

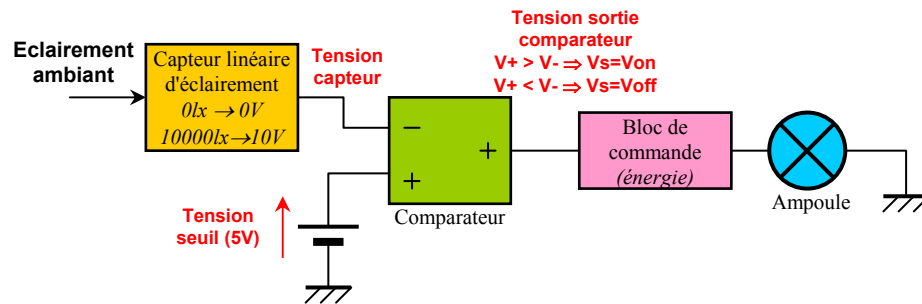
Cours Thème III "Traitement analogique du signal"

1- SYSTÈME ANALOGIQUE NON LINÉAIRE APPLICATION À LA FONCTION COMPARAISON

I- INTRODUCTION

1- Etude d'un exemple

Le schéma ci-dessous représente la partie "mesure et commande" d'un processus d'éclairage à déclenchement automatique :



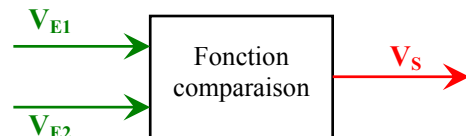
Le fonctionnement du processus est le suivant :

- Si l'éclairement ambiant est supérieur à 5000lx (tension capteur > 5V) alors la tension de sortie du comparateur est nulle (Voff) \Rightarrow pas d'allumage de l'ampoule.
- Si l'éclairement ambiant est inférieur à 5000lx (tension capteur < 5V) alors la tension de sortie du comparateur bascule à la valeur Von \Rightarrow allumage de l'ampoule.

2- Fonction comparaison

La fonction comparaison permet de fournir en sortie un signal dont la valeur est fonction de la comparaison des deux signaux d'entrée (schéma ci-dessous):

- Si $V_{E1} < V_{E2} \Rightarrow V_S = V_{S1}$
- Si $V_{E1} > V_{E2} \Rightarrow V_S = V_{S2}$



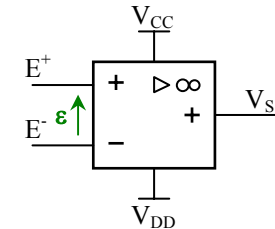
La sortie du comparateur ne peut donc prendre que deux valeurs (V_{S1} ou V_{S2}). On dit que le signal de sortie est de type "2 états".

II- QUELQUES COMPOSANTS UTILISÉS

1- L'amplificateur différentiel intégré (ADI)

L'ADI sera utilisé dans son régime non linéaire "saturation". La sortie ne sera donc pas "bouclée" sur l'entrée inverseuse "-". La tension de sortie ne pourra donc prendre que deux valeurs : $+V_{SAT}$ et $-V_{SAT}$ qui sont des tensions proches de V_{CC} et V_{DD} (tensions d'alimentation) avec $V_{CC} > V_{DD}$ (schéma ci-dessous):

- Si $E^+ > E^- \Rightarrow \varepsilon > 0 \Rightarrow V_S = +V_{SAT} \approx V_{CC}$
- Si $E^+ < E^- \Rightarrow \varepsilon < 0 \Rightarrow V_S = -V_{SAT} \approx V_{DD}$



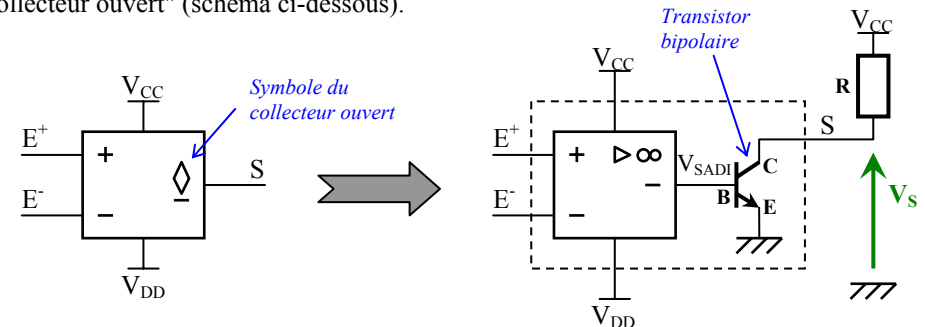
Remarques :

