

Electronique Correction Série 2

SMP4 Sections A/B/C

Exercice 1 :

1. L'atome de Bore est trivalent donc le Si est dopé par des atomes accepteurs  $N_B = N_A$ . Le matériau obtenu est de type P.

2. Les porteurs majoritaires sont les trous.

3.  $P \approx N_B$  et  $n \approx \frac{n_i^2}{N_B}$

$$P = 10^{23} \text{ trous} / m^3 \quad n_i = 14.5 \times 10^{15} / m^3$$

$$\text{à } t = 300^\circ K \quad n = 2.1 \times 10^9 e^- / m^3$$

4. La conductivité est donnée par la relation :  $\sigma = \sigma_p + \sigma_n$

$\sigma_p$  : Conductivité des trous

$\sigma_n$  : Conductivité des  $e^-$

Les trous sont majoritaires, on peut donc écrire :  $\sigma \approx \sigma_p = \mu_p \cdot q \cdot p$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad \mu_p \approx 450 \text{ cm}^2 / \text{v.s}$$

$$\sigma = 450 \cdot 10^{-4} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{23} = 720 \text{ S} / m$$

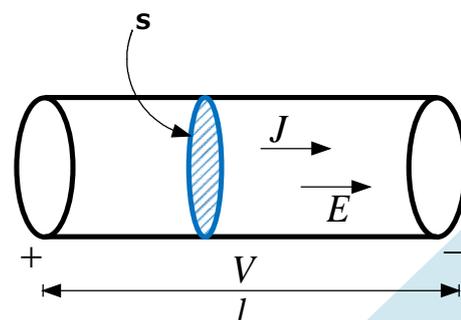
5. On a  $\sigma \approx \sigma_p = \mu_p \cdot q \cdot N_B$  donc si  $N_B$  augmente la conductivité augmente.  
Le dopage augmente la conductivité du semi-conducteur.

6. **Rappel : résistance d'un barreau métallique**

On considère un barreau métallique de longueur  $l$

et de section droite  $S$  contenant  $n e^- / m^3$ .

Le barreau est soumis à une tension  $V$  (Cf. figure ci



Contre).

La densité électrique  $J$  dans le conducteur est

donnée par la relation :

$$\frac{I}{S} = J = q\mu_n nE = \sigma_n E = \sigma_n \frac{V}{l}$$

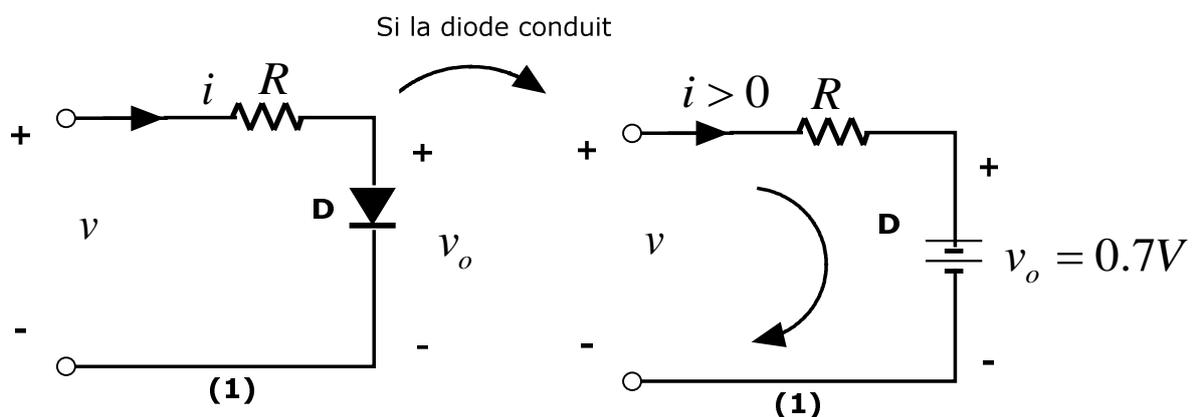
$$\frac{V}{I} = R_n = \frac{l}{S} \cdot \frac{1}{\sigma_n} \quad \sigma_n = n \cdot \mu_n \cdot q, \quad q = 10^{-19} \times 1,6 \text{ C}$$

$n$  Densité des électrons et  $\mu_n$  leur motilité.

Dans le cas du matériau de type  $P$ , on a :  $R_p = \frac{L}{S\sigma_p} = \frac{L}{w \cdot h \cdot \sigma_p} = 277,7\Omega$

7. Quand la température augmente,  $N_B$  étant constant et la mobilité des trous diminue donc la conductivité  $\sigma_p$  diminue. La résistivité du semi-conducteur type  $P$  augmente et par conséquent  $R_p$  augmente.
8. Si le matériau est dopé avec des atomes de phosphore qui sont pentavalents, on obtient un semi-conducteur de type  $N$ . Si  $N_B = N_A$  la conductivité du matériau n'est pas la même puisque la mobilité des électrons n'est pas la même que celle des trous (plus que le double de celle des trous).

### Exercice 2 :

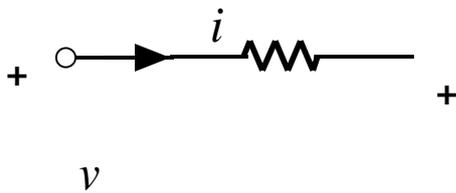


**Loi des mailles :**  $-v + Ri + 0.7 = 0 \rightarrow i = \frac{v - 0.7}{R} > 0$

Ainsi quand la tension d'entrée  $v > 0.7V$ , la diode conduit et la tension de sortie vaut  $v_o = 0.7V$ .

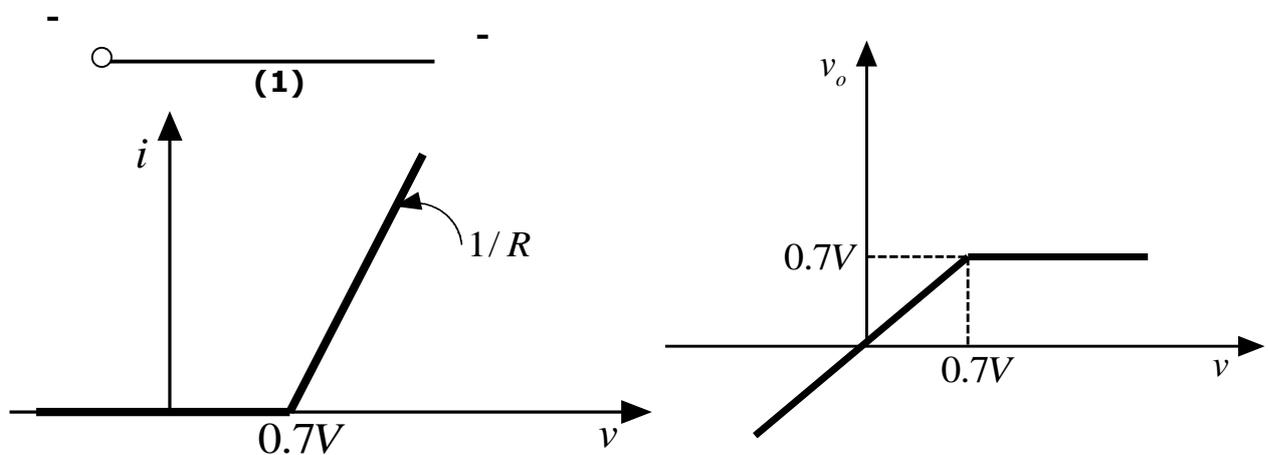
Pour  $v < 0.7V$  la diode est bloquée ; elle est équivalente à un circuit ouvert. On en déduit que  $i = 0$

