

ELECTRONIQUE

E.B. (1)

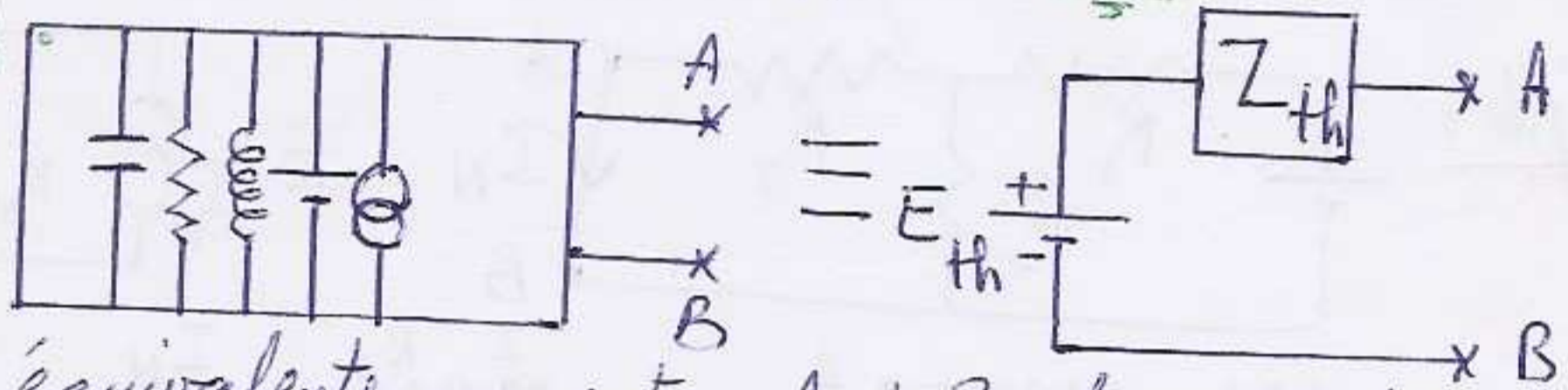
DE BASE

ce cour est eploder par:
www.courfstm.toile-libre.org

Chapitre 1: Théorèmes généraux:

1° Théorème de Thevenin:

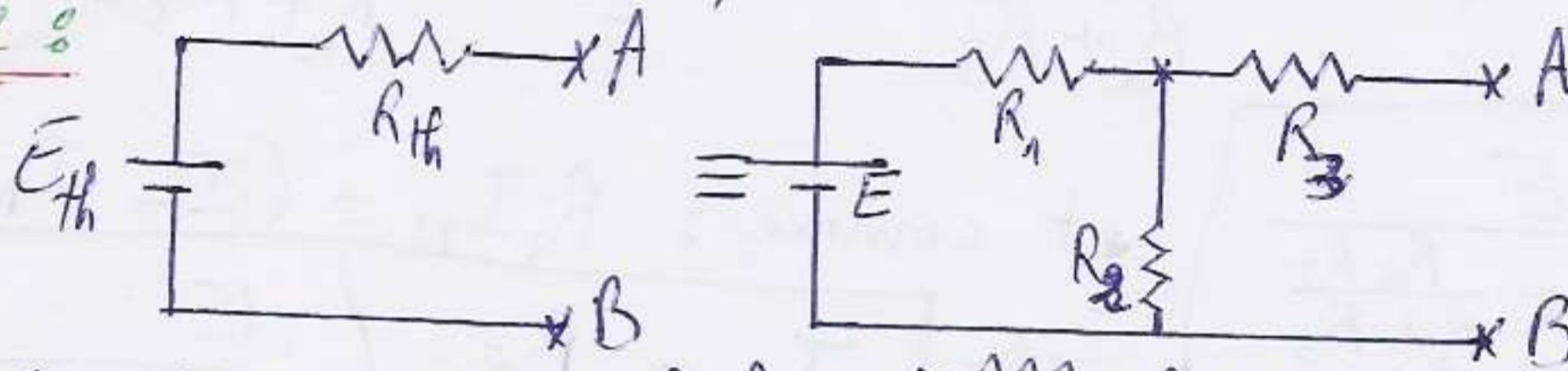
1-a- Enoncé du thévenin: un circuit électrique qq entre deux points A et B est équivalent à un générateur de tension appelé $\underline{E_{th}}$ en série d'une impédance de thevenin Z_{th} .



* Z_{th} : C'est l'impédance équivalente vu entre A et B lorsque tous les générateurs de tension sont court-circuités (c-c) et les générateurs de courant sont ouverts (c.o).

* E_{th} : $E_{th} = V_A - V_B$, lorsque le circuit AB est ouvert.

* Exemple:



$$* Z_{th} = R_3 + R_1 \parallel R_2 = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$* E_{th} = \frac{I R_3}{1} = \frac{I R_3 (V_A - V_B)}{1} = (V_A - V_B) \quad (\text{car } i = 0) \equiv \frac{E R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

N.B.: (Le courant traverse le générateur de $+$ \rightarrow $-$ à l'extérieur)

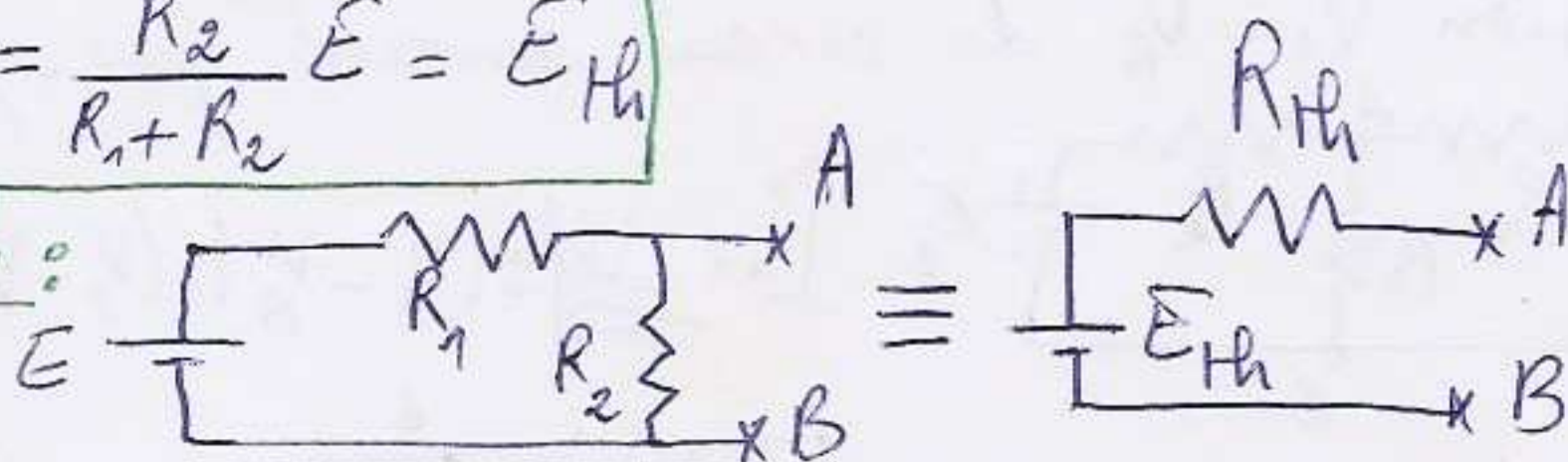
$$V_A - V_B = R_2 I$$

* L'expression de la maille: $E = R_1 I + R_2 I = (R_1 + R_2) I$

$$\Rightarrow I = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow V_A - V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E = E_{th}$$

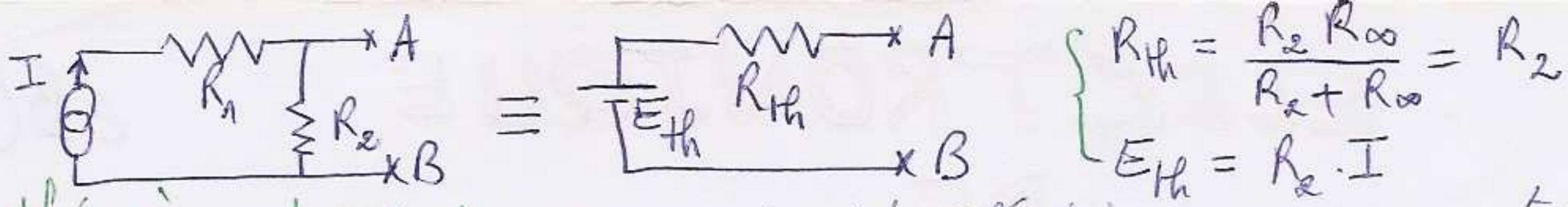
* 2^{ème} Exemple:



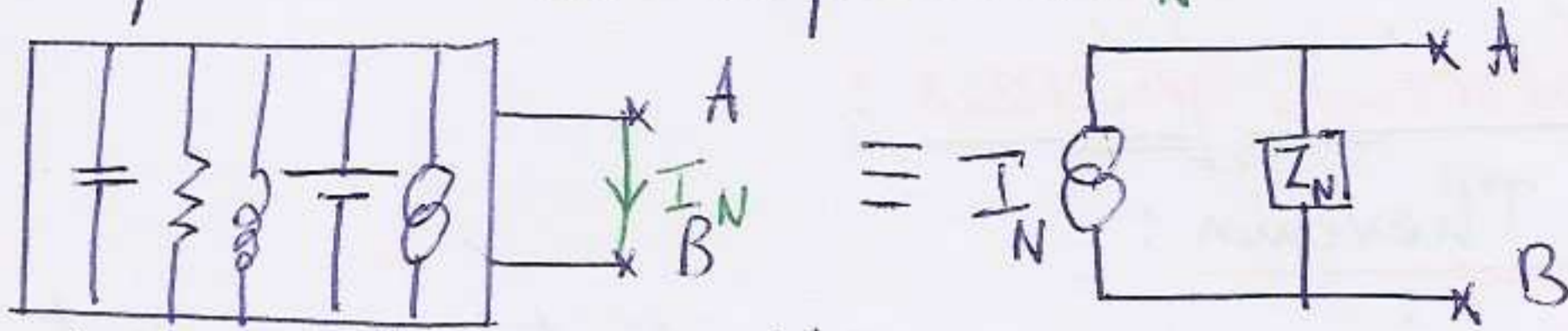
$$R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$E_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

* 3^{ème} Exemple:



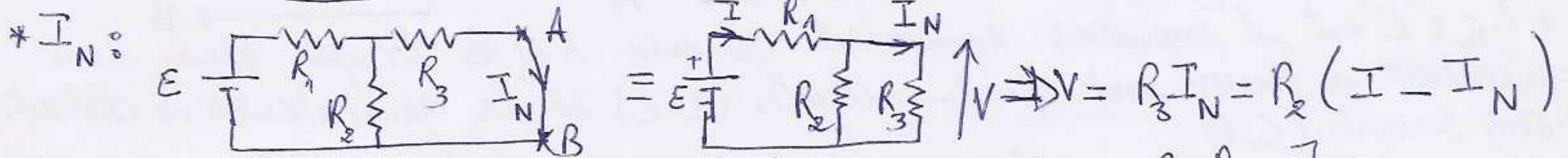
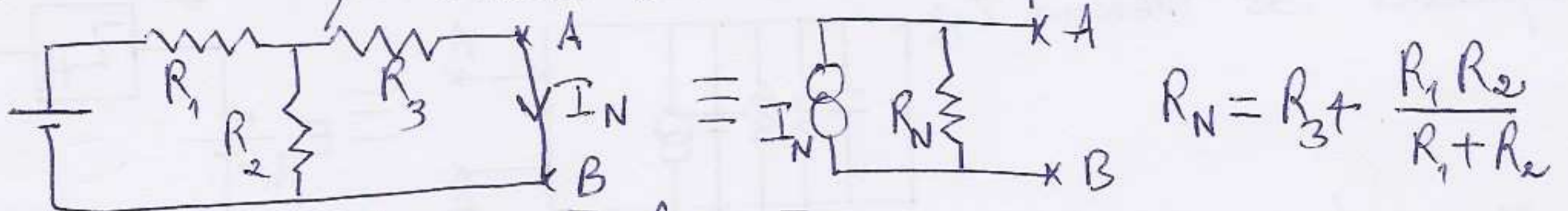
(b) Théorème de Norton: un circuit électrique qq vu entre deux points A et B est équivalent à un générateur de courant I_N appelé générateur de Norton en parallèle d'une impédance Z_N .



* Z_N : se calcule de la même manière que Z_{Th} .

* I_N : C'est le courant qui circule entre A et B lorsque le circuit AB est fermée.

Exemple:



D'autre part: $E = R_1 \cdot I + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} I = \left[R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \right] I$

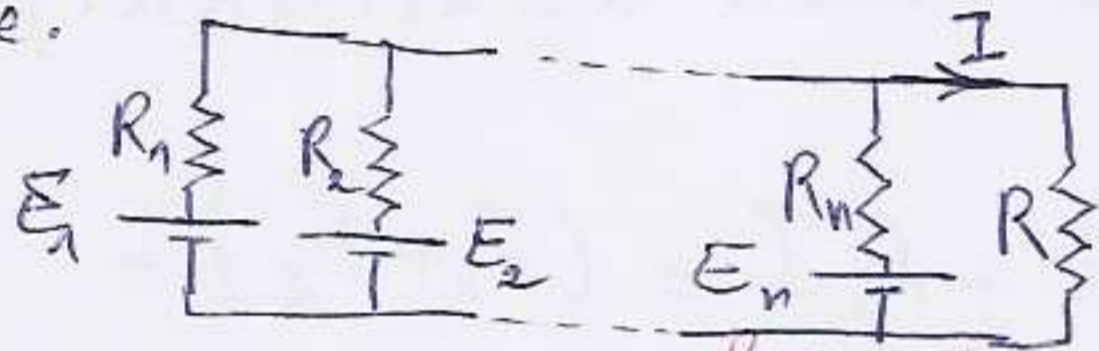
$$I = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}$$

et comme: $R_3 I_N = (I - I_N) R_2$

$$I_N = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \left(\frac{E}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} \right)$$

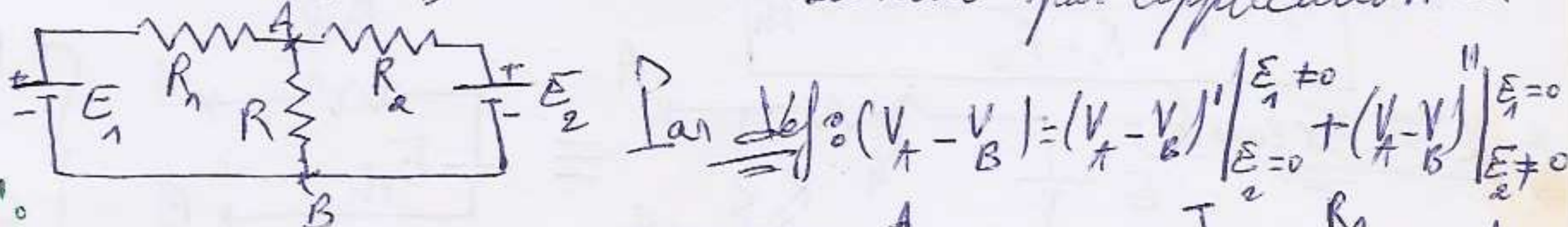
(c) Théorème de superposition: réponse = courant ou tension

La réponse d'un montage à plusieurs excitations appliquées simultanément est égale à la somme des réponses de chaque excitation appliquée toute seule.

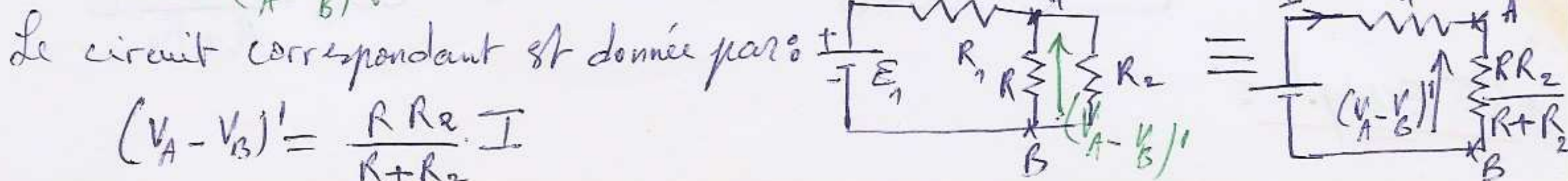


$I_{\text{dans } R} = I_{\text{dans } R} \Big|_{\substack{E_1 \neq 0 \\ E_i = 0 \\ i=2, \dots, n}} + I_{\text{dans } R} \Big|_{\substack{E_2 \neq 0 \\ E_i = 0 \\ i=1, \dots, n, i \neq 2}} + \dots + I_{\text{dans } R} \Big|_{\substack{E_n \neq 0 \\ E_i = 0 \\ i=1, \dots, n-1}}$

Exemple: Calculer la tension $V_A - V_B$ du circuit suivant par application du th. de superposition:



* Calcul de $(V_A - V_B)'$:



D'autre part l'équation de la maille donne :

E.B(2)

$$E_1 = \left(R_1 + \frac{R R_2}{R + R_2} \right) I \Rightarrow I = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R R_2}{R + R_2}}$$

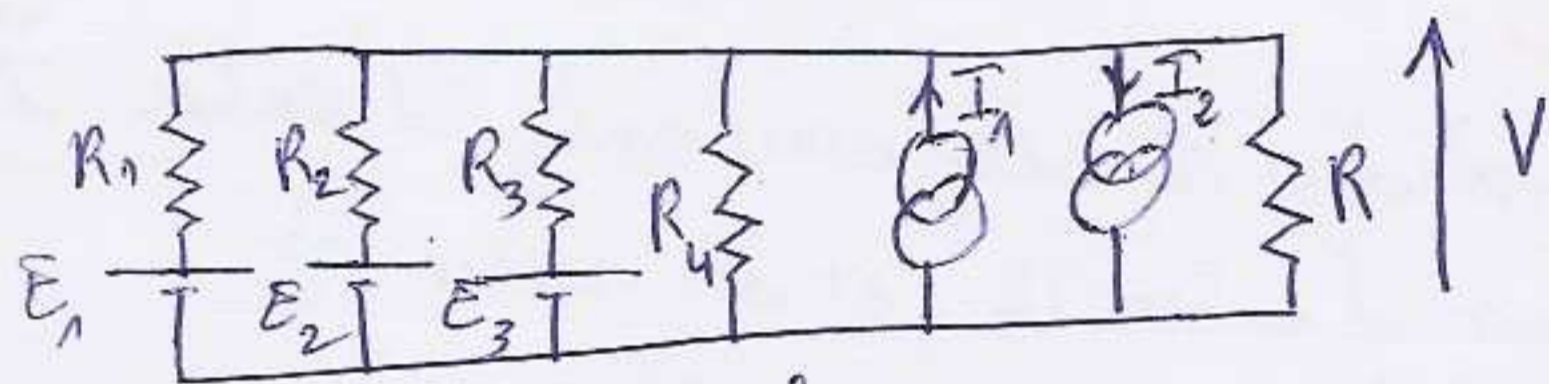
$$\Rightarrow (V_A - V_B)' = \frac{R R_2}{R + R_2} \cdot \frac{E_1}{R_1 + \frac{R R_2}{R + R_2}}$$

* $(V_A - V_B)''$: vu la symétrie du circuit ; l'expression de $(V_A - V_B)''$ éte déduite à partir de celle de l'expression de $(V_A - V_B)'$ en remplaçant E_1 par E_2 et R_2 par R_1 .

$$\Rightarrow (V_A - V_B)'' = \frac{R R_1}{R + R_1} \cdot \frac{E_2}{R_2 + \frac{R R_1}{R + R_1}}$$

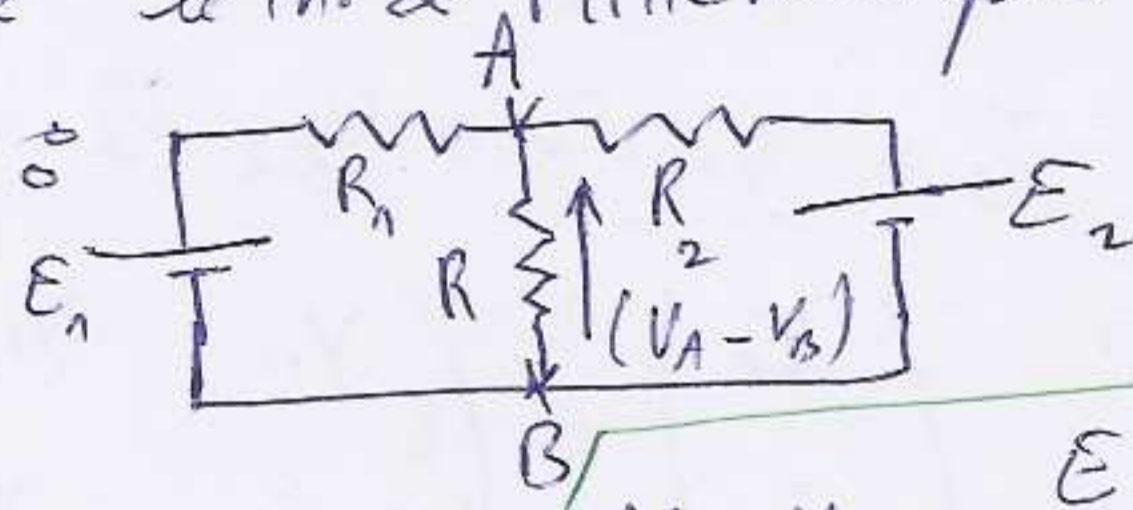
$$(V_A - V_B) = (V_A - V_B)' + (V_A - V_B)''$$

① Théorème de Milléman : Le th. de Milléman s'applique lorsque toutes les branches sont en parallèles.



$$V = \frac{E_1/R_1 - E_2/R_2 + E_3/R_3 + I_1 - I_2}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + 1/R}$$

Exemple : Appliqué le th. de Milléman pour calculer la tension ϕ

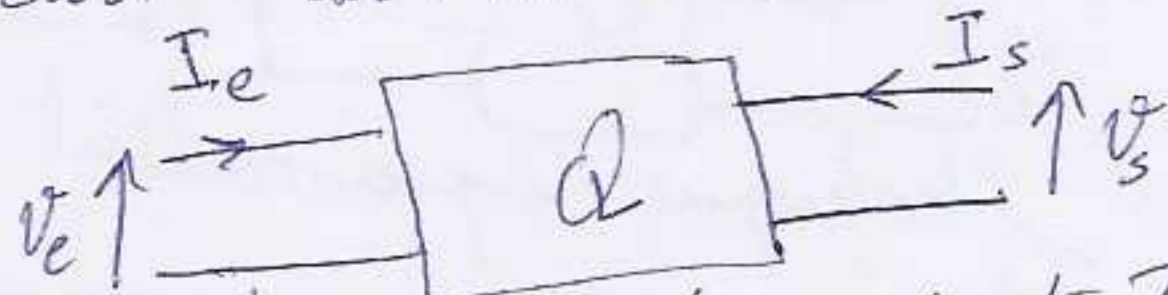


Donc ce th. donne la formule directement :

$$V_A - V_B = \frac{E_1/R_1 + E_2/R_2}{1/R_1 + 1/R + 1/R_2}$$

Ch II : Quadripôles et filtres passifs :

1° Def : un quadripôle est un circuit électrique représenté par une boîte qui est caractérisé par 4 grandeurs deux d'entrée et deux autres de sortie



Les grandeurs d'entrée sont : V_e et I_e
 de sortie " : V_s et I_s

2° Matrice représentative des quadripôles :

Pour les quadripôles ne contenant que des dipôles linéaires

les grandeurs V_e, I_e, V_s et I_s sont liés par des équations linéaires. La connaissance de deux d'entre elles entraîne la détermination des deux autres.

2.a Représentation - Impédance - :

Cette représentation consiste à décrire les tensions d'entrée V_e et de sortie V_s en fonction des courants d'entrée I_e et de sortie I_s .

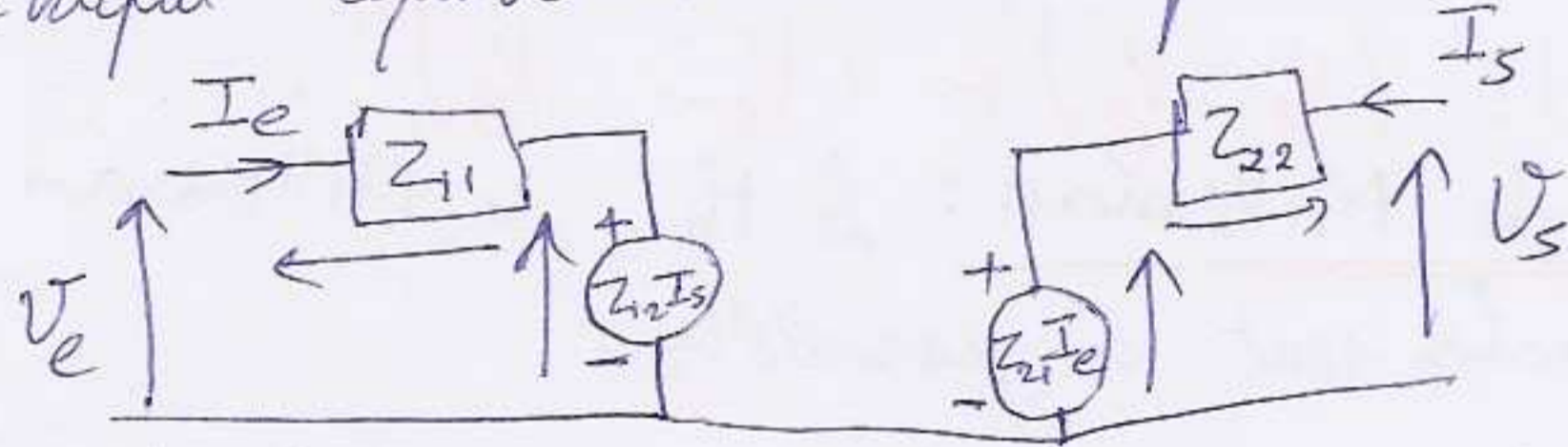
$$\begin{cases} V_e = Z_{11} I_e + Z_{12} I_s \\ V_s = Z_{21} I_e + Z_{22} I_s \end{cases}$$

Sous forme matricielle :

$$\begin{pmatrix} V_e \\ V_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_e \\ I_s \end{pmatrix}$$

$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$ s'appelle matrice d'impédance

Le circuit électrique équivalent à la représentation impédance est donné par :



2.b - Représentation admettance :

Cette représentation consiste à décrire les courants d'entrée I_e et de sortie I_s en fonction des tensions d'entrée V_e et de sortie V_s .

