



# Cours

# ELECTRONIQUE

Circuits électroniques à base de l'amplificateur opérationnel

email : [nasser\\_baghdad @ yahoo.fr](mailto:nasser_baghdad@yahoo.fr)

## Contenu du programme

**Chapitre I : Généralités sur l'amplificateur opérationnel**

**Chapitre II : Montages à régime linéaire indépendants de la fréquences**

**Chapitre III : Montages à régime linéaire dépendants de la fréquences**

**Chapitre IV : Montages à régime non linéaires**

**Chapitre V : Oscillateurs sinusoidaux**

**Chapitre VI : Multivibrateurs**

**Chapitre VII : Convertisseurs A/N et NA**



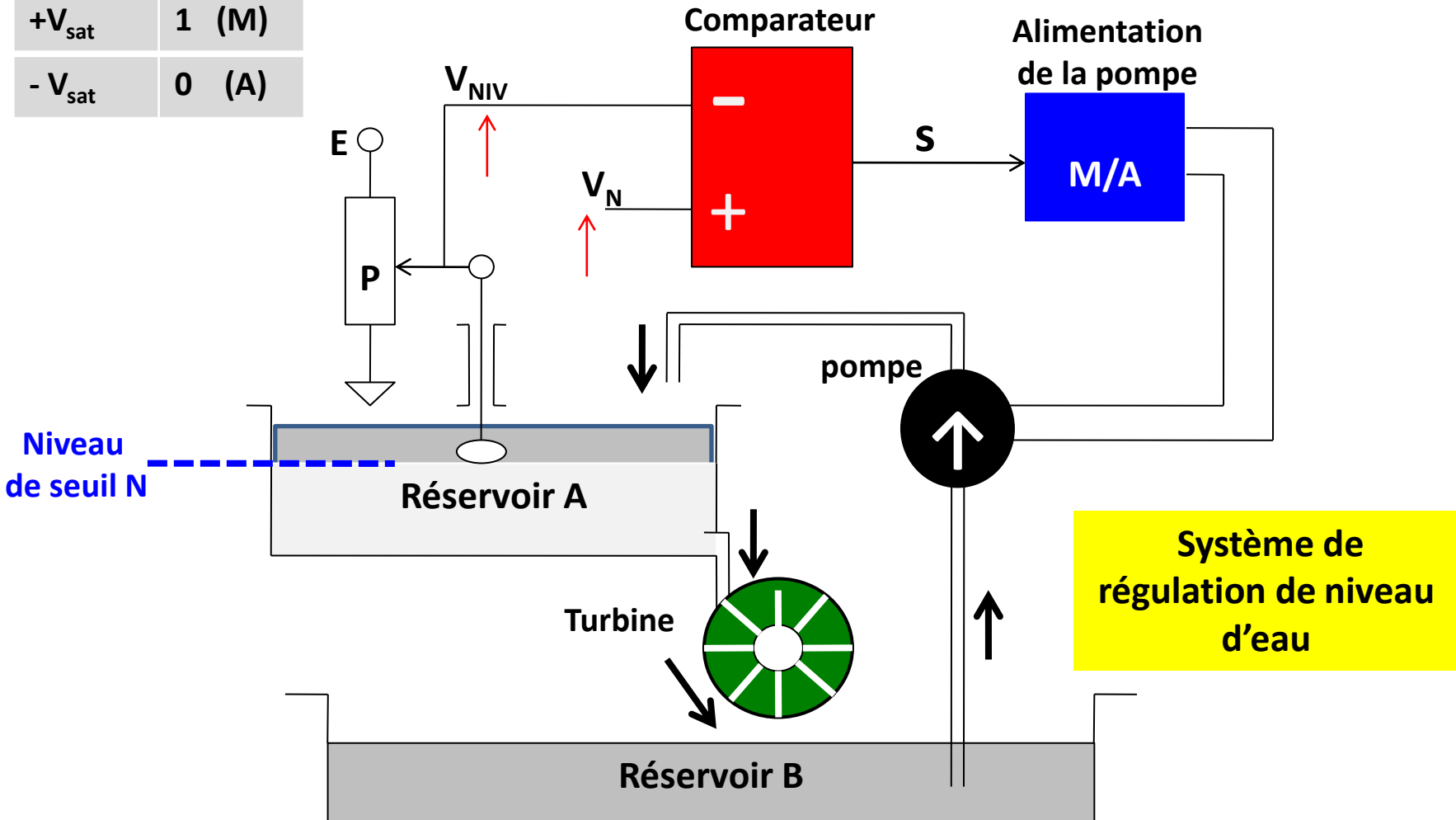
## Chapitre IV

### Montages à régime non linéaire

### Fonction comparaison

## Introduction à l'aide d'un exemple : régulation de niveau d'eau

$+V_{sat}$	1 (M)
$-V_{sat}$	0 (A)



LAUREAT INTERNATIONAL UNIVERSITIES - UNIVERSITE INTERNATIONALE DE CASABLANCA  
ECOLE D'INGENIERIE - CYCLE INGENIEUR - TRONC COMMUN - S5

