

## Les montages comparateurs de tension

### I - Introduction

La fonction comparaison consiste à comparer une tension d'entrée  $V_E$ , variable au cours du temps, à une tension constante  $V_{ref}$  pour le *comparateur à un seuil*, ou à deux tensions constantes  $V_{ref1}$  et  $V_{ref2}$  pour le *comparateur à deux seuils*.

Les tensions constantes  $V_{ref}$ ,  $V_{ref1}$ , et  $V_{ref2}$  sont appelées *tensions de seuil*.

Lorsque la tension  $V_E$  franchit une tension de seuil, la tension de sortie  $V_S$  du comparateur bascule d'une valeur  $V_{SAT1}$  à une valeur  $V_{SAT2}$  [ou inversement].

### II - L'A.L.I. fonctionnant en comparateur

#### I - 1 - Rappel sur les deux modes de fonctionnement d'un A.L.I.

Dans un montage à A.L.I. :

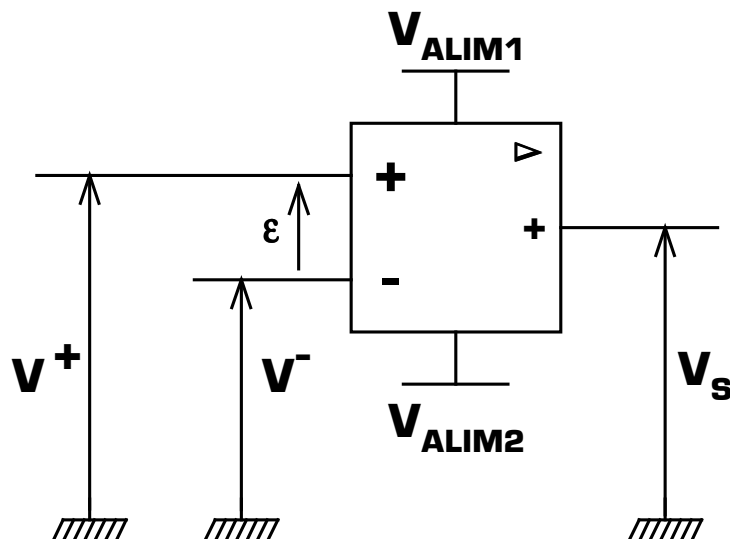
- \* si la sortie est reliée directement ou indirectement à l'entrée inverseuse, l'A.L.I. fonctionne **en régime linéaire**
- \* si la sortie n'est pas reliée directement ou indirectement à l'entrée inverseuse, l'A.L.I. fonctionne **en régime non-linéaire**, appelé aussi **mode comparateur**.

Remarque :

A partir du moment où la sortie n'est pas reliée à l'entrée inverseuse, l'ALI fonctionne en comparateur, **QUE LA SORTIE SOIT OU NE SOIT PAS RELIEE A L'ENTREE NON-INVERSEUSE**

#### I - 2 - Fonctionnement d'un A.L.I en comparateur

Schéma :



Description des grandeurs utilisées dans ce schéma :

- \*  $V^-$  est le potentiel de l'entrée inverseuse, par rapport à la masse
- \*  $V^+$  est le potentiel de l'entrée non-inverseuse, par rapport à la masse
- \*  $\mathcal{E}$  est la différence de potentiel entre les deux entrées :  $\mathcal{E} = V^+ - V^-$
- \*  $V_s$  est la tension de sortie de l'A.L.I., par rapport à la masse
- \*  $V_{ALIM1}$  est la plus grande des tensions d'alimentation de l'A.L.I., par rapport à la masse Exemple :  $V_{ALIM1} = +15V$
- \*  $V_{ALIM2}$  est la plus petite des tensions d'alimentation de l'A.L.I., par rapport à la masse Exemples :  $V_{ALIM2} = -15V$  [alimentation symétrique] ou bien  $V_{ALIM2} = 0V$  [alimentation simple]
- \*  $U_{déchet}$  est la tension de déchet de l'A.L.I. [valeur positive]
- \*  $V_{SAT1}$  est la plus grande valeur que peut prendre la tension  $V_s$
- \*  $V_{SAT2}$  est la plus petite valeur que peut prendre la tension  $V_s$

Valeurs de  $V_s$  :

En mode comparateur, la sortie  $V_s$  de l'ALI ne peut prendre que 2 valeurs distinctes :  **$V_{sat1}$**  et  **$V_{sat2}$** . Quelque soit le type d'alimentation de l'ALI [symétrique ou non-symétrique], les valeurs de  **$V_{sat1}$**  et de  **$V_{sat2}$**  sont :

- \*  **$V_{sat1} = V_{alim1} - U_{déchet}$**
- \* et  **$V_{sat2} = V_{alim2} + U_{déchet}$**

Conditions générales de basculement d'un A.L.I. fonctionnant en comparateur :

- \* .....
- \* .....