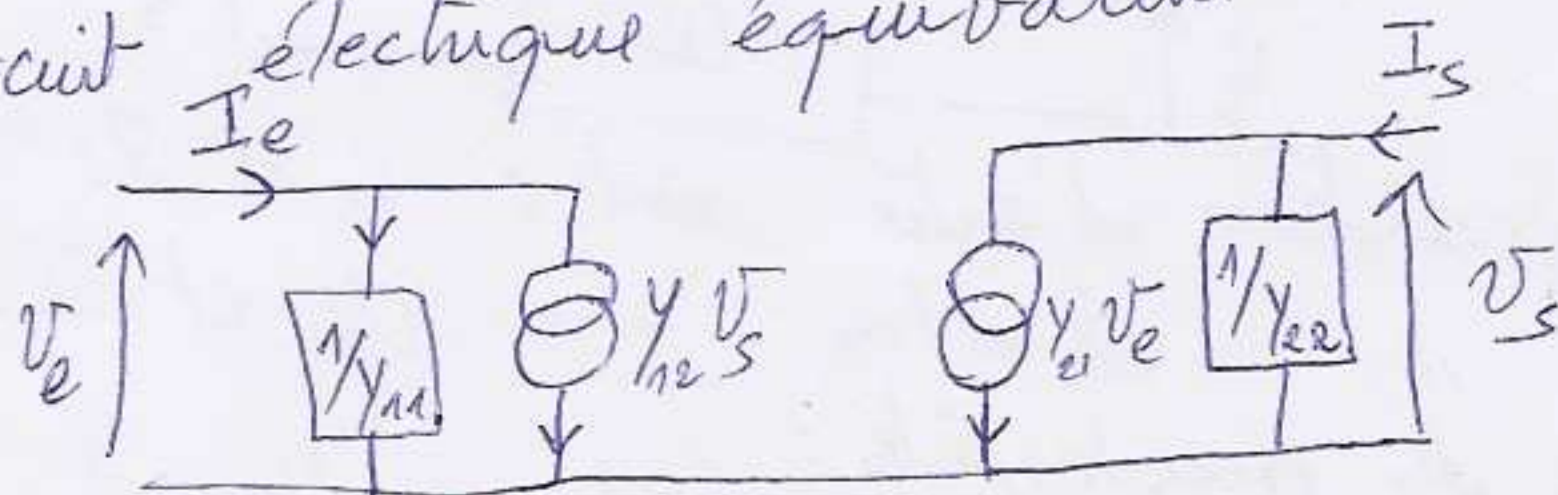
$$\begin{cases} I_e = Y_{11} V_e + Y_{12} V_s \\ I_s = Y_{21} V_e + Y_{22} V_s \end{cases}$$

en fct. matricielle :

$$\begin{pmatrix} I_e \\ I_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_e \\ V_s \end{pmatrix}$$

$Y = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix}$ s'appelle matrice admettance.

Le circuit électrique équivalent à la représentation admettance.



2.c - Représentation hybride :

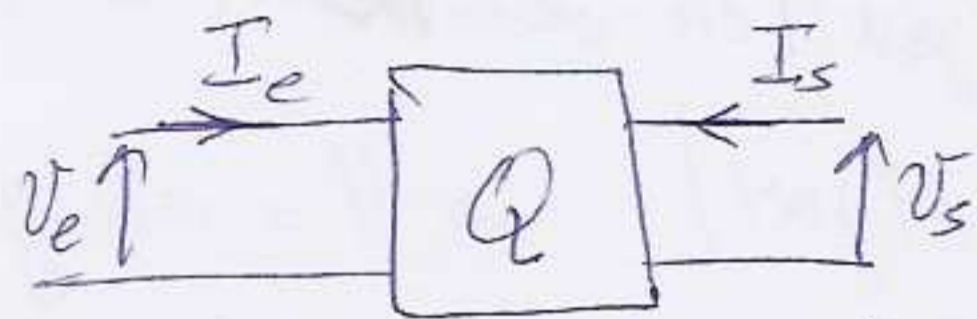
Cette représentation consiste à décrire la tension d'entrée V_e et le courant de sortie I_s en fonction du courant d'entrée I_e et la tension de sortie V_s .

$$\begin{cases} V_e = h_{11} I_e + h_{12} V_s \\ I_s = h_{21} I_e + h_{22} V_s \end{cases}$$

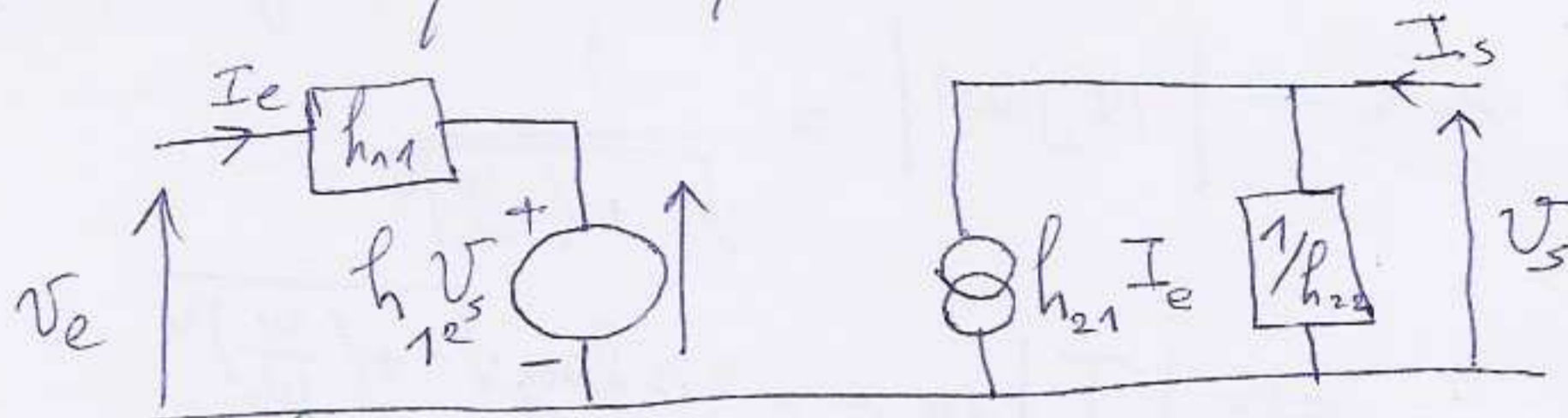
sous forme matricielle :

$$\begin{pmatrix} V_e \\ I_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_e \\ V_s \end{pmatrix}$$

$H = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix}$ s'appelle matrice hybride

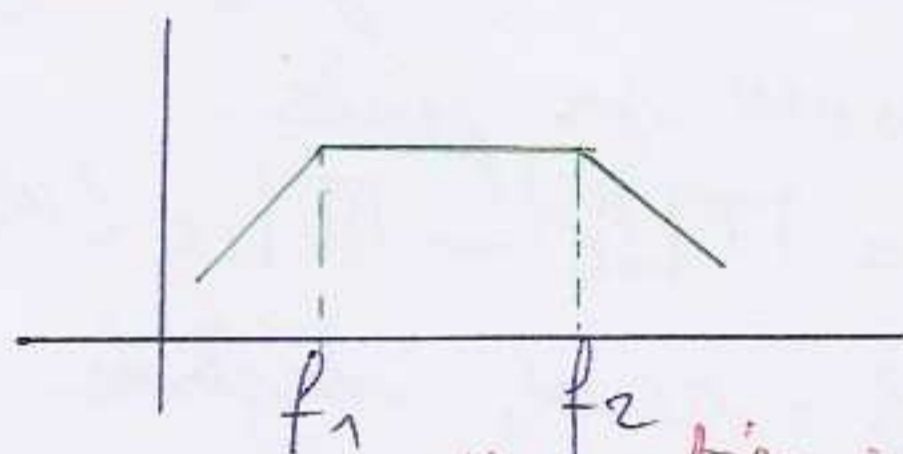


Le circuit électrique équivalent à la représentation hybride :



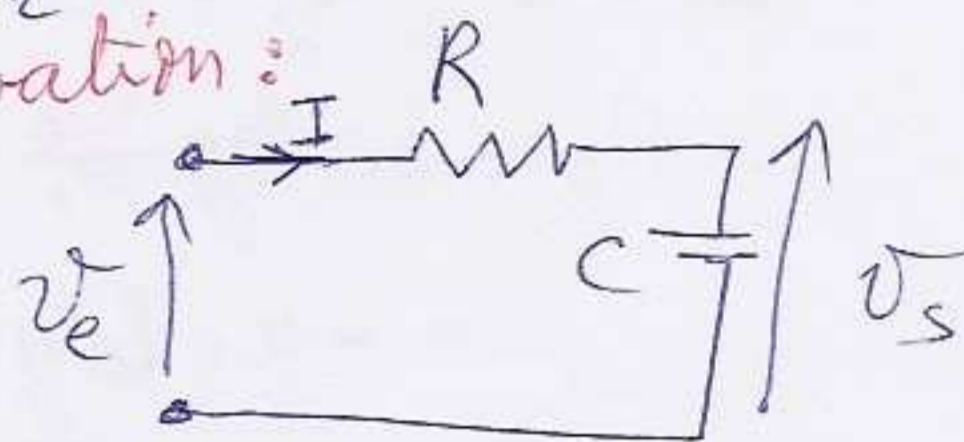
3°) Filtre en réponse harmonique :

un filtre est un quadripôle ayant une fonction de transfert qui dépend de l'impédance. Le filtre laisse passer le signal sur une gamme de fréquence appelée : **bande passante**. En dehors de cette bande le gain chute ~~en dehors de cette bande~~



3-1- Filtre passe bas sans atténuation :

considérons le circuit suivant :



la fonction de transfert :

$$T(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} \quad V_s = Z_c I$$

D'autre part l'équ. de la maille donne : $V_e = RI + Z_c I = I(R + Z_c)$

$$\Rightarrow I = \frac{V_e}{R + Z_c} \Rightarrow V_s = \frac{Z_c}{R + Z_c} V_e$$

$$\Rightarrow T(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} = \frac{Z_c}{R + Z_c} = \frac{1}{1 + R/Z_c} \text{ et } Z_c = \frac{1}{j\omega C}$$

$$\Rightarrow |T(j\omega)| = \frac{1}{1 + R\omega C}$$

On pose : $\omega_0 = 1/RC \Rightarrow T(j\omega) = \frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}}$

Il s'agit de étudier la t.f.t. de transfert et de déterminer les caractéristiques de filtre à savoir :

- * La fréquence de coupure
- * La bande passante B.P.
- * Le gain maximal sur la B.P.

On représente donc la fonction dans le plan de Bode. Cette représentation consiste à étudier :

- * $|T|_{dB} = 20 \log |T(j\omega)|$ en décibels (dB) en fct. de $\log \omega$.
- * La phase $\varphi = \text{Arg}(T(j\omega)) \Rightarrow \varphi = \arctg\left(\frac{\text{Im}(T(j\omega))}{\text{Re}(T(j\omega))}\right)$ en fct. de $\log \omega$. $\omega = 2\pi f$

Dans notre cas : $|T(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_0})^2}}$

$\Rightarrow |T|_{dB} = -20 \log \sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_0})^2}$

* Etude en B.F. :

si $\omega \rightarrow 0 \equiv (\log \omega \rightarrow -\infty) |T|_{dB} = 0 \text{ dB}$ est une asympt. horizontale.

* Etude en H.F. : si $\omega \gg \omega_0 \rightarrow (\frac{\omega}{\omega_0})^2 \gg 1$

$\Rightarrow |T|_{dB} = -20 \log \frac{\omega}{\omega_0}$ asymptote oblique. Pour

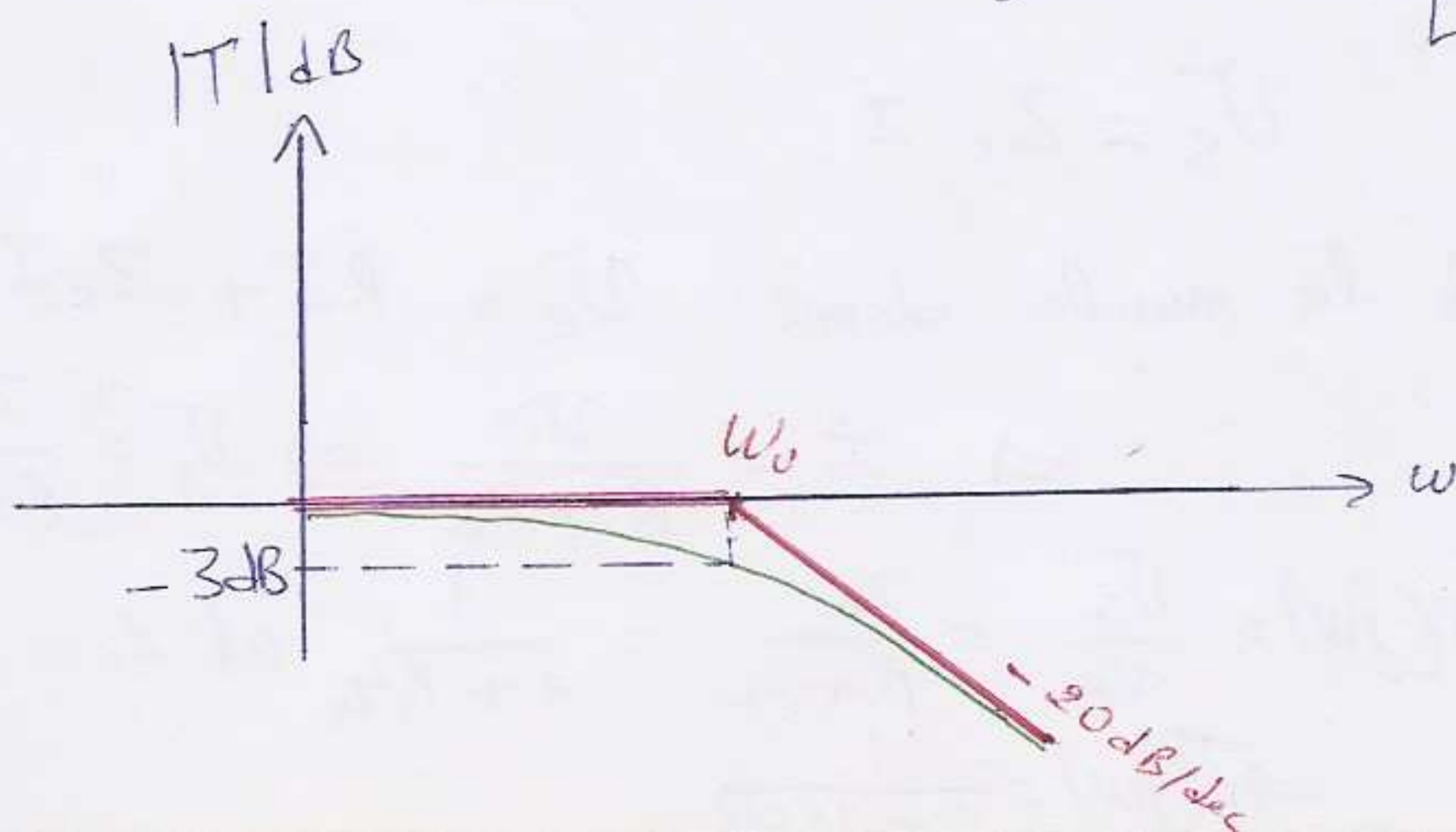
la tracer, il faut déterminer sa pente.

$P = |T|_{dB}(\omega_2) - |T|_{dB}(\omega_1)$

avec : $\omega_2 = 10\omega_1$ décade.

$P = -20 \log \frac{\omega_2}{\omega_0} + 20 \log \frac{\omega_1}{\omega_0} = -20 \left[\log \left(\frac{\omega_2}{\omega_0} \frac{\omega_0}{\omega_1} \right) \right]$

$= -20 \log 10 \Rightarrow \boxed{P = -20 \text{ dB/déc}}$



* Fréquence de coupure est la fréquence qui correspond à une chute de 3dB à partir du gain maximal est etc E.B. (4)

$$|T(j\omega)|_{dB} = -20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = 0 - 3dB = -20 \log \sqrt{2}$$

$$\Rightarrow 1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 = 2 \Rightarrow \boxed{\omega_{c3} = \omega_0 = \frac{1}{RC}}$$

La bande passante est l'intervalle de fréquence sur lequel le gain est maximal et etc.

Dans notre cas : B.P. = $[0, \omega_0]$

* Le gain maximal sur la bande passante :

$$20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 0dB = 20 \log 1 \Rightarrow \boxed{\left| \frac{V_s}{V_e} \right|_{max} = 1}$$

3-2. Etude de la phase :

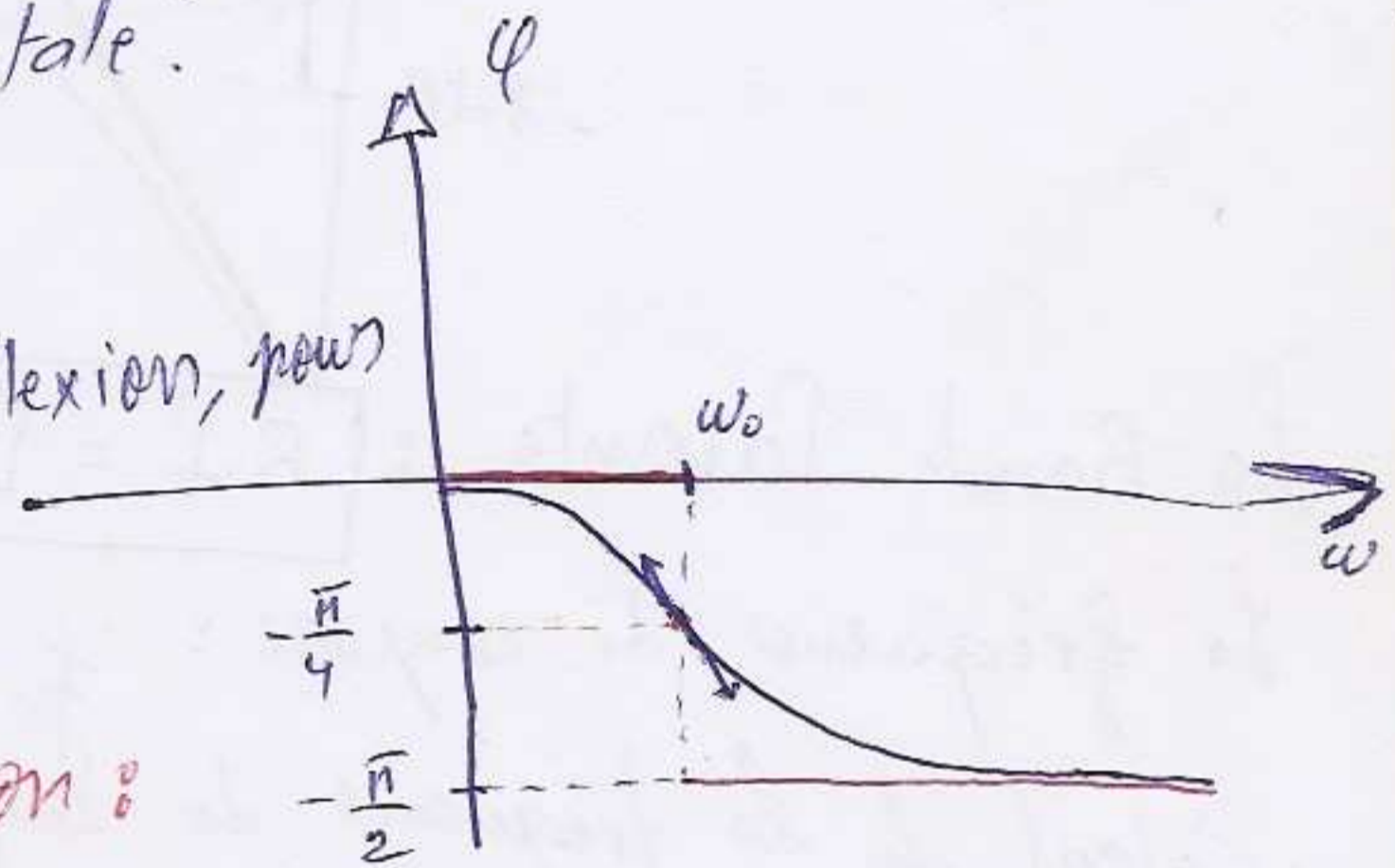
$$\varphi = \text{Arg}(T(j\omega)) = \text{arctg} \frac{\text{Im}T(j\omega)}{\text{Re}T(j\omega)} = \text{Arctg} \left(-\frac{\omega}{\omega_0} \right)$$

* étude en B.F : si $\omega \rightarrow 0 \Rightarrow \log \omega \rightarrow -\infty \Rightarrow \varphi = 0$ est une asymptote horizontale.

* étude en H.F : si $\omega \rightarrow +\infty \Rightarrow (\log \omega \rightarrow +\infty) \Rightarrow \varphi = \text{arctg}(-\infty) = -\frac{\pi}{2}$
 $\Rightarrow \varphi = -\frac{\pi}{2}$ est une asymptote horizontale.

* si $\omega = \omega_0 \Rightarrow \varphi = \text{arctg}(-1) = -\frac{\pi}{4}$

Rmq : Le point $(\omega_0, -\frac{\pi}{4})$ est un point d'inflexion, pour avoir un tracé précis il faut déterminer les équations des semi-tangentes en ce point.



3.3. Filtre pass haut sans atténuation :

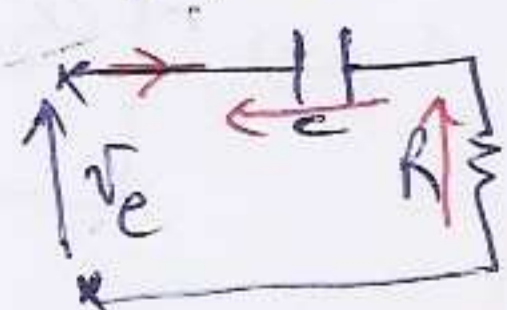
considérons le montage suivant :

La fct de transfert :

$$T(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} ; \text{Déviseur de tension nous donne : } V_s = \frac{R}{R+Z_c} V_e$$

$$\Rightarrow T(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R}{R+Z_c}$$

Démonstration :



La loi de maille : $V_e = (R + Z_c) I$

$$\Rightarrow I = \frac{V_e}{R + Z_c}$$

Remplacement : $V_s = R \cdot \frac{V_e}{R + Z_c} \Rightarrow \boxed{T(j\omega) = \frac{R}{R + Z_c}}$

$$T(j\omega) = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{jRC\omega}{1 + jRC\omega}$$

on pose : $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

$$\Rightarrow T(j\omega) = \frac{j\omega/\omega_0}{1 + j\omega/\omega_0}$$

$$|T(j\omega)|_{dB} = 20 \log \frac{\omega/\omega_0}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}} = 20 \log \frac{\omega}{\omega_0} - 20 \log \sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}$$

T_2 est déjà étudiée lors de l'étude du filtre passe bas sans atténuation, il suffit donc d'étudier T_1 .

$$T_1 = 20 \log \frac{\omega}{\omega_0} = 20 \log \omega - 20 \log \omega_0$$

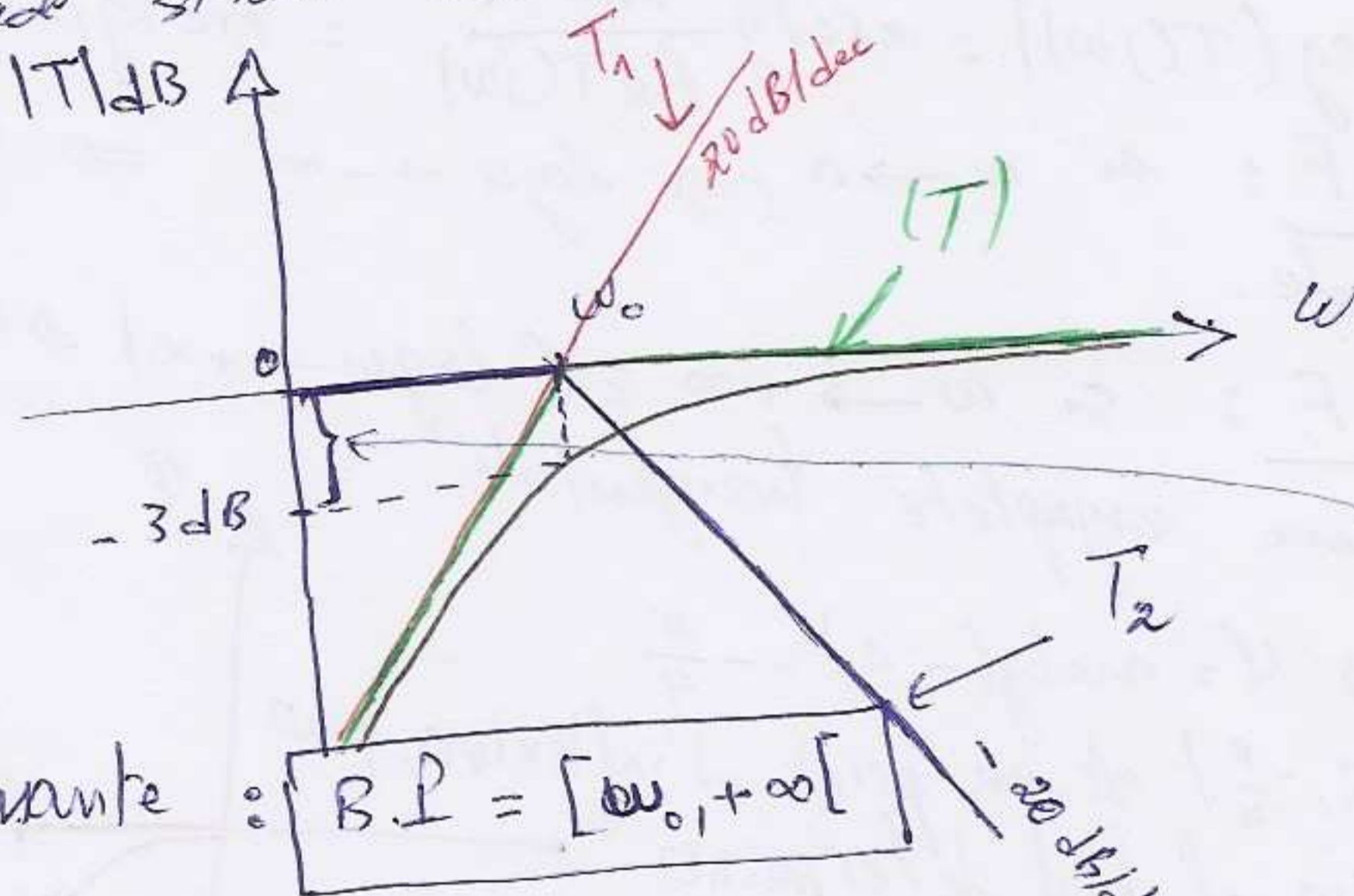
C'est l'équation d'une droite, pour la tracer il faut déterminer sa pente.

$$P = T_1(\omega_2) - T_1(\omega_1)$$

avec $\omega_2 = 10\omega_1$ une décade.

$$P = 20 \log \frac{\omega_2}{\omega_0} - 20 \log \frac{\omega_1}{\omega_0} = 20 \log \frac{\omega_2}{\omega_1} = 20 \text{ dB/dec}$$

△ Une décade est une variation de 10 par.