- ① Dans les représentations schématiques, les connexions V_{CC} et V_{DD} peuvent ne pas être représentées et on a souvent $V_{CC} = +15V$ et $V_{DD} = -15V$.
- ② Dans le régime non linéaire, le défaut principal de l'ADI réside dans son faible temps de réponse (vitesse de montée du signal trop faible $\approx 10V/\mu s$ pour un TL081).

2- Le comparateur intégré LM311

C'est un circuit intégré spécialisé dans la comparaison analogique de tensions.

Il diffère de l'ADI par un meilleur temps de réponse ($\approx 50V/\mu s$) et par un étage de sortie à "collecteur ouvert" (schéma ci-dessous).



- Si $E^+ > E^- \Rightarrow V_{SADI} < 0 \Rightarrow$ transistor bloqué $\Rightarrow V_S = V_{CC}$ (pas de courant dans R)
- Si $E^+ < E^- \Rightarrow V_{SADI} > 0 \Rightarrow$ transistor saturé $\Rightarrow V_S \approx 0V$ (sortie S reliée à la masse).

Remarques :

- ① La résistance **R** n'est pas intégrée au circuit, il faut donc la rajouter.
- ② La tension V_S prend exactement la valeur V_{CC} lorsque $E^+ > E^-$.

II- LE COMPAREUR À UN SEUIL

1- Le comparateur non inverseur à un seuil

a- Régime de fonctionnement

Le régime de fonctionnement de ce comparateur est le suivant :

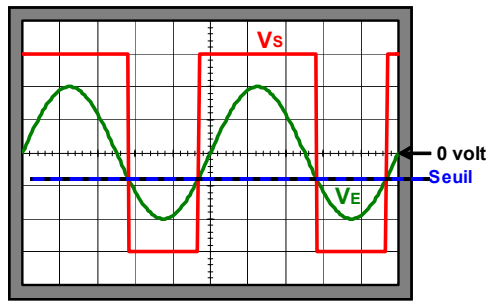
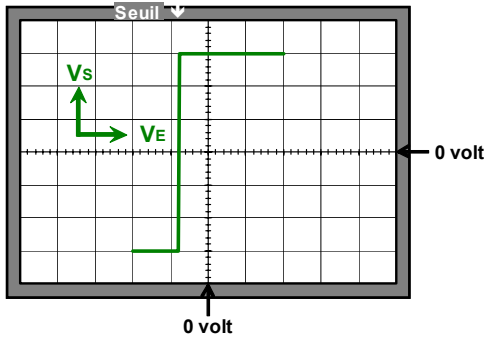
- Si $V_E < V_{Seuil} \Rightarrow V_S = V_{SAT-}$ avec $V_{SAT+} > V_{SAT-}$.
- Si $V_E > V_{Seuil} \Rightarrow V_S = V_{SAT+}$

b- Oscillogrammes $V_S = f(V_E)$ et $V_E(t) ; V_S(t)$:

$V_E(t)$ sinusoïdal $-10V / +10V$ (5V / div)

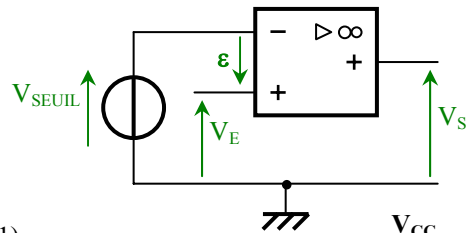
$V_{SAT-} = -15V$ et $V_{SAT+} = 15V$ (5V / div)

