

Partie I.

a. D'après la caractéristique



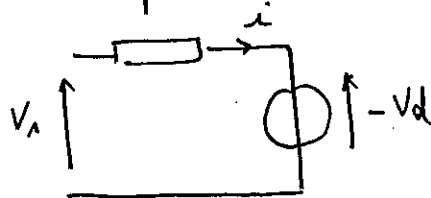
est eq à

$$i \downarrow \uparrow -V_d \text{ si } i \leq 0 \quad (1)$$

$$i \downarrow \uparrow V \text{ si } -V_d \leq V \leq V_s. \quad (2)$$

$$i \downarrow \uparrow V_s \text{ si } i \geq 0 \quad (2)$$

* Hypothèse de fonctionnement (1)

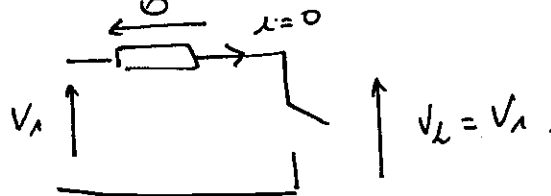


Donc $V_s = -V_d$.

Ce fonctionnement n'est possible que tant que $i < 0$.

Soit $\frac{V_1 + V_d}{R} < 0$ donc $V_1 < -V_d$.

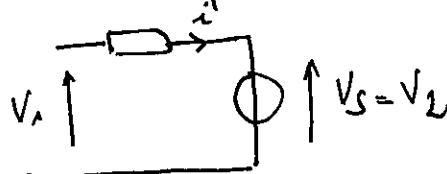
* Hypothèse de fonction. (2)



Ce fonctionn. n'est possible que tant que $-V_d \leq V_2 \leq V_s$

Soit $-V_d \leq V_2 \leq V_s$

* Hypothèse de fonctionnement 3.



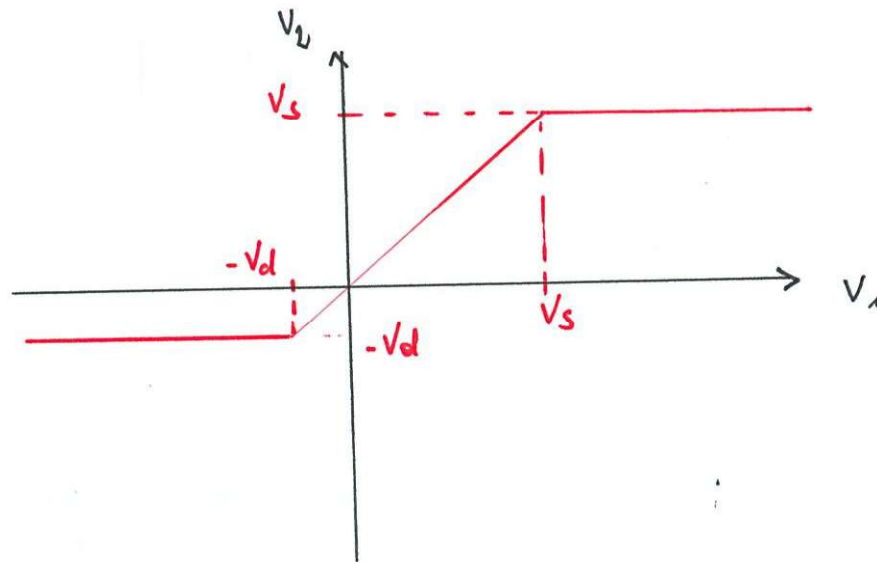
Ce fonctionn. n'est possible que tant que $i > 0$

Soit $\frac{V_1 - V_s}{R} > 0$ donc $V_1 > V_s$.

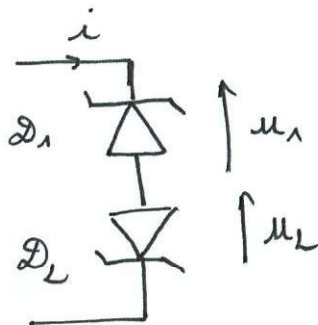
Conclusion

(2)

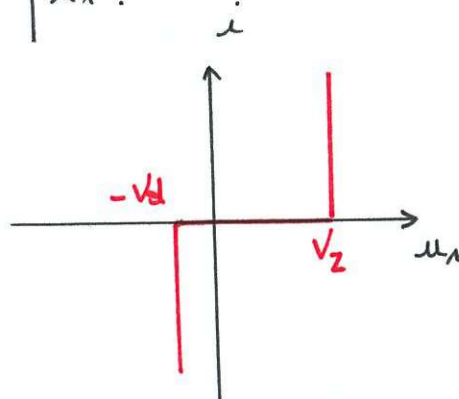
$$\begin{cases} V_L = -V_d & \text{si } V_A < -V_d \\ V_L = V_A & \text{si } -V_d \leq V_A \leq V_s \\ V_L = V_s & \text{si } V_A > V_s. \end{cases}$$



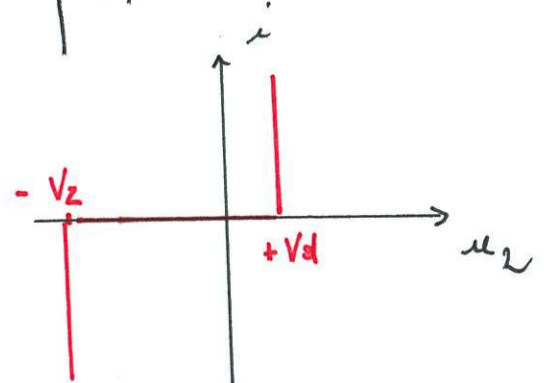
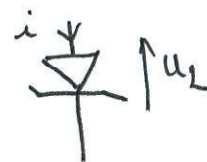
b.