1°) Comparateurs simples de valeur relative

2°) Comparateurs simples de valeur absolue

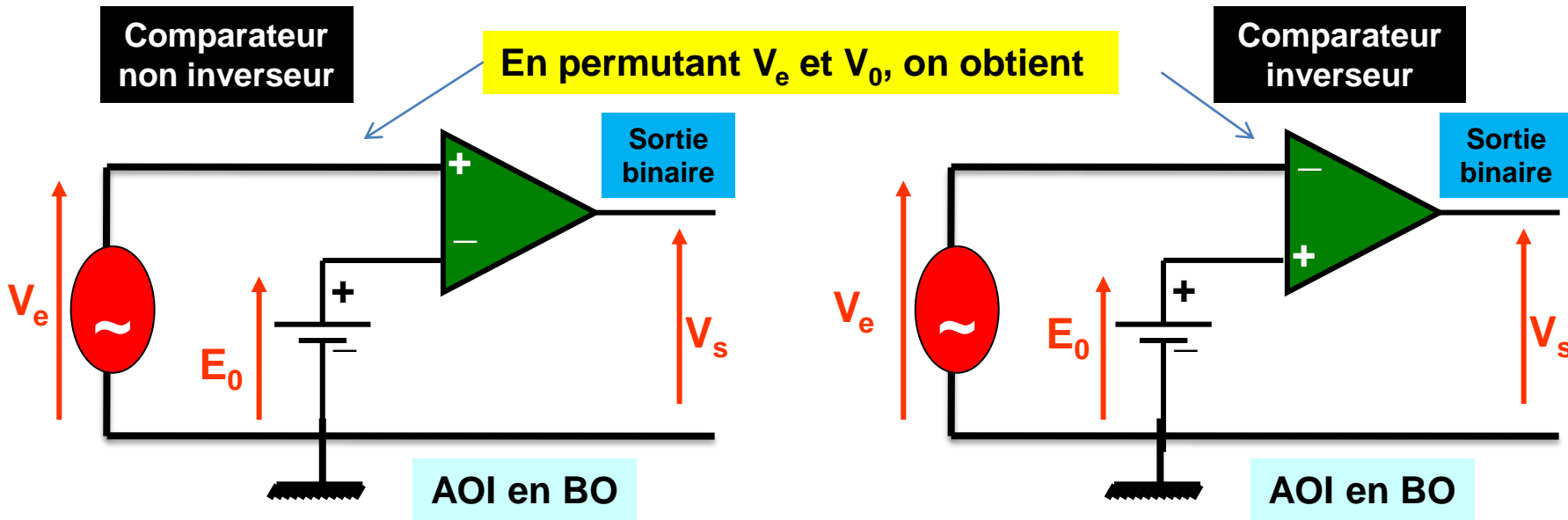
3°) Comparateurs à seuils ou à hystérésis (ou triggers de Scmitt)



## Comparateurs simples de valeur relative

## 1°) Comparateurs simples de valeur relative

► On distingue deux types de montages comparateurs selon les positions respectives de  $V_e$  et  $V_{REF} = E_0$  sur les entrées du comparateur.