## **II - Les comparateurs à simple seuil**

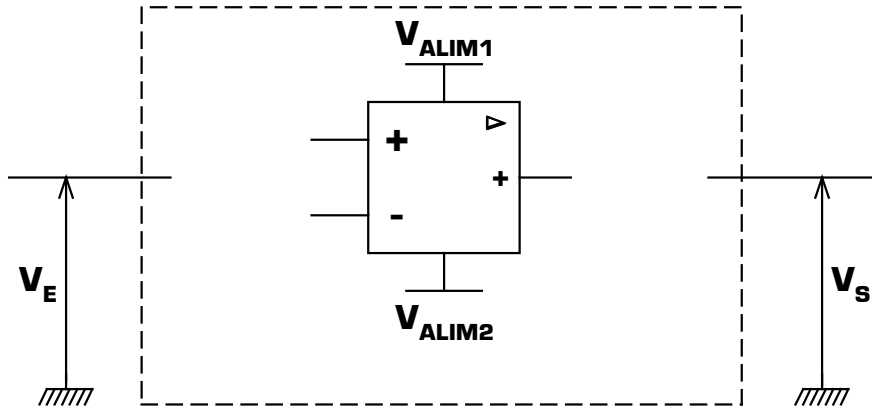
Il existe deux versions du comparateur de tension à simple seuil :

- \* Le comparateur ***non-inverseur***
- \* Le comparateur ***inverseur***

### **II - 1 - Le comparateur non-inverseur à simple seuil**

Schéma du comparateur non-inverseur :

L'entrée  $V_E$  du comparateur est reliée à l'entrée **NON-INVERSEUSE** de l'A.L.I., et la tension de référence constante  $V_{ref}$  est connectée à l'entrée **INVERSEUSE** de l'A.L.I.

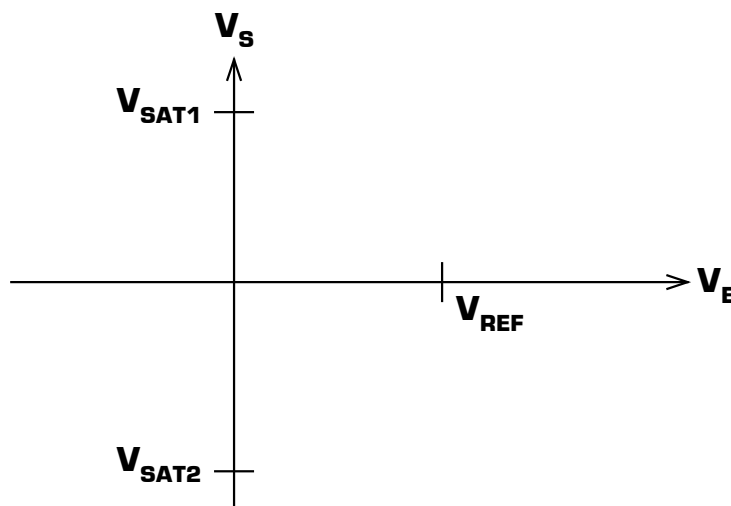


Conditions de basculement :

\* .....

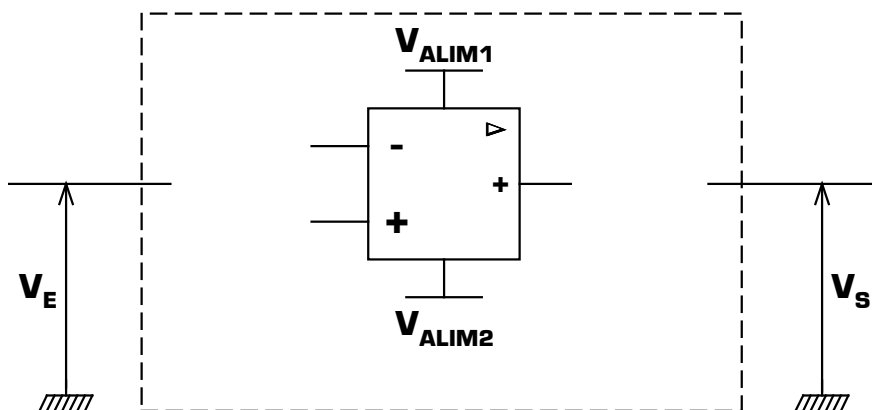
\* .....

Caractéristique  $V_S = f[V_E]$  du comparateur non-inverseur :



## II - 2 - Le comparateur inverseur à simple seuil

Schéma du comparateur inverseur :



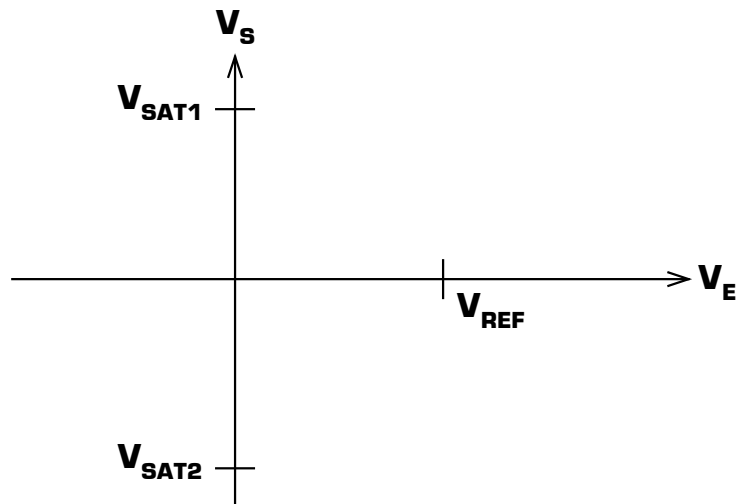
Cette fois l'entrée  $V_E$  du comparateur est reliée à l'entrée *INVERSEUSE* de l'A.L.I., et la tension de référence constante  $V_{ref}$  est connectée à l'entrée *NON-INVERSEUSE* de l'A.L.I.

Conditions de basculement :

\* .....

\* .....

Caractéristique  $V_S = f[V_E]$  du comparateur inverseur :



### III - Les comparateurs à double seuil

Il existe deux types de comparateurs à double seuil :

- \* Les comparateurs **à fenêtre**
- \* Les comparateurs **à hystérésis**

Un comparateur est caractérisé par sa caractéristique de transfert  $V_S = f[V_E]$ , car on ne peut pas exprimer la sortie  $V_S$  en fonction de l'entrée  $V_E$  par une fonction mathématique simple.