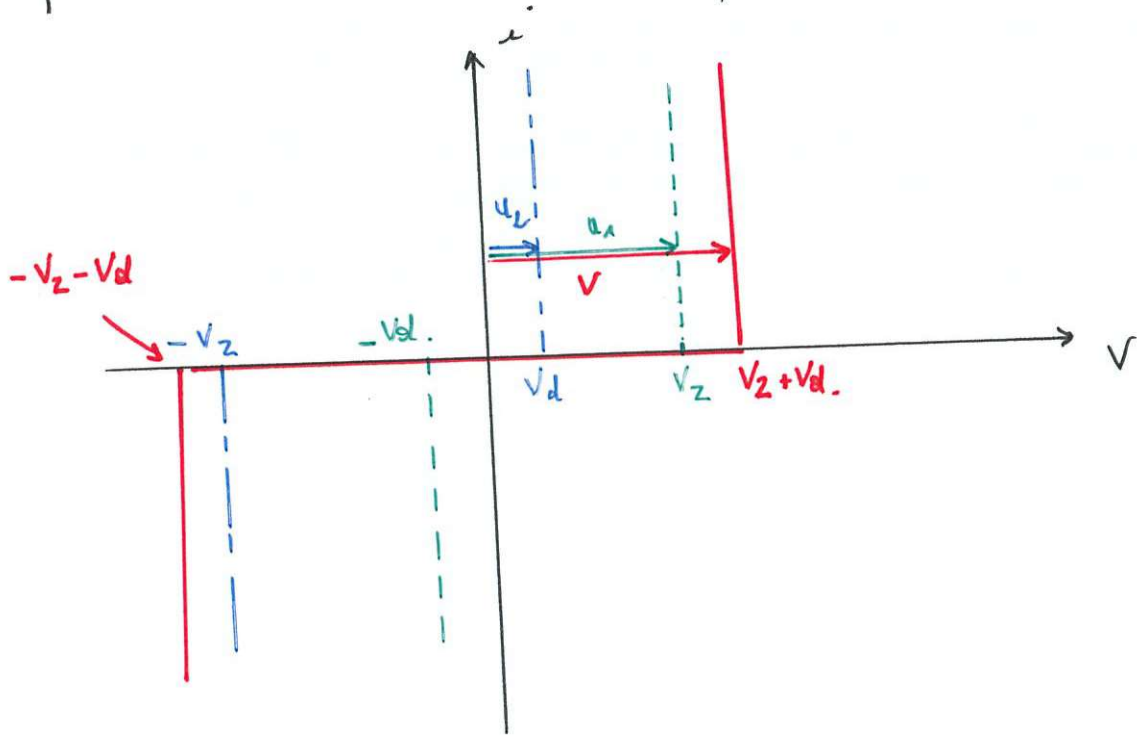
Caractéristique de D_1



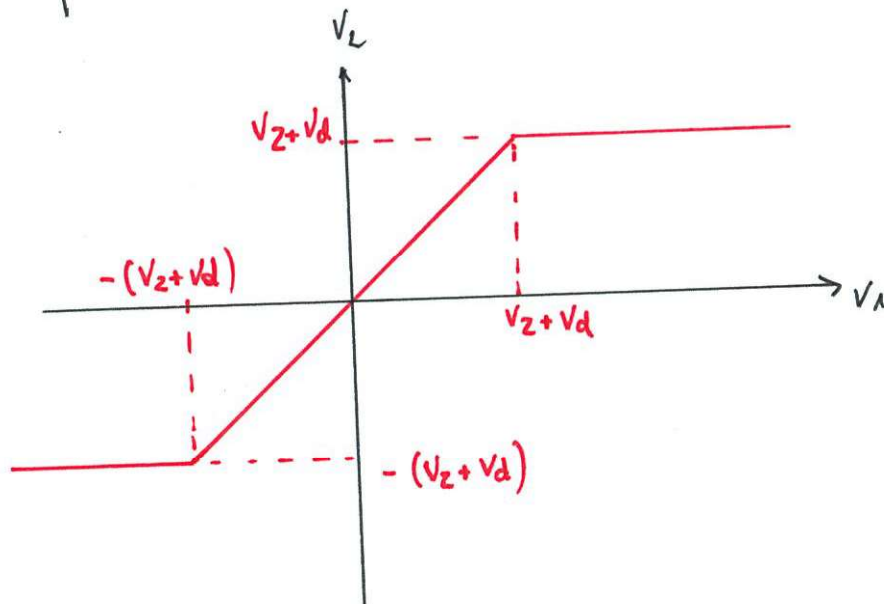
Caractéristique de D_2

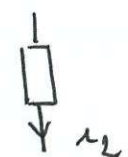


Lorsque les 2 diodes sont en série, pour i donne $V = u_1 + u_2$ (3)