### Montages comparateurs simples de valeur relative

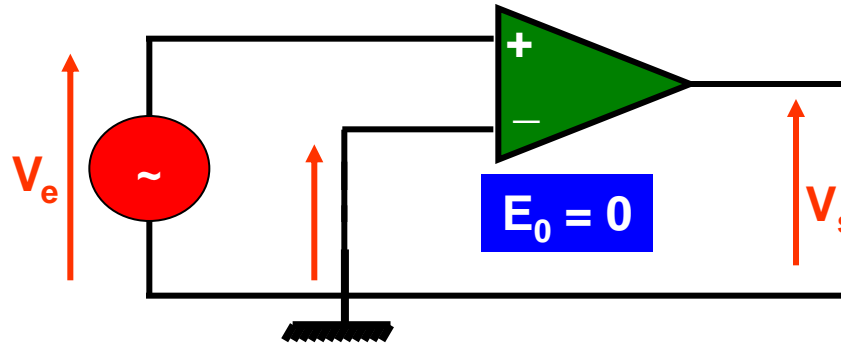
$E_0 = 0$

$E_0 > 0$

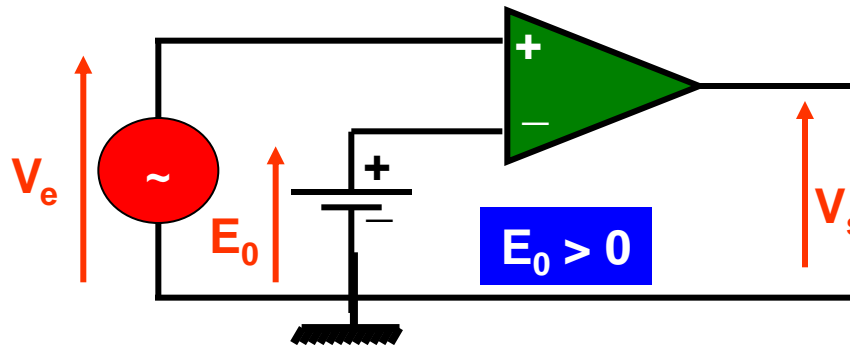
$E_0 < 0$

## Montage comparateur simple non inverseur de valeur relative :

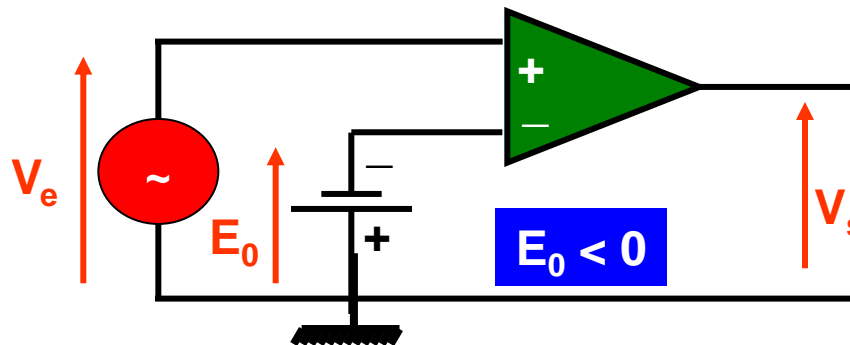
Montage n°1



Montage n°2

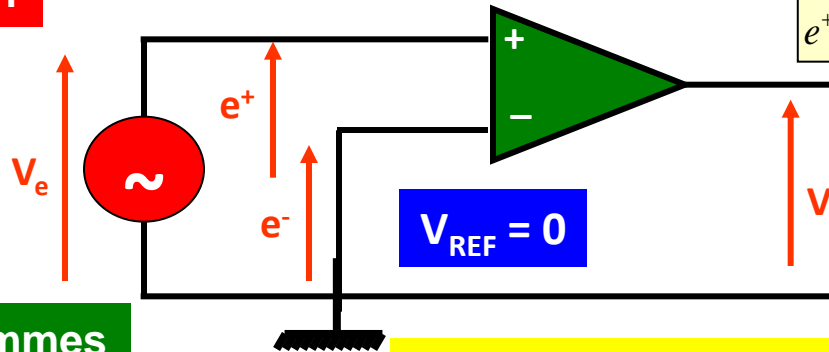


Montage n°3





## Montage n°1



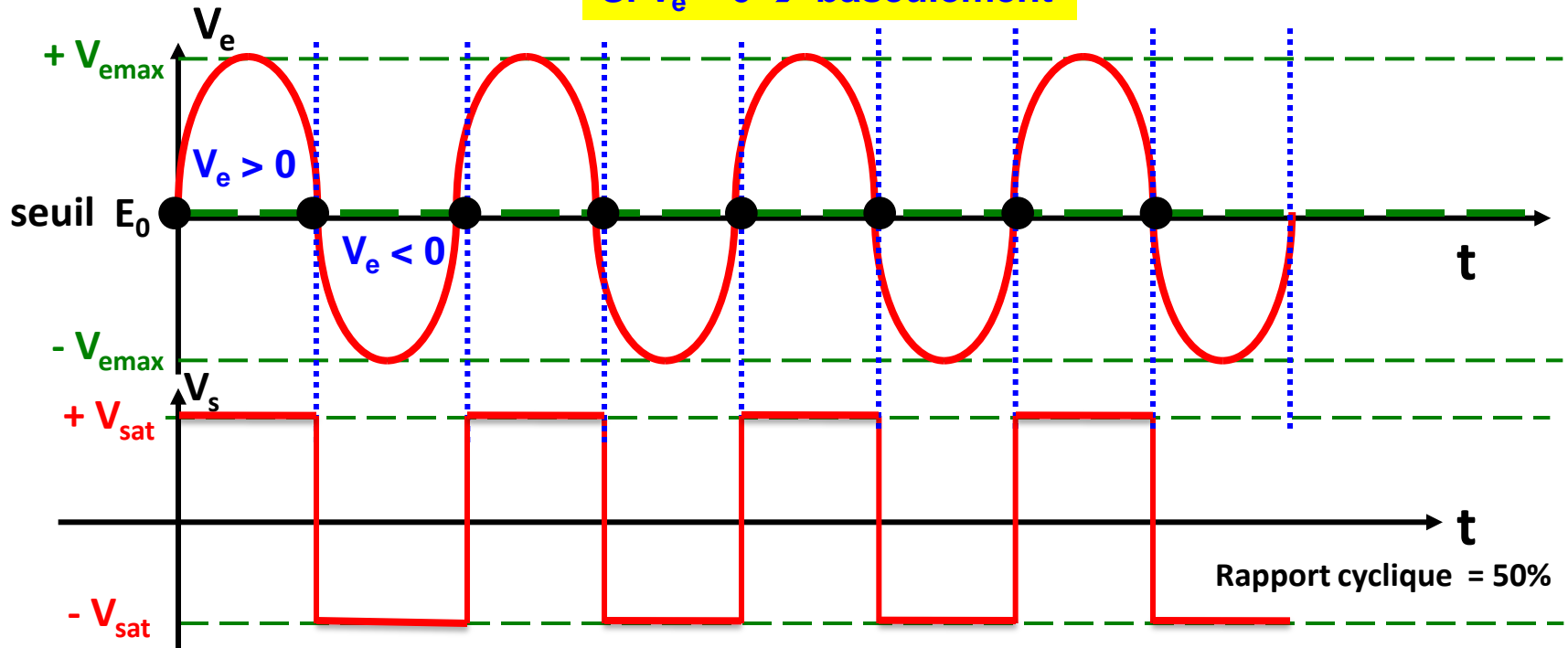
$$e^+ > e^- (\varepsilon > 0) \Leftrightarrow V_e > 0 \Rightarrow V_s = +V_{sat}$$

$$e^+ < e^- (\varepsilon < 0) \Leftrightarrow V_e < 0 \Rightarrow V_s = -V_{sat}$$