Dans le cas du comparateur à hystérésis, la caractéristique de transfert  $V_S = f[V_E]$  est appelée **cycle d'hystérésis**. Pour être valable, un cycle d'hystérésis doit toujours être orienté, c'est à dire qu'on doit y faire apparaître le sens de parcourt.

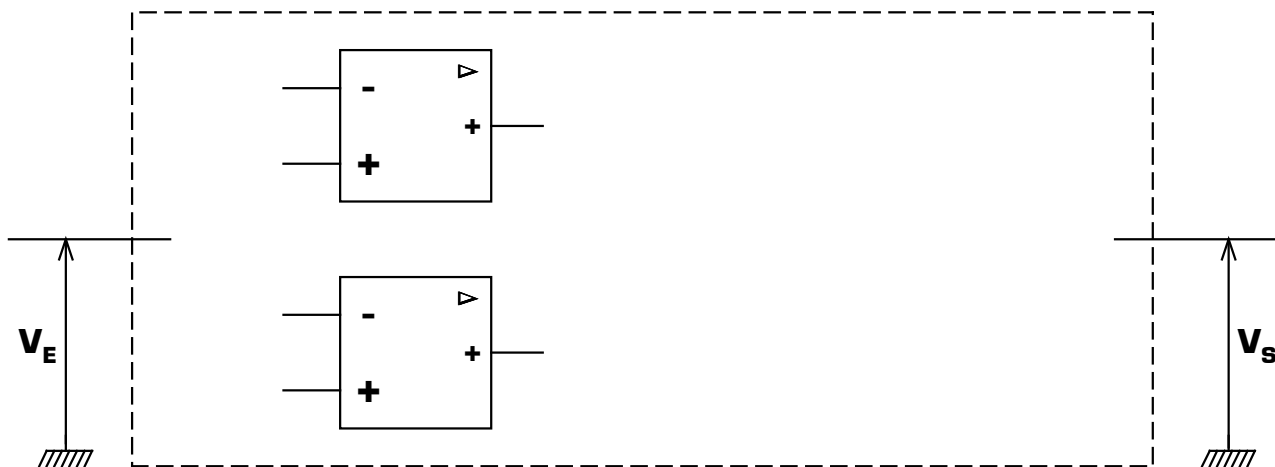
#### III - 1 - Les comparateurs à fenêtre

Il existe deux versions du comparateur à fenêtre :

- \* Le comparateur à fenêtre à **deux niveaux de sortie**
- \* Le comparateur à fenêtre à **trois niveaux de sortie**

### III - 1 - 1 - Le comparateur à fenêtre à deux niveaux de sortie

Schéma de base du comparateur à fenêtre à deux niveaux de sortie :



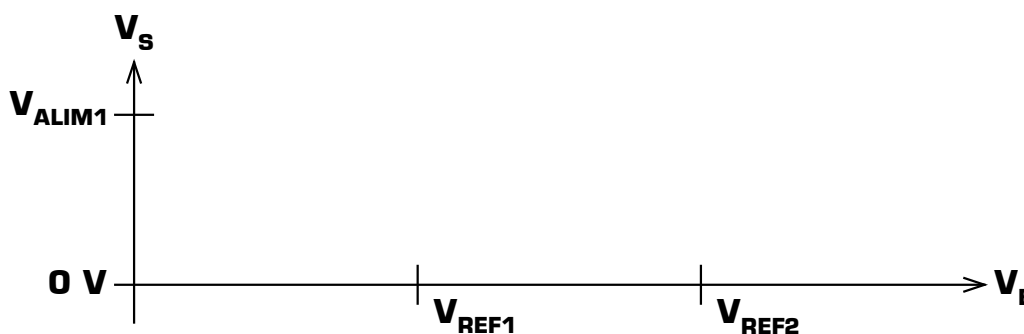
Les A.L.I. sont ici alimentés avec une alimentation simple ( $V_{ALIM1} > 0V$  et  $V_{ALIM2} = 0V$ ) tout comme la porte logique. On supposera que les deux niveaux de tension en sortie de la porte logique sont  $V_{ALIM1}$  et  $0V$  (porte logique parfaite, sans tension de déchet).

Remarque :  **$V_{ref1} < V_{ref2}$**

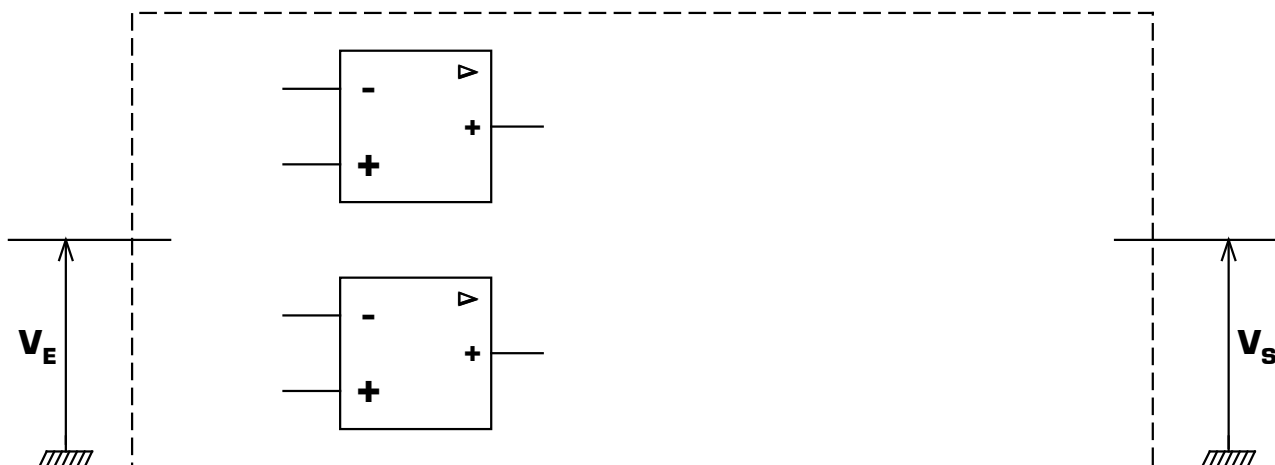
Conditions de basculement :