Le circuit devient :



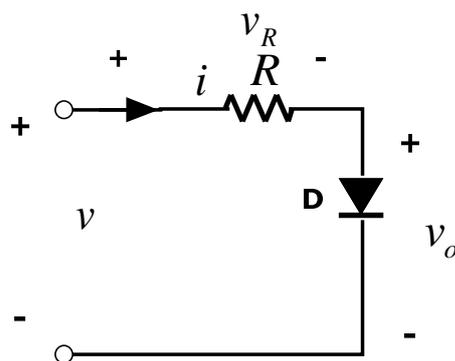
La tension de sortie est donc :  $v_o = v$

Les relations ci-dessus peuvent être résumées par les caractéristiques suivantes :



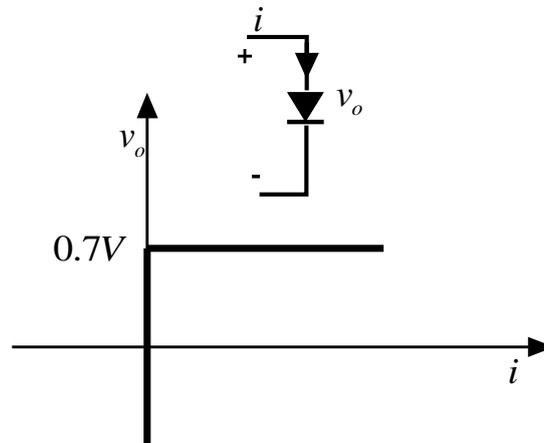
**Méthode graphique :**

Désignons par  $v_R$  la tension aux bornes de la résistance :

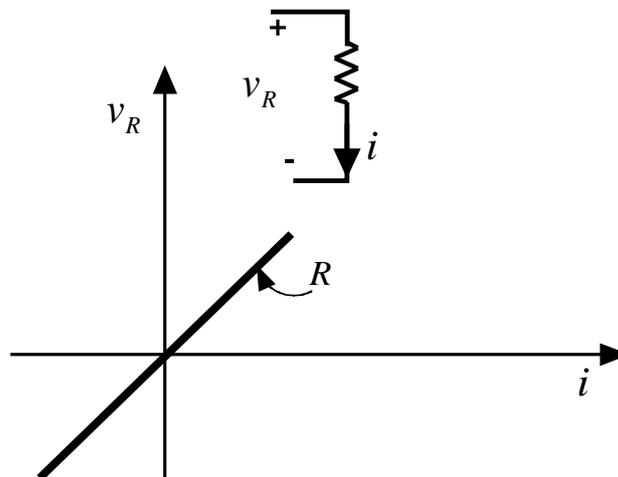


Les deux dipôles (R et D) sont en séries, on peut sommer leurs caractéristiques  $v-i$  (l'abscisse commune aux deux caractéristiques est le courant  $i$ ) :

**Pour la diode :**

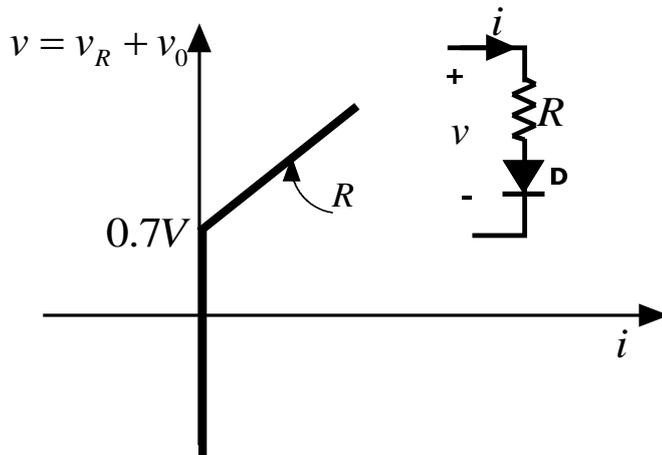


Pour la résistance :

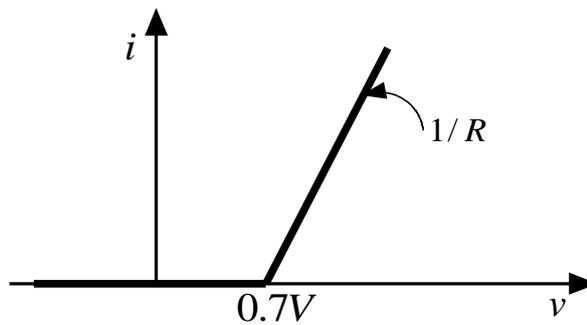


Pour le dipôle R-D :

La tension aux bornes du dipôle  $R - D$  est  $v = v_o + v_R$ . La sommation graphique se réduit donc au schéma de la figure ci-dessous :

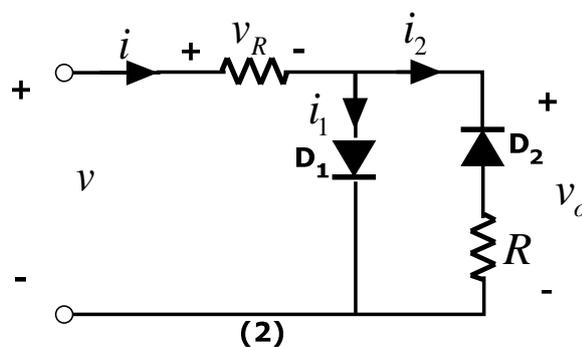


En inversant la caractéristique, on obtient :



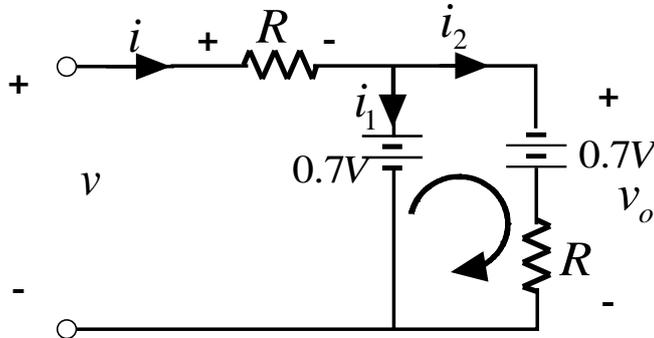
La caractéristique tension-tension se déduit directement à partir de la caractéristique  $i - v$ . En effet, lorsque  $i = 0$  (pour  $v < 0.7V$ ), la diode est un circuit ouvert et la tension  $v_o = v$ . Pour  $v > 0.7V$ ,  $v_o = 0.7V$ .