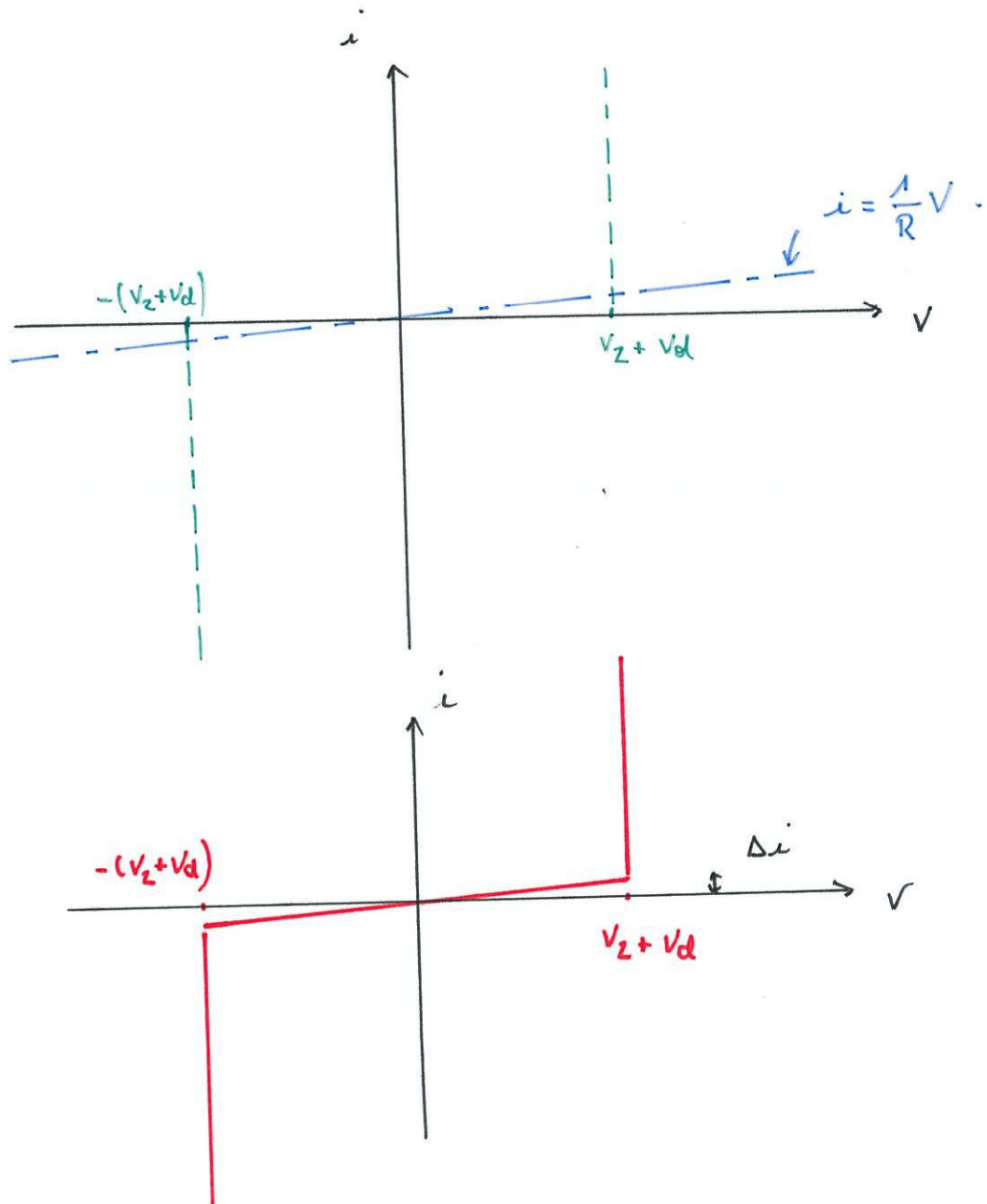


c. La caractéristique de la figure 3 ressemble à celle de la diode Zener. On peut donc appliquer le résultat de la question a.



d) On peut à nouveau raisonner sur les caractéristiques en associant cette fois en parallèle  et  i_1 et i_2 .

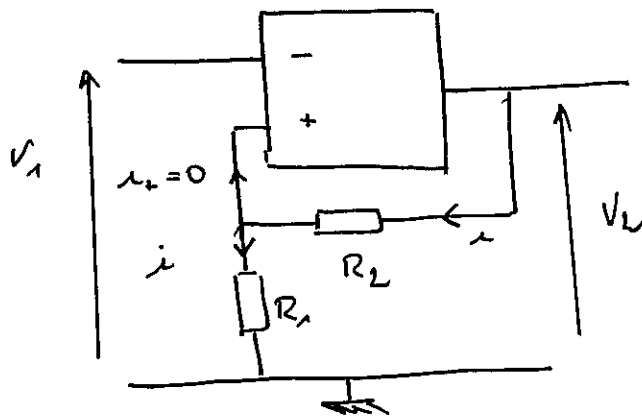
Pour une tension donnée v , $i = i_1 + i_2$.



Si on peut négliger $\Delta i = \frac{V_Z + V_d}{R}$ alors l'quadripôle de la figure 4 est le même que celui de la figure 5.

Partie II.

a.



Le fonctionnement de l'ALI n'est ici pas linéaire.

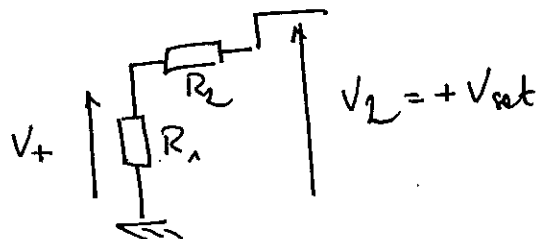
$V_2 = V_s$ ne peut donc prendre que 2 valeurs : $\pm V_{sat}$

* Supposons $V_2 = +V_{sat}$.