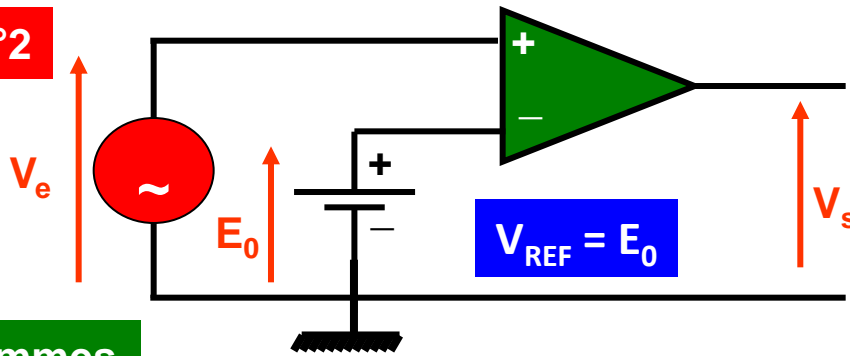
0 : seuil de basculement

## Chronogrammes

Si  $V_e = 0 \rightarrow$  basculement



## Montage n°2



$$e^+ > e^- (\varepsilon > 0) \Leftrightarrow V_e > V_0 \Rightarrow V_s = +V_{sat}$$

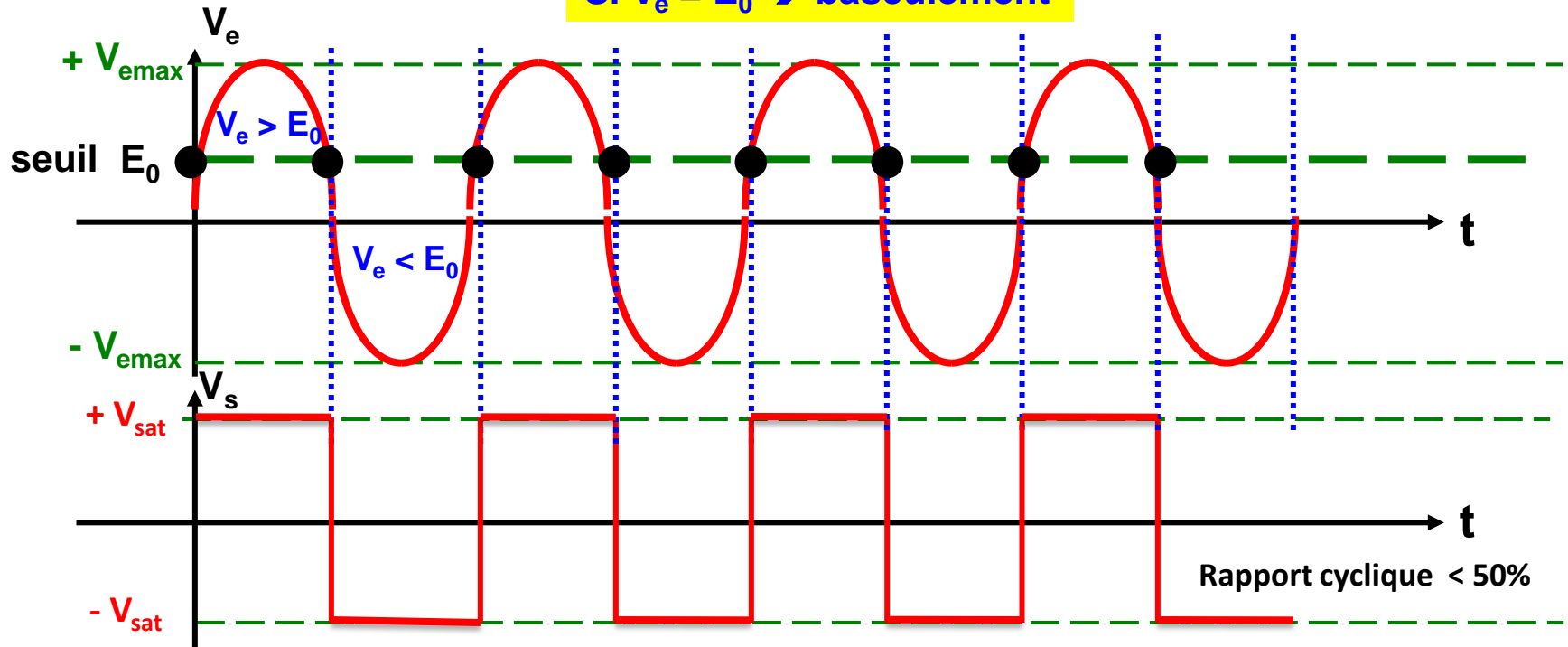
$$e^+ < e^- (\varepsilon < 0) \Leftrightarrow V_e < V_0 \Rightarrow V_s = -V_{sat}$$