	$V_{S1}$	$V_{S2}$	$V_S$
$V_E < V_{REF1}$			
$V_{REF1} < V_E < V_{REF2}$			
$V_{REF2} < V_E$			

Caractéristique  $V_S = f[V_E]$  du comparateur à fenêtre à deux niveaux de sortie :



Autre variante du comparateur à fenêtre à deux niveaux de sortie :



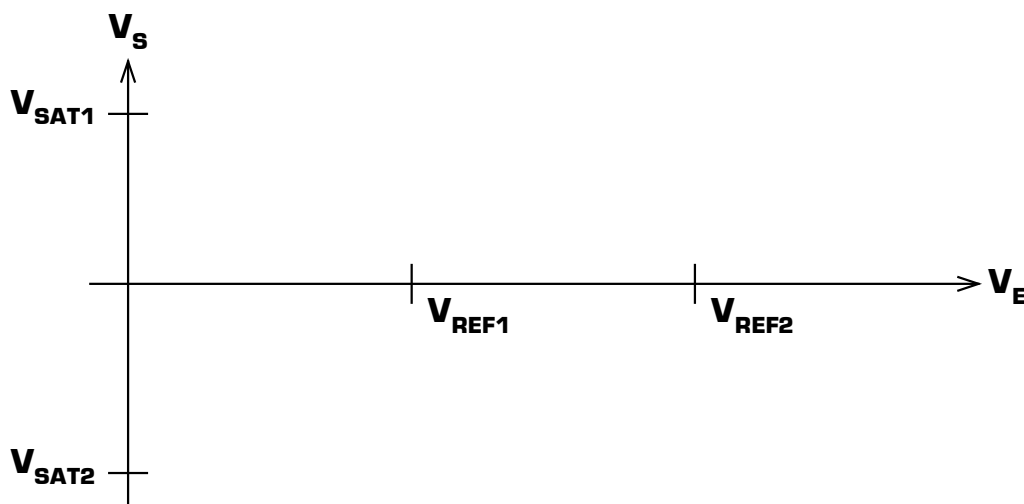
On suppose dans ce schéma que les 3 A.L.I. sont alimentés avec une alimentation symétrique [ $V_{ALIM1} = -V_{ALIM2}$ ].

Remarque :  **$V_{ref1} < V_{ref2}$**

Conditions de basculement :

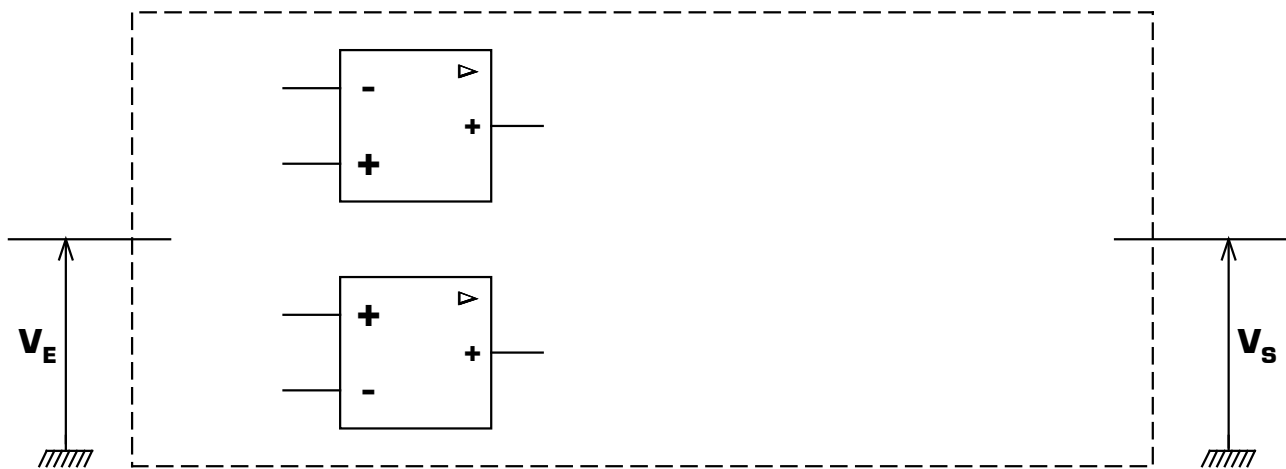
	$V_{S1}$	$V_{S2}$	$V_S$
$V_E < V_{REF1}$			
$V_{REF1} < V_E < V_{REF2}$			
$V_{REF2} < V_E$			

Caractéristique  $V_S = f[V_E]$  de ce comparateur à fenêtre à deux niveaux de sortie :



### III - 1 - 2 - Le comparateur à fenêtre à trois niveaux de sortie

Schéma du comparateur à fenêtre à trois niveaux de sortie :