Ceci sera valable tant que $\varepsilon = V_+ - V_- > 0$

$$\text{Or } \rightarrow V_- = V_1$$

$\rightarrow V_+$ est la tension aux bornes de R_1
avec R_1 et R_2 en série puisque $i_+ = 0$



$$\text{donc } V_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat}.$$

Ainsi $V_2 = +V_{sat}$ tant que $V_1 < \underbrace{\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat}}_{V_0}$

Donc quand V_1 dépasse $V_0 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat}$,
 V_2 commute de $+V_{sat}$ à $-V_{sat}$.

(6)

* Supposons $V_2 = -V_{sat}$

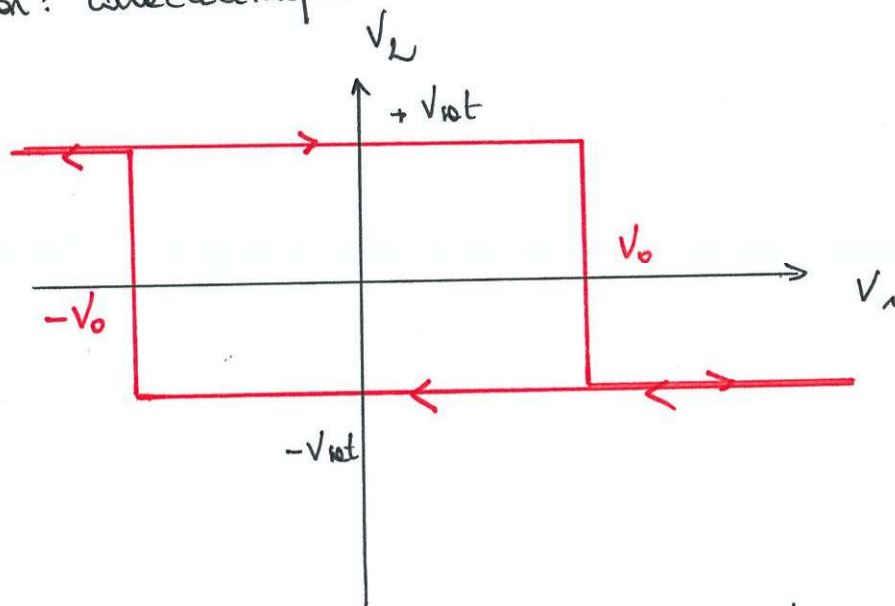
Ceci sera valable tant que $\epsilon = V_+ - V_- < 0$

$$= -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} - V_1 < 0.$$

donc tant que $V_1 > -V_0$.

Donc quand V_1 diminue et devient inférieure à $-V_0$
 V_2 commute de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$.

Conclusion: caractéristique



Pour $V_1 \in [-V_0, V_0]$ la valeur de V_2 dépend de l'état ultime antérieur de V_2 .

Si V_1 évolue à partir de faibles valeurs pour lesquelles $V_2 = +V_{sat}$ alors V_2 reste à $+V_{sat}$ et si V_1 évolue à partir de fortes valeurs alors V_2 passe à $-V_{sat}$.

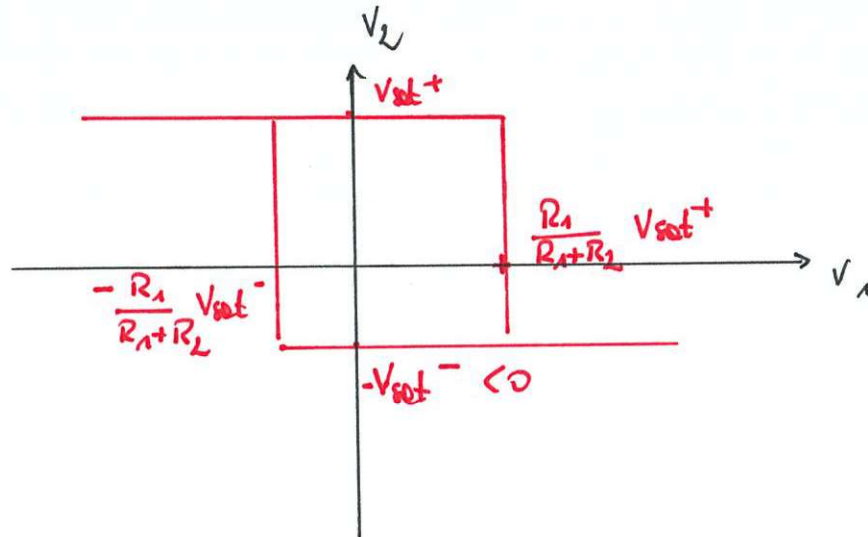
C'est le phénomène d'hystérésis

$$\text{AN : } V_0 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{sat} \Rightarrow \frac{V_{sat}}{V_0} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

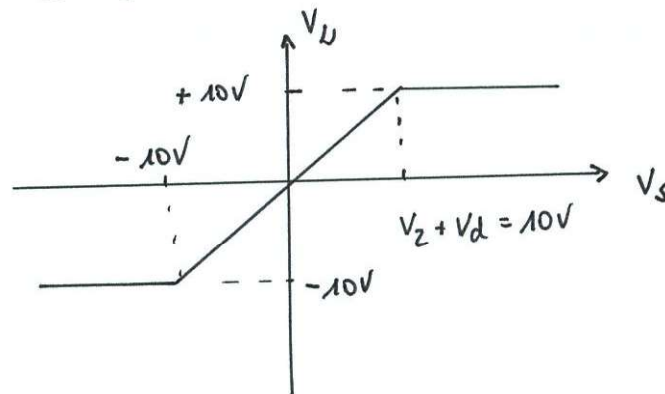
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_{sat}}{V_0} - 1 = \frac{V_{sat} - V_0}{V_0}$$

$$R_1 = R_2 \frac{V_0}{V_{sat} - V_0} = 2,2 \frac{9}{15 - 9} = 3,3 \text{ k}\Omega.$$

Si $V_{sat}^- \neq V_{sat}^+$ alors les tensions de commutation sont différentes (7)



b- Si $R_2 \gg R_1$ la relation entre V_s et V_L me donnee par la relation du 1c.