La Bande Passante : $B.P. = [\omega_0, +\infty[$

La fréquence de coupure : $f_{CH} = \frac{\omega_{CH}}{2\pi} = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow f_{CH} = \frac{1}{2\pi RC}$

* Calcul de la fréquence de coupure haute :

$$20 \log \frac{\omega_{CH}}{\omega_0} - 20 \log \sqrt{1 + (\frac{\omega_{CH}}{\omega_0})^2} = 0 - 3 \text{ dB} = -20 \log \sqrt{2}$$

$$\Rightarrow 20 \log \sqrt{\frac{(\omega_{CH}/\omega_0)^2}{1 + (\frac{\omega_{CH}}{\omega_0})^2}} = 20 \log \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$\Rightarrow \frac{\omega_{CH}^2/\omega_0^2}{1 + \omega_{CH}^2/\omega_0^2} = \frac{1}{2} \Rightarrow 2 \left(\frac{\omega_{CH}}{\omega_0}\right)^2 = 1 + \left(\frac{\omega_{CH}}{\omega_0}\right)^2$$

$$\left(\frac{\omega_{CH}}{\omega_0}\right)^2 = 1 \Rightarrow \omega_{CH} = \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$\Rightarrow f_{CH} = \frac{1}{2\pi RC}$$

* Le gain maximal sur la bande passante :

$$20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 20 \log 1 \Rightarrow \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 1$$

3.4 - Étude de phase:

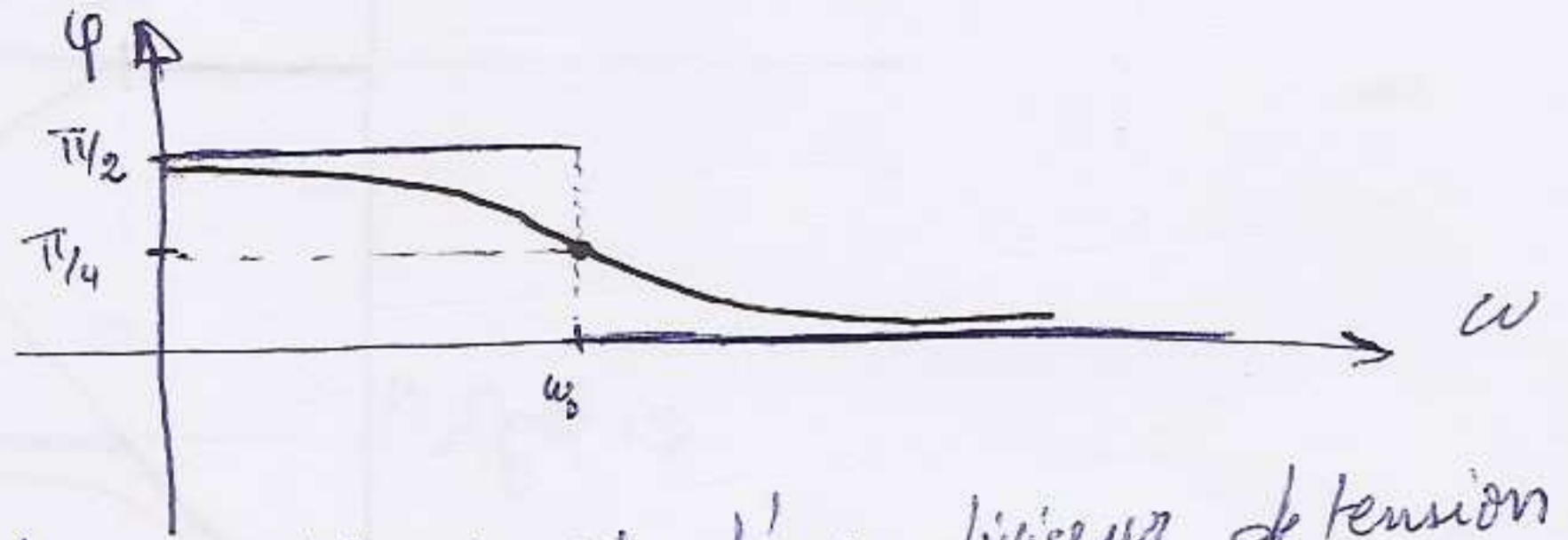
$$\varphi = \text{arctg}(T(j\omega)) = \text{arctg}\left(\frac{\text{Im}(T(j\omega))}{\text{Re}(T(j\omega))}\right) \quad \text{On a: } T(j\omega) = \frac{j\omega/\omega_0}{1+j\omega/\omega_0} \cdot \frac{1-j\omega/\omega_0}{1-j\omega/\omega_0} = \frac{j\omega/\omega_0 + (\omega/\omega_0)^2}{1 + (\omega/\omega_0)^2}$$

$$\Rightarrow \varphi = \text{arctg}\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right) = \frac{\pi}{2} - \text{arctg}\frac{\omega}{\omega_0}$$

* Étude en B.F.: $\omega \rightarrow 0 \Rightarrow (\log \omega \rightarrow -\infty) \Rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2}$ est une asymptote horizontale.

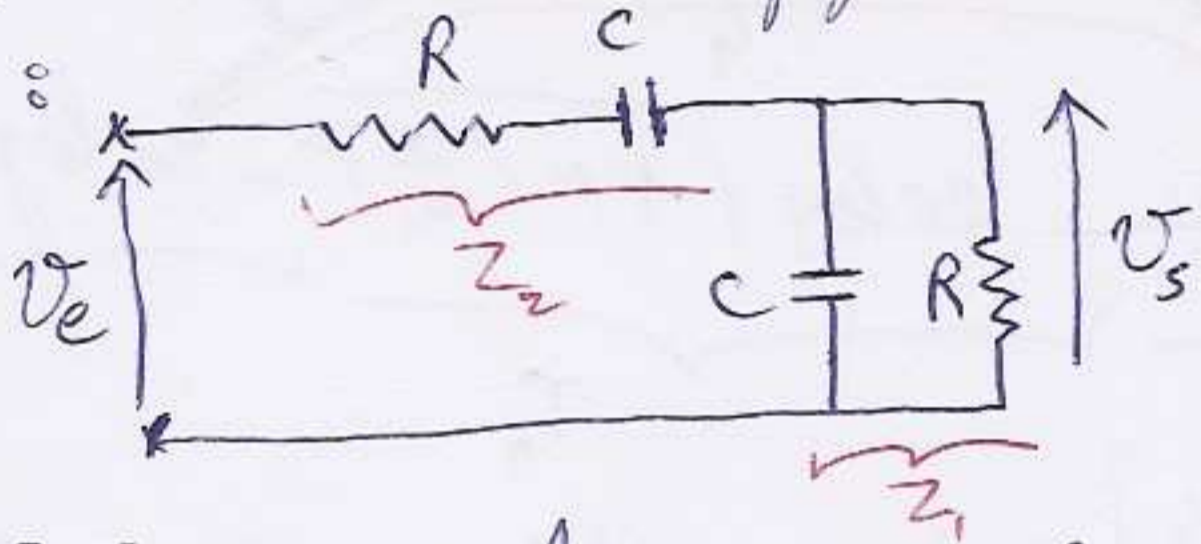
* Étude en H.F.: si $\omega \rightarrow +\infty \Rightarrow (\log \omega \rightarrow +\infty) \Rightarrow \varphi = 0$ est une asymptote horizontale.

* si $\omega = \omega_0 \rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{4}$



3.5 - Étude d'un filtre passe bande

considérons le circuit de la figure suivante:



Il s'agit d'un diviseur de tension

$$V_s = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} V_e \Rightarrow T(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$Z_1 = \frac{R Z_c}{R + Z_c} = \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R}{1 + jRC\omega} ; \quad Z_2 = R + \frac{1}{j\omega C}$$

$$\Rightarrow T(j\omega) = \frac{R / (1 + jRC\omega)}{R + \frac{1}{j\omega C} + R / (1 + jRC\omega)} = \frac{\frac{jRC\omega}{j\omega C(1 + jRC\omega)}}{R(j\omega C)(1 + jRC\omega) + 1 + jRC\omega + jRC\omega} = \frac{jRC\omega}{j\omega C(1 + jRC\omega)}$$

$$= \frac{jRC\omega}{jRC\omega^2 + (jRC\omega)^2 + 1 + jRC\omega + jRC\omega} = \frac{jRC\omega}{(jRC\omega)^2 + 3(jRC\omega) + 1}$$

On pose $\omega_0 = \frac{1}{RC} \Rightarrow T(j\omega) = \frac{j\frac{\omega}{\omega_0}}{\left(j\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 3j\frac{\omega}{\omega_0} + 1}$

On pose: $x = j\frac{\omega}{\omega_0}$ On a dénominateur: $D = x^2 + 3x + 1$

$\Rightarrow \Delta = 9 - 4 = 5 > 0 \Rightarrow 2$ racines réelles distinctes

$$x_1 = \frac{-3 - \sqrt{5}}{2}, \quad x_2 = \frac{-3 + \sqrt{5}}{2}$$

$$\Rightarrow D = (x - x_1)(x - x_2) = \left(x + \frac{3 + \sqrt{5}}{2}\right) \left(x + \frac{3 - \sqrt{5}}{2}\right)$$

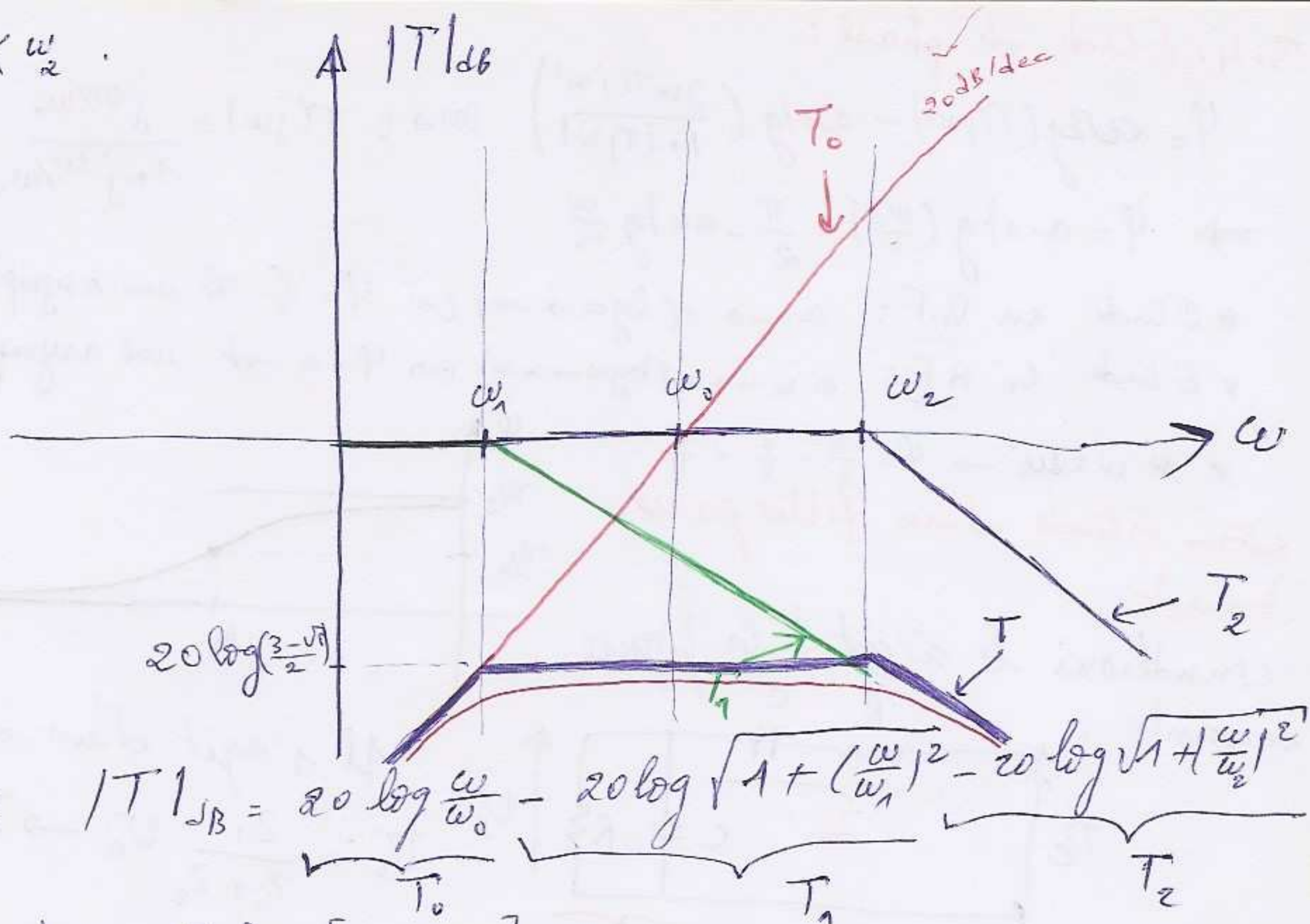
$$= \frac{3 + \sqrt{5}}{2} \left(1 + j\frac{\omega/\omega_0}{\frac{3 + \sqrt{5}}{2}}\right) \left(1 + j\frac{\omega/\omega_0}{\frac{3 - \sqrt{5}}{2}}\right) \frac{3 - \sqrt{5}}{2}$$

$$= \left(1 + j\frac{\omega}{\frac{\omega_0(3 + \sqrt{5})}{2}}\right) \left(1 + j\frac{\omega}{\frac{\omega_0(3 - \sqrt{5})}{2}}\right)$$

On pose: $\omega_1 = \frac{3 - \sqrt{5}}{2} \omega_0$ et $\omega_2 = \frac{3 + \sqrt{5}}{2} \omega_0 \Rightarrow D = \left(1 + j\frac{\omega}{\omega_2}\right) \left(1 + j\frac{\omega}{\omega_1}\right)$

$$\Rightarrow T(j\omega) = \frac{j\omega/\omega_0}{\left(1 + j\frac{\omega}{\omega_1}\right) \left(1 + j\frac{\omega}{\omega_2}\right)}$$

On a : $\omega_1 < \omega_0 < \omega_2$



On a déjà : $|T|_{dB} = \underbrace{20 \log \frac{\omega}{\omega_0}}_{T_0} - \underbrace{20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2}}_{T_1} - \underbrace{20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2}}_{T_2}$

* La bande passante : B.P. = $[\omega_1, \omega_2]$

* La fréquence de coupure basse est : $f_{CB} = \frac{\omega_{CB}}{2\pi} = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{3-\sqrt{7}}{4\pi RC}$

* La fréquence de coupure haute est : $f_{CH} = \frac{\omega_{CH}}{2\pi} = \frac{3+\sqrt{7}}{4\pi RC}$

* Sur la bande passante : $\omega \ll \omega_2$ et $\omega \gg \omega_1$:

$\Rightarrow |T|_{dB} = 20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 20 \log \frac{\omega}{\omega_0} - \underbrace{20 \log \frac{\omega}{\omega_1}}_{\omega \gg \omega_1} + \underbrace{0}_{\omega \ll \omega_2}$

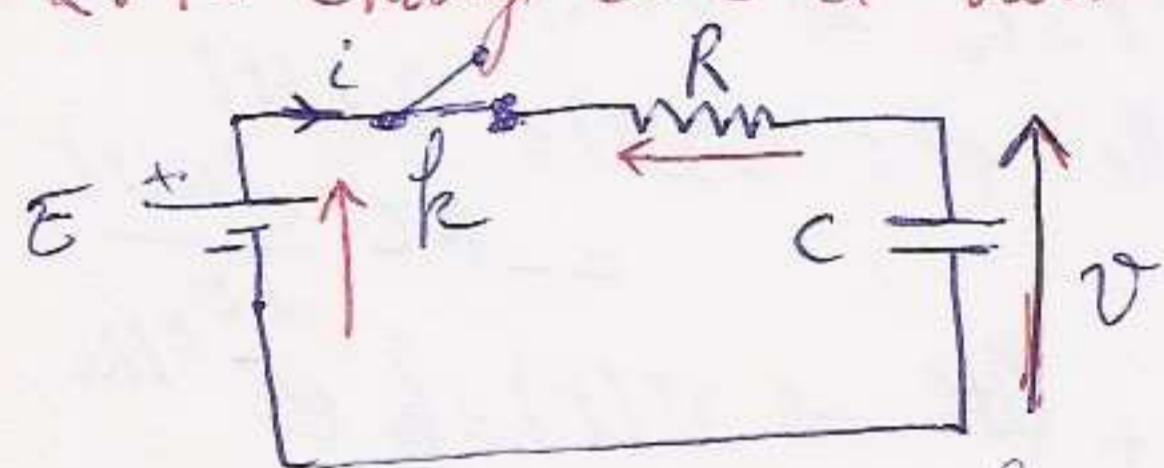
le tracé
 $20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 20 \log \frac{\omega_1}{\omega_0} = 20 \log \left(\frac{3-\sqrt{7}}{2} \right)$

$\Rightarrow \boxed{\left| \frac{V_s}{V_e} \right| = \frac{3-\sqrt{7}}{2}}$

1° Introduction: Ce chapitre sera consacré à l'étude du régime variable ds lequel le courant et la tension seront en fct du temps. On s'intéressera plus particulièrement au régime transitoire (= régime aperiodique). On va étudier les circuits RC, RL, LC et RLC on déterminera à chaque fois les équations différentielle régissant ces montages, et on donnera leurs solutions.

2° Etude du circuit RC:

2.1- Charge de C à travers R: Soit le circuit:



* Conditions initiales: on suppose que à t=0, C est déchargé. $v(0) = 0$.

à t=0+, on ferme k, il ya donc un courant qui circule dans la maille.

Il s'agit de la charge de C $\Rightarrow i(t) = +C \cdot \frac{dv}{dt}$

si C se décharge $\Rightarrow i(t) = -C \cdot \frac{dv}{dt}$

L'équation de la maille: $E = Ri(t) + v(t) = RC \cdot \frac{dv(t)}{dt} + v(t)$

$\Rightarrow E = RC \cdot \frac{dv(t)}{dt} + v(t)$

C'est une equ. diff. de 1^{er} ordre dont la solution générale est la solution sans second membre + une solution particulière.

L'equ. S.S.M est donnée par: $RC \frac{dv(t)}{dt} + v(t) = 0 \Rightarrow \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{RC} v(t)$

$\Rightarrow \int \frac{dv(t)}{v(t)} = -\int \frac{dt}{RC} \Rightarrow \log v = -\frac{t}{RC} + cte$

$\Rightarrow v(t) = e^{(\frac{-t}{RC} + cte)} = e^{cte} \cdot e^{-t/RC} = K e^{-t/RC} \Rightarrow v(t) = K e^{-t/RC}$

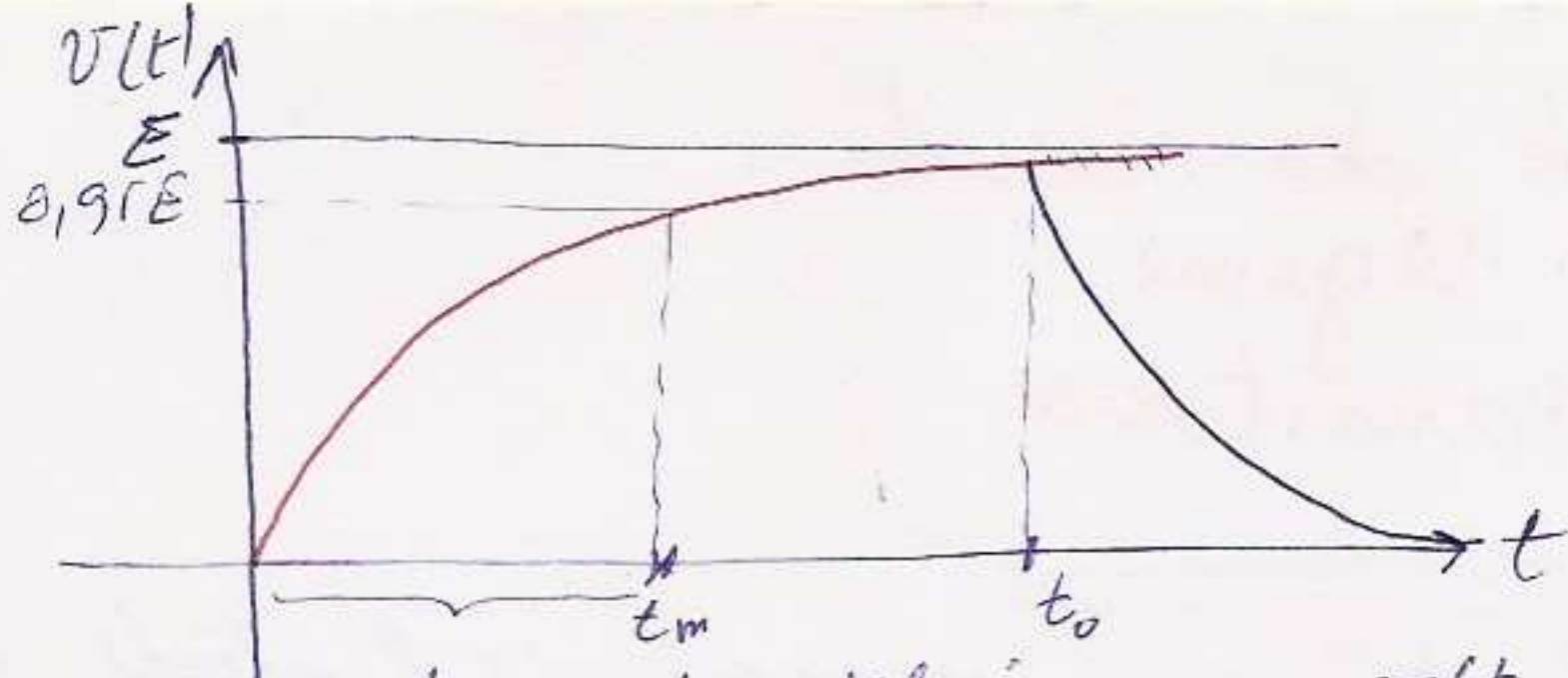
* La solution particulière: $v(t) = E$ est une solution particulière.

\Rightarrow La solu. gén. est donnée par: $v(t) = K e^{-t/RC} + E$

* Cherchons la cte K: $v(0) = K + E = 0 \Rightarrow K = -E$

C.I.: $v(0) = 0 \Rightarrow v(t) = -E e^{-t/RC} + E = E(1 - e^{-t/RC})$

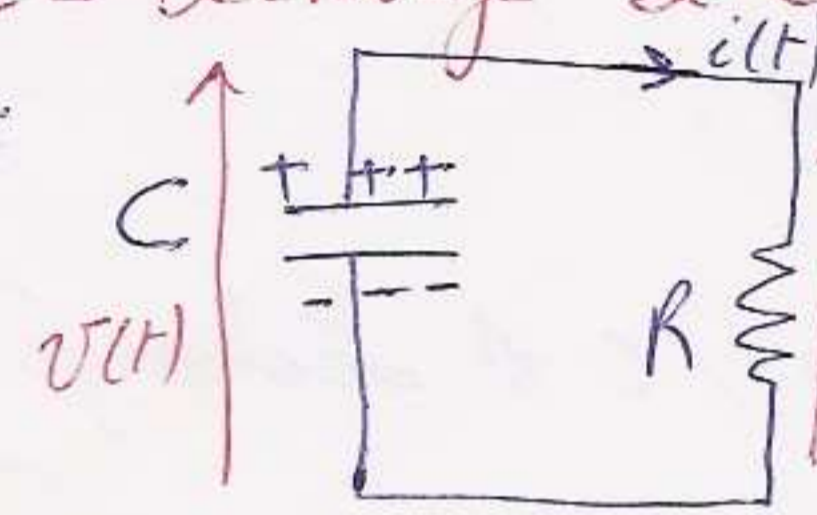
* Le Tracé: $\lim_{t \rightarrow +\infty} v(t) = E$ donc $v(t) = E$ est une asymptote horizontale



* Le temps de montée t_m est définie par: $v(t_m) = 0,95E$
 $v(t_m) = 0,95E \Leftrightarrow E(1 - e^{-t_m/RC}) = 0,95E \Leftrightarrow 1 - e^{-t_m/RC} = 0,95E$
 $\Leftrightarrow \log(0,05) = \log(e^{-t_m/RC}) \Rightarrow -\frac{t_m}{RC} = \log(0,05)$

$$\Rightarrow t_m = -RC \log(0,05)$$

2.2 - Décharge de C dans R: Le circuit de décharge de C est donnée par: on suppose qu'à $t = t_0$, C est chargé à E et que la décharge commence à $t = t_0 \Rightarrow v(t_0) = E$



L'équation de la maille est: $v(t) = R \cdot i(t)$
 $= -RC \cdot \frac{dv(t)}{dt}$

$$\Rightarrow \int \frac{dv}{v} = -\int \frac{dt}{RC} \Leftrightarrow \log v = -\frac{t}{RC} + \text{cte} \Rightarrow v(t) = k e^{-t/RC}$$

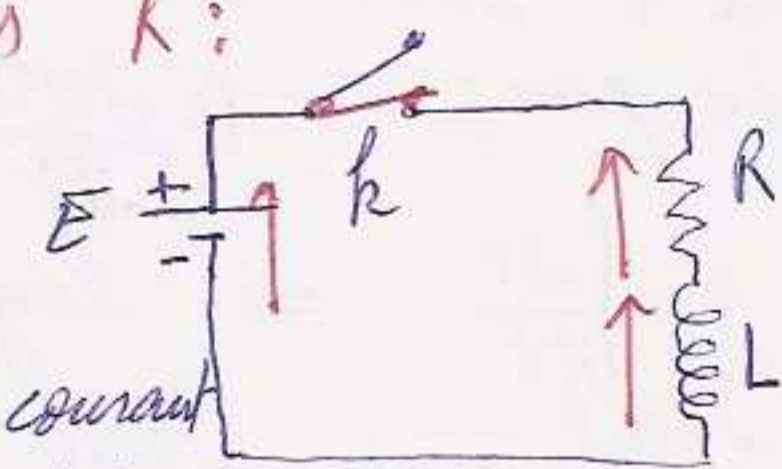
$$\Rightarrow v(t_0) = k e^{-t_0/RC} = E \Rightarrow k = E e^{t_0/RC}$$

$$\Rightarrow v(t) = E e^{-(t-t_0)/RC}$$

3 - Etude du circuit RL: (= Etablissement du courant dans une bobine)
 Il s'agit de donner les expressions de l'établissement et la disparition du courant dans une bobine.

3.1 - Charge de L à travers R:

Soit le circuit suivant:



Conditions initiales:

On suppose que à $t = 0$, aucun courant ne circule dans la maille $\Rightarrow i(0) = 0$

Lorsqu'on ferme k, le courant circule dans la maille selon l'équation:

$$E = R i + L \cdot \frac{di}{dt}$$

3.1 - Charge de L à travers R :

E.B. (+)

$$E = Ri + L \frac{di}{dt}$$

L'équation sans second membre : $Ri + L \frac{di}{dt} = 0$

$$\Rightarrow L \frac{di}{dt} = -Ri \quad (\Rightarrow) \int \frac{di}{i} = -\frac{R}{L} \int dt$$

$$\Rightarrow \log i = -\frac{R}{L}t + cte$$

$$\Rightarrow i_p(t) = k e^{-\frac{R}{L}t}$$

$i_p(t) = \frac{E}{R}$ est une solution particulière.