$V_{Seuil} = -4V$



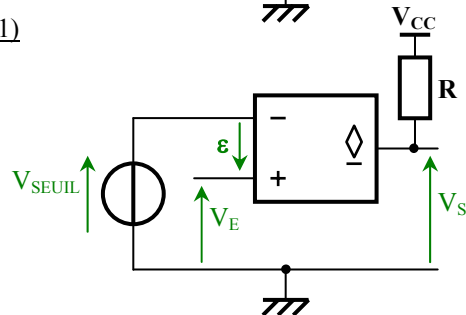
c- Réalisation avec ADI

- $V_E < V_{Seuil} \Rightarrow \varepsilon < 0 \Rightarrow V_S = V_{SAT-} \approx V_{DD}$
- $V_E > V_{Seuil} \Rightarrow \varepsilon > 0 \Rightarrow V_S = V_{SAT+} \approx V_{CC}$



d- Réalisation avec comparateur intégré (LM311)

- $V_E < V_{Seuil} \Rightarrow \varepsilon < 0 \Rightarrow$ transistor saturé $\Rightarrow V_S = V_{SAT-} \approx 0V$
- $V_E > V_{Seuil} \Rightarrow \varepsilon > 0 \Rightarrow$ transistor bloqué $\Rightarrow V_S = V_{SAT+} = V_{CC}$



2- Le comparateur inverseur à un seuil

a- Régime de fonctionnement

Le régime de fonctionnement de ce comparateur est le suivant :

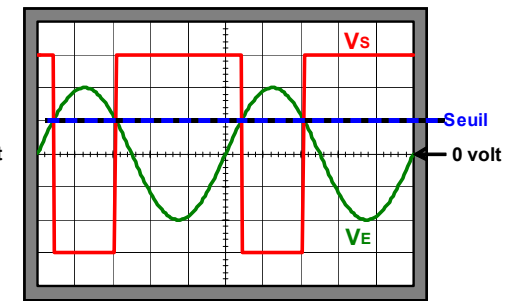
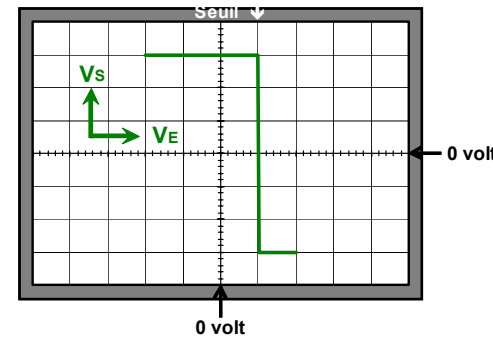
- Si $V_E < V_{Seuil} \Rightarrow V_S = V_{SAT+}$ avec $V_{SAT+} > V_{SAT-}$.
- Si $V_E > V_{Seuil} \Rightarrow V_S = V_{SAT-}$

b- Graphes $V_S = f(V_E)$ et $V_E(t) ; V_S(t)$

$V_E(t)$ sinusoïdal $-10V / +10V$ (5V / div)

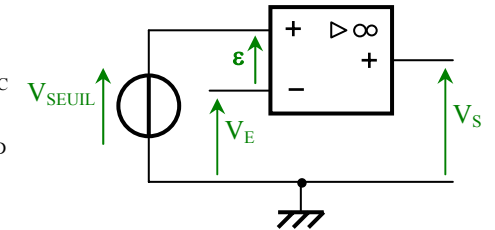
$V_{SAT-} = -15V$ et $V_{SAT+} = 15V$ (5V / div)

$V_{Seuil} = 5V$



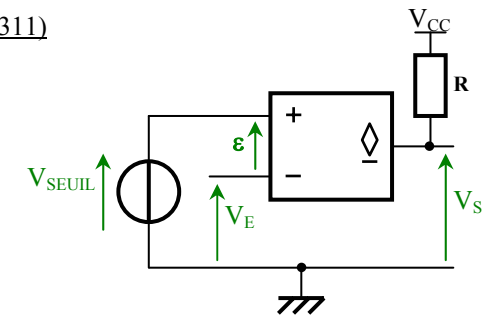
c- Réalisation avec ADI

- $V_E < V_{Seuil} \Rightarrow \varepsilon > 0 \Rightarrow V_S = V_{SAT+} \approx V_{CC}$
- $V_E > V_{Seuil} \Rightarrow \varepsilon < 0 \Rightarrow V_S = V_{SAT-} \approx V_{DD}$



d- Réalisation avec comparateur intégré (LM311)