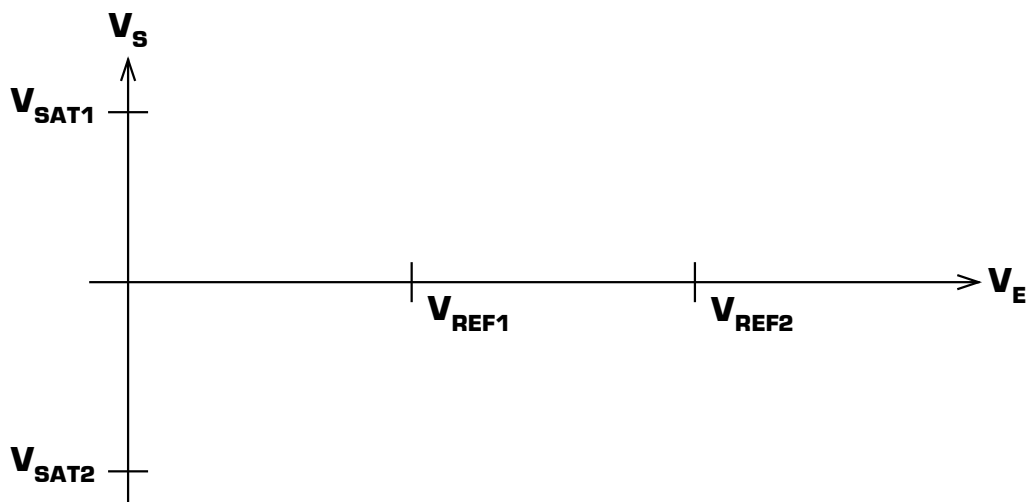
On suppose dans ce schéma que les 3 A.L.I. sont alimentés avec une alimentation symétrique [ $V_{ALIM1} = -V_{ALIM2}$ ].

Remarque :  **$V_{REF1} < V_{REF2}$**

Conditions de basculement :

	$V_{S1}$	$V_{S2}$	$V_S$
$V_E < V_{REF1}$			
$V_{REF1} < V_E < V_{REF2}$			
$V_{REF2} < V_E$			

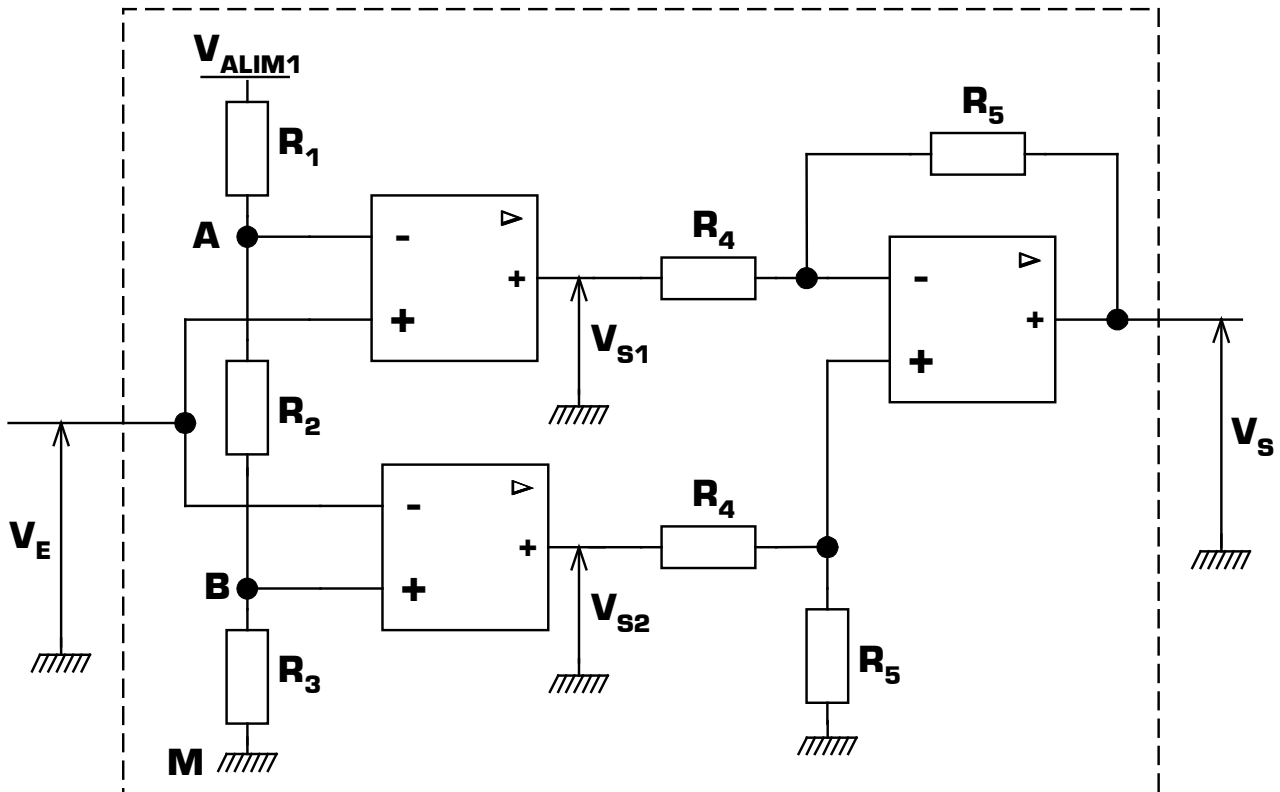
Caractéristique  $V_S = f[V_E]$  de ce comparateur à fenêtre à trois niveaux de sortie :



### III - 1 - 3 - Exemple de comparateur à fenêtre

On étudie le comparateur à fenêtre suivant, où les 3 A.L.I. sont alimentés entre  $V_{ALIM1} = 15V$  et  $V_{ALIM2} = 0V$ , et présentent tous les caractéristiques suivantes :

- \* leur tension de déchet est de 0,8 V
- \* leur amplification différentielle est infinie
- \* leur impédance d'entrée est infinie



Exemple de comparateur à fenêtre

On appelle  $V_{REF1}$  la tension de seuil  $V_{BM}$ , et  $V_{REF2}$  la tension de seuil  $V_{AM}$ .