$E_0$  : seuil de basculement

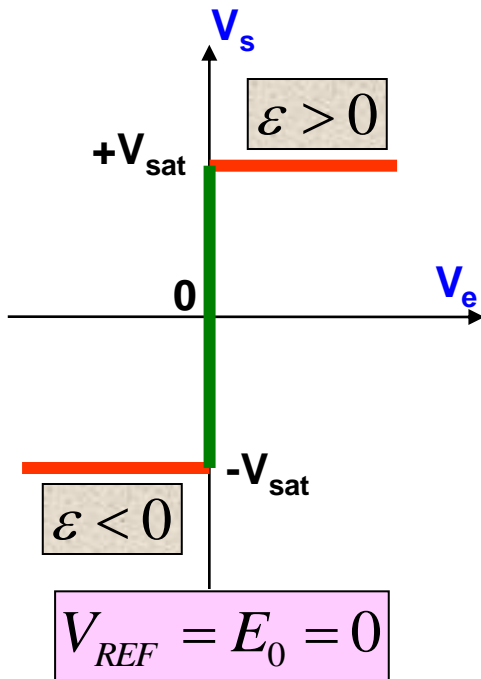
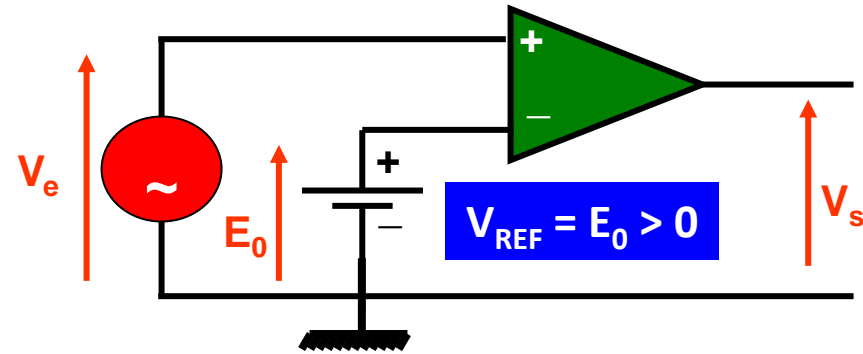
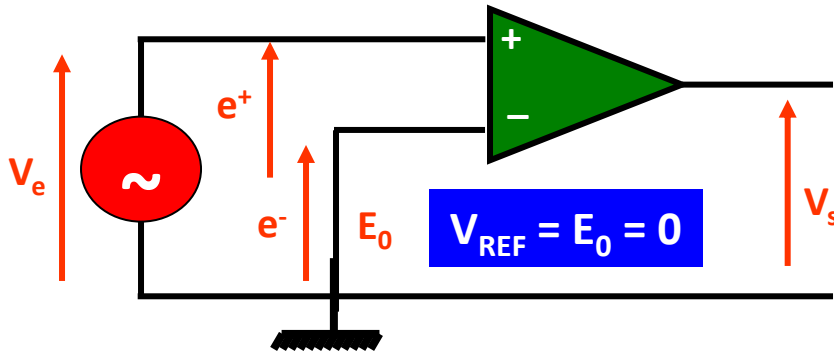
$$E_0 > 0$$

## Chronogrammes

Si  $V_e = E_0 \rightarrow$  basculement

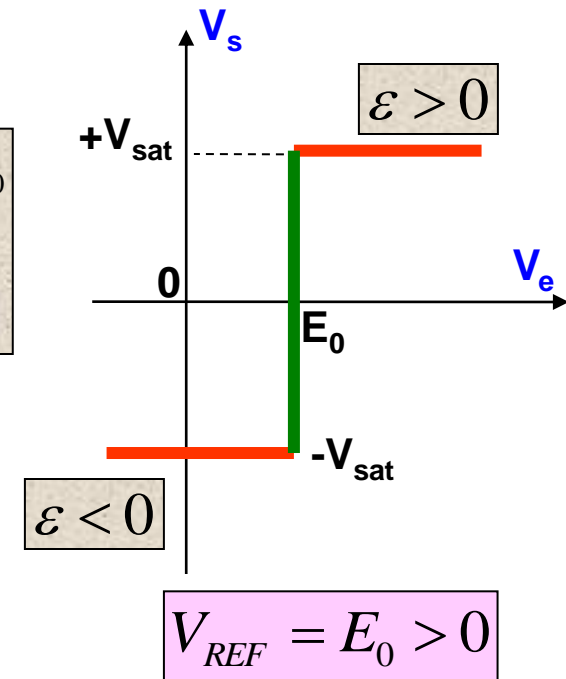


## Fonctions de transfert des comparateurs simples non inverseurs



$$\varepsilon = e^+ - e^- = V_e - V_{REF} = V_e - E_0$$

$\varepsilon > 0$	$V_e > E_0$	$V_s = +V_{sat}$
$\varepsilon < 0$	$V_e < E_0$	$V_s = -V_{sat}$