Circuit de la figure 2 :



D1 et D2 conduisent :

On suppose que  $D_1$  et  $D_2$  conduisent. Le schéma devient :



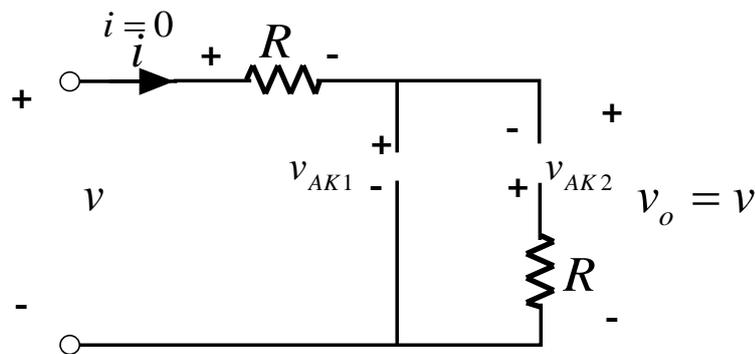
Le courant  $i_1$  doit être positif et le courant  $i_2$  négatif. Or, si on se réfère à la maille indiquée ci-dessous, il vient que :

$$-0.7 - 0.7 + Ri_2 = 0 \rightarrow i_2 = \frac{1.4}{R} > 0$$

L'état  $D_1$  et  $D_2$  conductrices n'est pas valable.

**Les diodes D1 et D2 bloquées :**

Les diodes sont des circuits ouverts, on aura le schéma suivant :



Les tensions  $v_{AK,1,2}$  doivent être inférieures à  $0.7V$ .

$$v_{AK1} = v < 0.7V$$

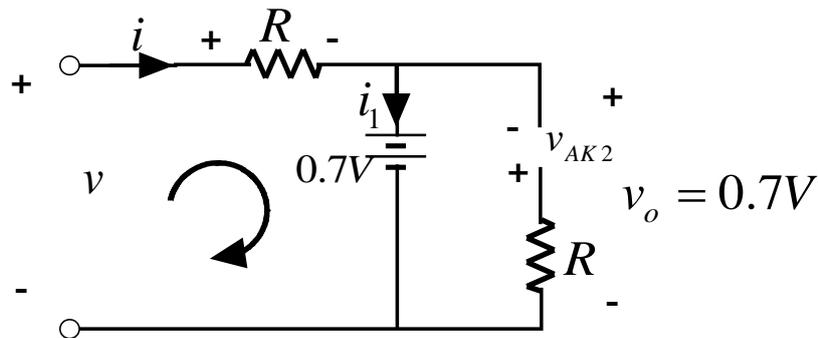
$$v_{AK2} = -v < 0.7V \rightarrow v > -0.7V$$

En conclusion :

$$-0.7V < v < 0.7V, \quad i = 0$$

**La diode D1 conduit et la diode D2 bloquée :**

Une telle configuration est représentée ci-dessous :



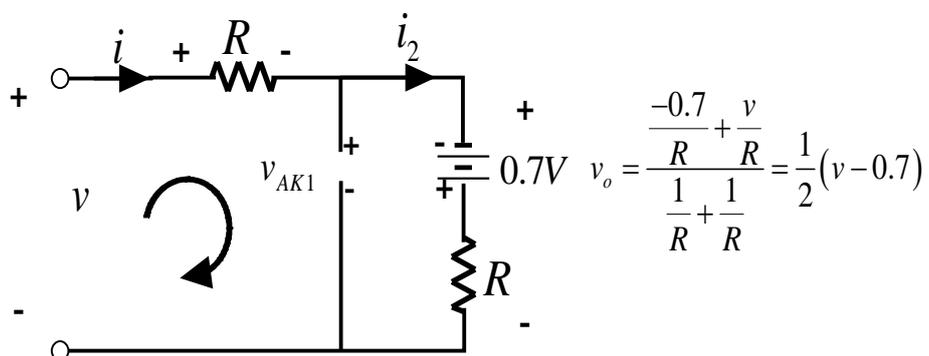
La tension  $v_{AK2} = -0.7V < 0$

$$i_1 = \frac{v - 0.7V}{R} > 0 \rightarrow v > 0.7V$$

$$v > 0.7V, i = i_1 = \frac{v - 0.7V}{R}, v_o = 0.7V$$

**La diode D1 bloquée et la diode D2 conduit :**

Le schéma équivalent est représenté à la figure ci-dessous :



Le courant dans la diode D2 doit être négatif  $i_2 < 0$ .

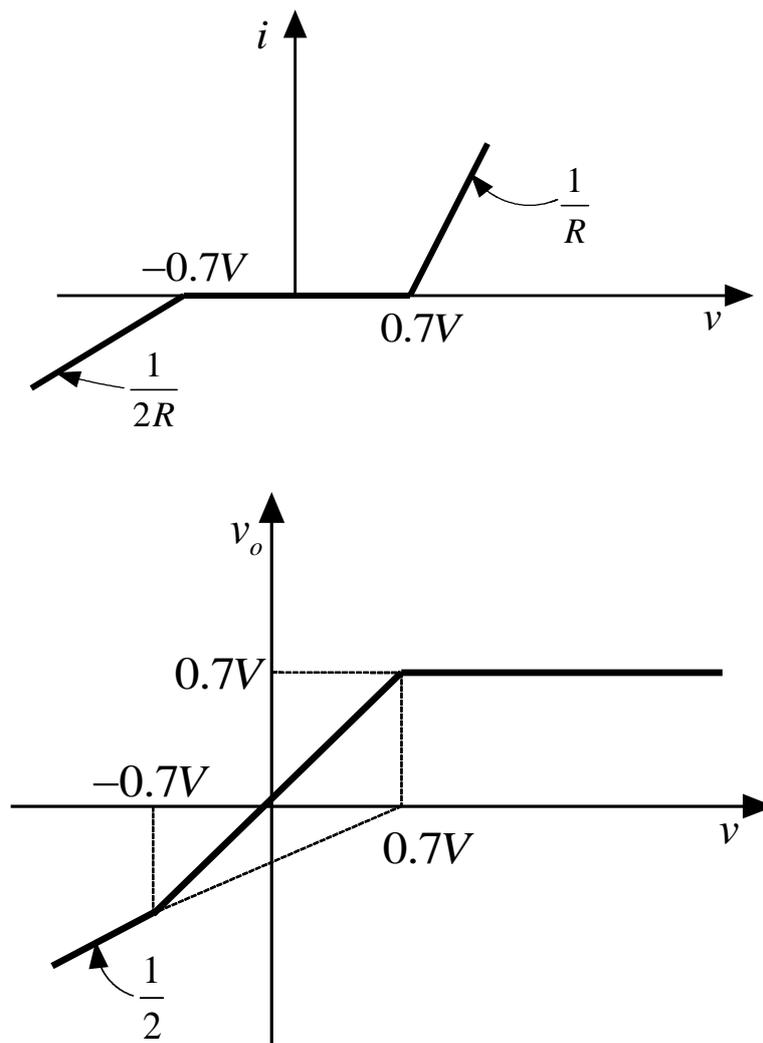
Loi des mailles :