- $V_E < V_{Seuil} \Rightarrow \varepsilon > 0 \Rightarrow$ transistor bloqué $\Rightarrow V_S = V_{SAT+} = V_{CC}$
- $V_E > V_{Seuil} \Rightarrow \varepsilon < 0 \Rightarrow$ transistor saturé $\Rightarrow V_S = V_{SAT-} \approx 0V$



III- LE COMPAREUR À DEUX SEUILS

1- Le comparateur non inverseur à deux seuils

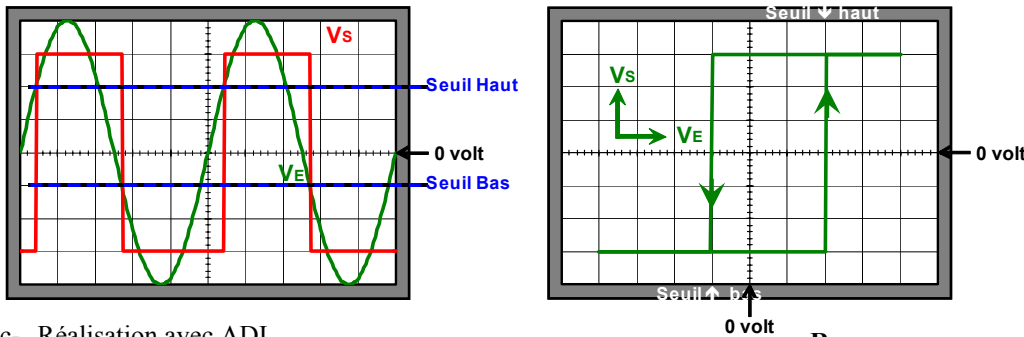
a- Régime de fonctionnement

Le régime de fonctionnement de ce comparateur est le suivant :

- Si $V_S = V_{SAT-}$ ($V_{Seuil} = V_{Seuil\ Haut}$)
 - si $V_E < V_{Seuil\ Haut} \Rightarrow V_S = V_{SAT-}$
 - si $V_E > V_{Seuil\ Haut} \Rightarrow V_S = V_{SAT+}$
- Si $V_S = V_{SAT+}$ ($V_{Seuil} = V_{Seuil\ Bas}$)
 - si $V_E > V_{Seuil\ Bas} \Rightarrow V_S = V_{SAT+}$
 - si $V_E < V_{Seuil\ Bas} \Rightarrow V_S = V_{SAT-}$

b- Graphes $V_S = f(V_E)$ et $V_E(t) ; V_S(t)$

$V_E(t)$ sinusoïdal -8 / +8V (2V / div)
 $V_{SAT-} = -15V$ et $V_{SAT+} = 15V$ (5V / div)
 $V_{SeuilBas} = -2V$ et $V_{SeuilHaut} = 4V$

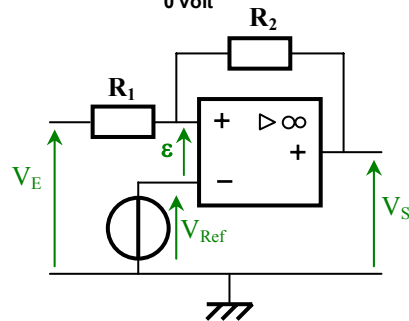


c- Réalisation avec ADI

- Cas où $V_S = V_{SAT-} \Rightarrow V_{Seuil} = V_{Seuil\ Haut}$
 trouvons l'expression de $V_{Seuil\ Haut}$:

Le comparateur "bascule" lorsque $\epsilon = 0$, donc pour $V^+ = V_{Ref}$ et $V_E = V_{Seuil\ Haut}$

$$\Rightarrow V_{Ref} = V_{SeuilHaut} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{SAT-} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



$$\Rightarrow V_{SeuilHaut} = V_{Ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - V_{SAT-} \frac{R_1}{R_2}$$

- Cas où $V_S = V_{SAT+} \Rightarrow V_{Seuil} = V_{Seuil\ Bas}$
 trouvons l'expression de $V_{Seuil\ Bas}$:

Le comparateur "bascule" lorsque $\epsilon = 0$, donc pour $V^+ = V_{Ref}$ et $V_E = V_{Seuil\ Bas}$

$$\Rightarrow V_{Ref} = V_{SeuilBas} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{SAT+} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow V_{SeuilBas} = V_{Ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - V_{SAT+} \frac{R_1}{R_2}$$

Remarques

- ① $V_{SeuilHaut} - V_{SeuilBas} = \frac{R_1}{R_2} (V_{SAT+} - V_{SAT-})$ est la largeur du cycle qui dépend de la valeur des résistances, de V_{SAT+} et de V_{SAT-} .

- ② $\frac{V_{SeuilHaut} + V_{SeuilBas}}{2} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_{Ref}$ (si $|V_{SAT+}| = |V_{SAT-}|$) est le centre du cycle; il sera réglé en agissant sur V_{Ref} .

d- Réalisation avec comparateur intégré (LM311)

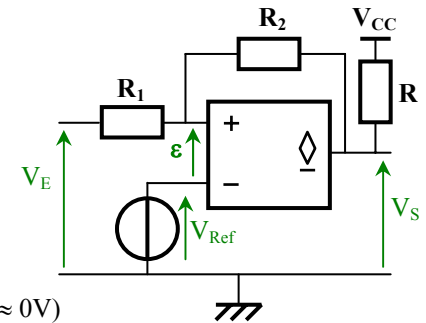
- Cas où $V_S = V_{SAT-} \approx 0V \Rightarrow V_{Seuil} = V_{Seuil\ Haut}$
 trouvons l'expression de $V_{Seuil\ Haut}$:

Le comparateur "bascule" lorsque $\epsilon = 0$, donc pour $V^+ = V_{Ref}$ et $V_E = V_{Seuil\ Haut}$

$$\Rightarrow V_{Ref} = V_{SeuilHaut} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{car } V_S = V_{SAT-} \approx 0V)$$

$$\Rightarrow V_{SeuilHaut} = V_{Ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

- Cas où $V_S = V_{SAT+} = V_{CC} \Rightarrow V_{Seuil} = V_{Seuil\ Bas}$
 trouvons l'expression de $V_{Seuil\ Bas}$:



Le comparateur "bascule" lorsque $\varepsilon = 0$, donc pour $V^+ = V_{Ref}$ et $V_E = V_{Seuil\ Bas}$

$$\Rightarrow V_{Ref} = V_{Seuil\ Bas} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{CC} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow V_{Seuil\ Bas} = V_{Ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - V_{CC} \frac{R_1}{R_2}$$

Remarques

① $V_{Seuil\ Haut} - V_{Seuil\ Bas} = V_{CC} \frac{R_1}{R_2}$ est la largeur du cycle qui dépend de la valeur des résistances et de V_{CC} .

② $\frac{V_{Seuil\ Haut} + V_{Seuil\ Bas}}{2} = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - V_{CC} \frac{R_1}{2R_2}$ est le centre du cycle; il sera réglé en agissant sur V_{Ref} .

2- Le comparateur inverseur à deux seuils

a- Régime de fonctionnement

Le régime de fonctionnement de ce comparateur est le suivant :

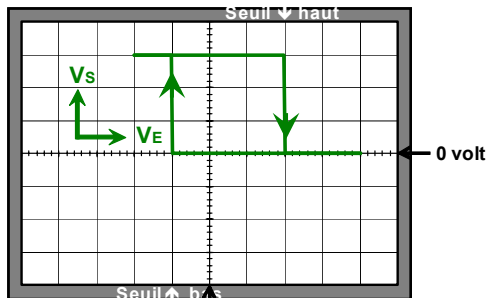
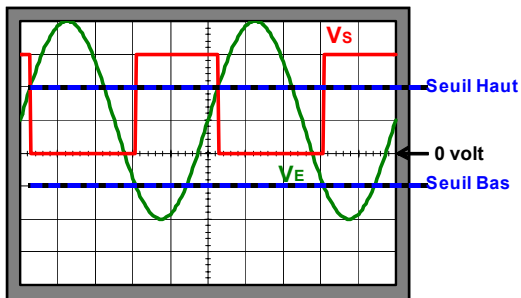
■ Si $V_S = V_{SAT+}$ ($V_{Seuil} = V_{Seuil\ Haut}$)
 - Si $V_E < V_{Seuil\ Haut} \Rightarrow V_S = V_{SAT+}$
 - Si $V_E > V_{Seuil\ Haut} \Rightarrow V_S = V_{SAT-}$