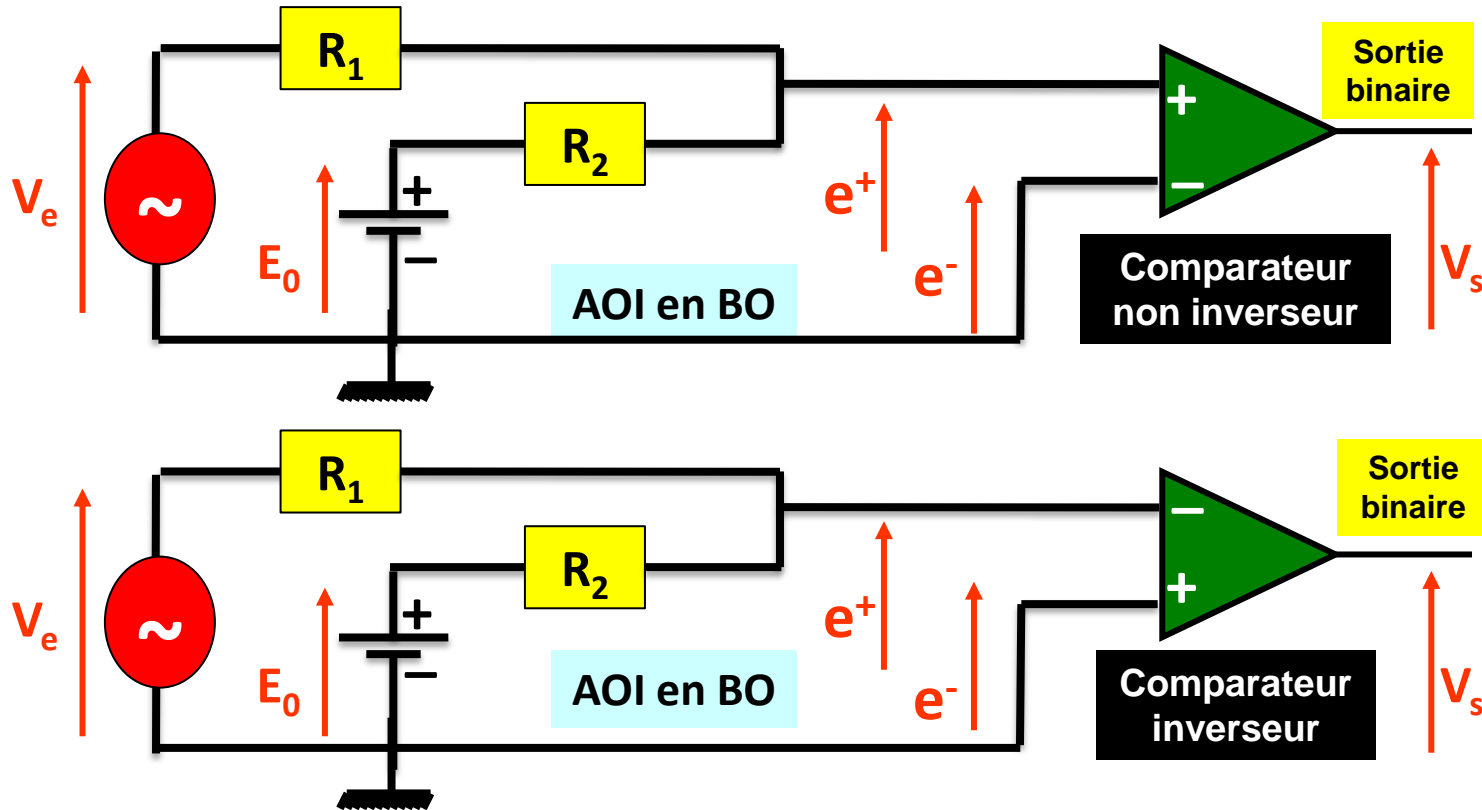




## Comparateurs simples de valeur absolue

## 2°) Comparateurs simples de valeur absolue

► On distingue deux types de montages comparateurs selon les positions respectives de  $V_e$  et  $V_{REF} = E_0$  sur les entrées du comparateur.



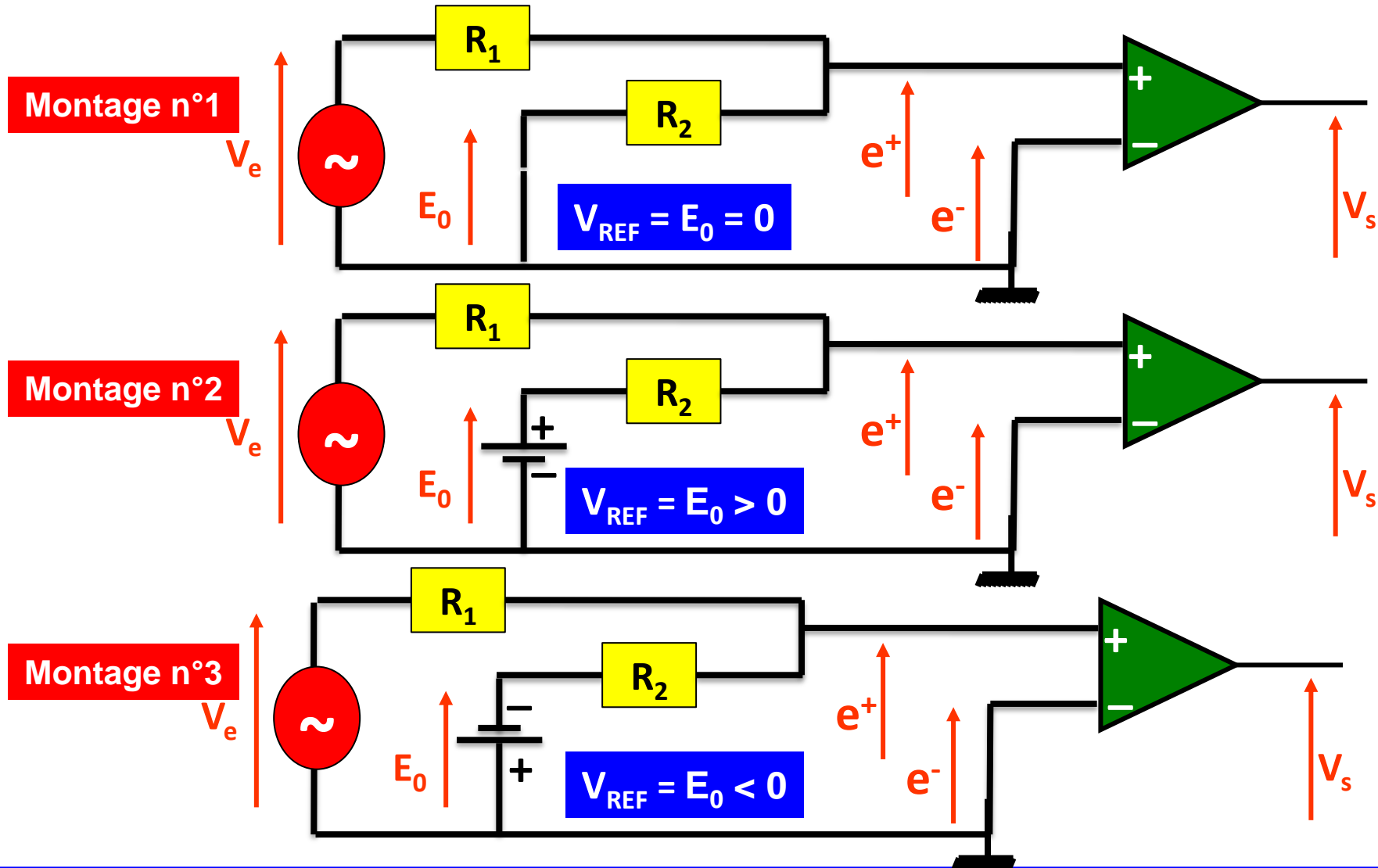
Montages comparateurs simples de valeur absolue