$$i_2 = \frac{v+0.7}{2R} < 0 \rightarrow v < -0.7V$$

$$v_o = v_{AK_1} < 0$$

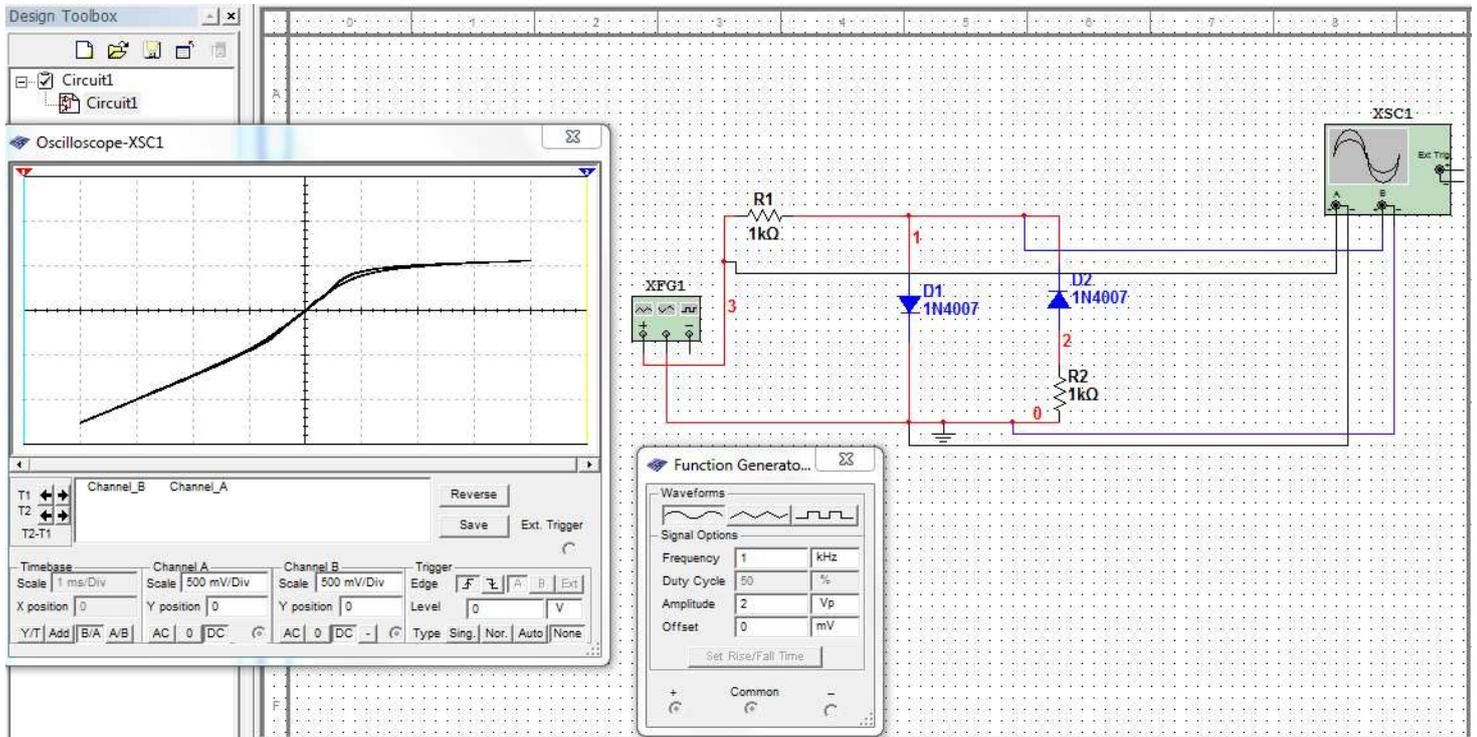
$$v < 0.7V, i = i_2 = \frac{1}{2R}(v+0.7), v_o = \frac{1}{2}(v-0.7)$$

Les résultats encadrés peuvent être résumés sous forme de caractéristiques suivantes :



Simulation NI Multisim :

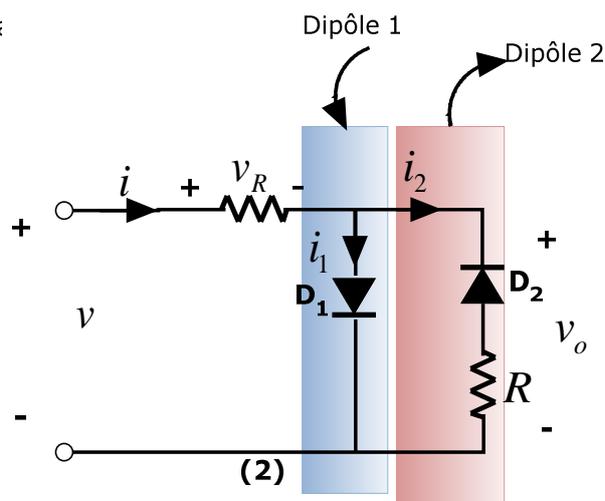
Choisissons la diode 1N4007 pour la simulation NI multisim



Méthode graphique :

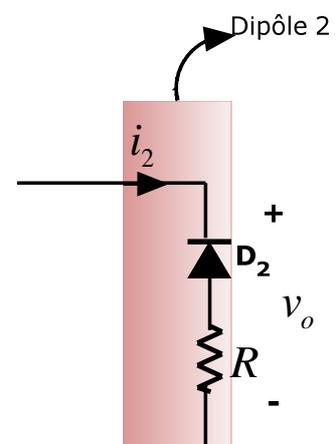
Les deux dipôles 1 et 2 sont en parallèles ;

Ils sont soumis à la :



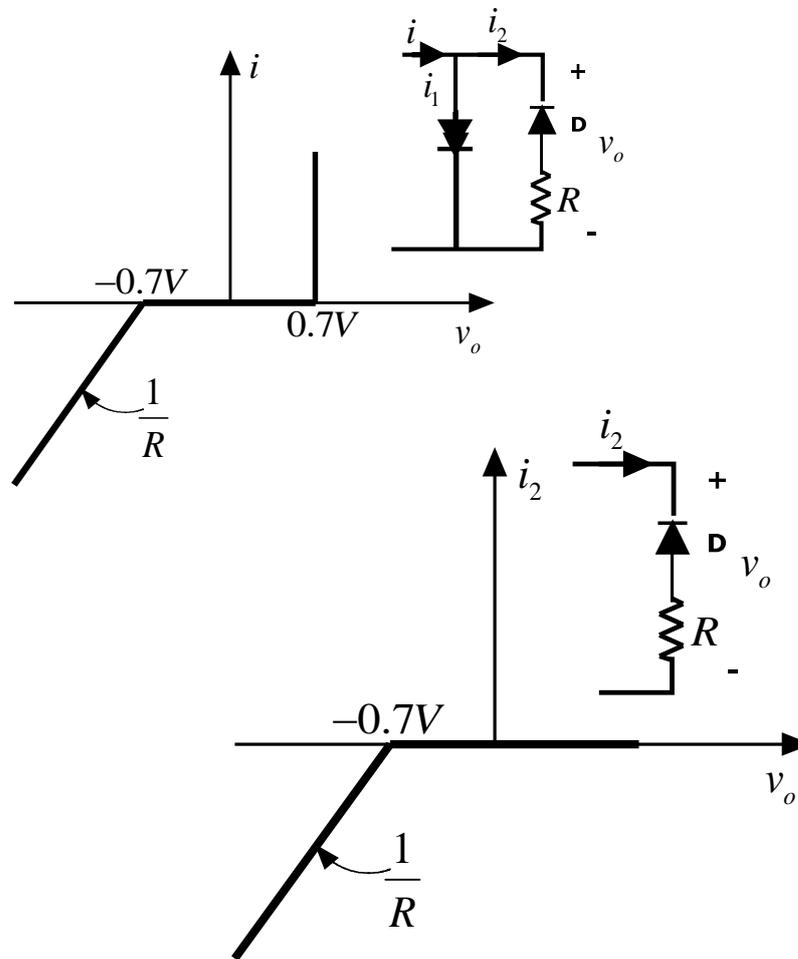
Caractéristique du dipôle 2 :

