3R$$

$$0.7R = 3.3M$$

$$R = \frac{3.3M}{0.7} = 4.71M$$

Quelle serait la sortie si la résistance était plus élevée que cette valeur ?

Quelle serait la sortie si la résistance était plus petite que cette valeur ?

**Question 4** Considérez le circuit de la figure 4. (10 points)

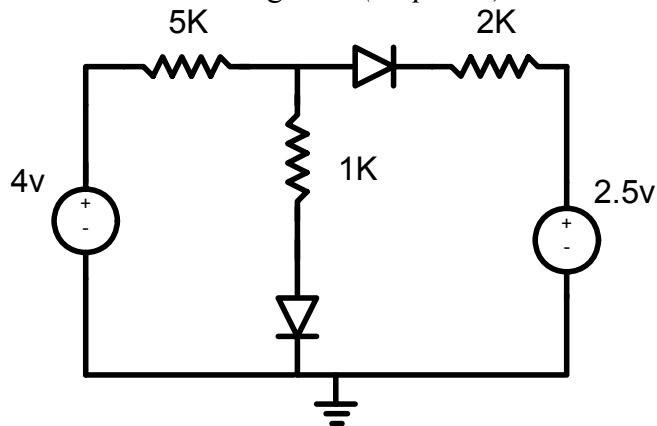


Figure 4. Circuit pour la question 4

En utilisant le modèle ON-OFF avec chute de 0.7v, déterminez :

- Les tensions aux 2 bornes des 2 diodes. (3 points)
- Le courant qui provient de la source de 4v. (7 points)

On va dire que les 2 diodes conduisent:

$$\begin{aligned}\frac{4 - va}{5k} &= \frac{va - 0.7}{1k} + \frac{va - 0.7 - 2.5}{2k} \\ \frac{4}{5k} - \frac{va}{5k} &= \frac{va}{1k} - \frac{0.7}{1k} + \frac{va}{2k} - \frac{3.2}{2k} \\ \frac{4}{5k} + \frac{0.7}{1k} + \frac{3.2}{2k} &= \frac{va}{5k} + \frac{va}{1k} + \frac{va}{2k} \\ \frac{4}{5k} + \frac{0.7}{1k} + \frac{3.2}{2k} &= va \left( \frac{1}{5k} + \frac{1}{1k} + \frac{1}{2k} \right) \\ \frac{8}{10k} + \frac{7}{10k} + \frac{16}{10k} &= va \left( \frac{2}{10k} + \frac{10}{10k} + \frac{5}{10k} \right) \\ 31 &= 17 \cdot va \\ \frac{31}{17} &= va = 1.82v\end{aligned}$$

La diode horizontale ne peut pas conduire puisque la cathode sera AU MINIMUM 2.5 (impose par la source de tension a droite).

Disons maintenant que la diode de droite ne conduit pas.

$$\begin{aligned}\frac{4 - va}{5k} &= \frac{va - 0.7}{1k} \\ 4 - va &= 5va - 3.5 \\ 7.5 &= 6va \\ \frac{7.5}{6} &= va = 1.25 \text{ Ca tient.}\end{aligned}$$

Le courant tire de la source sera

$$\frac{4 - 0.7}{6k} = 550 \mu A$$

### Question 5. Régulation de tension.

- a) On utilise le circuit de la figure 5 comme régulateur de tension pour fournir à peu près 5.6v à un téléphone cellulaire. Quand on utilise le téléphone, il a besoin d'un courant de 3mA. Si on ne s'en sert pas, en « stand-by », il tire 0.5mA. Quelle sera la variation de tension d'alimentation que le cellulaire va voir entre les 2 modes d'opération ?

Le courant fourni par la source est de :

$$I = \frac{10 - 5.6}{1K} = 4.4mA$$

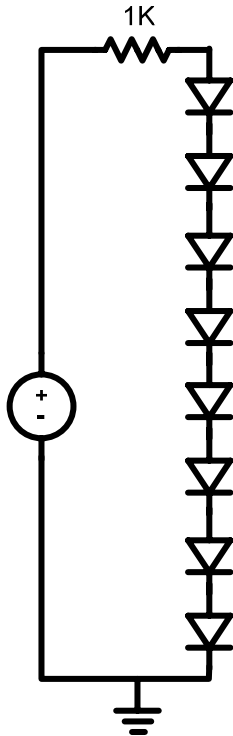
Quand on utilise le telephone, il tire 3mA et donc, 1.4mA entre dans le cellulaire.

Quand on n'utilise pas le telephone, il tire 0.5mA et donc, 3.9mA entre dans le cellulaire.



Il y a une différence de 2.5mA entre les 2 modes d'opération. Pour calculer la variation qui se produira, on peut simplement multiplier par  $R_Z$  qui est de  $20\Omega$ . La variation sera de 50mV.

- b) On aimerait remplacer la diode Zener par plusieurs diodes PN connectées en série (en conduction-avant). Dessinez le schéma d'un circuit qu'on pourrait utiliser. Si on utilisait le modèle segmente-linéaire avec une résistance  $r_d$  de  $5\Omega$ , quelle sera la variation de tension une fois qu'on le connecte à un téléphone cellulaire ?



Si chaque diode avait une résistance de  $5\Omega$ , la connexion de 8 diodes nous donnerait une résistance de  $40\Omega$ . Pour connaître les variations, on multiplie la variation de courant (2.5mA) par la résistance et on obtient 100mV.

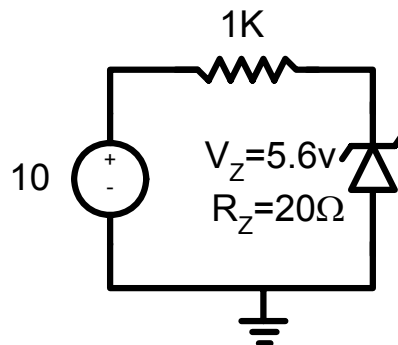


Figure 5. Circuit pour la question 5

**Question 6.** Questions sur les semiconducteurs. (10 points)

Dans une diode, on a dopé le côté P avec  $10^{17}$  atomes et on a dopé le côté N avec  $10^{18}$  atomes.

a) Quel est le décalage du niveau de Fermi du côté P ?

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

$$kT \ln \frac{p_0}{n_i} = (E_i - E_F)$$

$$0.025 \cdot \ln \frac{10^{17}}{1.5 \times 10^{10}} = (E_i - E_F)$$

$$(E_i - E_F) = 0.39 \text{ eV}$$

b) Quel est le décalage du niveau de Fermi du côté N ?

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

$$kT \ln \frac{n_0}{n_i} = (E_F - E_i)$$

$$0.025 \cdot \ln \frac{10^{18}}{1.5 \times 10^{10}} = (E_F - E_i) = 0.45 \text{ eV}$$

c) Quelle est la différence d'énergie entre les bandes de conduction du N et du P ?

On additionne les 2 décalages :  $0.39 + 0.45 = 0.84 \text{ eV}$

d) Quelle est la différence d'énergie de Fermi ( $E_F$ ) entre les côtés P et N en équilibre.

Aucune différence d'énergie de Fermi. En équilibre, ils sont égaux.

---

## Équations

### Constantes

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

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

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

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

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

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

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

$$p_0 = n_i e^{(E_i - E_F)/kT}$$
$$n_i^2 = n_0 p_0 = n_i p_i$$

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

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

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

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

$$r_d = \frac{kT}{I_D}$$