$E_0 = 0$

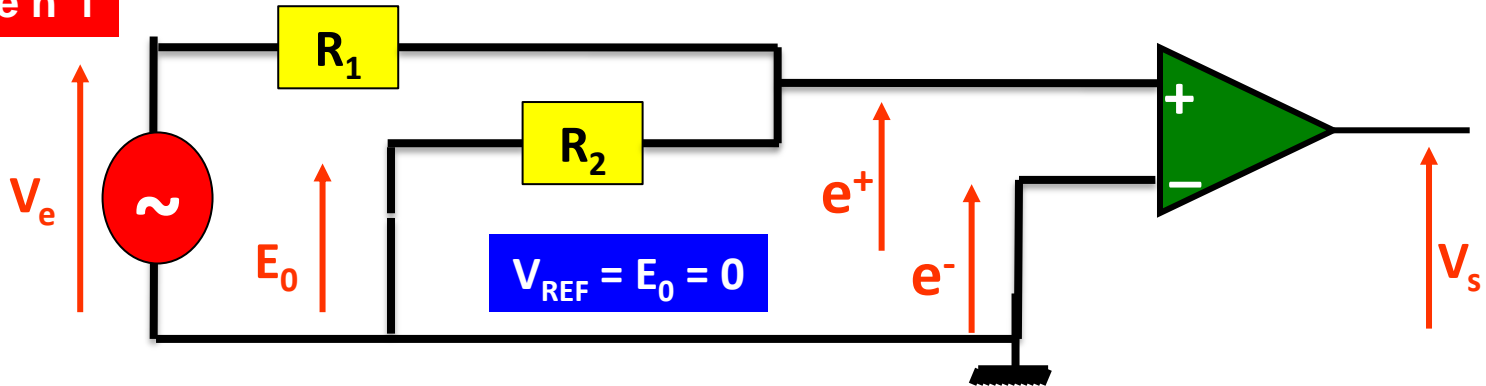
$E_0 > 0$

$E_0 < 0$

## Montage comparateur simple de valeur absolue non inverseur :



## Montage n°1



$$e^- = 0 \quad \text{et} \quad e^+ = V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad \text{Basculement :} \quad \text{si } e^- = e^+ = 0$$

$$0 = V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \Rightarrow V_e = 0 \Rightarrow \text{Seuil : } V_{seuil} = 0$$

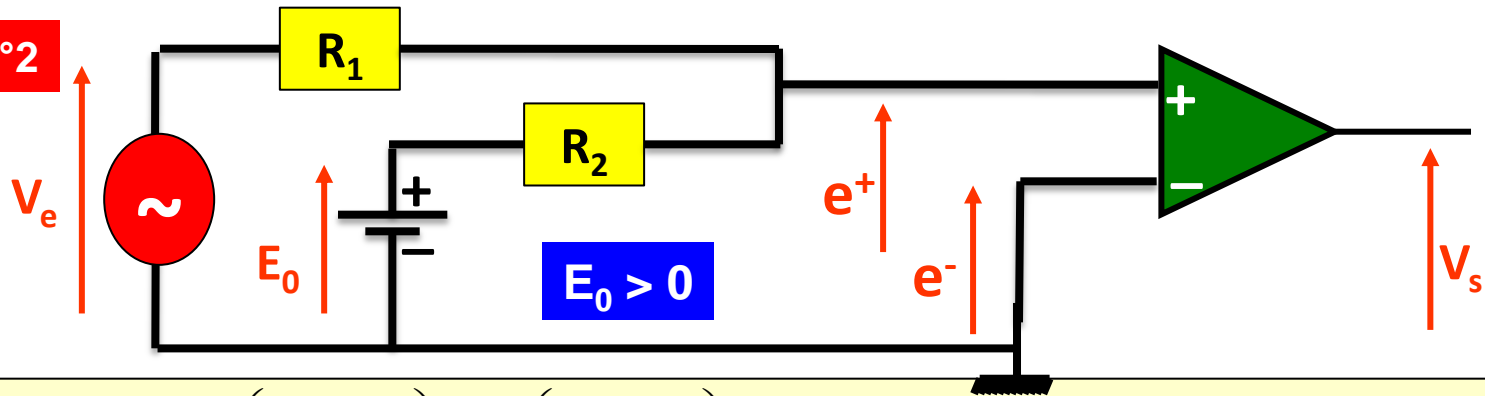
$$V_{seuil} = 0$$

$$\text{Basculement si } V_e = 0$$

$$V_s = +V_{sat} \quad \text{si} \quad e^+ > e^- \Rightarrow V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) > 0 \Rightarrow V_e > 0$$

$$V_s = -V_{sat} \quad \text{si} \quad e^+ < e^- \Rightarrow V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) < 0 \Rightarrow V_e < 0$$