$i_2 = 0$  si  $v_o > -0.7V$ , la diode est bloquée

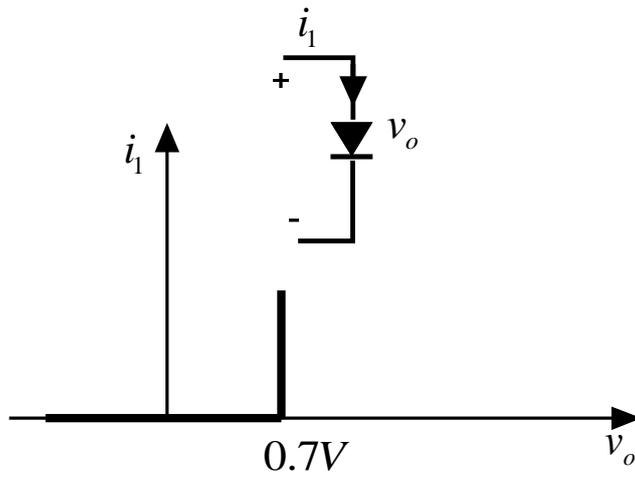


$$i_2 = \frac{v_o + 0.7}{R} < 0, \text{ la diode conduit}$$

La caractéristique  $i_2 - v_o$



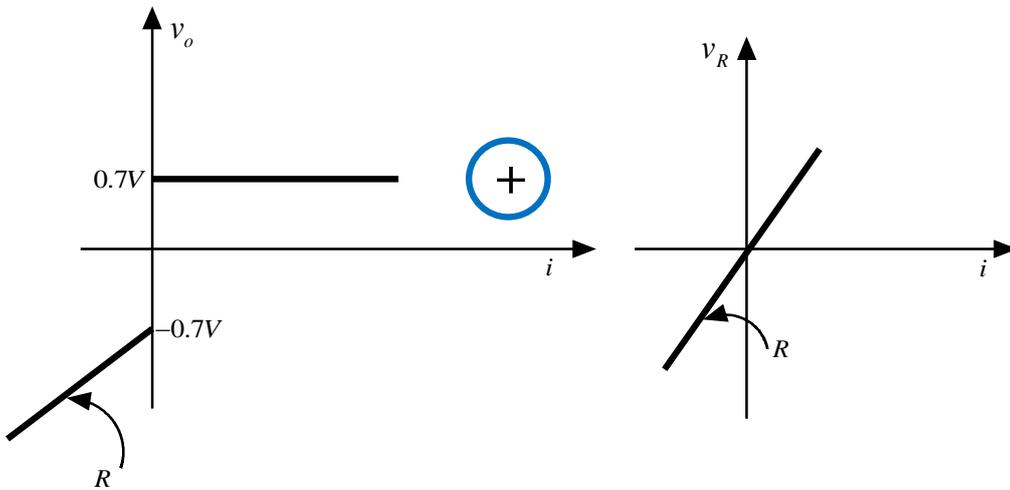
Caractéristique du dipôle 1 :



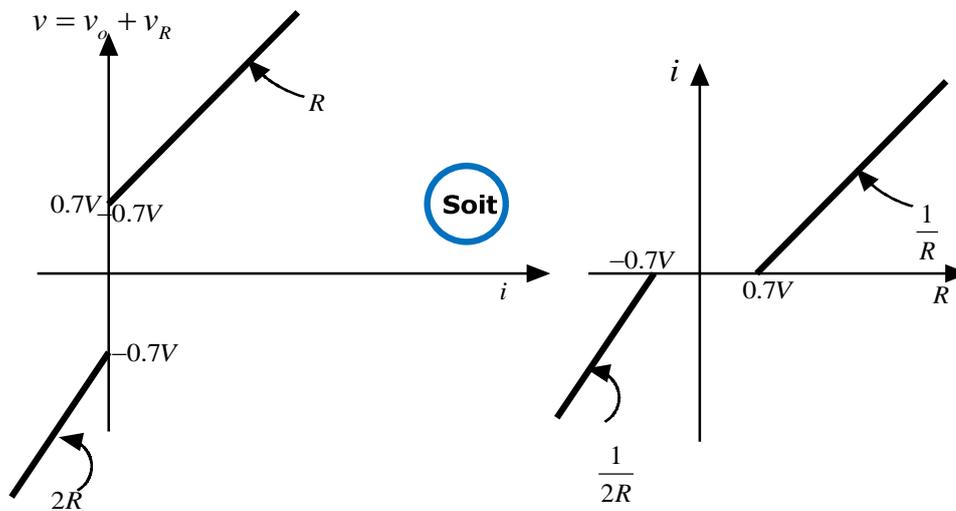
Les deux dipôles mis en parallèles sont équivalents au quadripôle dont la caractéristique est :

$$i = i_2(v_o) + i_1(v_o)$$

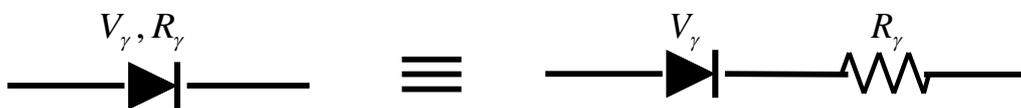
L'inversion de la caractéristique ci-dessous et son ajout à la caractéristique  $v_R - i$ , nous donne :



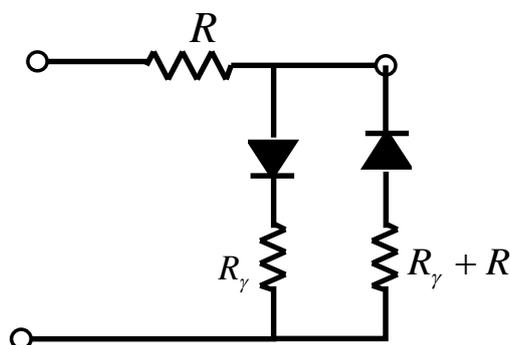
Soit :



Dans le cas où les diodes du circuit de la figure 2 sont caractérisées par  $v_\gamma = 0.7V$  et  $R_\gamma$ , on peut les remplacer par une diode caractérisée par  $V_\gamma$  en série avec une résistance  $R$ .