Or V_s ne peut prendre que 2 valeurs distinctes : $\pm V_{sat} = \pm 15V$.

Hyp 1 : Si $V_s = +V_{sat} > V_2 + V_d$ alors $V_L = V_2 + V_d = 10V$

Ceci est valable tant que $V_+ - V_- \geq 0$

avec $V_- = V_1$

$$V_+ = \frac{R_1}{R_1+R_2} V_L = \frac{R_1}{R_1+R_2} (V_2 + V_d)$$

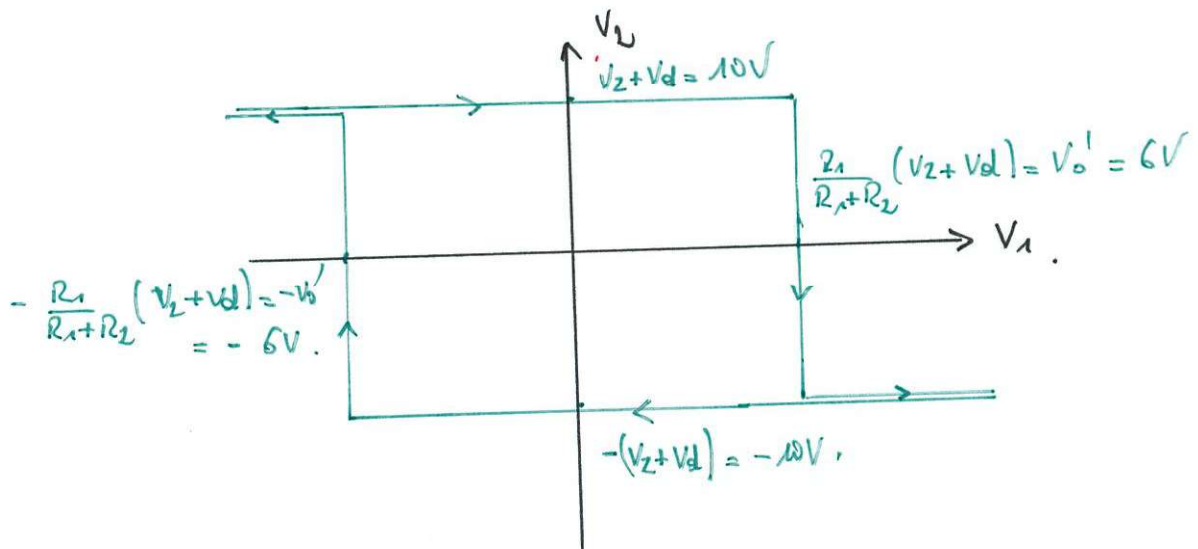
$$\text{Donc } V_L = V_2 + V_d \text{ tant que } V_1 < \frac{R_1}{R_1+R_2} (V_2 + V_d)$$

Hyp 2: Si $V_s = -V_{sat} < -(V_z + V_d)$ alors $V_L = -(V_z + V_d) = -10V$. (8)

Ceci est valable tant que $V_+ - V_- = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_z + V_d) - V_1 < 0$

Soit $V_L = -(V_z + V_d)$ tant que $V_1 > -\frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_z + V_d)$

Nouvelle caractéristique.



Cette caractéristique ne sera pas modifiée si $V_{sat}^+ \neq -V_{sat}^-$ puisque V_{sat} n'intervient plus dans la caractéristique.

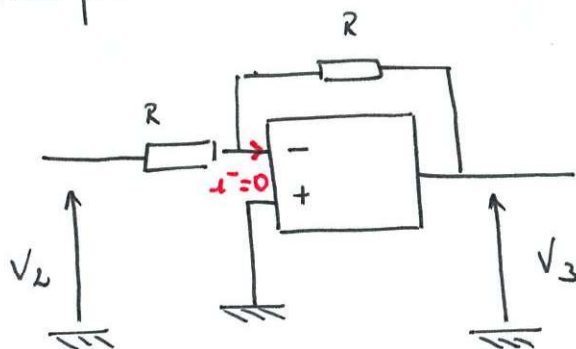
(Il suffit que $V_{sat}^+ > V_z + V_d$ et $V_{sat}^- < -(V_z + V_d)$)

L'utilisation des diodes zener a permis de fixer parfaitement les tensions de saturation et de basculement du comparateur et de les rendre parfaitement symétriques quel que soit l'ALI utilisé. (V_{sat}^+ et V_{sat}^- varient d'1 ALI à l'autre et ne sont jamais parfaitement symétriques)

Partie III

a - L'étude du quadripôle C' a été faite au IIb.

Quadripôle D



→ Rétroaction négative : l'ALI fonctionne en régime linéaire

→ $V_+ = 0$ relié à la masse.