■ Si $V_S = V_{SAT-}$ ($V_{Seuil} = V_{Seuil\ Bas}$)
 - Si $V_E > V_{Seuil\ Bas} \Rightarrow V_S = V_{SAT-}$
 - Si $V_E < V_{Seuil\ Bas} \Rightarrow V_S = V_{SAT+}$

b- Graphes $V_S = f(V_E)$ et $V_E(t) ; V_S(t)$

$V_E(t)$ sinusoïdal -2V / 4V (1V / div)
 $V_{SAT-} = 0V$ et $V_{SAT+} = 15V$ (5V / div)

$V_{Seuil\ Bas} = -1V$ et $V_{Seuil\ Haut} = 2V$



c- Réalisation avec ADI

■ Cas où $V_S = V_{SAT+} \Rightarrow V_{Seuil} = V_{Seuil\ Haut}$
 trouvons l'expression de $V_{Seuil\ Haut}$:

Le comparateur "bascule" lorsque $\varepsilon = 0$, donc pour $V^+ = V_E = V_{Seuil\ Haut}$

$$\Rightarrow V_{Seuil\ Haut} = V_{Ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{SAT+} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

■ Cas où $V_S = V_{SAT-} \Rightarrow V_{Seuil} = V_{Seuil\ Bas}$
 trouvons l'expression de $V_{Seuil\ Bas}$:

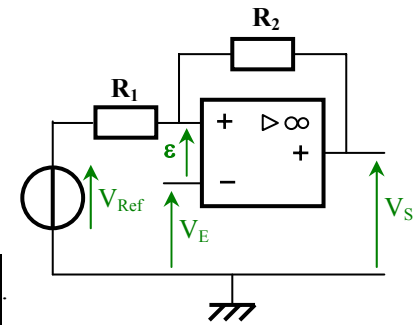
Le comparateur "bascule" lorsque $\varepsilon = 0$, donc pour $V^+ = V_E = V_{Seuil\ Bas}$

$$\Rightarrow V_{Seuil\ Bas} = V_{Ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{SAT-} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Remarques

① $V_{Seuil\ Haut} - V_{Seuil\ Bas} = (V_{SAT+} - V_{SAT-}) \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ est la largeur du cycle qui dépend de la valeur des résistances et de V_{SAT+} et de V_{SAT-} .

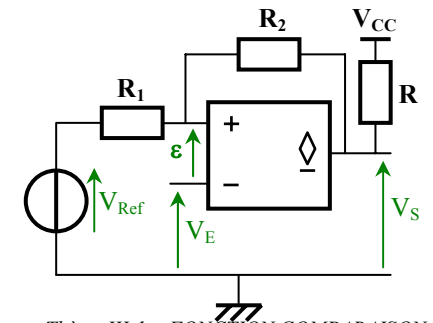
② $\frac{V_{Seuil\ Haut} + V_{Seuil\ Bas}}{2} = V_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ (si $|V_{SAT+}| = |V_{SAT-}|$) est le centre du cycle; il sera réglé en agissant sur V_{Ref} .



d- Réalisation avec comparateur intégré (LM311)

■ Cas où $V_S = V_{SAT+} = V_{CC} \Rightarrow V_{Seuil} = V_{Seuil\ Haut}$
 trouvons l'expression de $V_{Seuil\ Haut}$:

Le comparateur "bascule" lorsque $\varepsilon = 0$, donc pour $V^+ = V_E = V_{Seuil\ Haut}$



$$\Rightarrow V_{\text{SeuilHaut}} = V_{\text{Ref}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{\text{CC}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

- Cas où $V_S = V_{\text{SAT-}} \approx 0V \Rightarrow V_{\text{Seuil}} = V_{\text{Seuil Bas}}$
trouvons l'expression de $V_{\text{Seuil Bas}}$:

Le comparateur "bascule" lorsque $\varepsilon = 0$, donc pour $V^+ = V_E = V_{\text{Seuil Bas}}$

$$\Rightarrow V_{\text{SeuilBas}} = V_{\text{Ref}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{car } V_{\text{SAT-}} \approx 0V.$$

Remarques

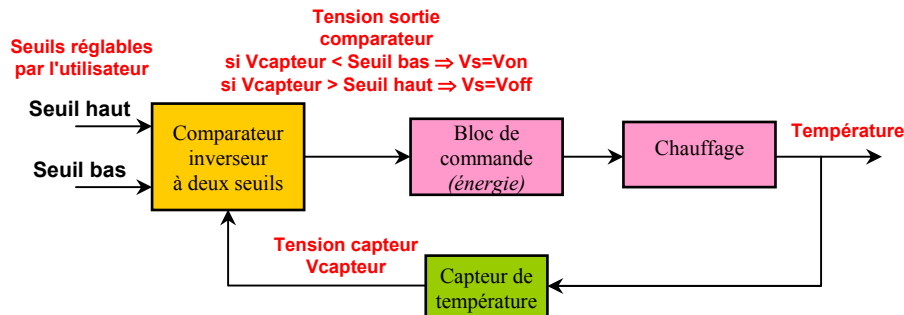
- ① $V_{\text{SeuilHaut}} - V_{\text{SeuilBas}} = V_{\text{CC}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ est la largeur du cycle qui dépend de la valeur des résistances et de $V_{\text{SAT+}}$ et de $V_{\text{SAT-}}$.
- ② $\frac{V_{\text{SeuilHaut}} + V_{\text{SeuilBas}}}{2} = V_{\text{ref}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{\text{CC}} \frac{R_2}{2(R_1 + R_2)}$ est le centre du cycle; il sera réglé en agissant sur V_{Ref} .

VI- UTILISATIONS DES COMPARETEURS

1- Régulation "tout ou rien"

Lorsqu'on veut encadrer une grandeur analogique entre deux valeurs fixées, on utilise un comparateur dans la boucle de régulation.

Citons, par exemple, le cas de la régulation de la température d'une pièce (schéma ci-dessous) :



2- Mise en forme de signal

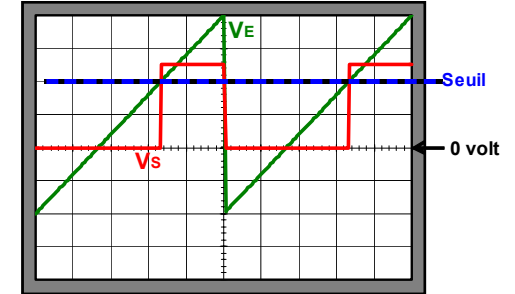
a- Comparateur à un seuil

Le comparateur à un seuil permet de transformer un signal quelconque en un signal rectangulaire à deux niveaux de tension.

L'oscillogramme ci-dessous illustre la transformation d'un signal "dent de scie" en un signal rectangulaire TTL (0V / 5V) :

Le rapport cyclique du signal de sortie v_s est défini par la durée à l'état haut divisé par la période.

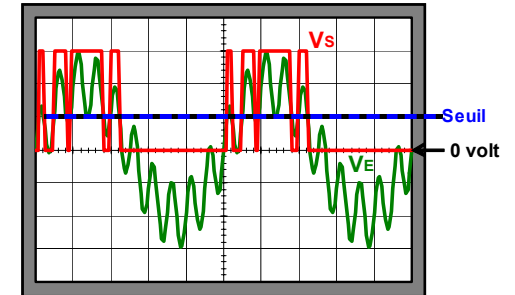
Ce rapport cyclique est directement déterminé par la tension de seuil du comparateur.



b- Comparateur à deux seuils

Lorsque le signal à mettre en forme est fortement parasité, l'utilisation d'un comparateur à un seuil donne le résultat illustré ci-contre :

La composante "haute fréquence" du signal "basculé" intempestivement le comparateur.



Solution au problème :

L'utilisation d'un comparateur à deux seuils (bien réglés) permet d'éviter les "basculements" non désirables :