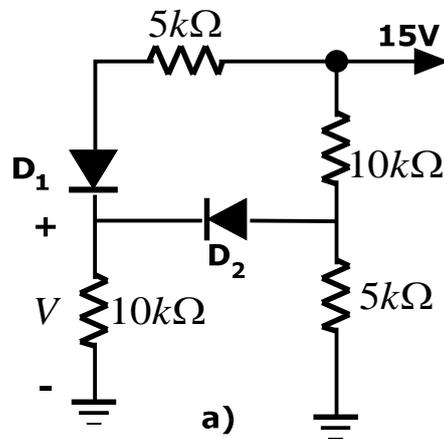


Le circuit de la figure 2 devient :



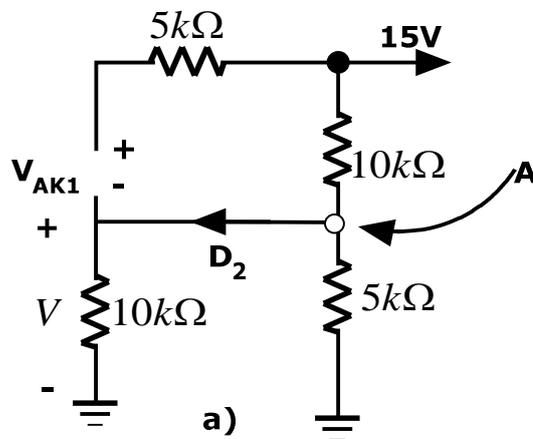
La fonction de transfert du circuit ci-dessus peut être obtenue en appliquant la méthode graphique

Exercice 3 :



Les diodes du circuit ci-dessus sont supposée idéales

Supposons que D1 bloquée et D2 conduit ; le circuit devient :



Diviseur de tension en A :

$$V_A = \frac{10 \parallel 5}{10 \parallel 5 + 10} 15 = 0.25 \times 15 = 3.75V$$

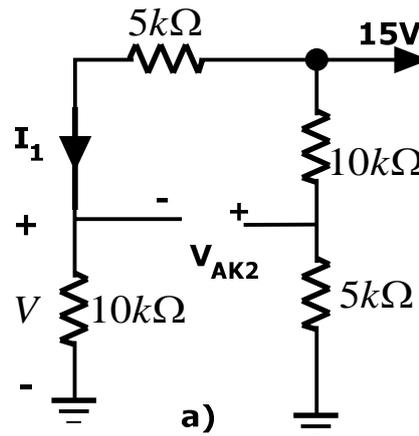
Le courant dans la diode D2 est positif :

$$I_2 = \frac{V_A}{10k} = 0.375mA$$

La tension  $V_{AK1} = 15 - V_A = 15 - 3.75 = 11.25V > 0$

La supposition est donc fausse puisque la tension anode-cathode de la diode 1 est positive.

Supposons que D1 conduit et D2 bloquée ; le circuit devient donc :



$$I_1 = \frac{15}{10k + 5k} = 1mA > 0$$

$$V_{A2} = \frac{5k}{10k + 5k} 15 = 5V, V_{K2} = \frac{10k}{10k + 5k} 15 = 10V \rightarrow V_{AK2} = V_{A2} - V_{K2} = 5V - 10V = -5V < 0$$

La supposition est effectivement juste puisque  $i_1 > 0$  et  $V_{AK2} < 0$ .

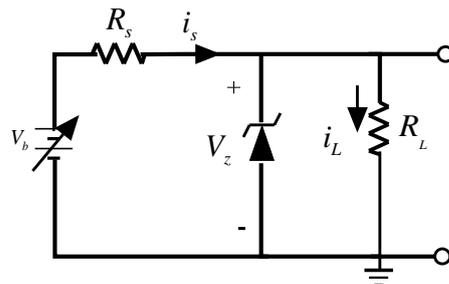
La tension V est :  $V = V_{K2} = 5V$

Le courant dans la diode est :  $I = I_1 = 1mA$

Régulation :

### Exercice 4 :

#### Partie 1 :



La tension d'entrée varie de 10% par rapport à la valeur nominale 12V donc

La tension d'entrée est :

$$v_{B\min} = 10.8V \leq V_b \leq v_{B\max} = 13.2V$$

Le courant dans la diode Zener doit satisfaire la relation :

$$i_{z\min} = 70mA < i_z < i_{z\max} = 1A$$

Pour que la diode fonctionne en régulateur. Agissant en régulateur, la diode fournit en sortie une

tension de  $V_L = 8.2V$

$$i_z = \frac{V_b - 8.2}{R_s} - \frac{8.2}{9} \leq 1A$$

Soit :

$$R_s \geq \frac{V_b - 8.2}{1 + \frac{8.2}{9}} \rightarrow R_s \geq \frac{v_{B\max} - 8.2}{1 + \frac{8.2}{9}} = \frac{13.2 - 8.2}{1 + 0.911} = 2.62\Omega = R_{\min}$$

D'autre part, l'inéquation  $i_z \geq 70mA$  se traduit par :

$$R_s \leq \frac{v_{b\min} - 8.2}{0.07 + \frac{8.2}{9}} = \frac{2.6}{0.9811} = 2.65\Omega$$

**Partie 2 :**

La puissance max dans la diode Zener est :

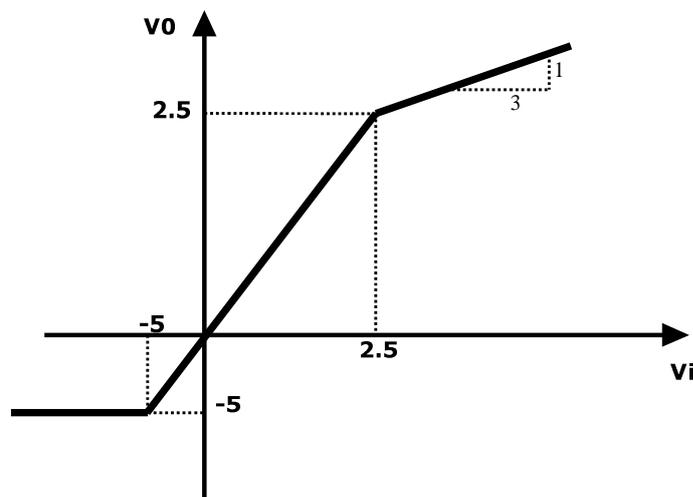
$$P_{z\max} = V_z i_{z\max} \rightarrow i_{z\max} = \frac{P_{z\max}}{V_z} = \frac{360m}{5.2} A = 69.23 mA$$

Pour que le régulateur fonctionne sans danger, il faut que le courant

$$i_{z\min} = 10\% i_{z\max} \rightarrow i_{z\min} = 6.92 mA$$

Le calcul de la résistance  $R_s$  se fait de la même manière que ci-dessus.