Donc la solution générale est : $i(t) = i_p(t) + i_p(t)$

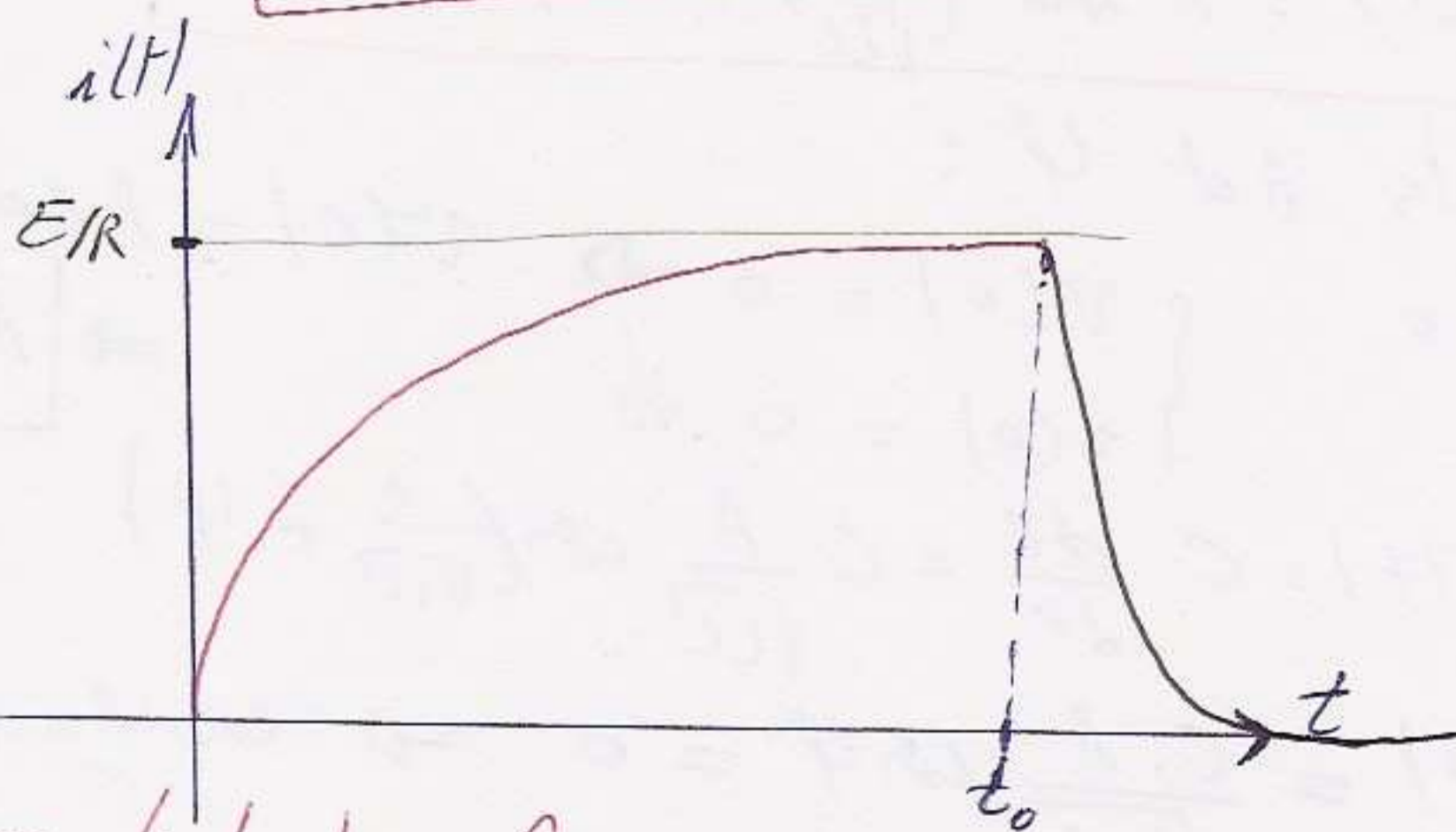
$$\Rightarrow i(t) = k e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{E}{R}$$

On détermine k à partir des conditions initiales.

On suppose qu'à l'instant $t=0$ aucun courant ne ~~pass~~ circule dans la maille $\Rightarrow i(0) = 0 \quad (\Rightarrow) \quad k + \frac{E}{R} = 0$

$$\Rightarrow k = -\frac{E}{R}$$

$$\Rightarrow i(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$



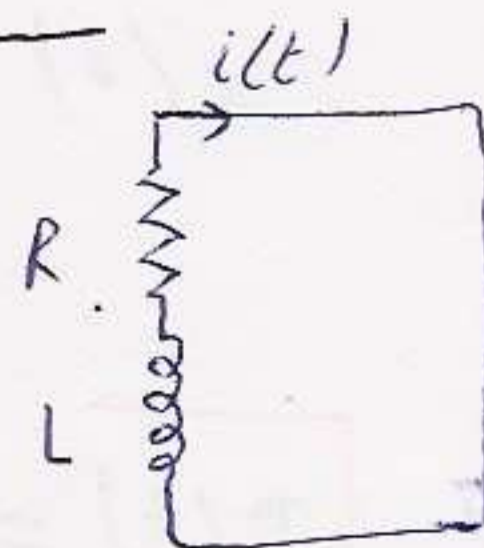
3.2 - Décharge de L dans R :

On suppose qu'à $t=t_0$ / $i(t_0) = \frac{E}{R}$

$$Ri + L \frac{di}{dt} = 0 \quad (\Rightarrow) \int \frac{di}{i} = -\int \frac{R}{L} dt$$

$$\Rightarrow i(t) = k e^{-\frac{R}{L}t}$$

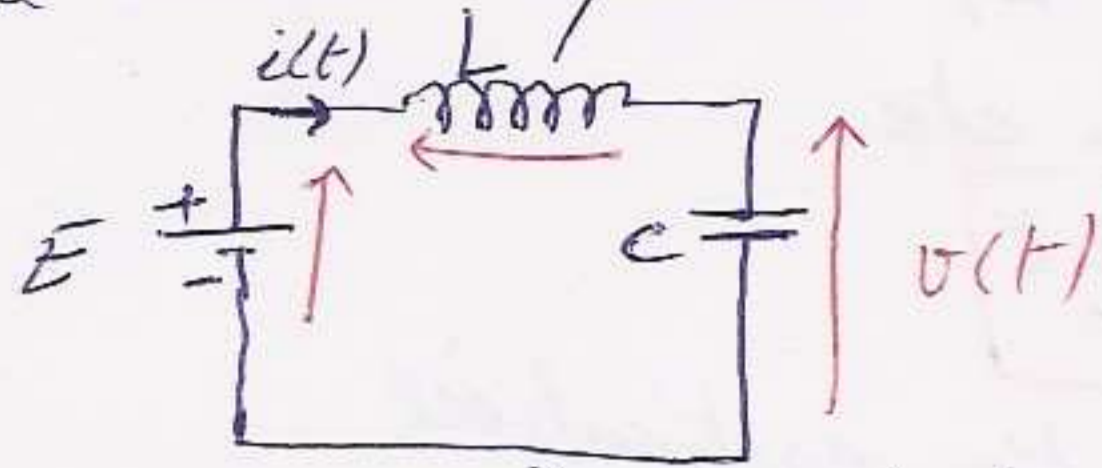
* on cherche k : $i(t_0) = k e^{-\frac{R}{L}t_0} = \frac{E}{R}$



$$\Rightarrow i_k = \frac{E}{R} e^{R/L t_0}$$

$$\Rightarrow i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}(t-t_0)}$$

4- Etude du circuit LC :
 Le circuit représente la charge de L à travers la bobine L et la condensateur C .



$$E = L \cdot \frac{di}{dt} + v$$

Puise qu'il s'agit d'une charge

de $C \Rightarrow i(t) = + C \cdot \frac{dv}{dt} \Rightarrow E = LC \frac{d^2 v}{dt^2} + v$
 C'est une equation diff. de 2^{ème} ordre, dont la solution générale est la solution d'E.S.S.M. + solution particulière.

L'equ. S.S.M. : $LC \frac{d^2 v}{dt^2} + v = 0 \Rightarrow \frac{d^2 v}{dt^2} + \frac{v}{LC} = 0$

Le polynôme caractéristique associé à l'equ. diff. est : $r^2 + \frac{1}{LC} = 0$

$$\Rightarrow r^2 = -\frac{1}{LC} \Rightarrow r = \pm j \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\Rightarrow v(t) = \left[A' \cos\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) + B' \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) \right] e^{0t}$$

$$v(t) = A \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}} + \varphi\right)$$

La solution part. est donnée par : $v(t) = E$

$$\Rightarrow v(t) = A \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}} + \varphi\right) + E$$

Cherchons les cts A et φ :

C.I. : à $t=0$ $\begin{cases} v(0) = 0 \\ i(0) = 0 \end{cases} \Rightarrow v(0) = A \sin \varphi + E = 0 \Rightarrow A = -\frac{E}{\sin \varphi}$

on a : $i(t) = C \cdot \frac{dv}{dt} = C \frac{A}{\sqrt{LC}} \cos\left(\frac{t}{\sqrt{LC}} + \varphi\right)$

$$i(0) = \frac{C \cdot A}{\sqrt{LC}} \cos \varphi = 0 \Rightarrow \cos \varphi = 0 \Rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2}$$

donc $A = -E$

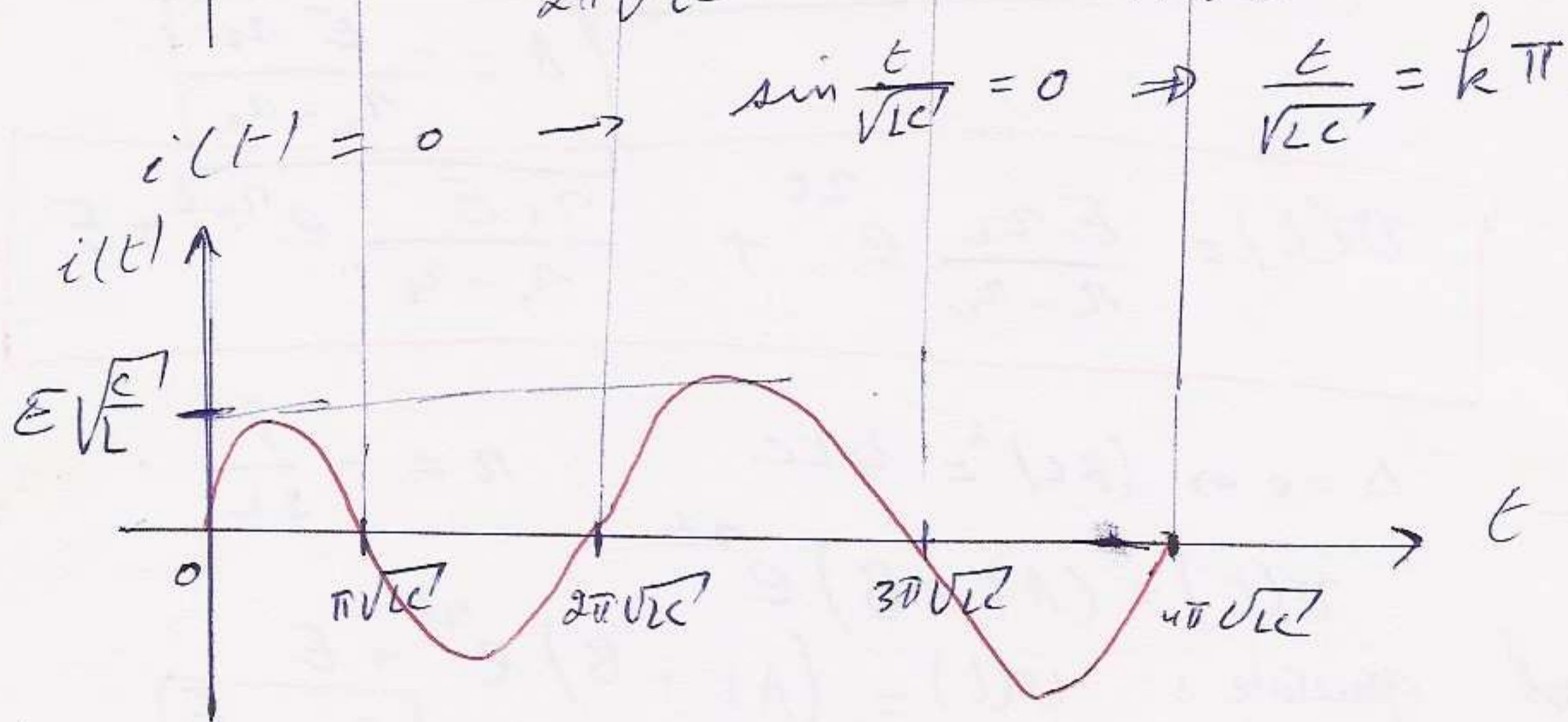
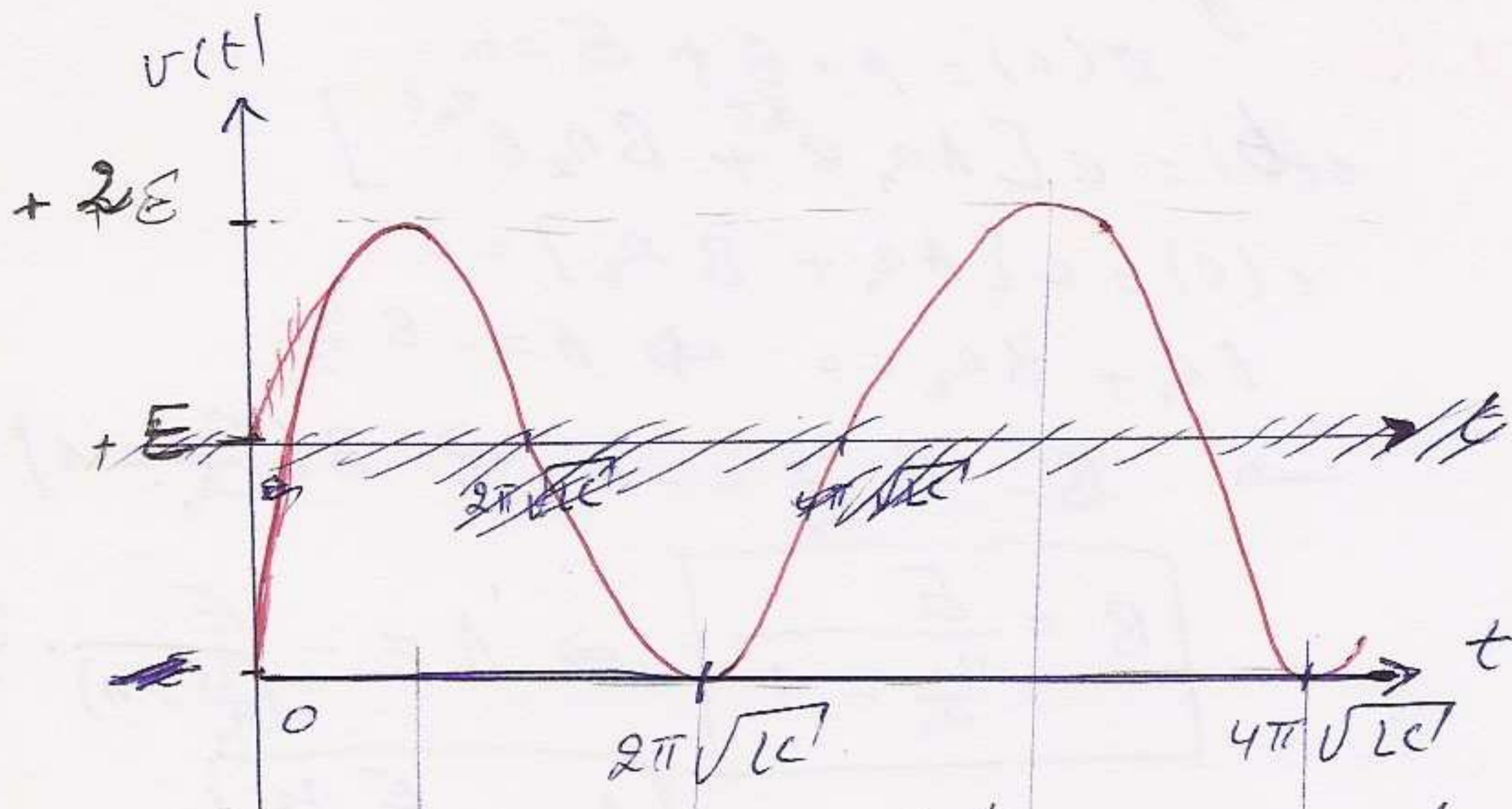
$$\Rightarrow v(t) = E \left[1 - \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}} + \frac{\pi}{2}\right) \right] = E \left(1 - \cos\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right) \right)$$

$$i(t) = E \sqrt{\frac{C}{L}} \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right)$$

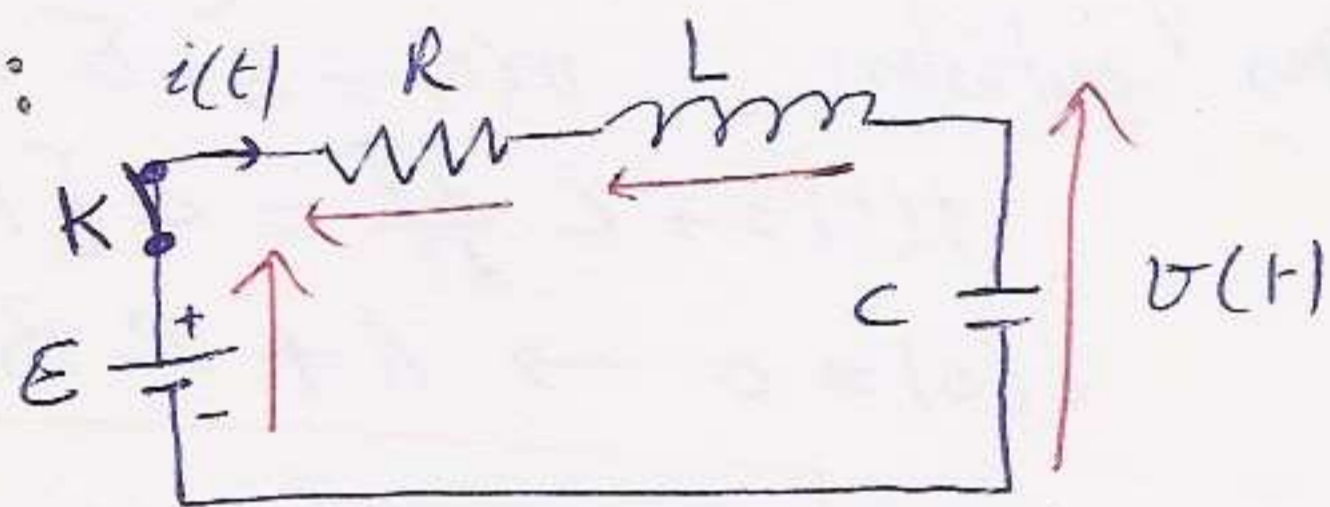
$$v(t) = 0 \rightarrow \cos \frac{t}{\sqrt{LC}} = 1 \Rightarrow \frac{t}{\sqrt{LC}} = 2k\pi$$

$$\Rightarrow t = 2\pi\sqrt{LC} k$$

- E. B. (8)



5. Etude du circuit RLC :
 Considérons le circuit :
 L'équ. de la maille :



$$E = R i(t) + L \frac{di(t)}{dt} + v(t)$$

on suppose que C est déchargé $\Rightarrow \begin{cases} v(0) = 0 \\ i(0) = 0 \end{cases}$ (K = 0 ouvert)

A la mise sous tension C se charge.

$$\Rightarrow i(t) = + C \frac{dv(t)}{dt} \quad (\text{K est fermé})$$

$$\Rightarrow \text{L'équ. de la maille devient: } E = RC \frac{dv}{dt} + LC \frac{d^2v}{dt^2} + v$$

$$\text{L'équ. S.S.M. est donnée par: } LC \frac{d^2v}{dt^2} + RC \frac{dv}{dt} + v = 0$$

$$\text{Le polynôme caractéristique associé est: } LC x^2 + RC x + 1 = 0$$

$$\Delta = (RC)^2 - 4LC$$

3 Cas sont possibles :

* 1^{er} Cas : $\Delta > 0 \Rightarrow (RC)^2 > 4LC$: Deux racines réelles distinctes :

$$r_{1,2} = \frac{-RC \pm \sqrt{(RC)^2 - 4LC}}{2LC}$$

$$\Rightarrow v(t) = A e^{r_1 t} + B e^{r_2 t}$$

$v(t) = E$ est une solution particulière

$$\Rightarrow \text{La solution générale : } v(t) = A e^{r_1 t} + B e^{r_2 t} + E$$

* Conditions initiales:

$$v(0) = A + B + E = 0$$

$$i(0) = c [A r_1 e^{r_1 t} + B r_2 e^{r_2 t}]$$

$$i(0) = c [A r_1 + B r_2] = 0$$

$$A r_1 + B r_2 = 0 \Rightarrow A = -B \frac{r_2}{r_1}$$

$$\rightarrow B - B \frac{r_2}{r_1} = -E \Rightarrow B \left(\frac{r_2}{r_1} - 1 \right) = E$$

$$\boxed{B = \frac{E}{\frac{r_2}{r_1} - 1}}$$

$$\Rightarrow A = -\frac{E}{\left(\frac{r_2}{r_1} - 1\right)} \cdot \frac{r_2}{r_1}$$

$$\boxed{A = -\frac{E r_2}{r_2 - r_1}}$$

$$\boxed{v(t) = \frac{E r_2}{r_1 - r_2} e^{r_1 t} + \frac{r_1 E}{r_1 - r_2} e^{r_2 t} + E}$$

2^{ème} Cas :

$$\Delta = 0 \Rightarrow (RC)^2 = 4LC \quad ; \quad r = -\frac{R}{2L}$$

$$v(t) = (At + B) e^{rt}$$

La sol. générale : $v(t) = (At + B) e^{rt} + E$

Conditions initiales : $v(0) = B + E = 0 \Rightarrow \boxed{B = -E}$

$$i(t) = + c \cdot \frac{dv}{dt} = c [A e^{rt} + r(At + B) e^{rt}]$$

$$i(0) = 0 \rightarrow A + rB = 0 \Rightarrow \boxed{A = -B r}$$

$$\Rightarrow \boxed{v(t) = (E r t - E) e^{rt} + E}$$

3^{ème} Cas :

$$\Delta < 0 \rightarrow (RC)^2 < 4LC$$

$$\text{Deux racines complexes : } r_1 = \frac{-RC - j\sqrt{-\Delta}}{2LC} \quad ; \quad r_2 = \frac{-RC + j\sqrt{-\Delta}}{2LC}$$

$$= \lambda - j\omega$$

$$= \lambda + j\omega$$

$$v(t) = (A \cos \omega t + B \sin \omega t) e^{\lambda t}$$

$v(t) = E$ est une solution particulière.

$$v(t) = (A \cos \omega t + B \sin \omega t) e^{\lambda t} + E$$

$$= A' \sin(\omega t + \varphi) e^{\lambda t} + E$$

* Conditions initiales : $v(0) = A' \sin \varphi + E = 0 \Rightarrow \boxed{A' = -\frac{E}{\sin \varphi}}$

$$i(t) = c \cdot \frac{dv}{dt} = c A' [\omega \cos(\omega t + \varphi) e^{\lambda t} + \sin(\omega t + \varphi) \lambda e^{\lambda t}]$$

$$z'(0) = cA' [\omega \cos \varphi + d \sin \varphi] = 0$$

$$\Rightarrow \omega \cos \varphi + d \sin \varphi = 0 \Rightarrow \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = -\frac{\omega}{d}$$

$$\Rightarrow \text{tg } \varphi = -\frac{\omega}{d} \rightarrow \boxed{\varphi = \text{Arctg}(-\frac{\omega}{d})}$$

$$\Rightarrow A' = -\frac{E}{\sin(\text{Arctg}(-\frac{\omega}{d}))}$$

$$\Rightarrow v(t) = \frac{-E}{\sin(\text{Arctg}(-\frac{\omega}{d}))} \sin(\omega t + \text{Arctg}(-\frac{\omega}{d})) e^{\lambda t} + E$$

Ch 4 :

Introduction aux semi-conducteurs

1- Introduction:

La matière peut se présenter sous plusieurs formes: gaz, liquide ou solide, il est donc formé de molécules constituées d'un ou plusieurs atomes. L'atome est formé d'un noyau chargé + ~~autour~~ autour duquel gravitent les e⁻.

Exemple: H



2° Répartition des e⁻ sur les différentes couches: La " " " " les couches est basé sur les 2 principes suivants:

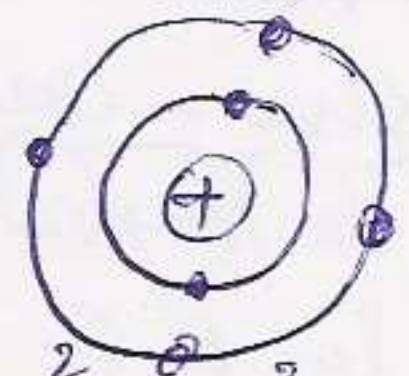
* **Principe d'exclusion de Pauli:** Deux e⁻ ne peut avoir leur 4 nombres quantiques identiques (n, l, m, s), il diffère au moins par le nb. quantique de spin (s = ± 1/2).

* **Principe de stabilité:** un e⁻ est dit stable lorsqu'il occupe un niveau d'énergie le plus bas.

1s 2s 2p 3s 3p 3d 4s

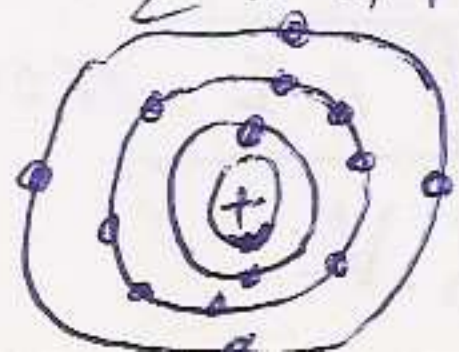
* Carbone

Z = 6 : 1s² 2s² 2p²

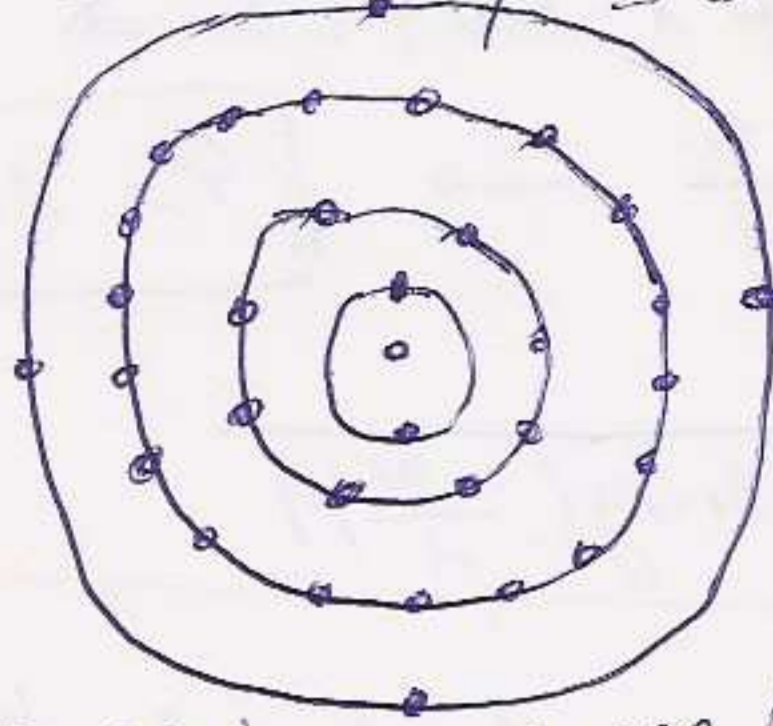
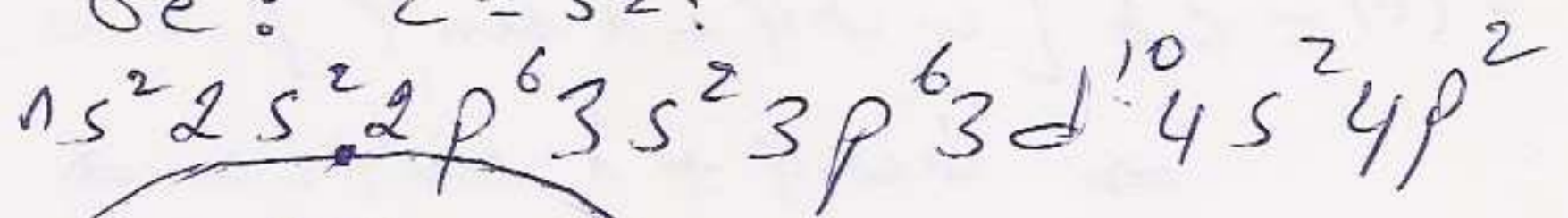


* Silicium

Si Z = 14 : 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p²



* Le Germanium : Ge : $Z = 32$:

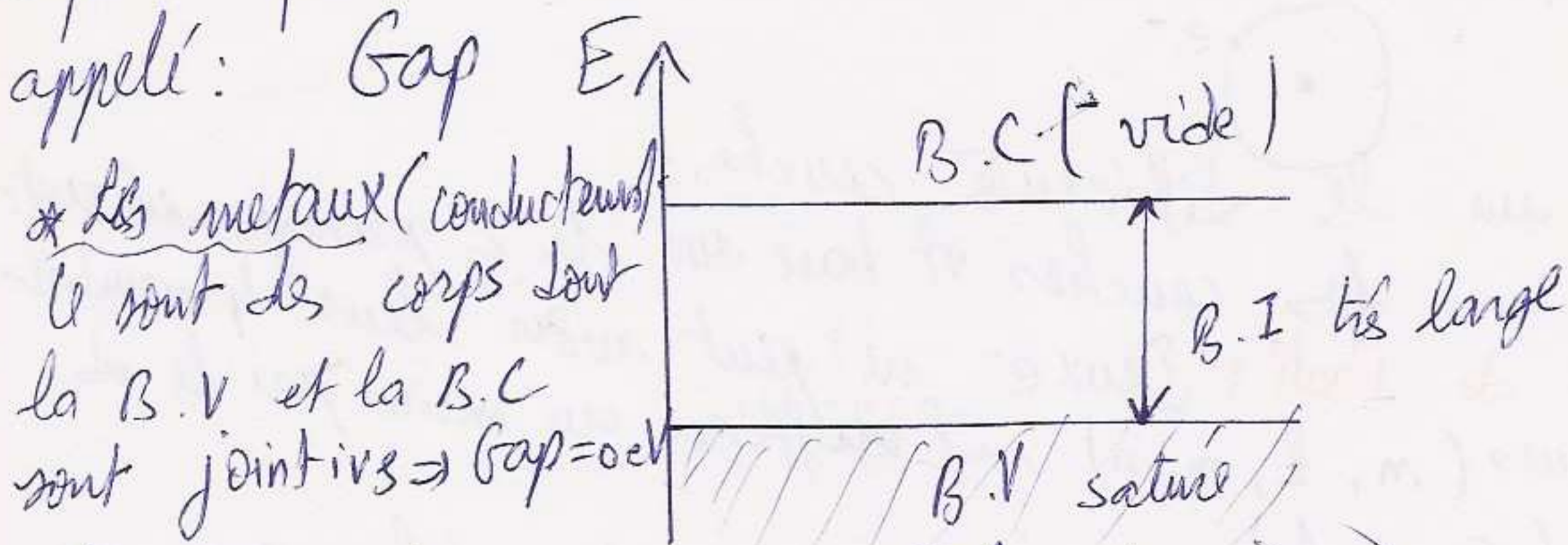


Le Silicium et le Germanium possèdent 4 e^- sur la couche externe ce sont des éléments tétravalents.