1. Exprimer les tensions de seuil  $V_{REF1}$  et  $V_{REF2}$  en fonction de  $V_{ALIM1}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .
2. Calculer  $V_{REF1}$  et  $V_{REF2}$  pour  $R_1 = R_3 = 100k\Omega$  et  $R_2 = 5,6k\Omega$ .
3. Pour  $V_E$  variant de 0V à 15V, indiquer sous forme de tableau les valeurs des tensions  $V_{S1}$  et  $V_{S2}$ .
4. Exprimer  $V_S$  en fonction de  $V_{S1}$ ,  $V_{S2}$ ,  $R_4$  et  $R_5$ . Que devient cette relation si  $R_4 = 2.R_5$  ?
5. Indiquer sous forme de tableau les différentes valeurs de  $V_S$  correspondant aux valeurs de  $V_E$ .
6. Tracer la caractéristique  $V_S = f[V_E]$  de ce comparateur à fenêtre. S'agit-il d'un comparateur à deux ou à trois niveaux de sortie ?



### III - 2 - Les comparateurs à hystérésis

Ce type de comparateur est aussi appelé *Trigger de Schmitt*.

Il existe deux versions du comparateur à hystérésis :

- \* Le montage Trigger *non-inverseur*
- \* Le montage Trigger *inverseur*

Caractéristiques communes aux deux montages :

- \*  $V_s$  ne peut prendre que 2 valeurs :  **$V_{sat1}$**  et  **$V_{sat2}$**  [ $V_{sat1} > V_{sat2}$ ]
- \*  **$V_{hb}$**  est la valeur de  $V_e$  qui fait basculer  $V_s$  de  **$V_{sat1}$**  à  **$V_{sat2}$**
- \*  **$V_{bh}$**  est la valeur de  $V_e$  qui fait basculer  $V_s$  de  **$V_{sat2}$**  à  **$V_{sat1}$**
- \* On appelle **hystérésis** du montage, l'écart [en valeurs absolue] entre les 2 seuils  **$V_{bh}$**  et  **$V_{hb}$**

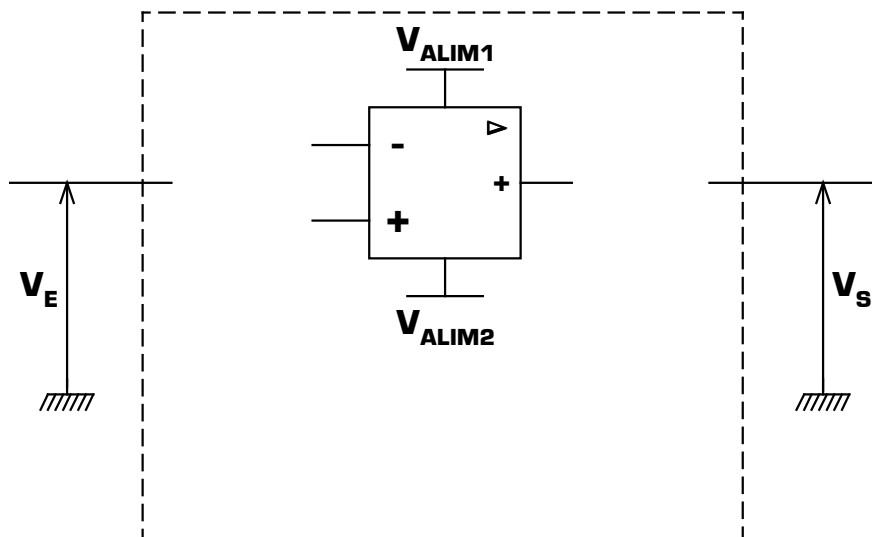
Définition des seuils  $V_{BH}$  et  $V_{HB}$  :

- \*  **$V_{BH}$**  est la valeur à appliquer **sur  $V_E$** , afin d'obtenir  $V^+ = V^-$  [basculement du comparateur], lorsque la sortie  $V_s$  a comme valeur  **$V_{SAT2}$  (niveau BAS)**.
- \*  **$V_{HB}$**  est la valeur à appliquer **sur  $V_E$** , afin d'obtenir  $V^+ = V^-$  [basculement du comparateur], lorsque la sortie  $V_s$  a comme valeur  **$V_{SAT1}$  (niveau HAUT)**.

Dans les deux montages qui suivent, les A.L.I. sont alimentés en symétrique [ $V_{ALIM1} = -V_{ALIM2}$ ].

#### III - 2 - 1 - Le montage Trigger non-inverseur

Schéma du Trigger non-inverseur à A.L.I. :

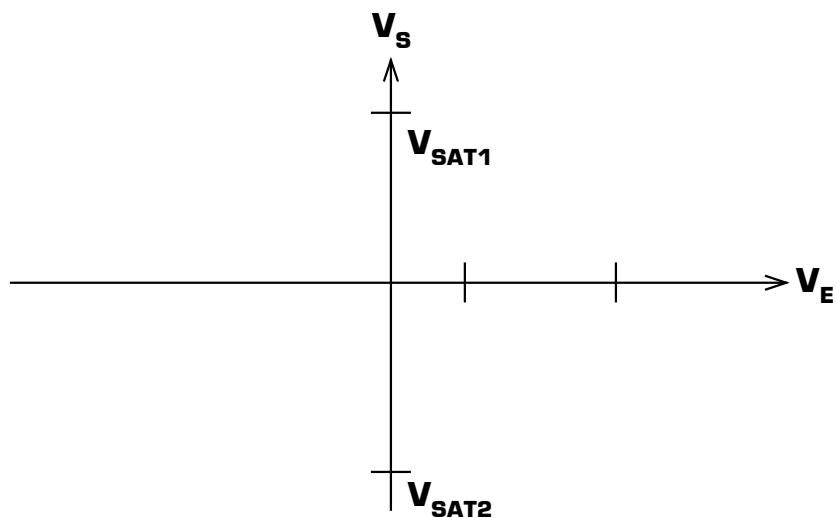


Calcul des seuils  $V_{BH}$  et  $V_{HB}$  :