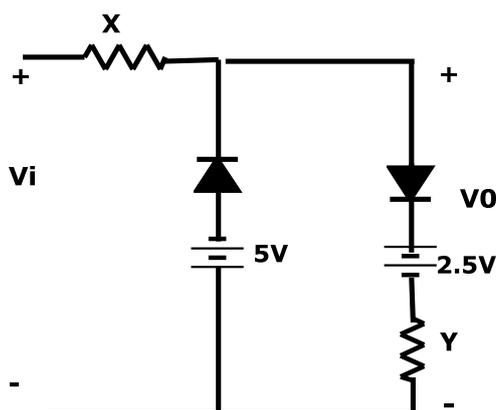
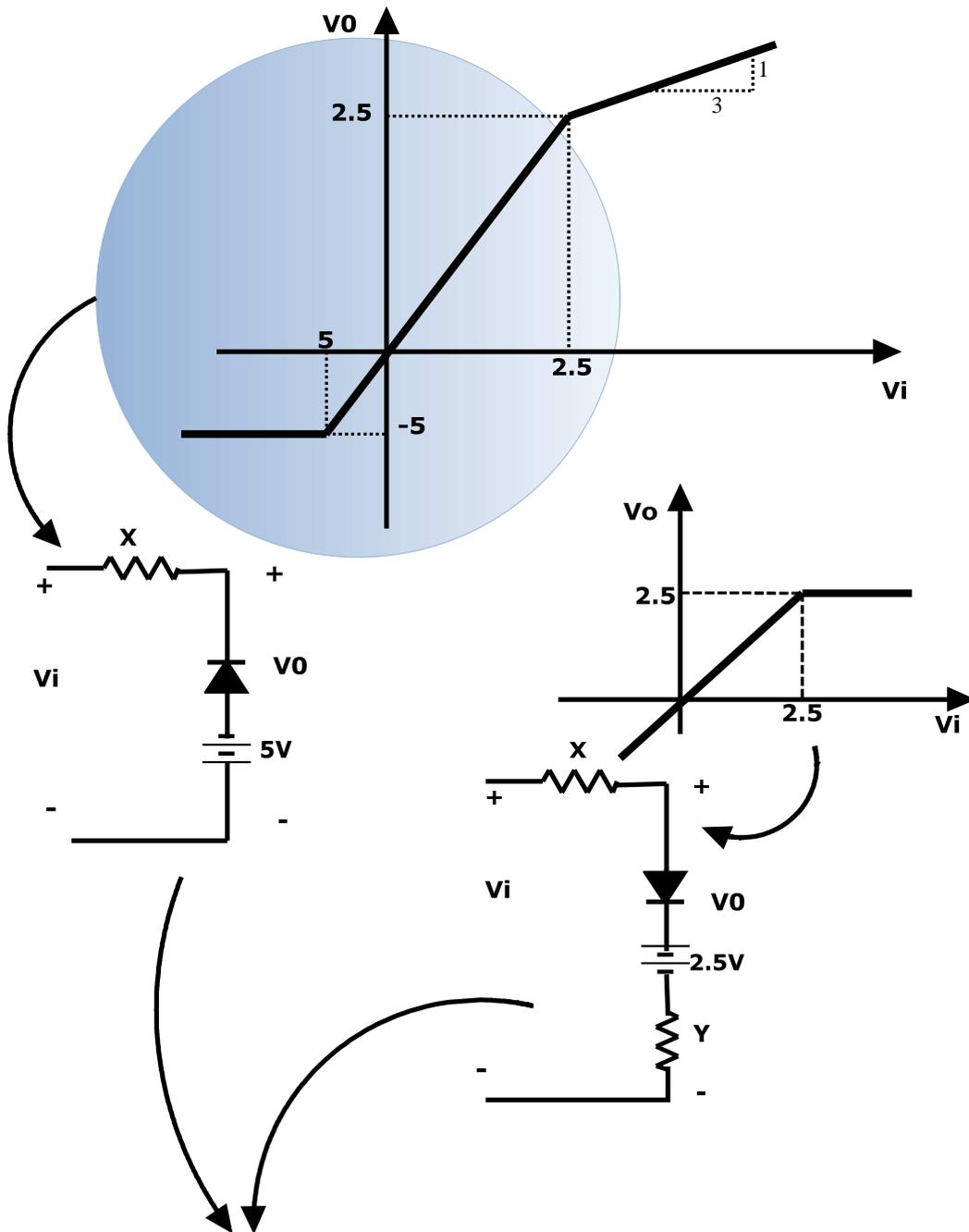
**Exercice 5 :**



Si on considère des éléments constitués de résistances en séries avec des diodes, on peut procéder ainsi pour concevoir le circuit :

Notons que pour  $-5V \leq v_i \leq 2.5V$  la tension de sortie est égale à la tension d'entrée, ce qui entraîne un courant nul dans les résistances séries.

Quand la tension d'entrée est supérieure à 2.5V, la pente de la caractéristique montre l'existence d'un pont diviseur de tension de valeur 1/3.