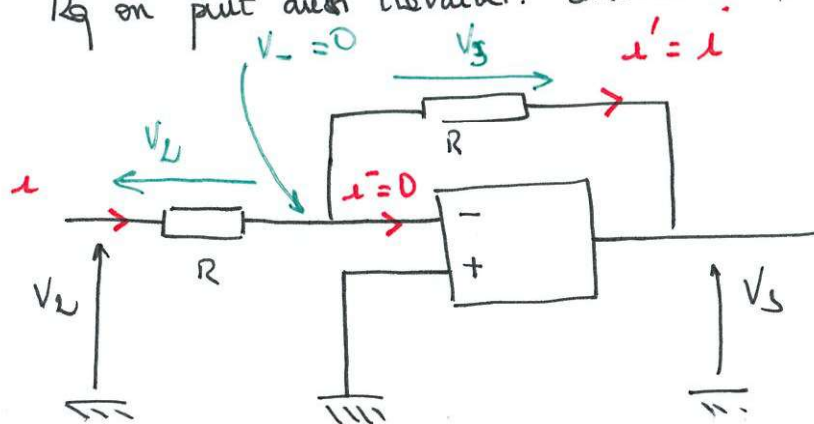
$V_- = V_+ = 0$ (fonction linéaire)

→ On peut appliquer la loi des nœuds en terme de potentiels au point E^-

$$V_- = 0 = \frac{\frac{V_2}{R} + \frac{V_3}{R}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}} \quad \text{car } i_- = 0$$

Donc $V_3 = -V_2$ montage inverseur

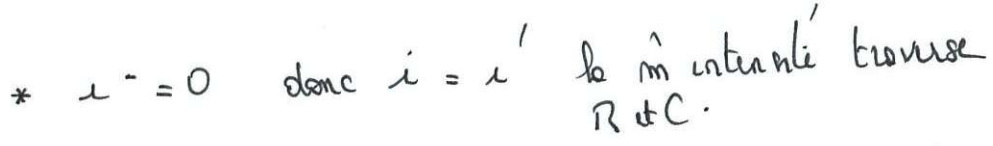
Rq on peut aussi travailler directement sur le montage -



Comme $V_- = 0$
On retrouve V_2 et V_3
aux bornes des conducteurs
ohmiques

$i = i' \quad \text{car } i_- = 0$

$$\text{Donc } i = \frac{V_2}{R} = i' = -\frac{V_3}{R} \quad \text{et } V_3 = -V_2$$



Et on retrouve donc V_3 et V_4 aux bornes de R et C respectivement.

Donc $V_3 = -RC \frac{dV_4}{dt}$

L'association des quadruplets $\text{Det } E$ constitue un intégrateur

$$V_2 = -V_3 = +RC \frac{dV_4}{dt}$$

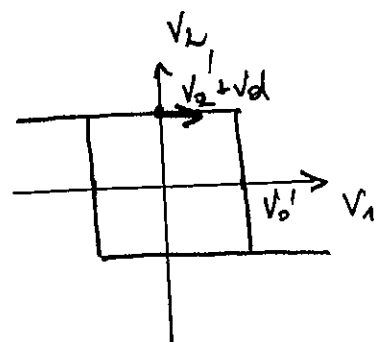
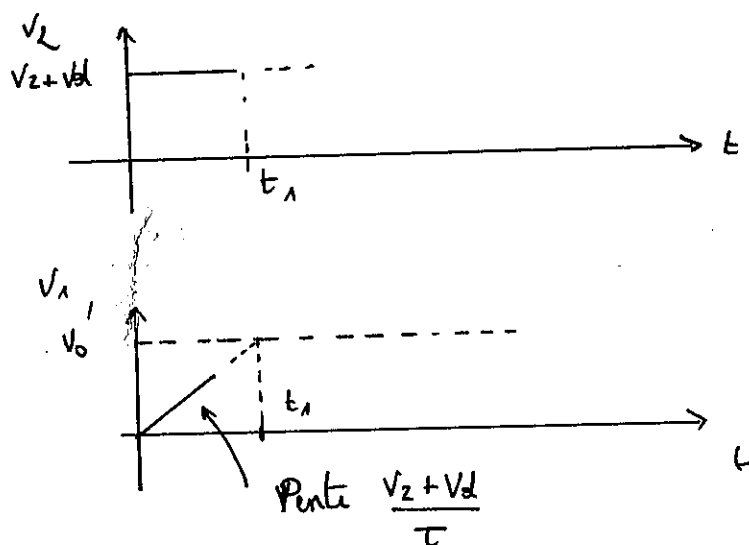
$$V_4 = + \frac{1}{RC} \int V_2 dt.$$

Pour comprendre le fonction du montage construisons les oscillogrammes

Prenons des conditions initiales quelconques par ex $V_1 = 0$ et $V_2 = V_2 + V_d$.

→ Alors $\frac{dV_1}{dt} \underset{\substack{\uparrow \\ \text{bouclage}}}{=} \frac{dV_1}{dt} = \frac{1}{T} (V_2 + V_d)$ $T = RC$.

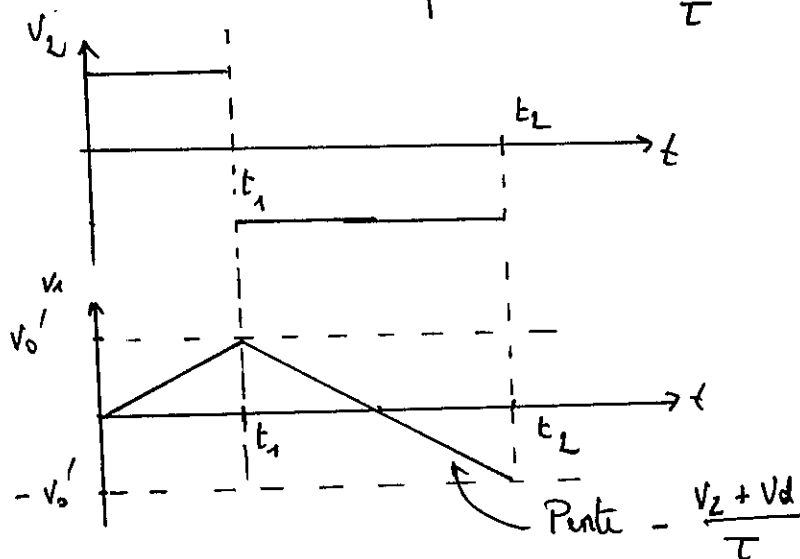
Donc V_1 croît de façon affine avec le temps avec une pente $+ \frac{V_2 + V_d}{T}$.