\*  $V_{BH} = \dots\dots\dots$

\*  $V_{HB} = \dots\dots\dots$

Cycle d'hystérésis du montage Trigger non-inverseur :



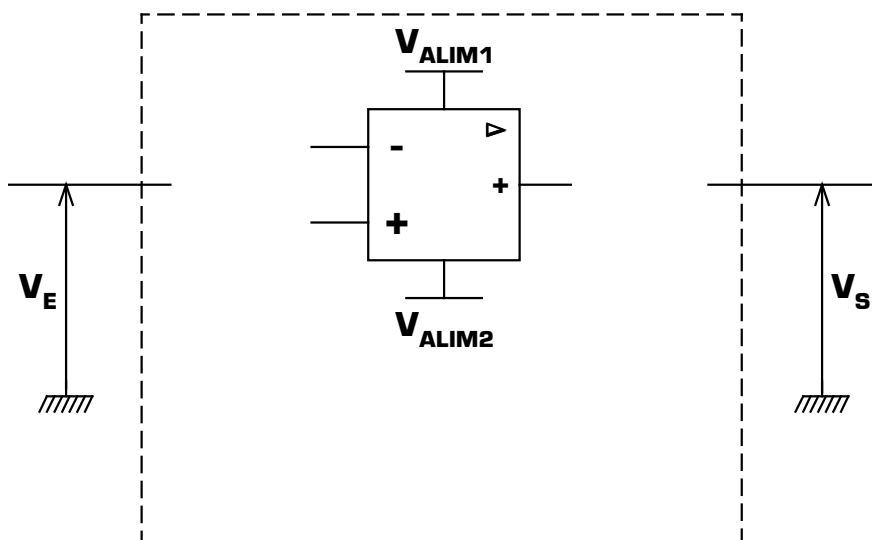
Remarques sur le montage Trigger non-inverseur :

\*  $V_{hb} > V_{bh}$

\* L'hystérésis du montage est donc  $V_{hb} - V_{bh}$

### III - 2 - 2 - Le montage Trigger inverseur

Schéma du Trigger inverseur à A.L.I. :

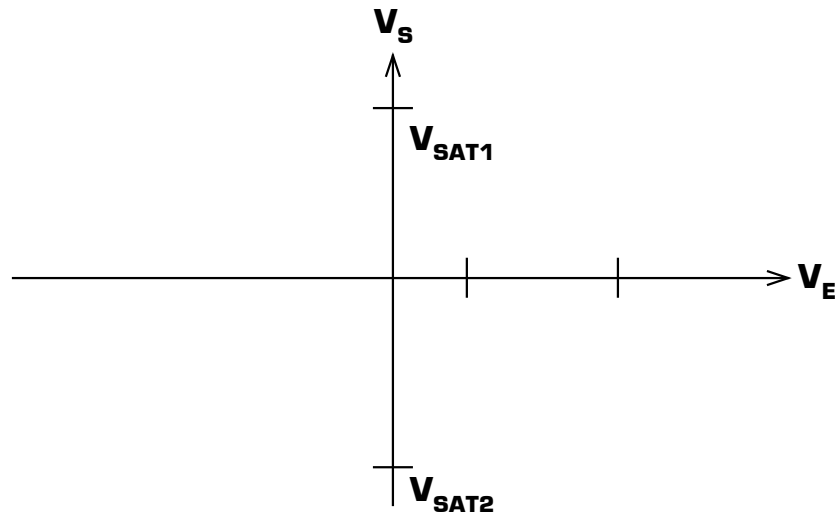


Calcul des seuils  $V_{BH}$  et  $V_{HB}$  :

\*  $V_{BH} = \dots\dots\dots$

\*  $V_{HB} = \dots\dots\dots$

Cycle d'hystérésis du montage Trigger inverseur :



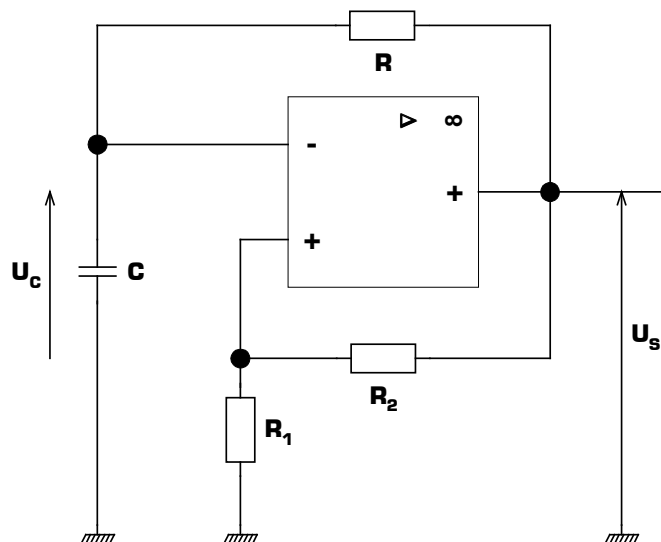
Remarques sur le montage Trigger inverseur :