La pente pour  $V_i > 2.5$  est

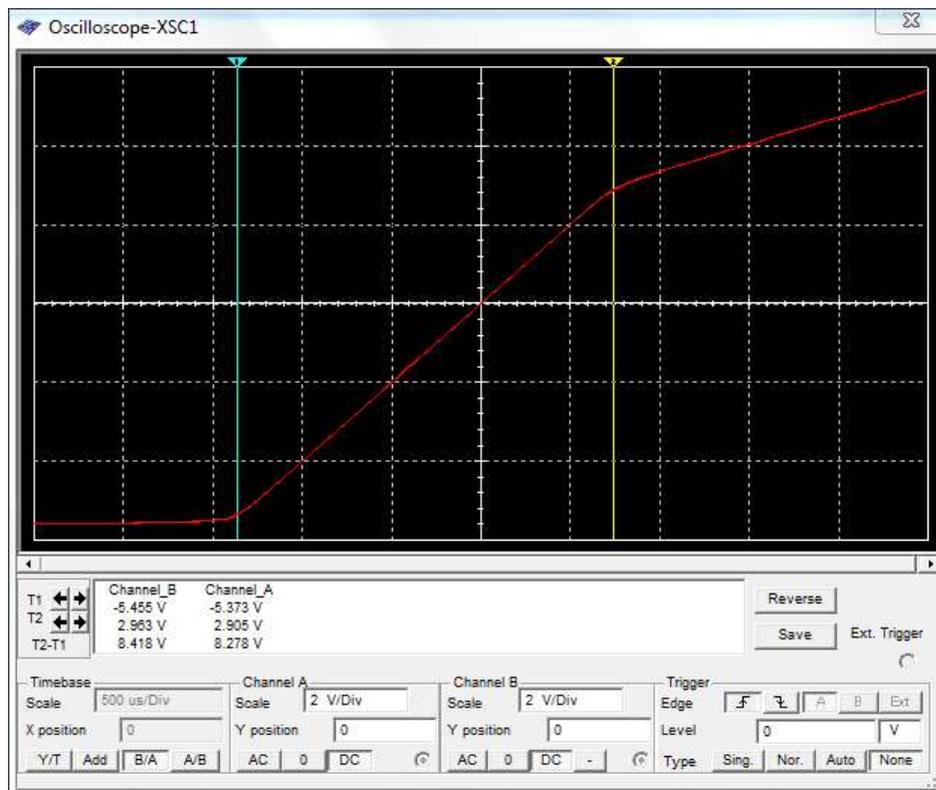
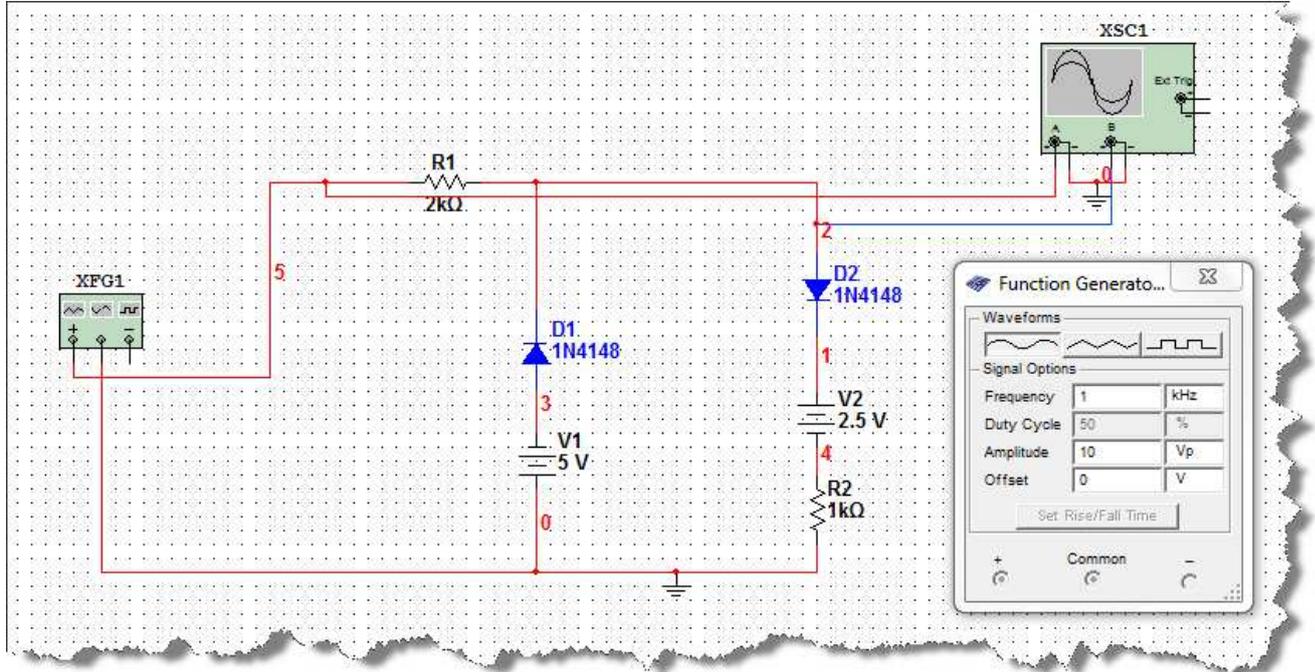
$$a = \frac{y}{x + x} = \frac{1}{3}$$

On prend

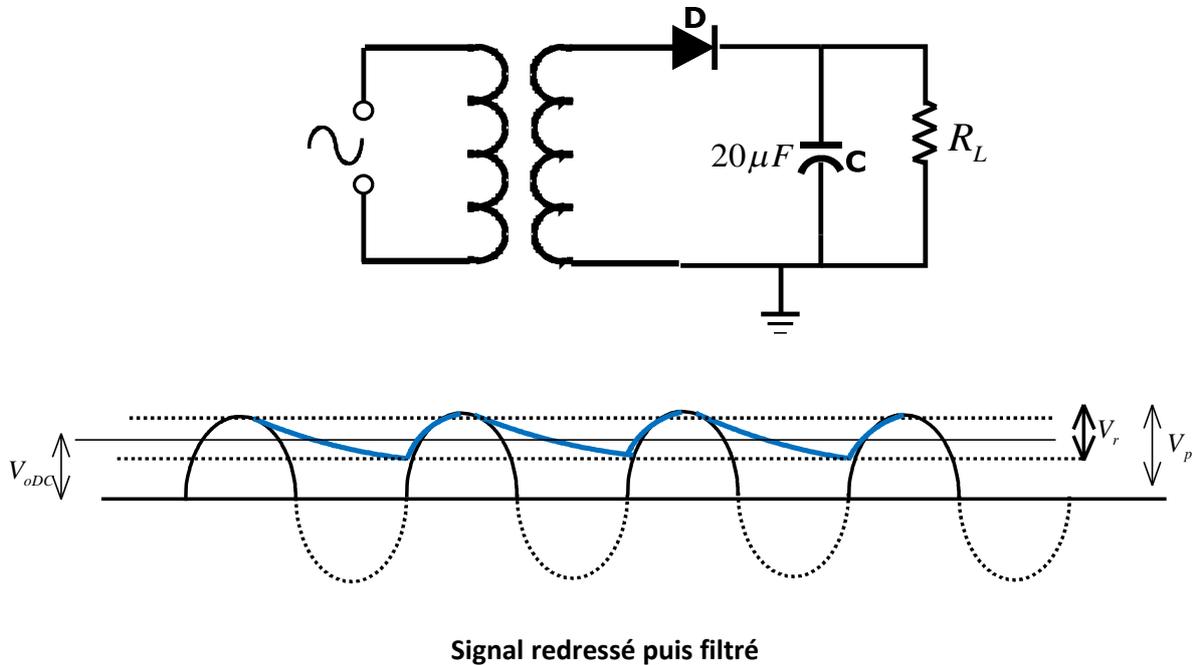
$$x = 2R, \quad Y = R$$

L'allure de la fonction de transfert est simulée ci-dessous. Les diodes sont réelles.

NI multisim :



Exercice 6 :



Les valeurs DC à la charge sont :

$$V_{oDC} = V_{LDC} = 100V, I_{LDC} = 10mA$$

La fréquence du signal d'entrée est  $f = 50Hz$ .

On a :

$$R_L = \frac{V_{LDC}}{I_{LDC}} = \frac{100}{10m} = 10k\Omega$$

La constante de temps :

$$\tau = R_L C = 10k \times 20\mu = 200ms$$

La période du signal :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 2 \times 10^{-2} = 20ms \ll \tau$$

Compte tenu de cette condition, l'ondulation crête-crête de la tension de sortie est donnée par la relation (voir notes de cours) :

$$V_r = V_p \frac{T}{\tau} = \frac{V_p}{fC} \frac{1}{R_L} = \frac{V_p}{fC} \frac{I_{LDC}}{V_{LDC}} \quad (a)$$

D'autre part, on a :

$$V_{LDC} = V_p - \frac{V_r}{2} = V_p \left( 1 - \frac{1}{2fC} \frac{I_{LDC}}{V_{LDC}} \right) \rightarrow V_p = \frac{V_{LDC}}{1 - \frac{1}{2fC} \frac{I_{LDC}}{V_{LDC}}} = 105.263V$$

Compte tenu de l'équation(a), on déduit que :

$$V_r = 10.52V$$