→ A l'instant t_1 V_1 atteint V_0' et V_2 commute à $-(V_2 + V_d)$

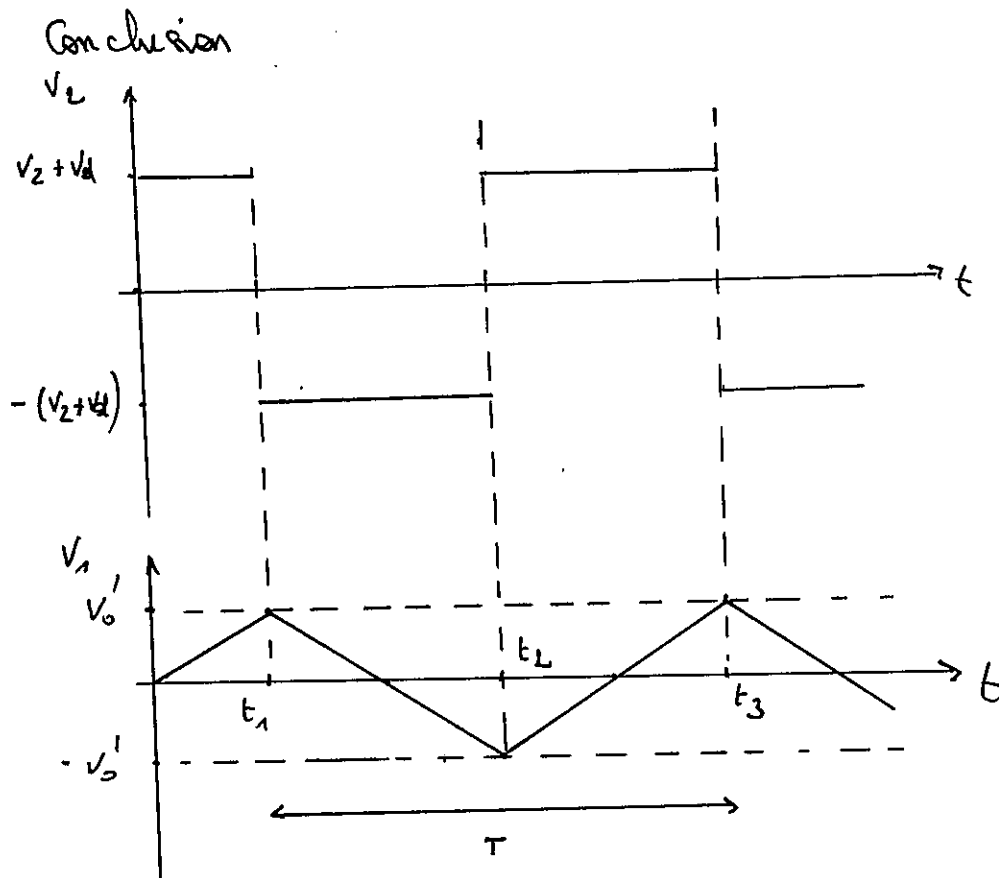
Alors $\frac{dV_1}{dt} = \frac{1}{T} V_2 = - \frac{1}{T} (V_2 + V_d)$

Donc V_1 décroît de façon affine dans le temps à partir de V_0' avec une pente $- \frac{V_2 + V_d}{T}$



→ A l'instant t_L , V_1 atteint $-V_0'$ et V_2 commute de $-V_0'$ à $+V_0'$ = $V_2 + V_d$
On retrouve la même évolution qu'entre 0 et t_1 .

(12)



On retrouve bien ~~une~~ un fonctionnement périodique

$\Delta V_1 = -2V_0'$

↙ pente = $-\frac{V_2 + V_d}{\tau}$

↖ $\Delta t = \frac{T}{2}$

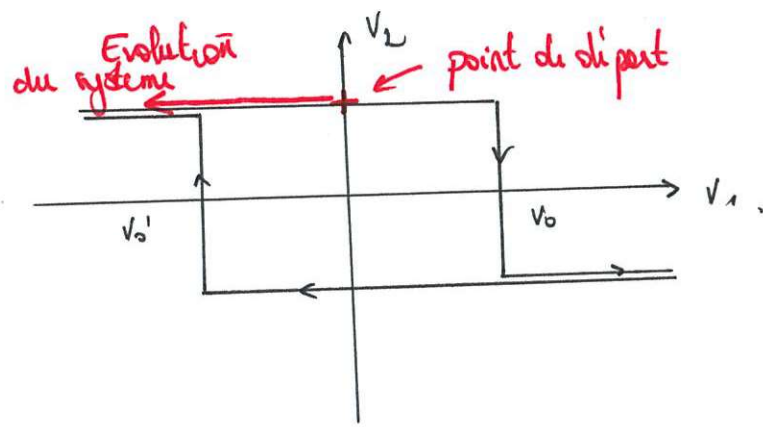
Analysons une demi-période de V_1

$$\frac{\Delta V_1}{\Delta t} = \frac{-2V_0'}{T/2} = -\frac{V_2 + V_d}{\tau}$$

$$T = \tau \frac{4V_0'}{V_2 + V_d} = LRC \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