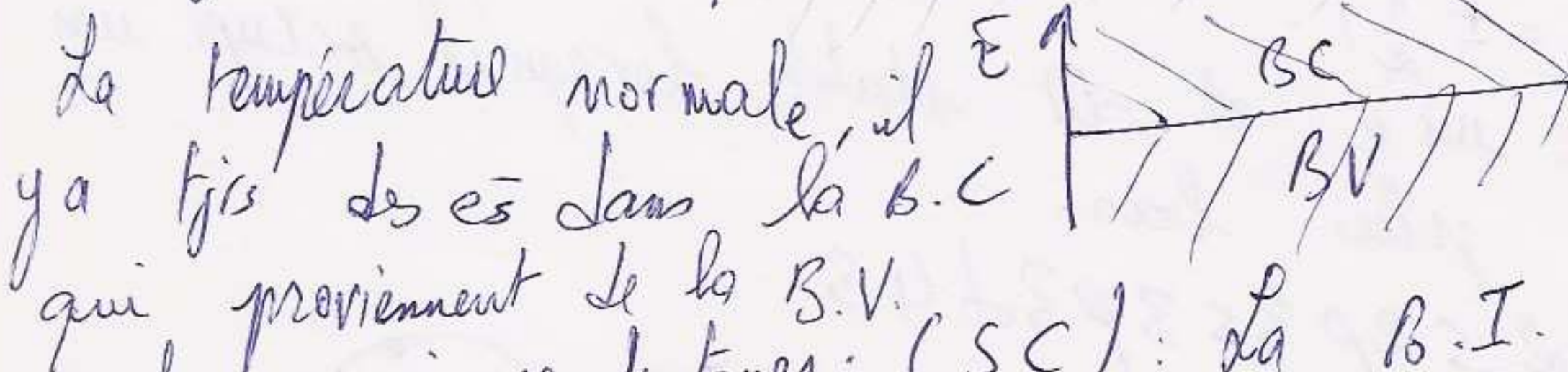
Ces e^- sont appelées électrons de valence, ils possèdent de l'énergie. L'ensemble des niveaux d'énergie de ces e^- forment ce qu'on appelle bande de valence (B.V)

Lorsqu'un e^- est arraché de son orbite, son niveau d'énergie augmente, il devient donc libre, et il appartient à ce que l'on appelle la bande de conduction (B.C).

Les 2 bandes de valence et de " sont séparés par la bande interdite (B.I)
 * L'isolant : c'est un ^{corps} ~~part~~ dont la bande de valence est saturée mais la bande de conduction est vide. Les 2 bandes sont séparés par une B.I. très large (4 à 10 eV). Cette B.I. est aussi appelé : Gap

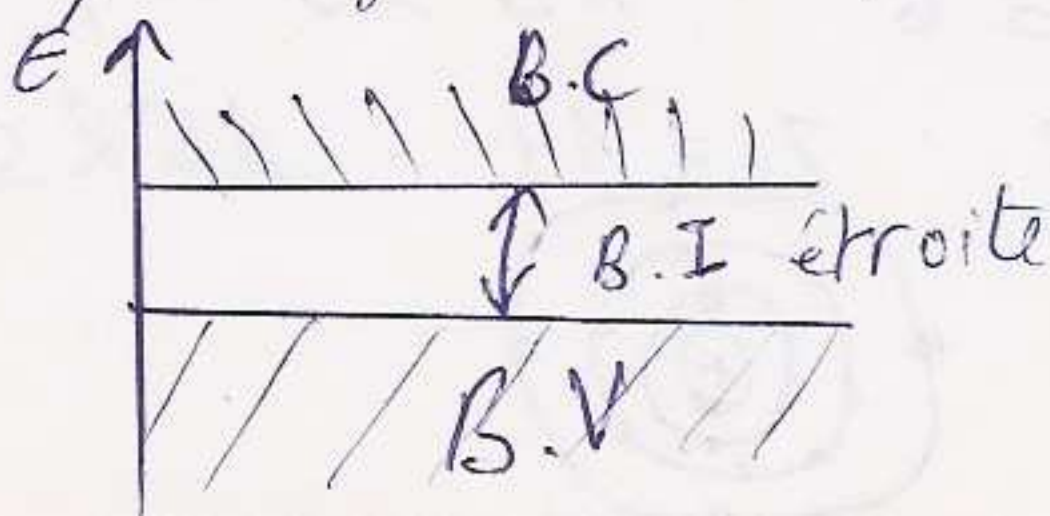


* Les métaux (conducteurs)
 Ce sont des corps dont la B.V et la B.C sont jointives \Rightarrow Gap = 0 eV



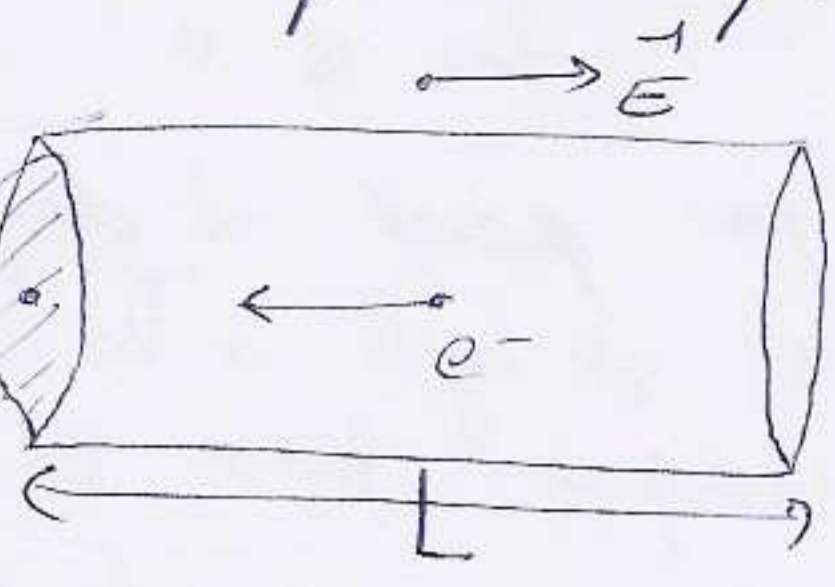
La température normale, il y a très des e^- dans la B.C qui proviennent de la B.V.

* Les semi-conducteurs (SC) : La B.I. est étroite (1, 1 eV). Sous l'effet de la température on peut facilement faire passer des e^- de la B.V à la B.C.



3- Conduction dans un métal
considérons un métal cylindrique de longueur L et de section A soumis à l'action d'un champ électrique \vec{E} .

$\vec{F} = -q\vec{E}$; $F = -qE$
sous l'action des champs électriques \vec{E} , les e^- acquièrent une vitesse donnée par:



$v_n = \mu_n E$ μ_n : mobilité des e^- .

* La densité de courant est le courant par unité de surface : $J_n = \frac{I}{A}$

* Le courant I est la charge qui traverse toute aire par unité de temps: $I = \frac{Nq}{T}$ le métal.

N: nb. d' e^- contenus dans le métal.
soit : $v_n = \frac{L}{T}$ la vitesse d'un e^- qui parcourt L en T(s). Et soit : $n = \frac{N}{LA}$ la concentration des e^- .

$$I = \frac{Nq}{T} \cdot \frac{L}{L} = \frac{Nq}{L} \cdot v_n$$

$$J_n = \frac{I}{A} = \frac{Nq}{LA} \cdot v_n = nq v_n = nq \mu_n E.$$

D'autre part la conductivité σ est définie par: $J_n = \sigma \cdot E$

$\Rightarrow \sigma = nq \mu_n$

La résistivité R : $R = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{nq \mu_n}$

4- Semi-conducteurs intrinsèques (pur):
un " " " " est un semi-conducteur séparent de toute impureté susceptible de modifier ces propriétés physiques (concentration des porteurs de charges).

A la suite de la transition de la bande de la B.V à la B.C, un e^- libre est créé sur la B.C, un trou est créé sur la B.V. (le trou est un état non occupé)

si on applique un champ électrique \vec{E} , les e^- de la B.C acquièrent une énergie cinétique qui conduit à un flux d' e^- ou

courant électrique. Les trous de la B.V. gagnent aussi de l'énergie cinétique, le mécanisme de conduction peut avoir lieu déplacement des e^- sans la B.C.
 " Les trous " la B.V.

Les e^- et les trous \uparrow par paire et disparaissent aussi par paire.
 La concentration en e^- (n) est égale à la concentration en trou (p) pour un semi-conducteur intrinsèque. Ainsi on peut noter $(n) = (p) = (n_i)$
 Cette concentration (n_i) est uniquement en fonction de T (température) et du semi-conducteur utilisé.
 n_i est donnée par :

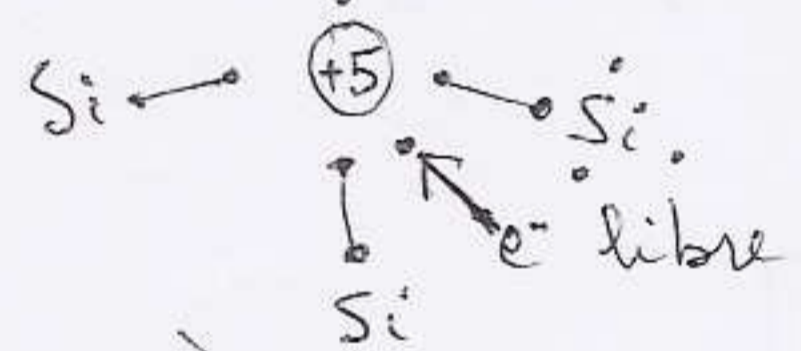
$$n_i = A_0 T^{3/2} e^{-E_g/2KT}$$

A_0 : cte qui dépend du métal / E_g : Largeur de la B.I.
 T : température / K : cte de Boltzman.

5/ Semi conducteur extrinsèque (dopé):

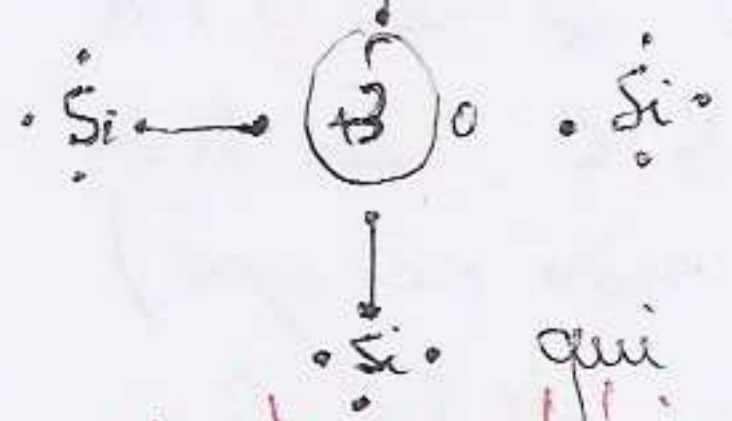
Etant donné que la conduction reste faible et peut être améliorée par introduction d'impureté, il sera intéressant d'augmenter le nb. de porteurs de charge.

- Impureté pentavalente: atomes ayant 5 e^- sur la couche externe.
- " tivalente: " " 3 e^- " " " "
- Semi-conducteur de type N: donneurs d' e^- .



Le même e^- non lié de l'atome représentant l'impureté servira de porteurs de charge, l'énergie nécessaire pour l'extraire est de 0,05 eV, elle est nettement inférieure à l'énergie " pour casser une liaison covalente. Si un s-c est dopé d'impureté N on obtient les e^- qui sont majoritaires, les trous qui sont minoritaires et des ions fixes positives.

- S-C de type P: accepteurs d' e^- :



L'ajout d'impureté tivalente au s-c d'intrinsèque fournit 3 e^- pour former 3 liaisons covalentes, la nature qui reste dans la 4^{ème} liaison constitue un trou.

Ce type d'impureté génère les trous qui sont majoritaires les e^- qui sont minoritaires et des ions fixes négatifs.

6. Conductivité liée aux deux types de porteurs e^- trou: E.B (11)

Lorsqu'on applique un champ électrique sur un matériau, les e^- et les trous prennent un ~~mtk~~ ~~ent~~ sens et les e^- prennent deux sens contraire: les e^- vont ds le sens inverse du champ électrique, les trous vont dans le m^e sens que le champ électrique.

Sachant que les e^- ont pour mobilité μ_n et les trous ont pour mobilité μ_p .

La conductivité: $\sigma = \sigma_n + \sigma_p = nq\mu_n + pq\mu_p = q(n\mu_n + p\mu_p)$

on sait que pour un s-c intrinsèque $n = p = n_i$

$\Rightarrow \sigma = n_i q (\mu_n + \mu_p)$

Soit N_D : la concentration des atomes donneurs e^- et N_A : accepteurs " " " " " "

Donc pour un s-c. donneur d' e^- de type N $\sigma = q N_D \mu_n + p q \mu_p$

$\sigma = q N_D \mu_n$ (négligée)

Pour un s-c de type P $\sigma = q N_A \mu_p + n q \mu_n$

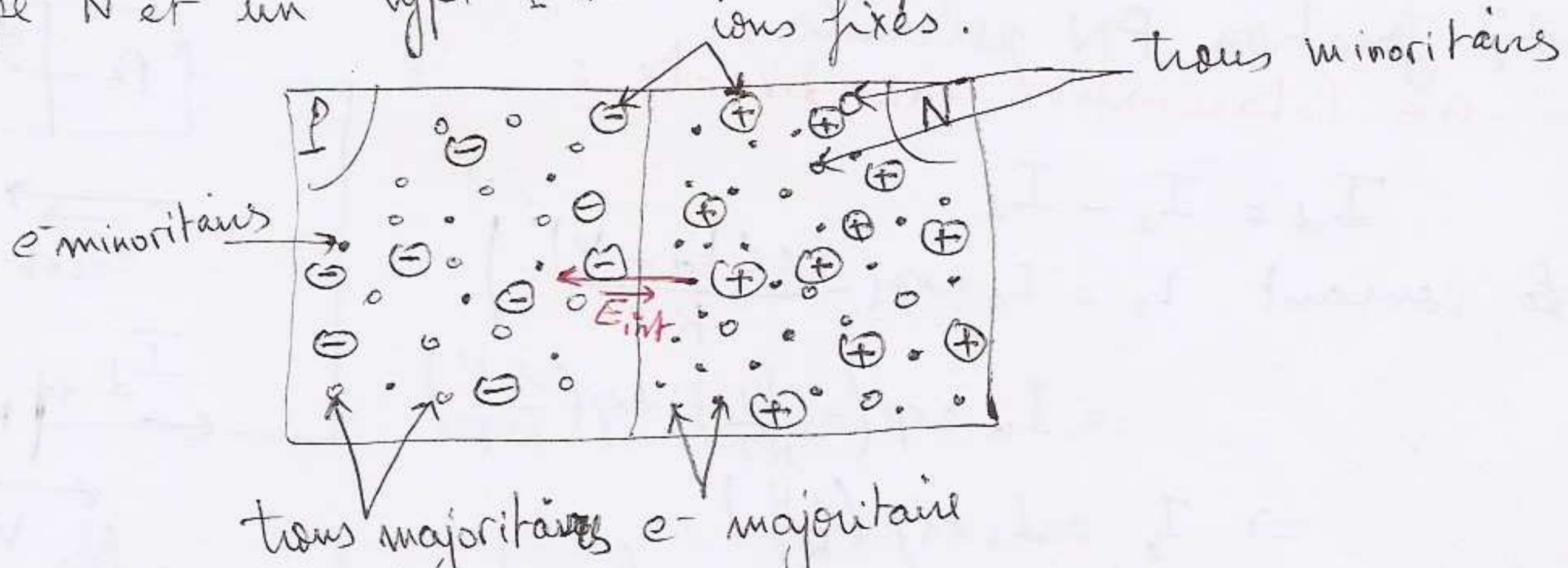
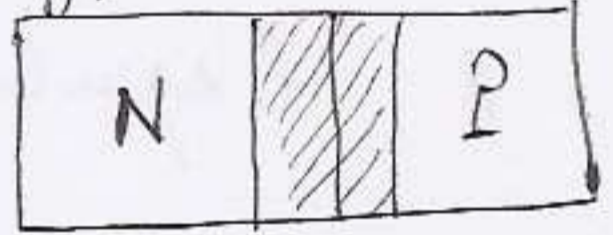
$\Rightarrow \sigma = q N_A \mu_p$ (négligée)

$n = \frac{n_i^2}{N_A}$ $p = \frac{n_i^2}{N_D}$

Ch 5:

Diode à jonction PN

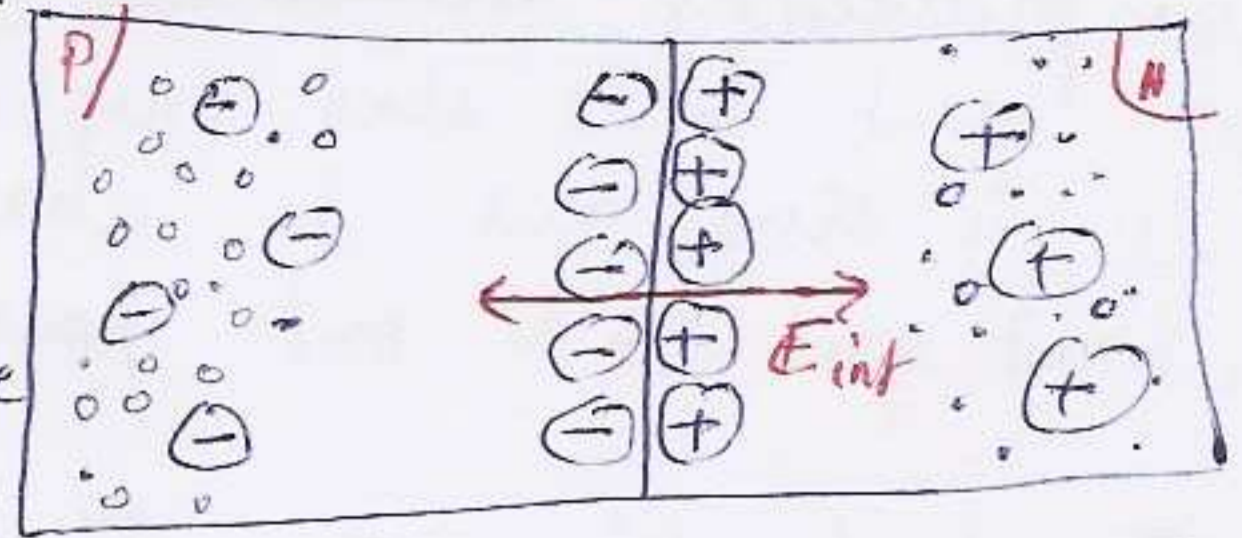
Une jonction PN est créée par association d'un s-c de type N et un autre de type P. La jonction est formée par la zone frontalière. La répartition des charges qu'on peut avoir en mettant en contact un type N et un type P est donnée par ions fixes.



1°/ Jonction PN non polarisée: Une fois le contact réalisé il y a diffusion des porteurs majoritaires de part et d'autre de la jonction, il se recombine puis il disparaît. Ainsi la zone du côté de N se trouve chargée positivement, et la zone du côté P se trouve chargée négativement.

d'où création d'un champ E_{int} dirigé de (+) vers (-). La répartition des charges est donnée par :

Les ions fixes négatifs d'un côté et + de l'autre ~~est~~ crée un champ électrique E_{int} dont une barrière de potentiel. Ce champ s'oppose au passage des porteurs majoritaires mais favorise le passage des minoritaires. La jonction est donc traversée par deux courants de sens contraire :



I_1 : courant des minoritaires, il est très faible car le nombre de ces derniers est très petits. Et un courant I_2 dû à la diffusion des porteurs majoritaires qui peuvent franchir la barrière potentielle crée par E_{int} .

Soit V la hauteur de la barrière du potentiel. Seuls les porteurs ayant l'énergie $w = eV$ peuvent la franchir. Leur nombre est donné par la loi de MAXWELL :

$$M = n_0 \exp\left(-\frac{w}{kT}\right) = n_0 \exp\left(-\frac{eV}{kT}\right)$$

avec : n_0 : le nombre total des porteurs majoritaires.

$$I_2 = I_0 \exp\left(-\frac{eV}{kT}\right)$$

A l'équilibre thermodynamique : $I_1 = I_2$ ($V = V_d$)

$$I_s = I_0 \exp\left(-\frac{eV_d}{kT}\right)$$

27 Jonction PN polarisée :

2-a - Polarisation en directe :

$$I_d = I_2 - I_s$$

$$\text{Le courant } I_2 = I_0 \exp\left(-\frac{e(V_d - V)}{kT}\right)$$

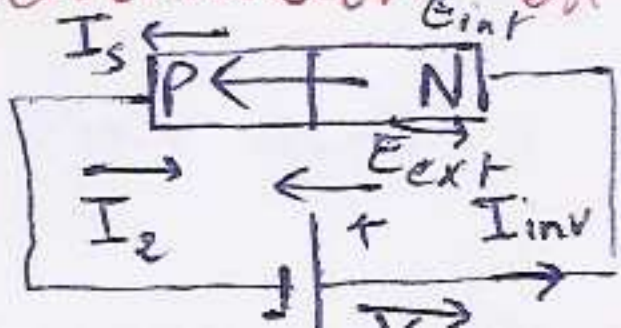
$$= I_0 \exp\left(-\frac{eV_d}{kT}\right) \cdot \exp\left(\frac{eV}{kT}\right)$$

$$\Rightarrow I_2 = I_s \exp\left(\frac{eV}{kT}\right)$$

Le courant direct qui circule dans la maille V : $I_d = I_2 - I_s$

$$\Rightarrow I_d = I_s \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - I_s \Rightarrow I_d = I_s \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right]$$

2-b - Polarisation en inverse :



$$I_{inv} = I_s - I_2$$

$$I_2 = I_0 \exp\left(-\frac{e(V_d + V)}{kT}\right)$$

$$\Rightarrow I_2 = I_e \exp\left(\frac{-eV_d}{KT}\right) \cdot \exp\left(-\frac{eV}{KT}\right) = I_s \exp\left(-\frac{eV}{KT}\right)$$

$$I_{inv} = I_s - I_2 = I_s - I_s \exp\left(-\frac{eV}{KT}\right)$$

$$\Rightarrow I_{inv} = I_s \left(1 - \exp\left(-\frac{eV}{KT}\right)\right)$$

3) Caractéristiques courant-tension :
 L'analyse théorique d'une diode à jonction PN montre que la variation du courant en fct. de la tension est donnée par l'équation suivante :

$$I = I_s \left(\exp\left(\frac{V}{V_T}\right) - 1 \right)$$

$V_T = \frac{KT}{e}$: potentiel thermodynamique.