\*  $V_{hb} < V_{bh}$

\* L'hystérésis du montage est donc  $V_{bh} - V_{hb}$

**III - 2 - 3 - Exemple d'application du comparateur à hystérésis : le montage astable à A.L.I.**

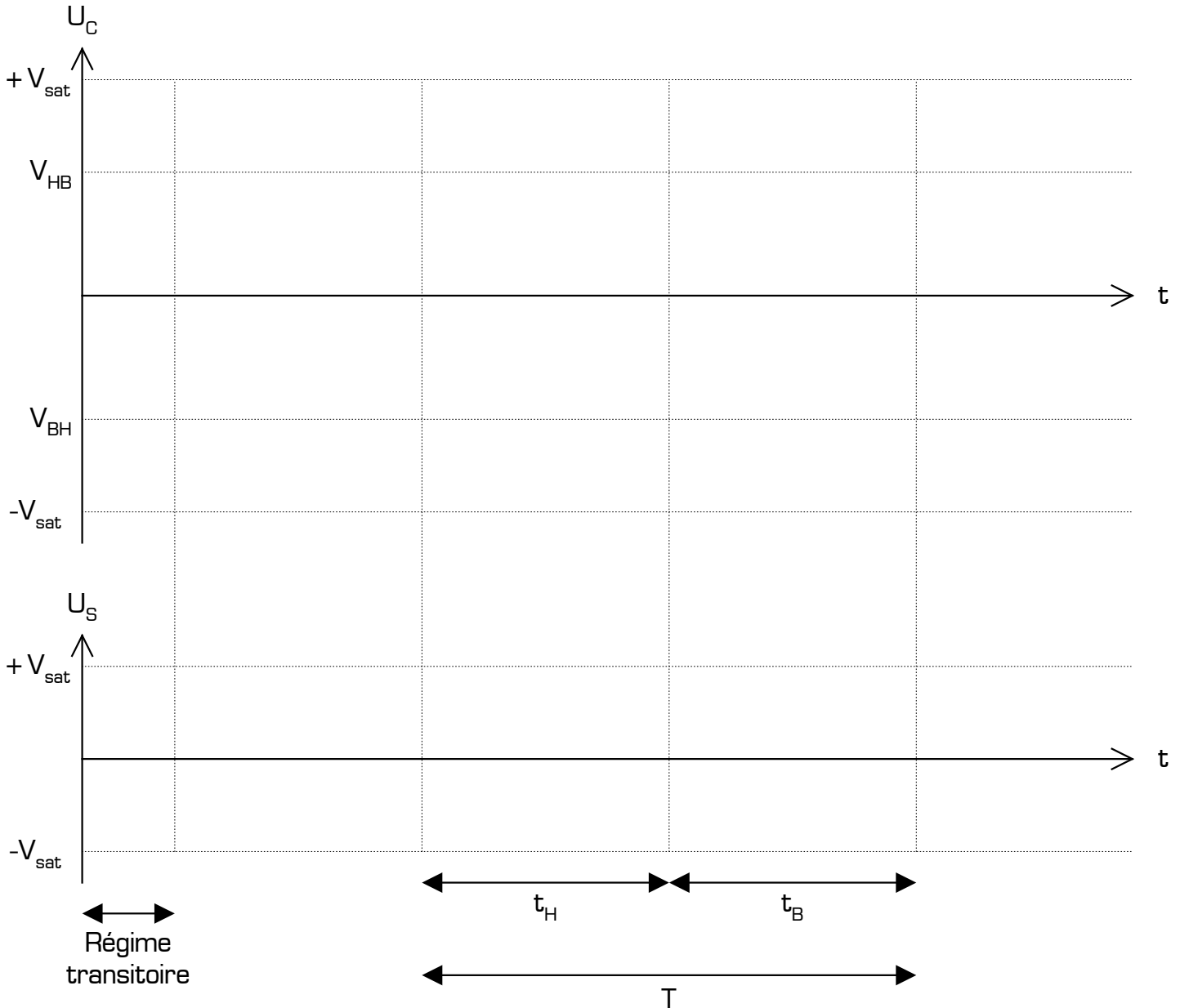
On étudie le montage suivant où l'**A.L.I.** est alimenté entre  $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$  et fonctionne en comparateur :



*Hypothèse d'étude et conditions initiales :*

- \* l'A.L.I. est alimenté entre  $+V_{CC}$  et  $-V_{CC}$  [alimentation symétrique]
- \* l'A.L.I. fonctionne en comparateur [ $V_s$  ne peut prendre que 2 valeurs :  $+V_{sat}$  ou  $-V_{sat}$ ]
- \* à  $t=0$  le condensateur  $C$  est totalement déchargé [ $U_c(0) = 0V$ ]
- \* à  $t=0$  la sortie  $U_s$  de l'A.L.I. vaut  $+V_{sat}$  [ $U_s(0) = +V_{sat}$ ]

*Chronogrammes des signaux  $U_c$  et  $U_s$  :*



1. Exprimer les tensions de seuil  $V_{BH}$  et  $V_{HB}$  en fonction de  $V_{SAT}$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .
2. Exprimer les temps  $t_H$  et  $t_B$  [pendant le régime établi] en fonction des éléments du circuit. Que peut-on remarquer pour les temps  $t_H$  et  $t_B$  ?
3. En déduire la période et le rapport cyclique du signal  $U_s$  en fonction des éléments du montage. Que devient l'expression de la période dans le cas où  $R_1 = R_2$  ?

On rappelle la formule du temps de charge d'un condensateur  $C$  à travers une résistance  $R$  :

$$t = R \cdot C \cdot \ln \frac{U_{ASYMP} - U_{INIT}}{U_{ASYMP} - U_{FINAL}}$$