L'énergie nécessaire au maintien des oscillations provient des ALI (qui sont alimentés)

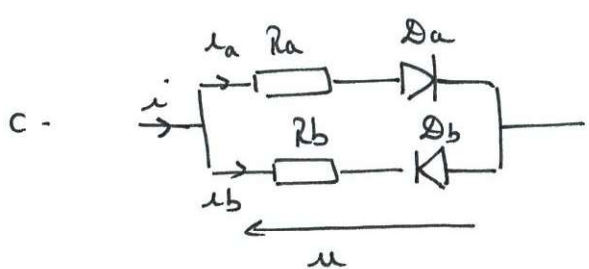
b - Sans le quadripôle D , V_1 maint décroissant lors d'une saturation haute et l'état de saturation haute perdurerait :



Il n'y a donc pas d'oscillation sans D .

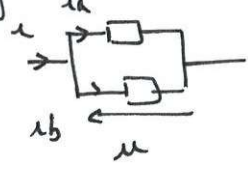
Grâce au quadripôle C' les tensions de bascule sont parfaitement connues et symétriques; par ailleurs les pentes de V_1 sont aussi parfaitement contrôlés et symétriques.

On aurait donc V_2 oscillant entre V_{sat}^- et V_{sat}^+
 V_1 aurait un rapport cyclique $\neq 1/2$.



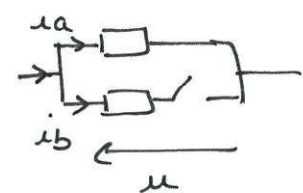
On peut étudier les 4 configurations

* D_a et D_b passant



$u = R_a i_a = R_b i_b$
avec $i_a > 0$ et $i_b < 0$
absurde.

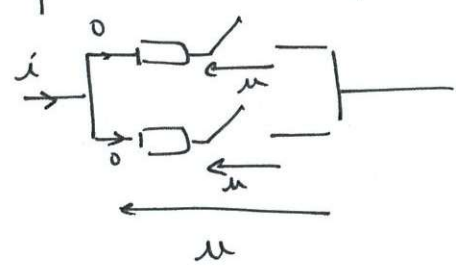
* D_a passant et D_b bloquée



$u = R_a i_a$ avec $i_a = i > 0$ donc $u = R_a i > 0$
(ce qui est compatible avec D_b bloquée)

* D_a bloquée et D_b passant $u = R_b i_b = R_b i < 0$.

* D_a bloquée et D_b bloquée



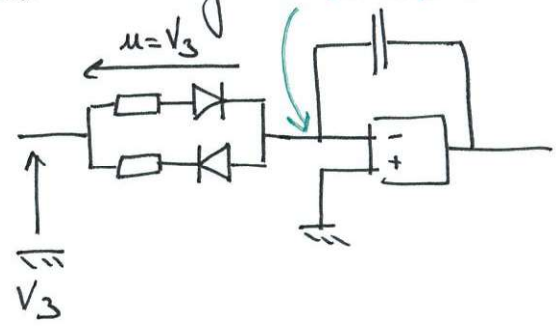
$$u = u_{Da} \text{ dc} \leq 0$$

$$u = u_{Db} \text{ dc} \geq 0$$

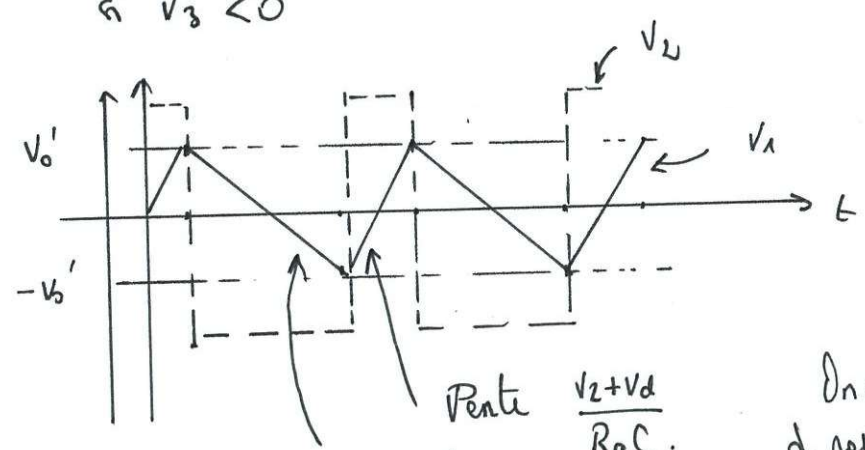
Donc $i = 0$ et $u = 0$.

Rq on aurait pu deviner voir que si $u \geq 0$ $i \geq 0$ mesuré et R dipôle est eq. à R_a R_b .
et si $u \leq 0$ $i \leq 0$

Considérons l'intégrateur: $v_- = v_+ = 0$.



Donc si $V_3 > 0$ on a un intégrateur à $T = T_a = R_a C$.
si $V_3 < 0$ $T = T_b = R_b C$.



$$\Delta t_b = \frac{2R_b C}{1 + R_2/R_1}$$

$$\Delta t_a = \frac{2R_a C}{1 + R_2/R_1}$$

On obtient des oscilles
à rapport cyclique
 $\frac{R_a}{R_a + R_b} \neq \frac{1}{2}$ et
contrôlé.