à $T = 300^\circ K \Rightarrow V_T = 25 \text{ mV}$

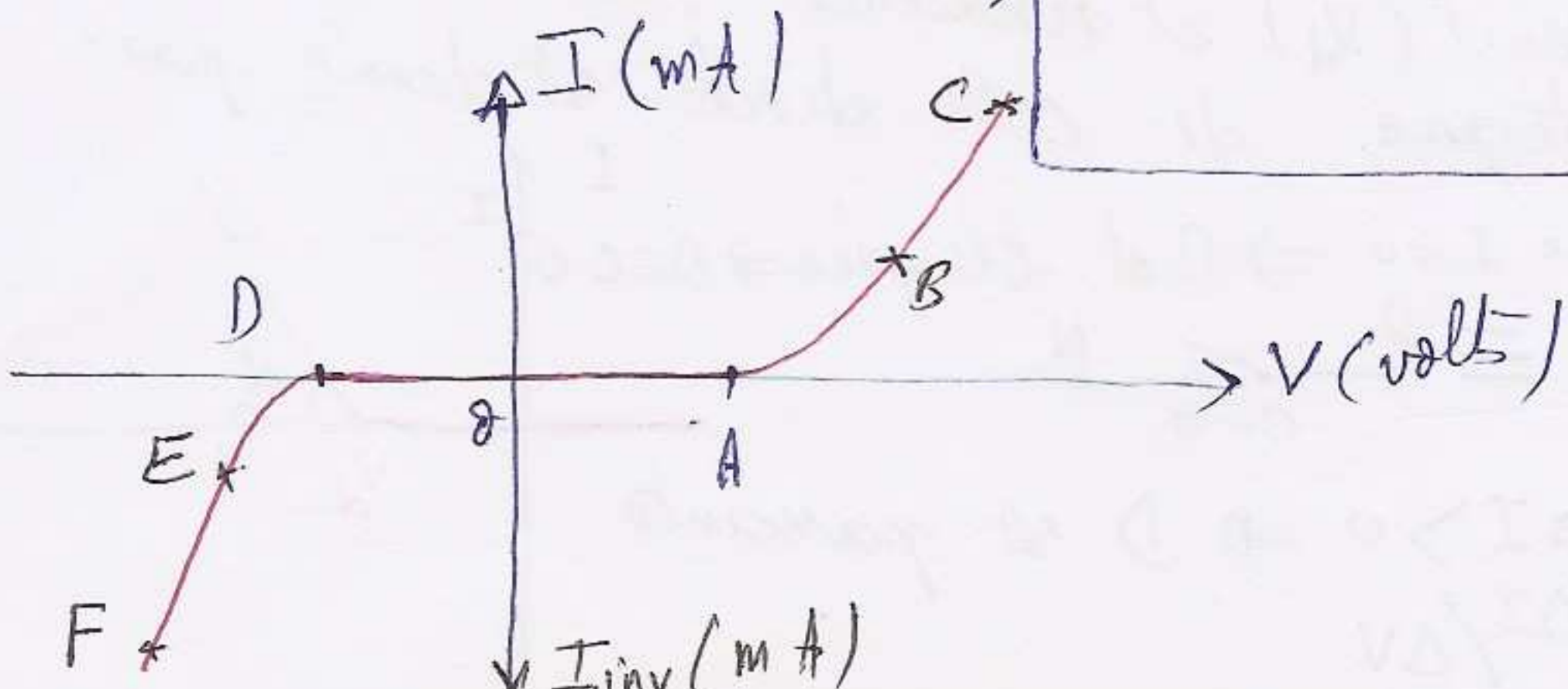
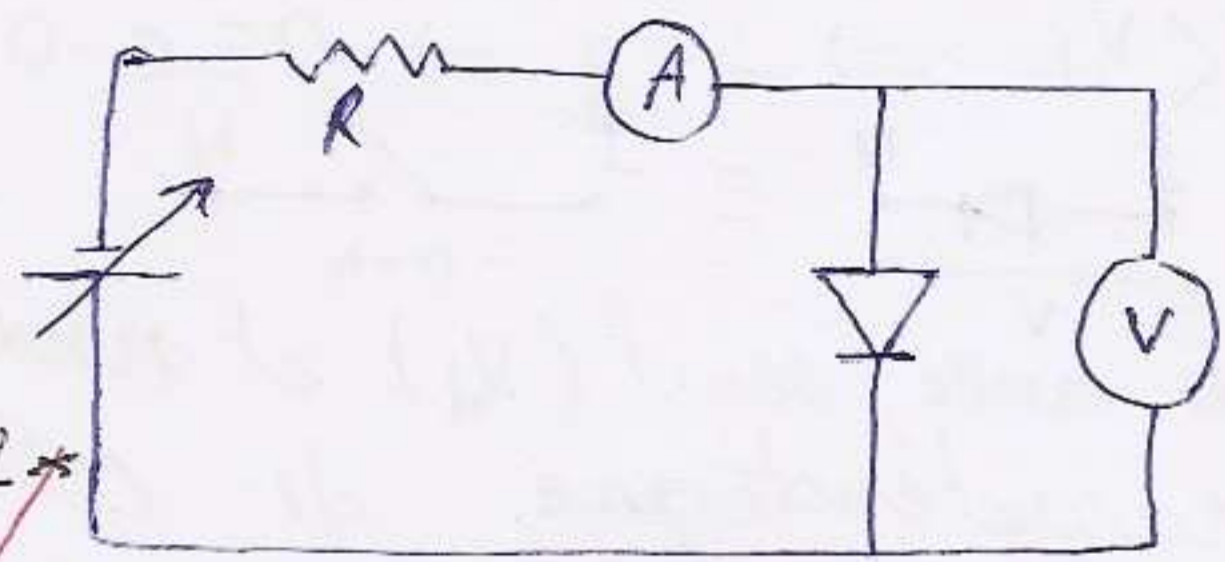
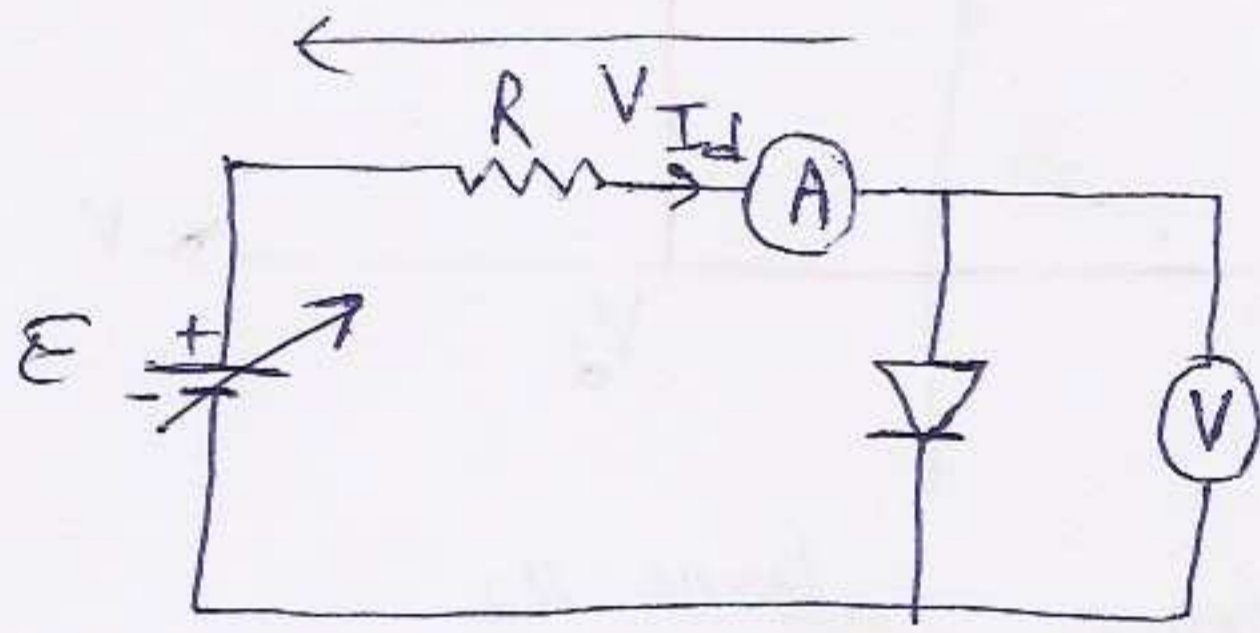
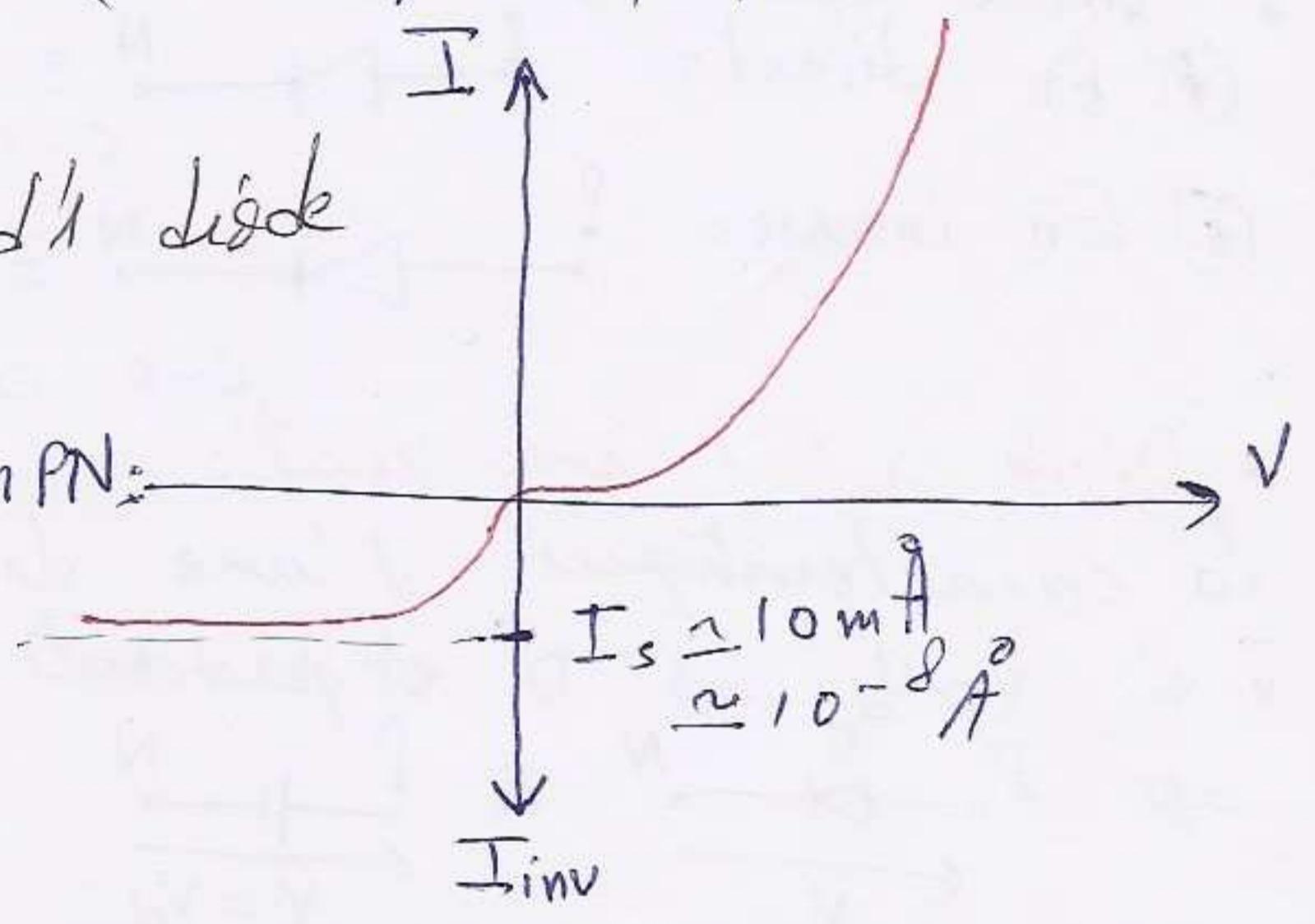
* si $V > 0 \Rightarrow I > 0 \Rightarrow I_d = I = I_s \left(\exp\left(\frac{V}{V_T}\right) - 1 \right)$
 * si $V < 0$, il suffit de remplacer V par $(-V)$ et I par $(-I)$

$$(-I) = I_s \left[\exp\left(\frac{-V}{V_T}\right) - 1 \right]$$

$$\Rightarrow I = I_{inv} = I_s \left(1 - \exp\left(-\frac{V}{V_T}\right) \right)$$

4) Caractéristiques expérimentale d'une diode à jonction PN :

Le symbole d'une diode à jonction PN :



On distingue 6 zones :

* zone OA : C'est la zone du blocage direct : la tension appliquée au borne de la diode est inférieure à la tension seuil (tension de conduction). $V_d \approx 0,7 V$. pour cette zone le courant est nul. La diode est donc équivalente à un circuit ouvert.

* zone OB : zone de coupure, on trouve une loi exponentielle du que la tension dépasse $V_d \Rightarrow I_d$ augmente rapidement en fct de V .

* zone BC : C'est la zone de fonctionnement linéaire.

* zone OD : C'est la zone de blocage inverse : la diode est équivalente à un circuit ouvert.

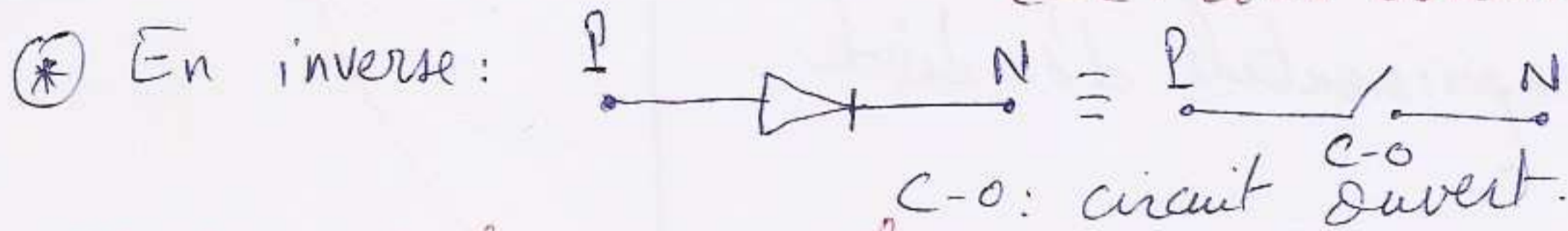
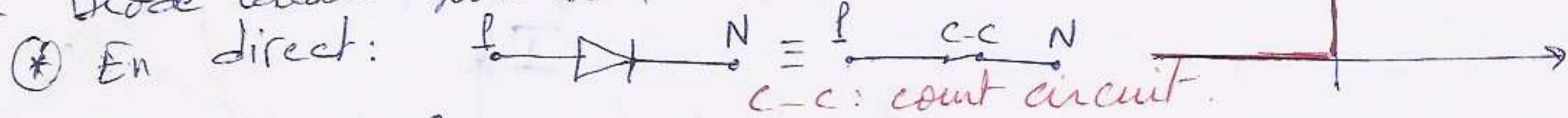
* zone DE : C'est la zone de pouce inverse.

* zone DF : C'est la zone de claquage, l'intensité inverse croît brutalement, ce phénomène peut entraîner la destruction du composant.

5/ Modélisation d'une diode à jonction :

Pour mieux comprendre le fonctionnement du circuit à diode, on linéarise par partie la caractéristique de la diode, ce qui conduit à des modèles simples décrivant le comportement global de la diode.

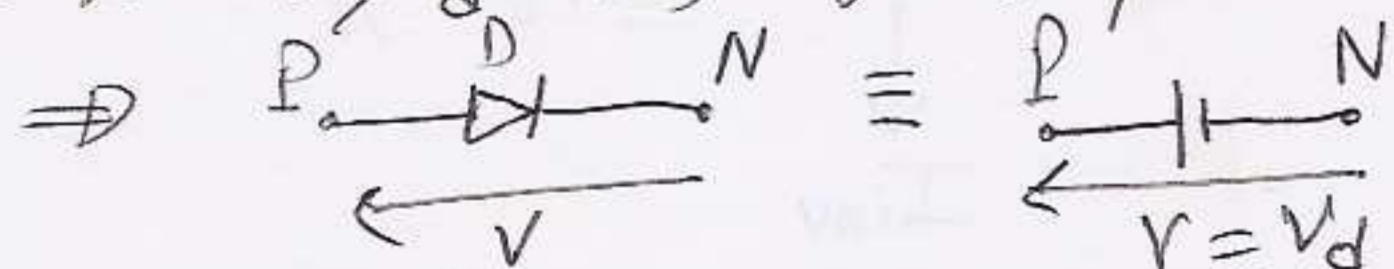
* Diode idéale sans seuil :



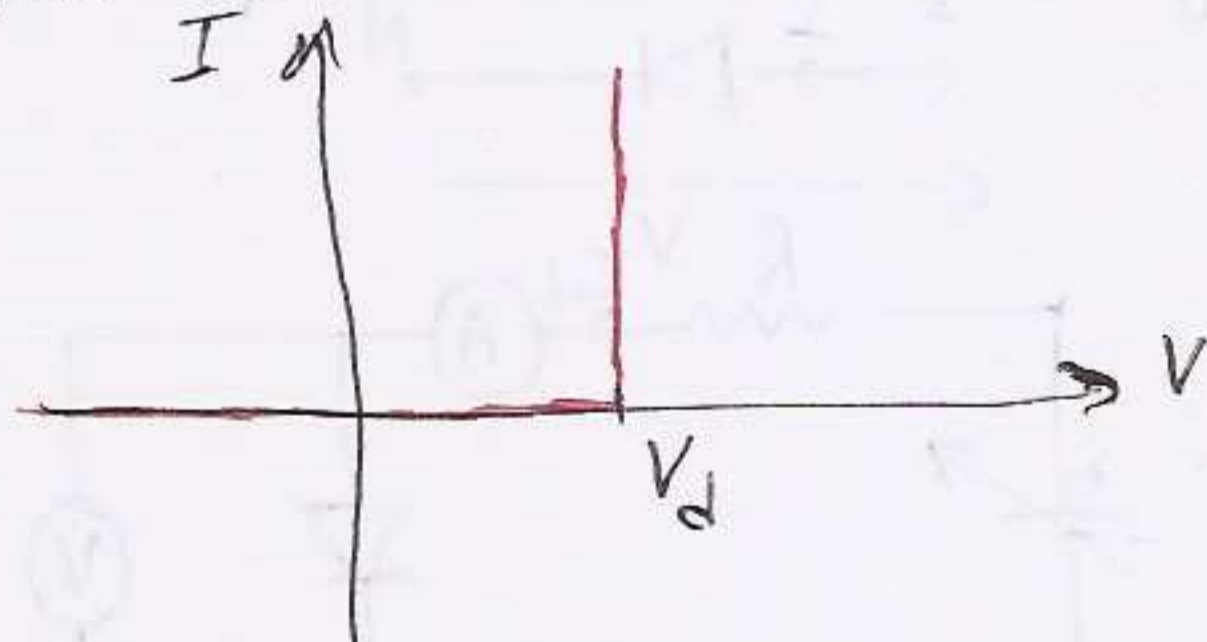
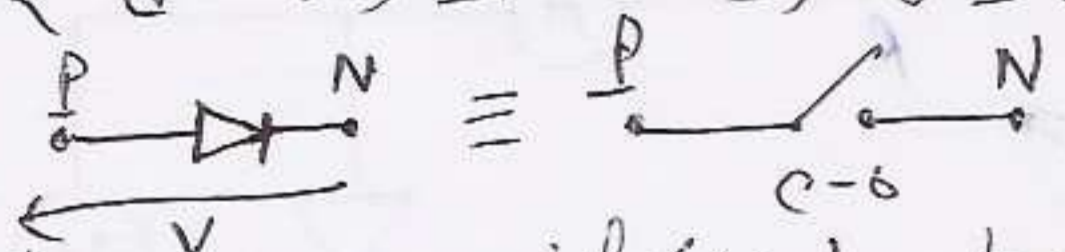
* Diode idéale avec seuil :

La caractéristique d'une diode idéale avec seuil est :

* si $V > V_d \Rightarrow D$ est passante

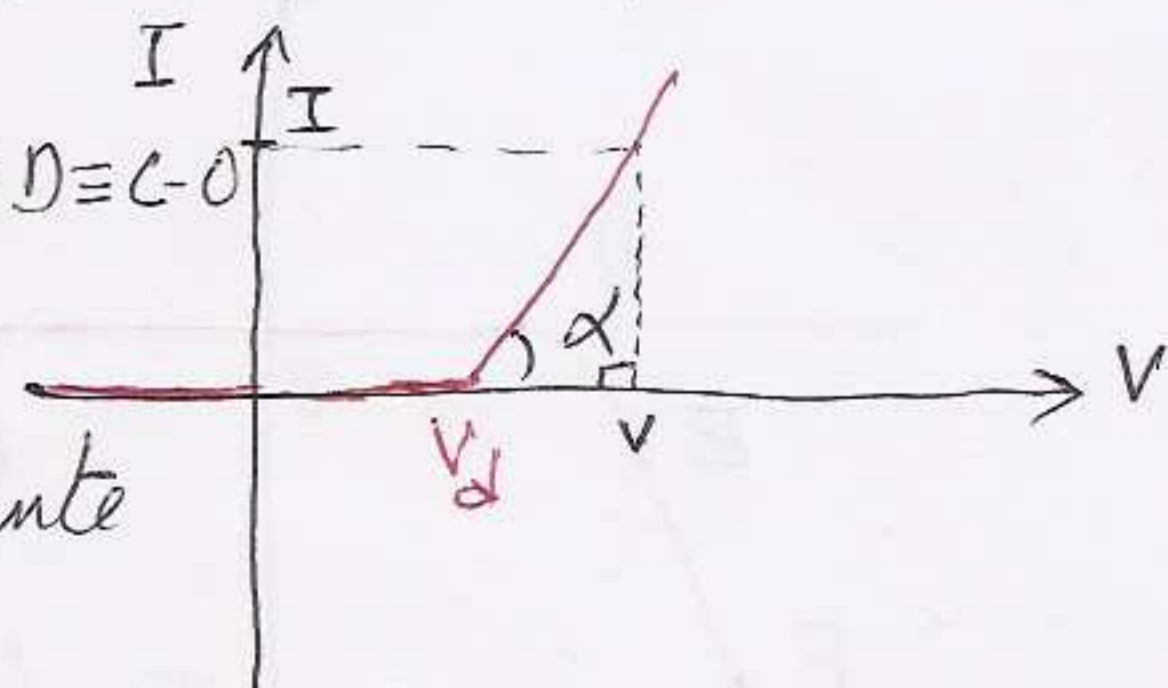


* si $V < V_d \Rightarrow I = 0 \Rightarrow D \equiv c-o$



* Diode avec seuil (V_d) et résistance interne r_d
La caractéristique de cette diode est donnée par :

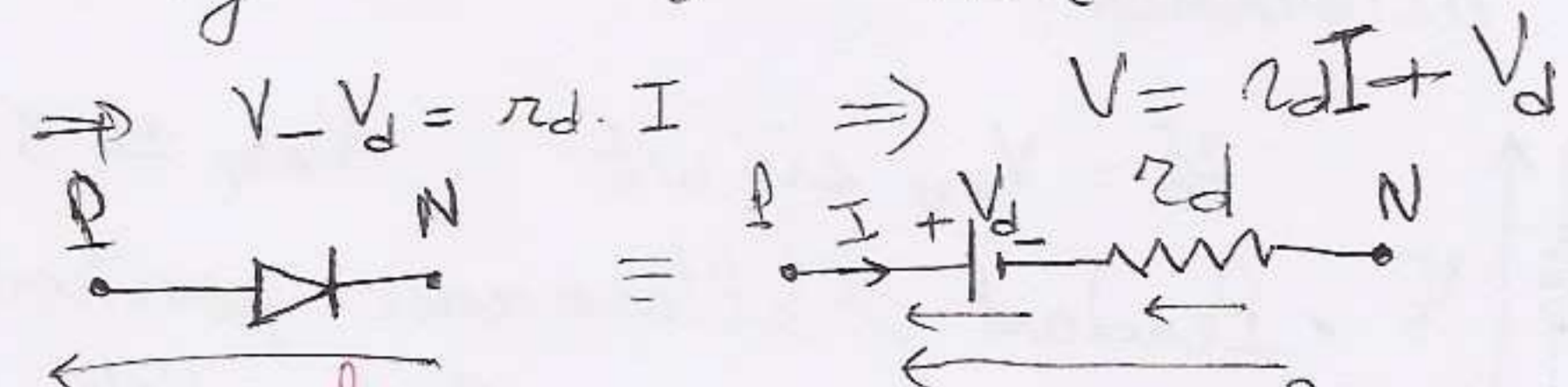
* si $V < V_d \rightarrow I = 0 \Rightarrow D$ est bloquée $\Rightarrow D \equiv c-o$



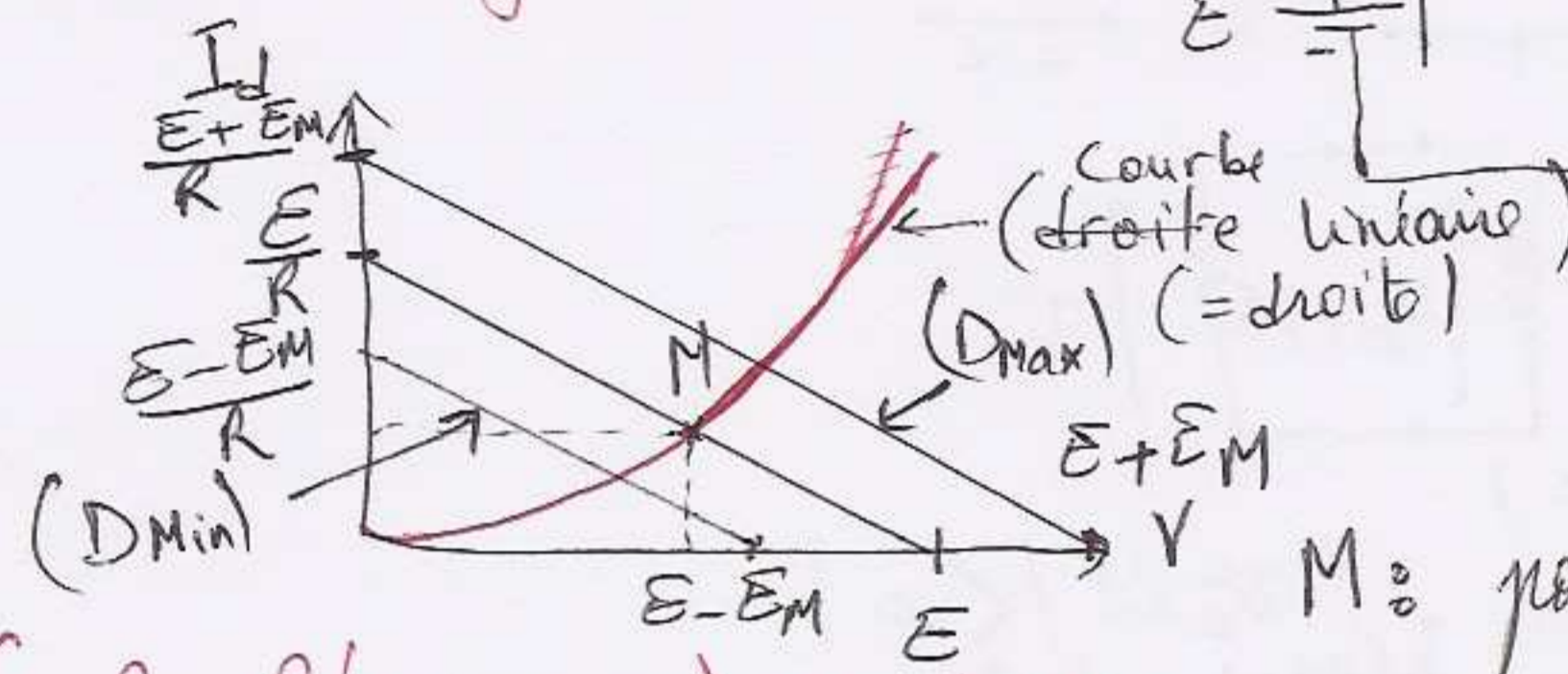
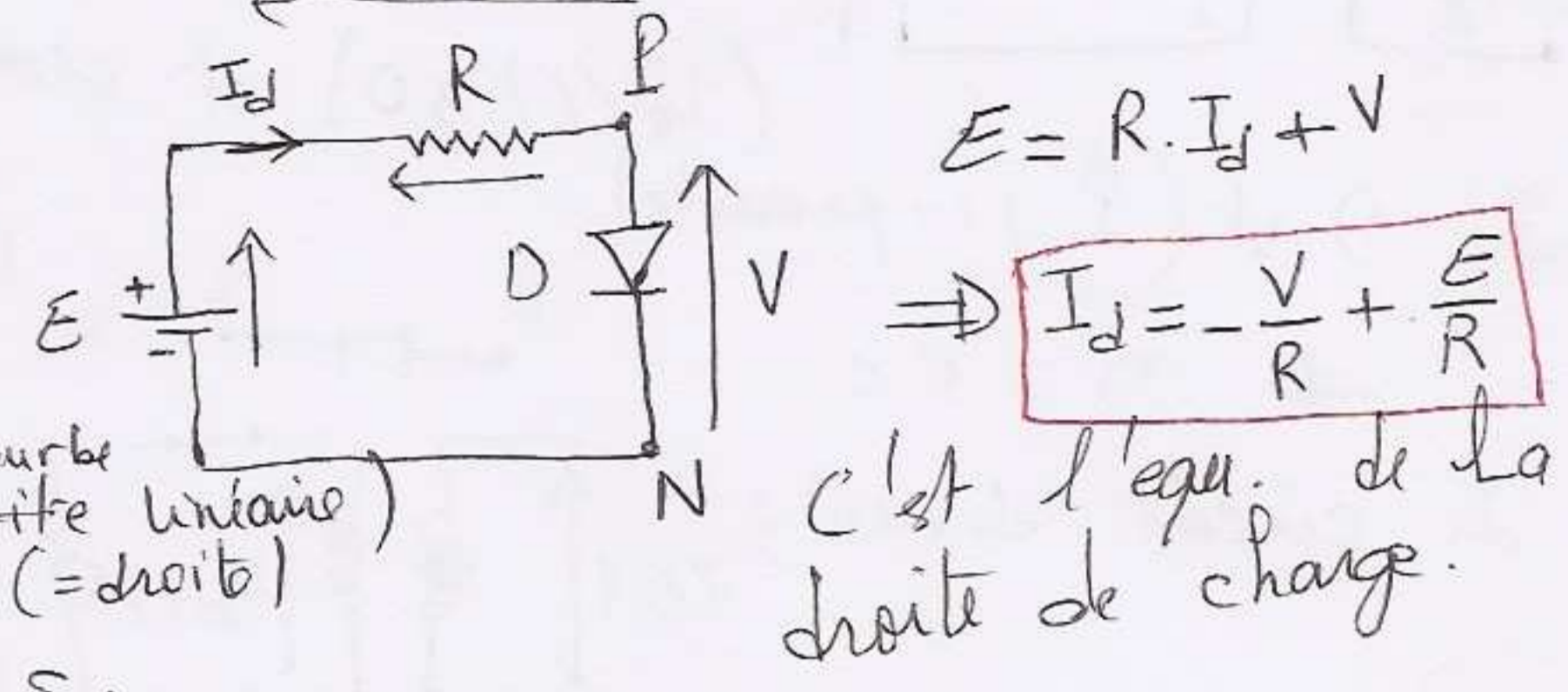
* si $V > V_d \rightarrow I > 0 \Rightarrow D$ est passante

$tgd = \Delta I / \Delta V$

$\Rightarrow r_d = \frac{1}{\text{tg} \alpha}$; $\text{tg} \alpha = \frac{I - I_0}{V - V_d} = \frac{1}{r_d}$



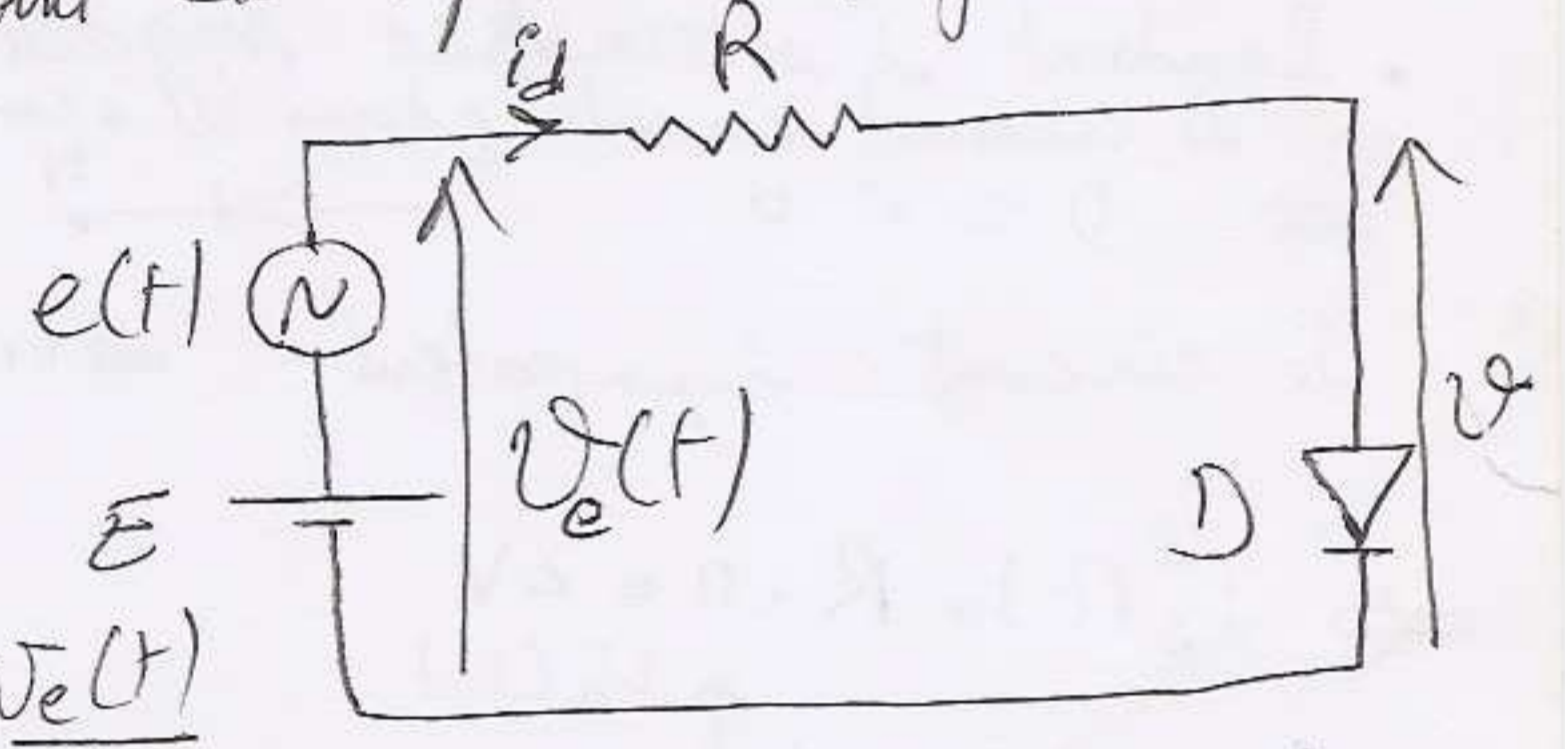
6- droite de charge:
6.1 - Régime statique:



M: point de repos ou de fonctionnement

6.2 - Régime dynamique:

$V_e(t) = E + e(t)$
avec: $e(t) = E_m \sin \omega t$
L'équation de la maille est:



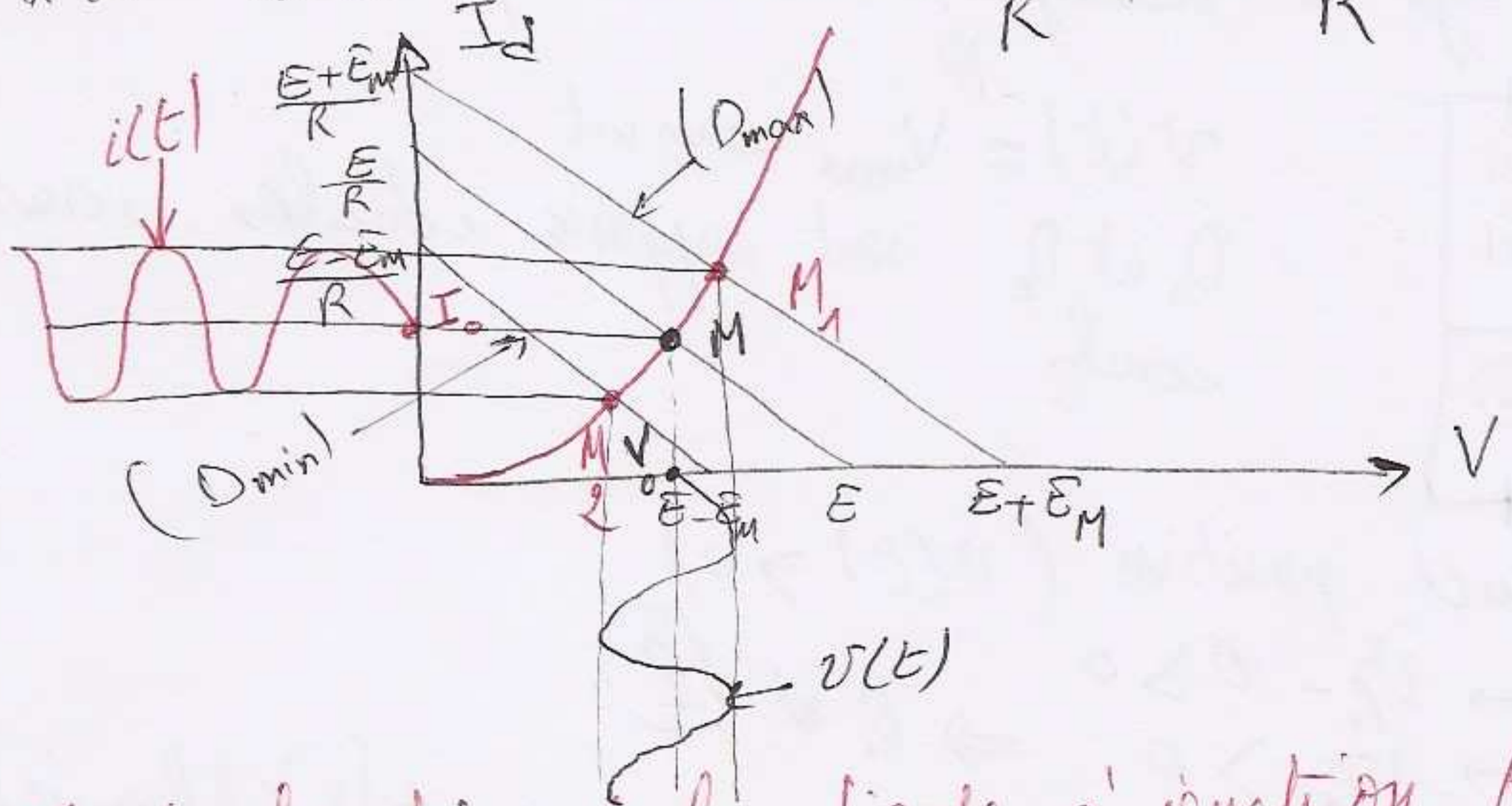
$V_e(t) = R i_d + V \Rightarrow i_d = -\frac{V}{R} + \frac{V_e(t)}{R}$

$\Rightarrow i_d = -\frac{V}{R} + \frac{E + E_m \sin \omega t}{R}$

* si $\sin \omega t = 0 \Rightarrow i_d = -\frac{V}{R} + \frac{E}{R}$, cette équation est confondue à la droite statique.

* si $\sin \omega t = +1 \Rightarrow i_d = -\frac{V}{R} + \frac{E + E_m}{R}$ (Dmax)

* si $\sin \omega t = -1 \Rightarrow i_d = -\frac{V}{R} + \frac{E - E_m}{R}$ (Dmin)

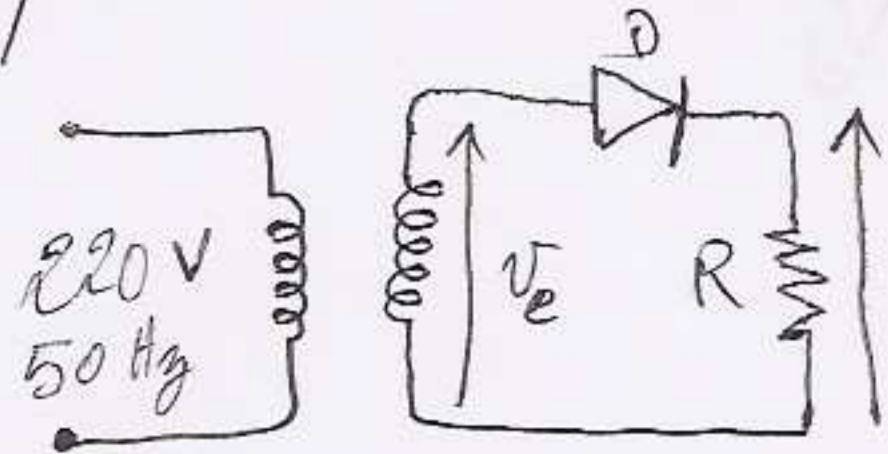


Le point de repos est caractérisé par $M_1 M_2$
 $M(t) (V(t), i(t))$

7- Application de la diode à jonction PN:

7.1 - Redressement monoalternance:

Le redressement consiste à générer une tension de signe constant à partir d'une tension alternative.



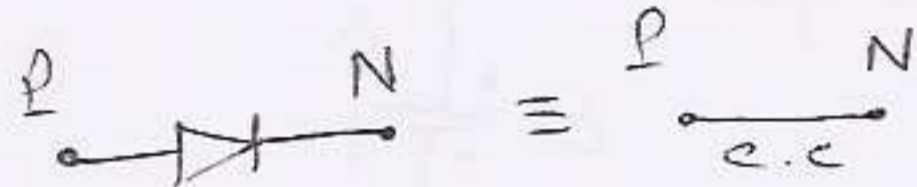
$$v_e = V_{max} \sin \omega t$$

$$V_{max} \approx 30V$$

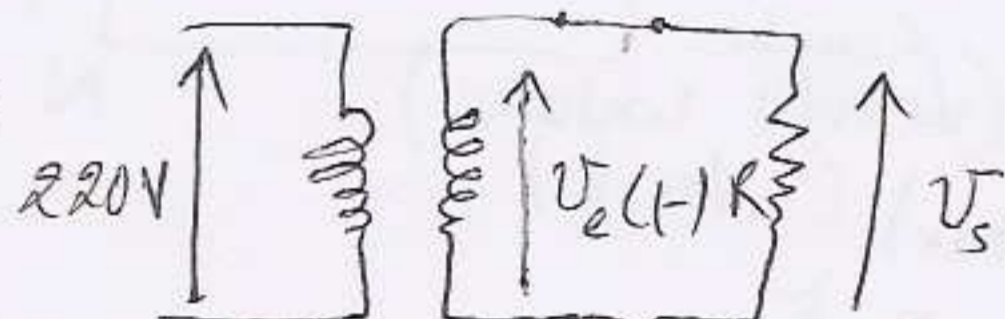
• Pendant l'alternance positive de $v_e(t)$ ($v_e(t) \geq 0$) et comme D est idéale sans seuil

\Rightarrow D est (P) (= passante).

\Rightarrow D \equiv c.c



Le circuit devient:



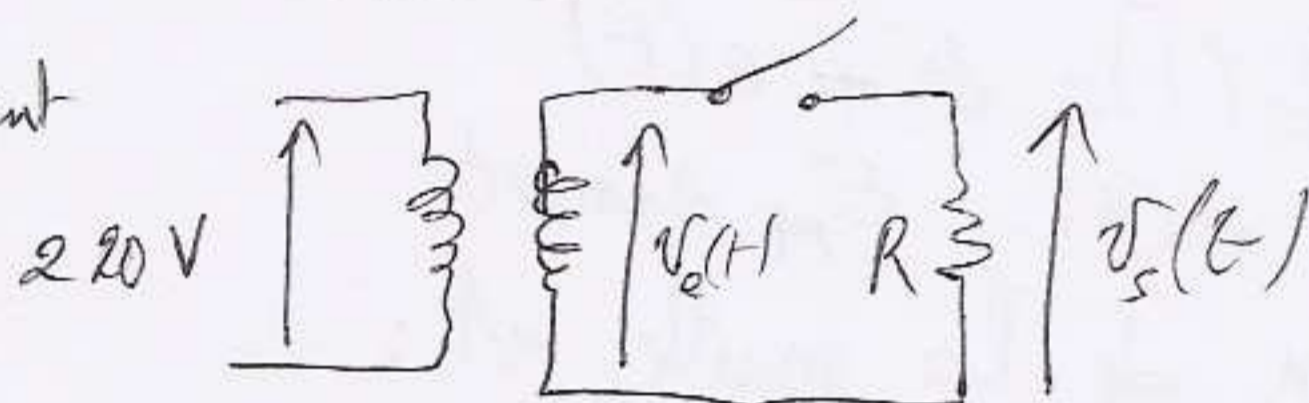
$$\Rightarrow v_s(t) = v_e(t) = V_{max} \sin(\omega t)$$

• Pendant l'alternance négative ($v_e(t) < 0$) \Rightarrow le courant circule dans le sens bloqué de D

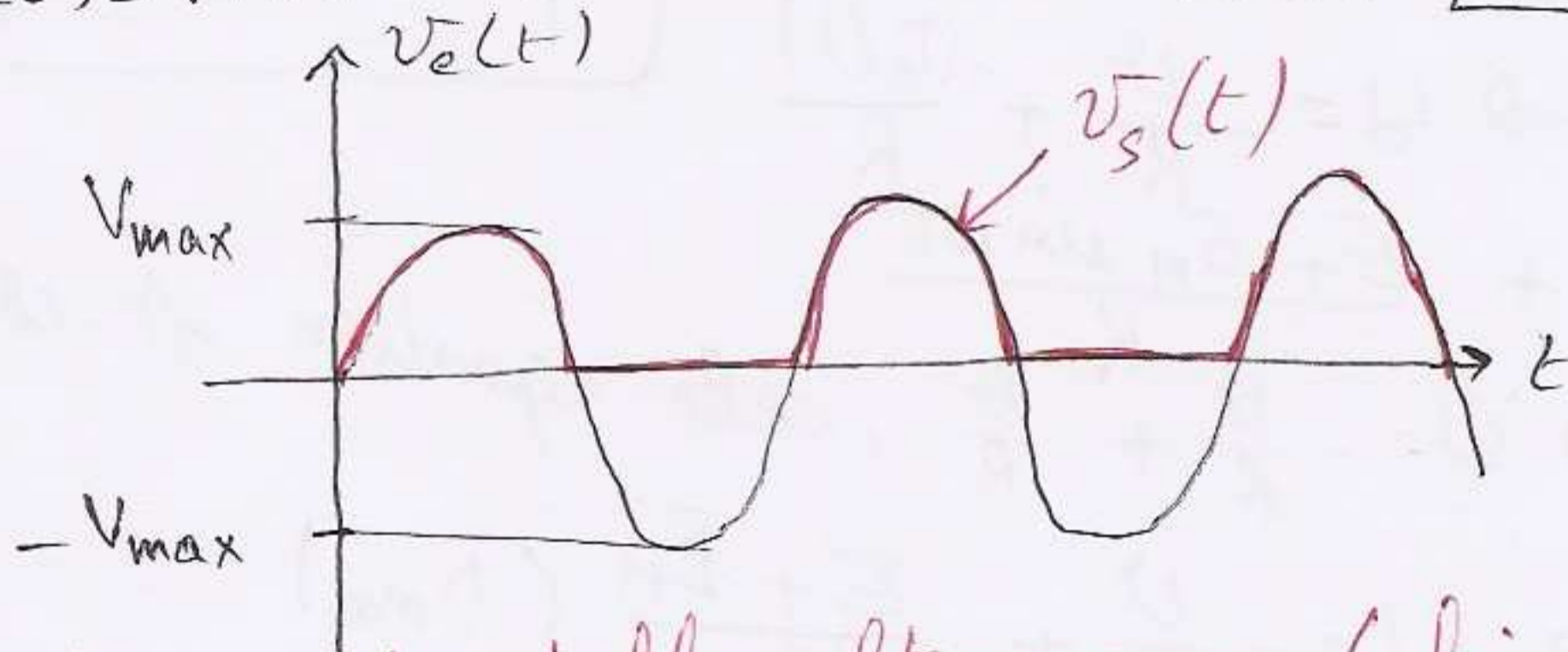
\Rightarrow D \equiv c.o



Le circuit équivalent devient

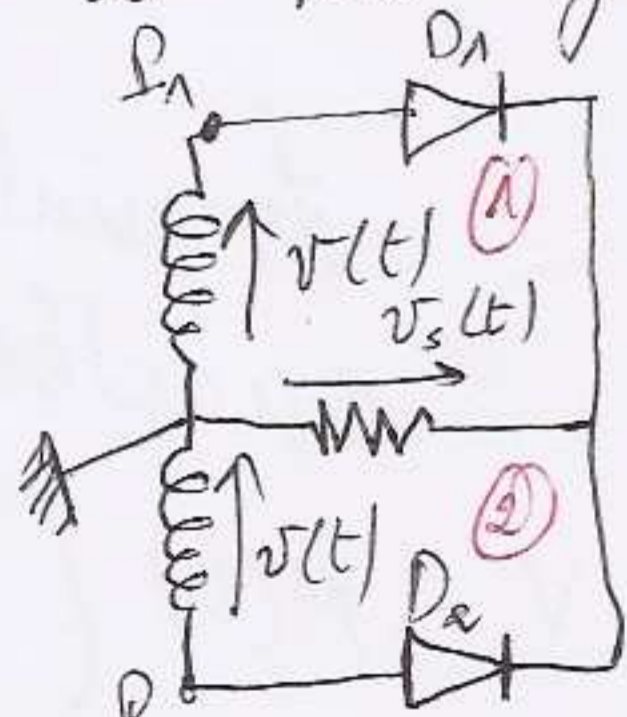
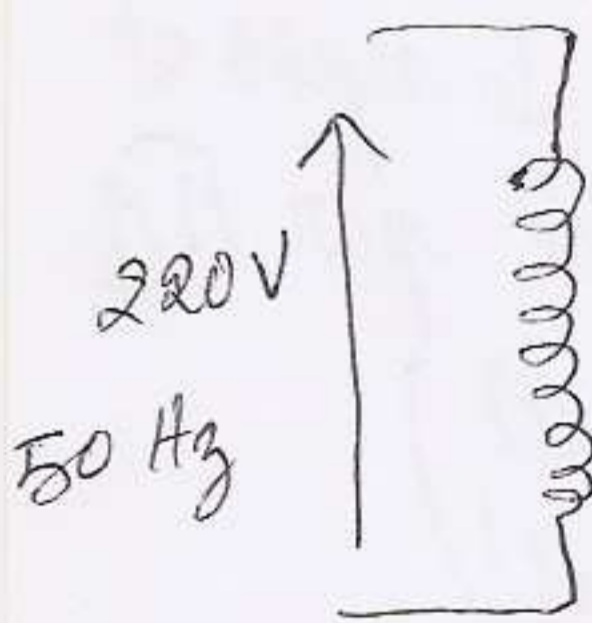


$$\Rightarrow v_s(t) = R \times 0 = 0V$$



7.2 - Redressement double-alternance (bi-alternance):

considérons le montage à transformateur à point milieu.



$$v(t) = V_{max} \sin \omega t$$

D_1 et D_2 sont supposés idéales sans seuils.

• Pendant l'alternance positive ($v(t) > 0$)

Maille (1): $v(t) \geq 0 \rightarrow v_{P1} - 0 > 0 \rightarrow v_{PA} > 0 \Rightarrow D_1$ est (P)

Maille (2): $v(t) = 0 - v_{P2} > 0 \Rightarrow v_{P2} < 0 \Rightarrow D_2$ est (B) (bloqué)

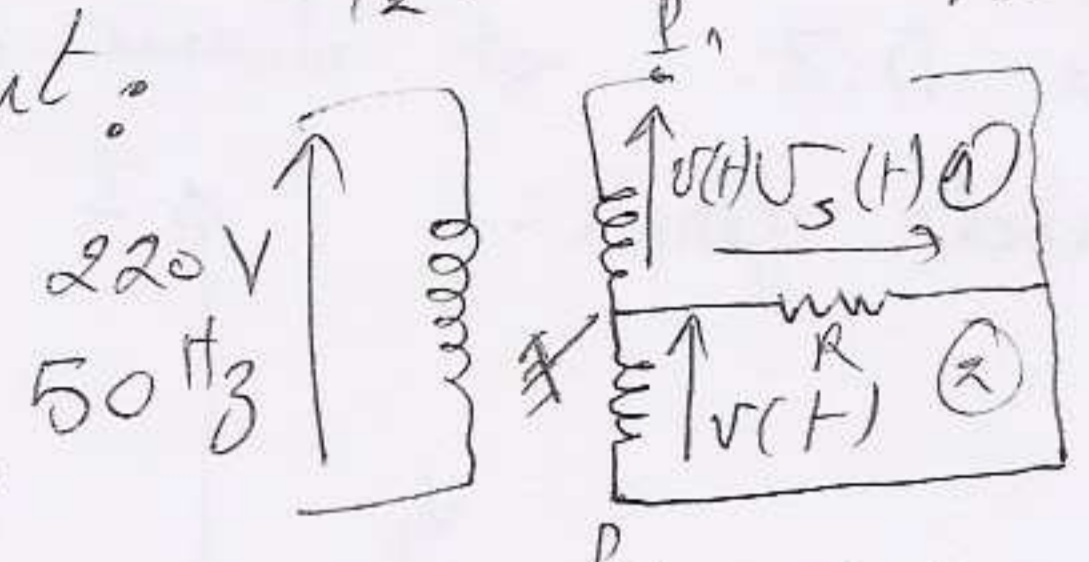
$\Rightarrow U_s(t) = v(t) = V_{max} \sin \omega t$

• Pendant l'alternance négative de $v(t)$ ($v(t) < 0$)

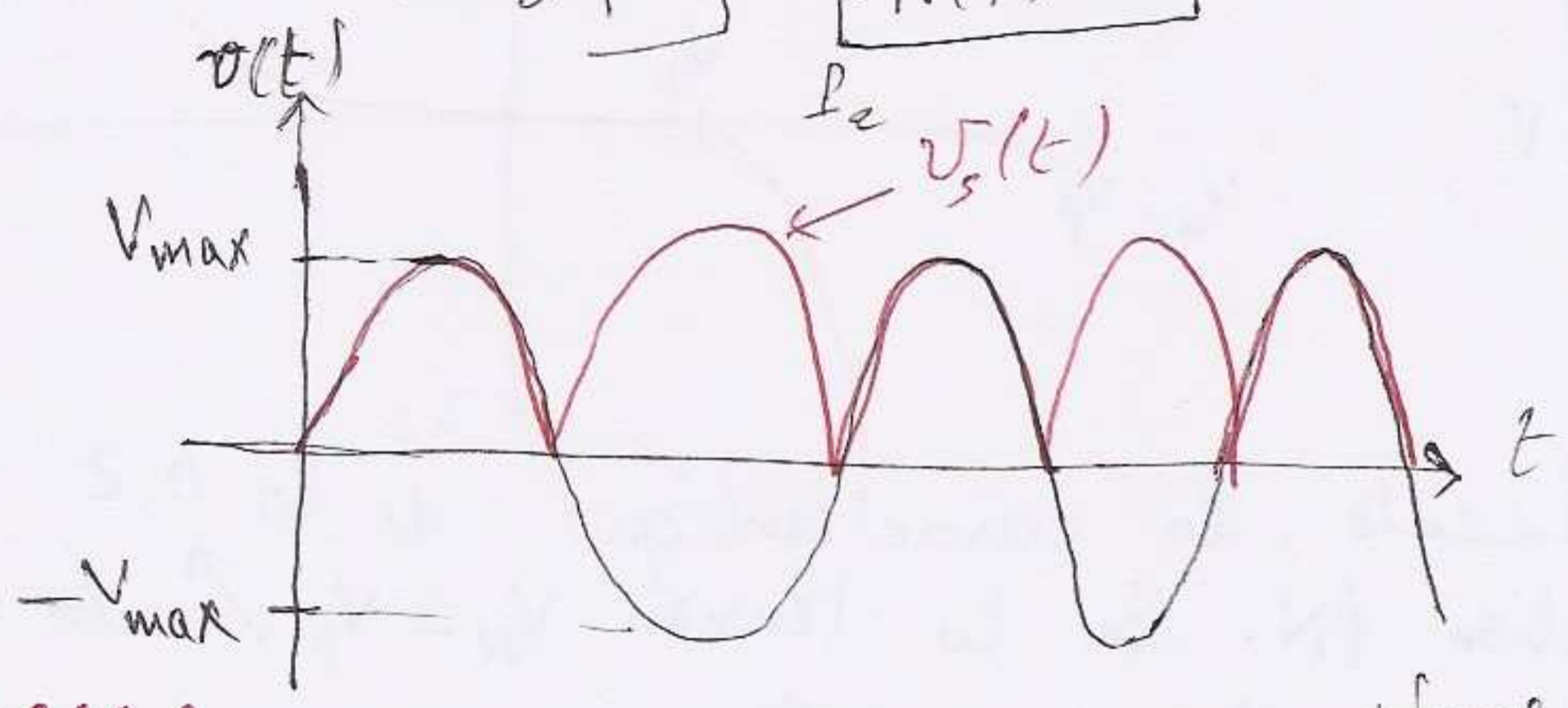
Maille ①: $v(t) = v_{P_1} - 0 < 0 \rightarrow v_{P_1} < 0 \Rightarrow D_1$ et \textcircled{B}

Maille ②: $v(t) = 0 - v_{P_2} > 0 \rightarrow v_{P_2} > 0 \Rightarrow D_2$ et \textcircled{P}

Le circuit devient:

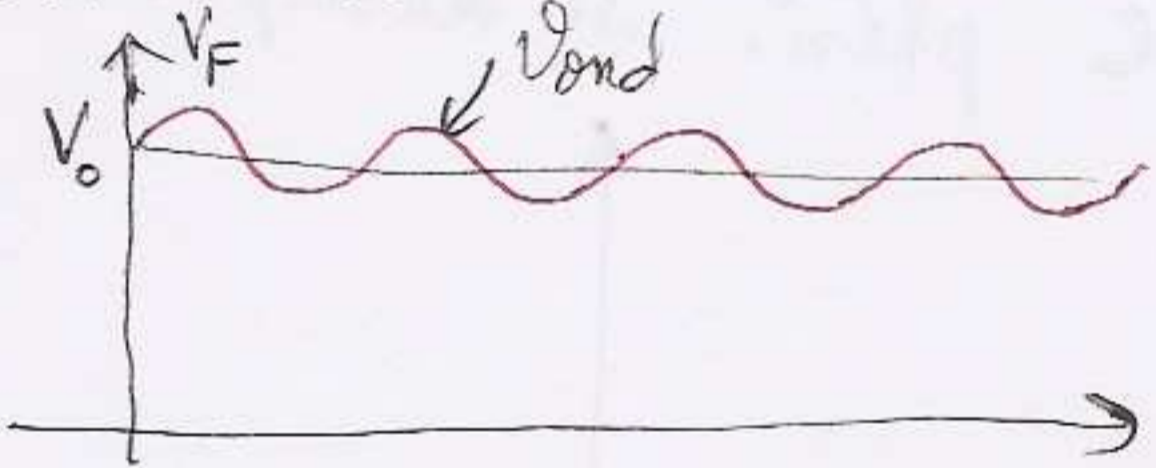


$\Rightarrow U_s(t) = -v(t)$
 $= -V_{max} \sin \omega t$



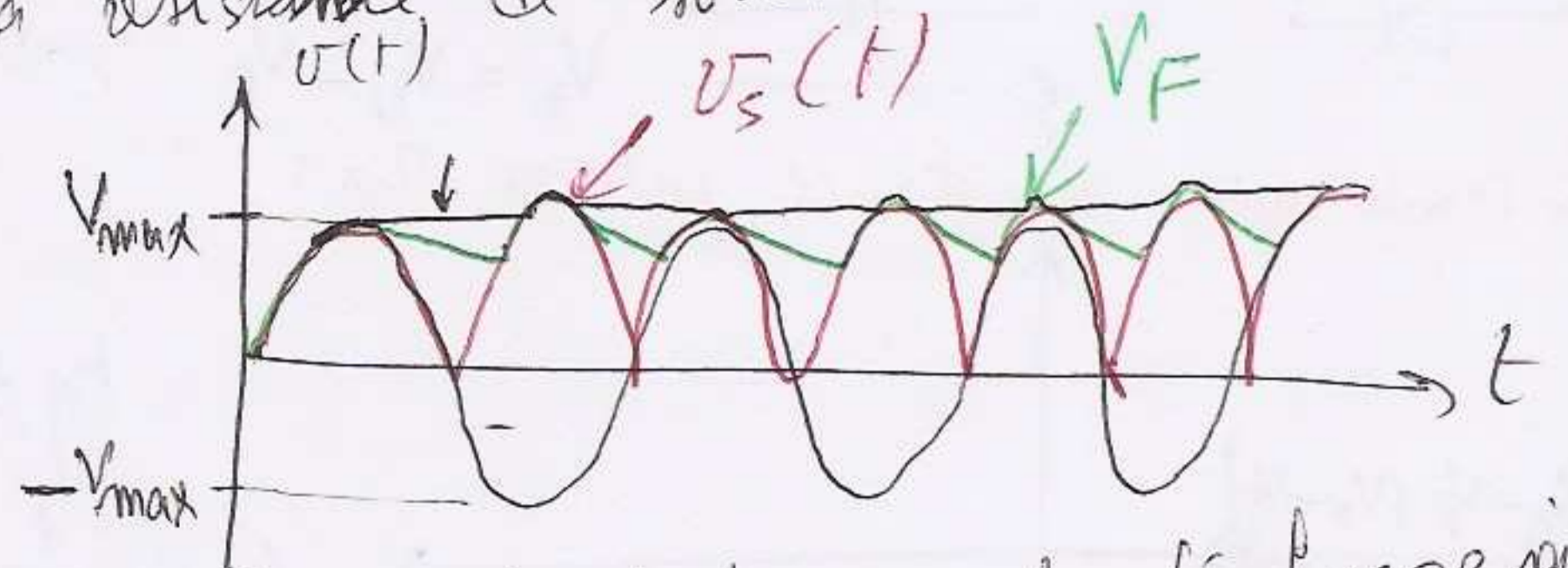
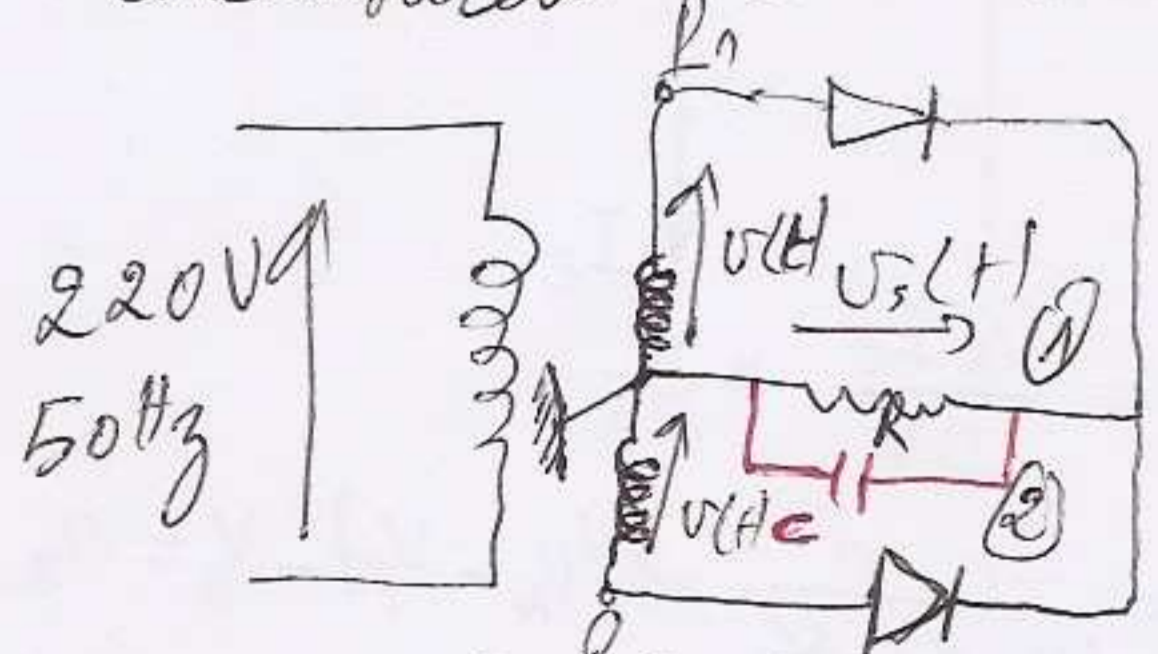
2 Filtrage:

Le redressement nous permet de passer d'une tension alternative à une tension ~~continue~~ de signe cte, le redressement nous permet de passer d'une tension alternative au redresser à une tension sensiblement continue.



La tension filtrée V_F est la somme d'une tension continue V_0 et d'une tension ~~continue~~ V_{ond} . Le filtrage est meilleur lorsque l'ondulation est faible le plus simple consiste à brancher un condensateur en // à la résistance de sortie.

Le dispositif de filtrage un condensateur en // à la

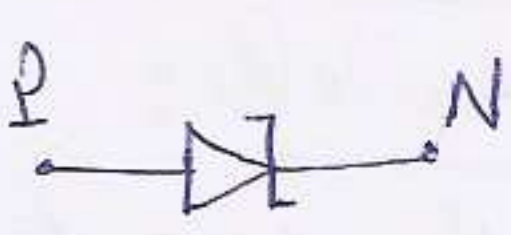


Pour que le filtrage soit meilleur il faut que la décharge soit très lente.

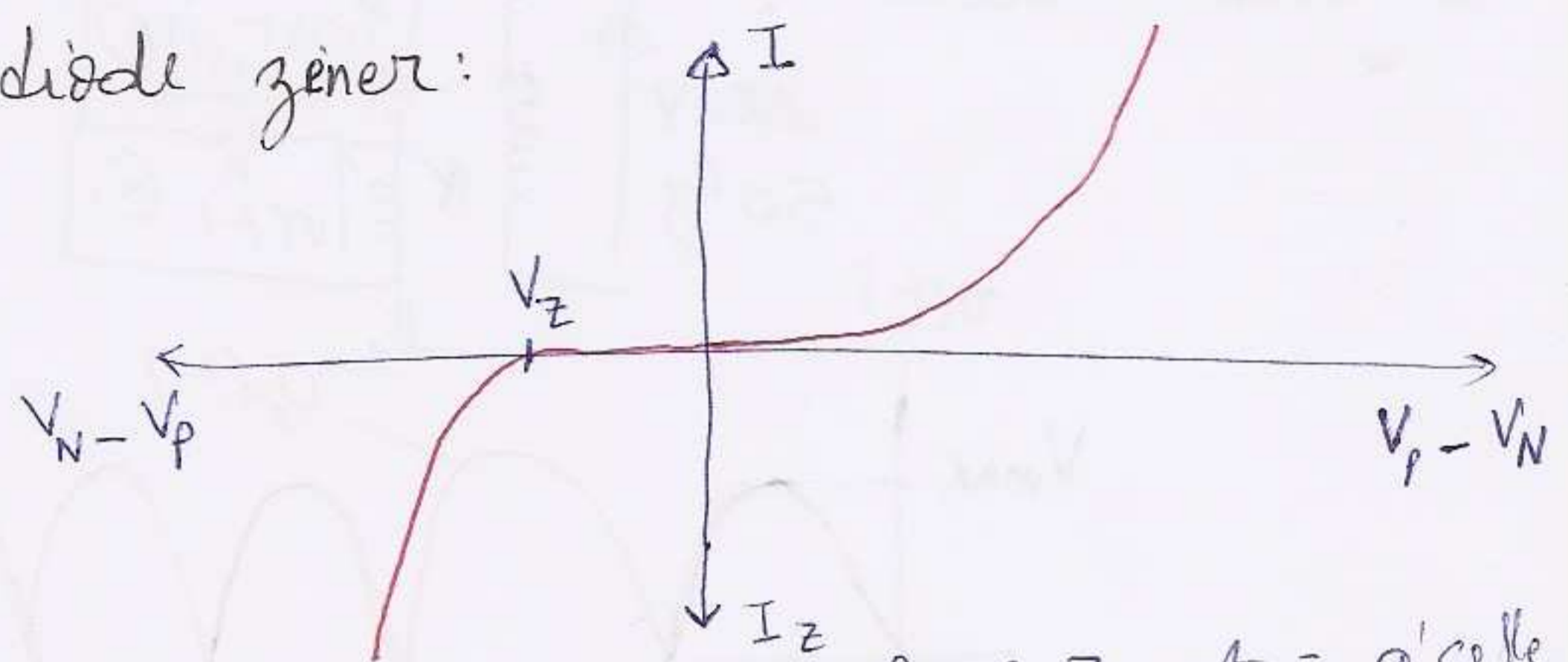
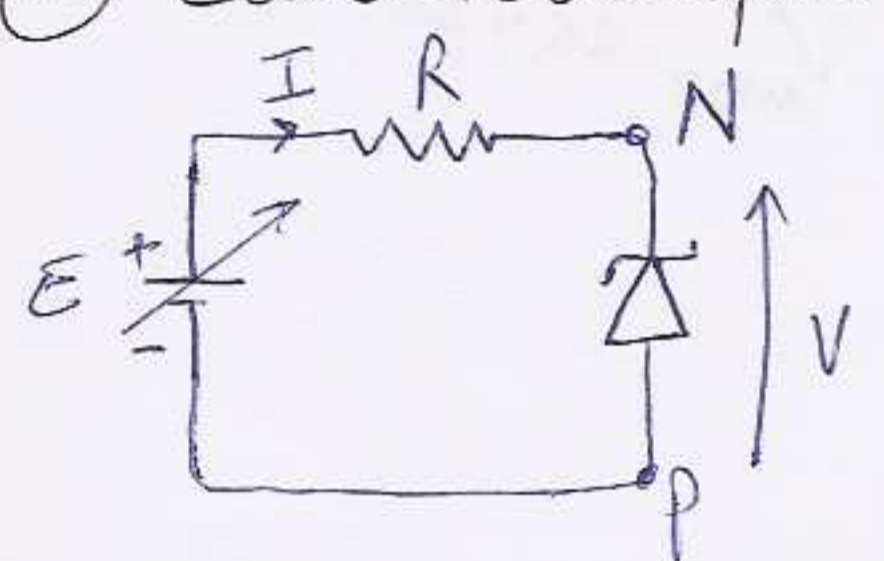
3- Diode Zener

Le syst de redressement plus filtrage délivre une tension sensiblement continue, cette tension n'est pas directement applicable.

Dans les app. électroniques à cause de la petite ondulation
 Pour obtenir une tension parfaitement continue, le redressement
 et le filtrage doit être suivi d'une régulation de tension.
 Régulation se fait par les diodes zener appelée aussi **Diode stabilisatrice de tension**.

Le schéma électrique d'un D.Z. est donné par: 

(a) caractéristiques d'un diode zener:



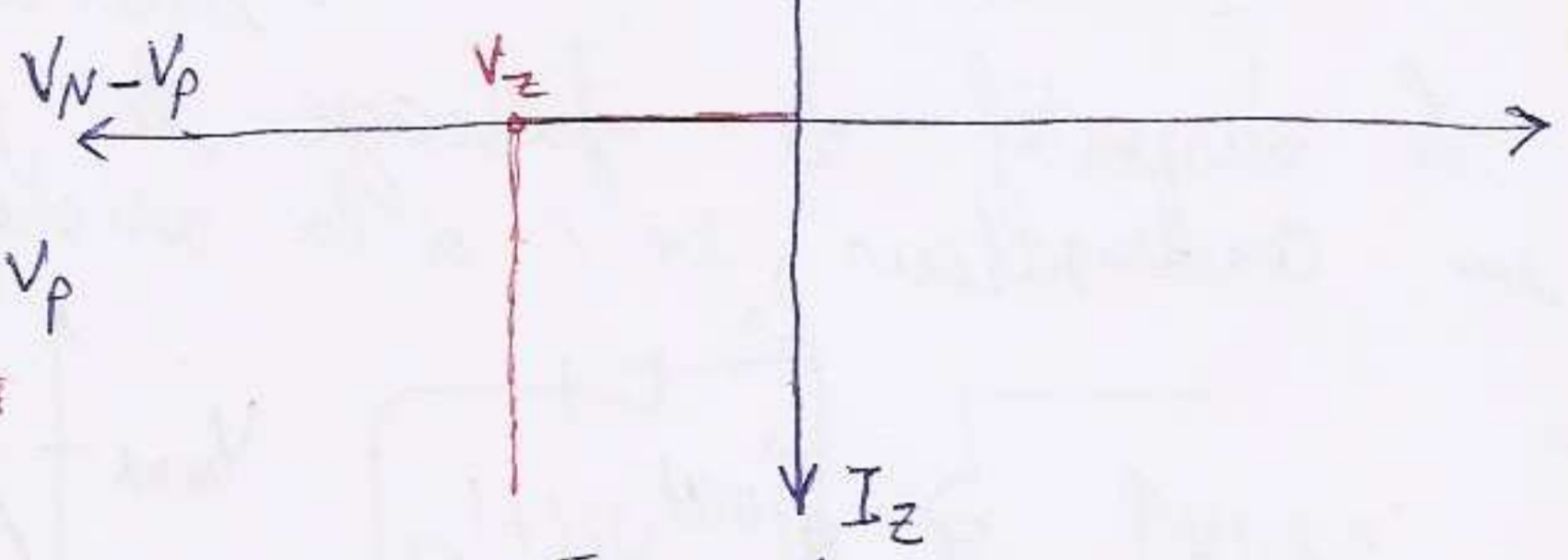
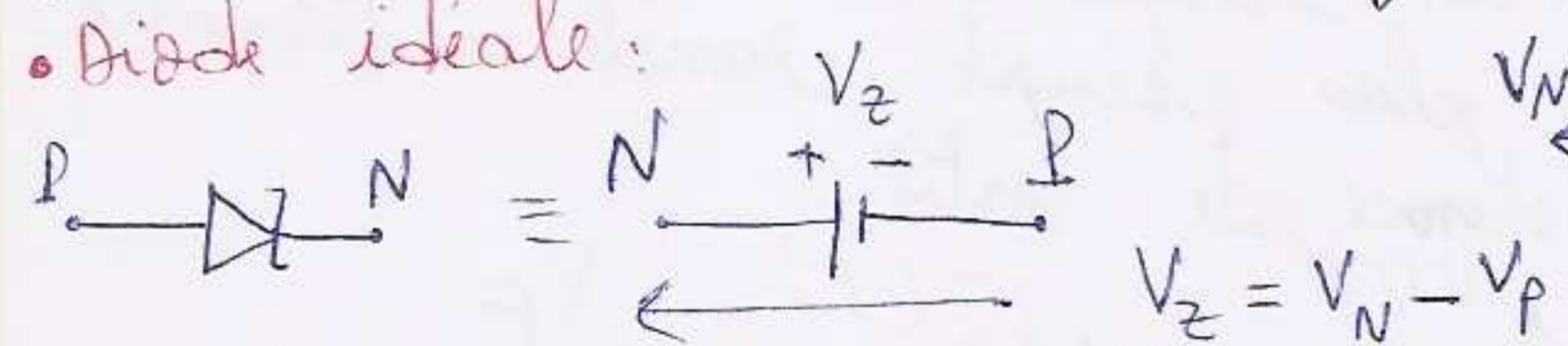
En polarisation directe, la caractéristique de la D.Z. est ≡ à celle
 d'un diode à jonction PN. Si la tension $V_N - V_P$ la diode reste

(b) jusqu'à une tension V_Z : tension Zener,

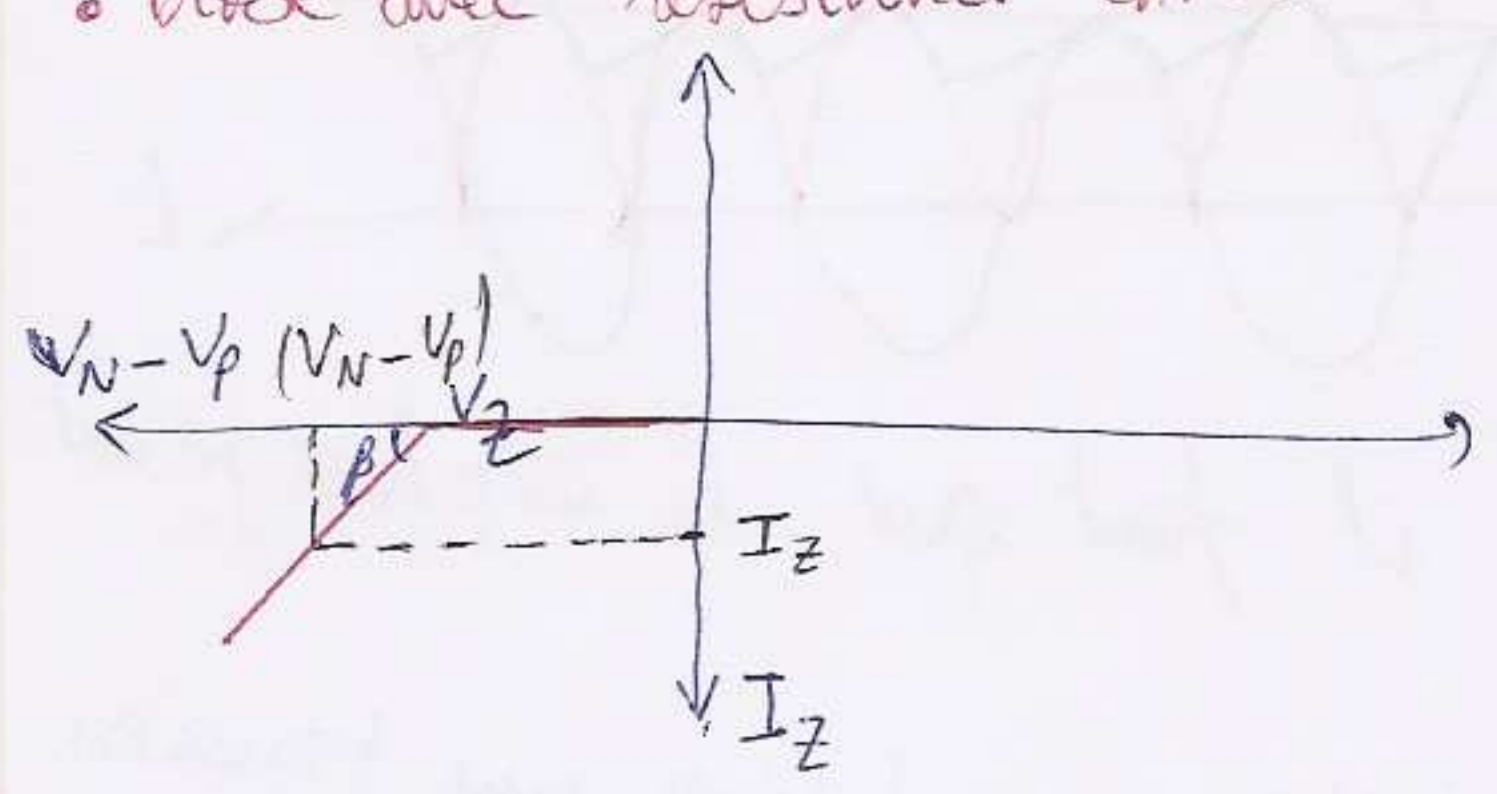
* Si $V_N - V_P > V_Z$: les porteurs minoritaires électrons de P et trous de N.
 gagnent de l'énergie et cassent les liaisons covalentes, il y a création
 donc d'électrons et de trous qui à leur tour gagnent de l'énergie et
 cassent d'autres liaisons covalentes. Ce phén. se multiplie et
 s'appelle effet d'avalanche.

(b) Modélisation de la diode zener:

• Diode idéale:



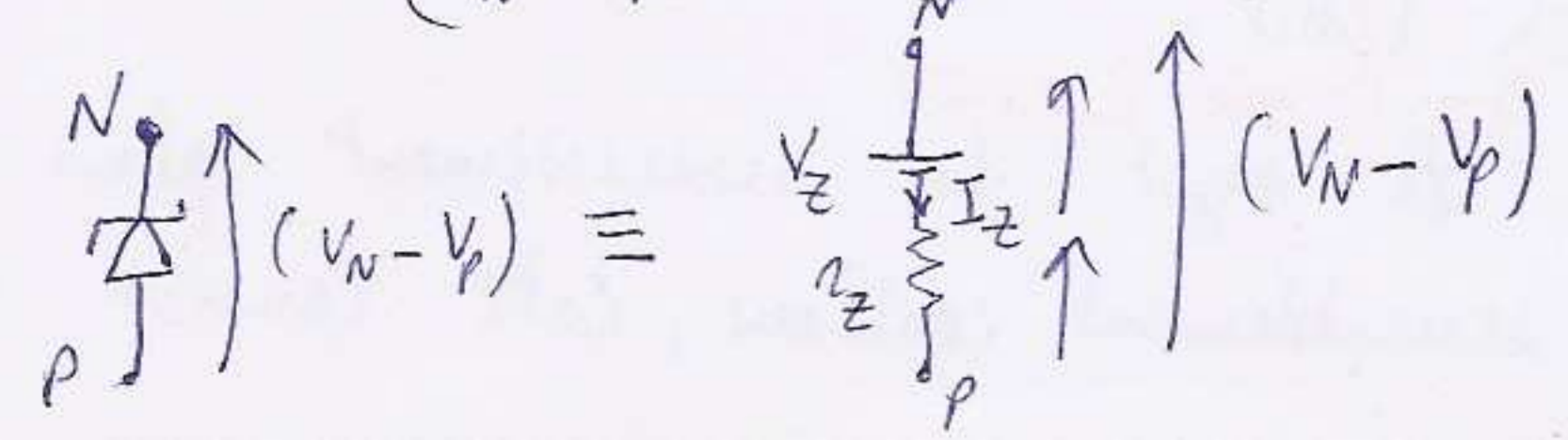
• Diode avec résistance interne r_z :



$$\text{tg } \beta = \frac{\Delta I_Z}{\Delta V} = \frac{1}{r_z}$$

$$\text{tg } \beta = \frac{1}{r_z} = \frac{I_Z - 0}{(V_N - V_P) - V_Z} \Rightarrow (V_N - V_P) - V_Z = r_z \cdot I_Z$$

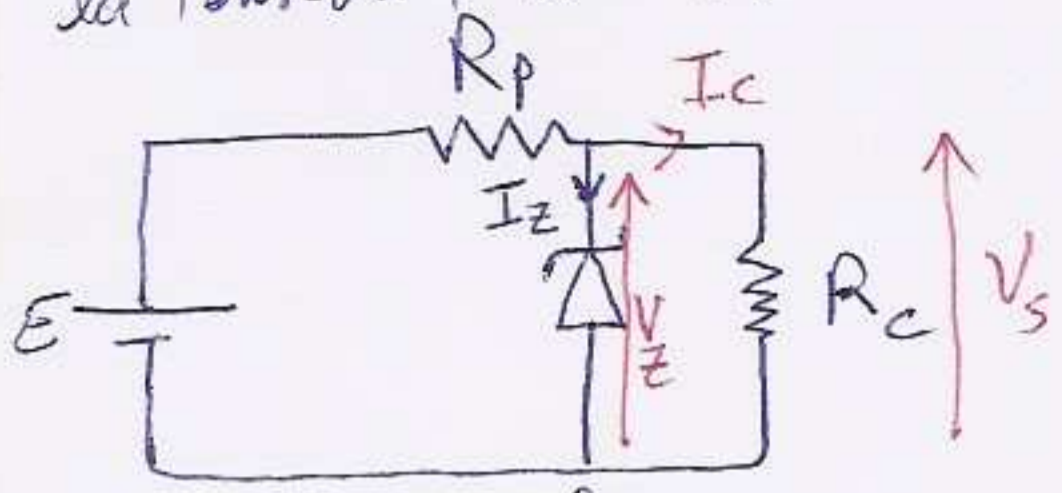
$$(V_N - V_P) = V_Z + r_z I_Z$$



© Application à la stabilisation de la tension.

L'application la plus courante de la diode Zener est la régulation de la tension, le schéma du régulateur est donné par:

EB. (10)



Diode Zener a pour rôle de la stabilité

Lorsque la tension E varie on dit que la stabilisation ament. Il est mesuré par le coff. de stabilisation

$$F = \frac{\Delta V_s}{\Delta E} \Big|_{R_L = \text{cte}}$$

Lorsque la charge R_c varie, on dit qu'on a la stabilisation aval. Il est mesuré par le facteur de stabilisation aval!

$$G = \frac{\Delta V_s}{\Delta I_c} \Big|_{E = \text{cte}} \quad (\text{Voir T.D}).$$