Montage n°2



$$e^- = 0 \quad \text{et} \quad e^+ = E_0 \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad \text{Basculement :} \quad \text{si } e^- = e^+ = 0$$

$$0 = E_0 \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \Rightarrow V_e = - \left( \frac{R_1}{R_2} \right) E_0 \Rightarrow \text{Seuil : } V_{seuil} = - \left( \frac{R_1}{R_2} \right) E_0$$

$$V_{seuil} = \left( \frac{R_1}{R_2} \right) \cdot E_0 < 0 \quad \text{car} \quad E_0 > 0$$

$$\text{Basculement si} \quad V_e = - \left( \frac{R_1}{R_2} \right) E_0$$

$$V_S = +V_{sat} \quad \text{si} \quad e^+ > e^- \Rightarrow E_0 \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) > 0 \Rightarrow V_e > - \frac{R_1}{R_2} E_0 = V_{seuil}$$

$$V_S = -V_{sat} \quad \text{si} \quad e^+ < e^- \Rightarrow E_0 \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) < 0 \Rightarrow V_e < - \frac{R_1}{R_2} E_0 = V_{seuil}$$



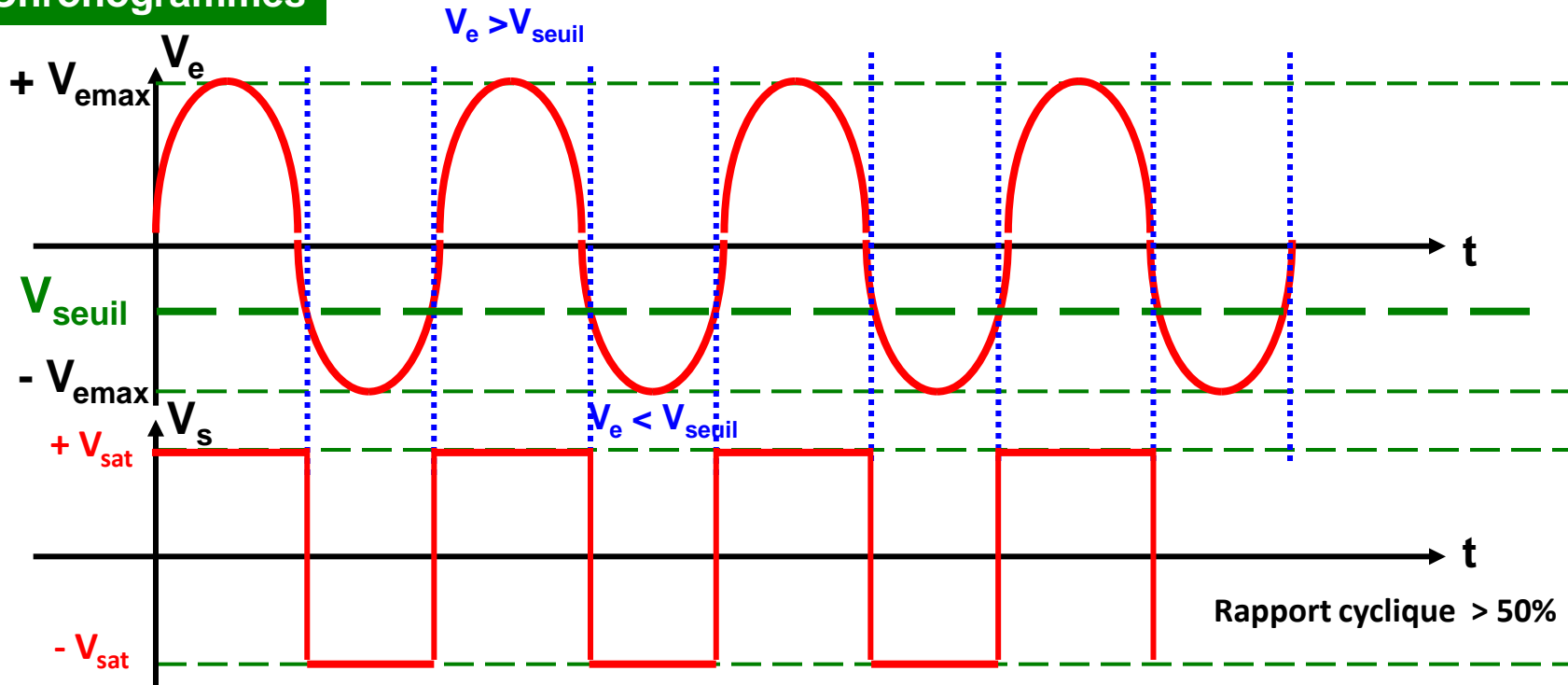
$$V_S = +V_{sat} \quad \text{si} \quad V_e > -\frac{R_1}{R_2} E_0 = V_{seuil}$$

$$V_S = -V_{sat} \quad \text{si} \quad V_e < -\frac{R_1}{R_2} E_0 = V_{seuil}$$

$$\text{Basculement si} \quad V_e = V_{seuil} = -\left(\frac{R_1}{R_2}\right) E_0$$

Si  $V_e = V_{seuil} \rightarrow$  basculement

## Chronogrammes

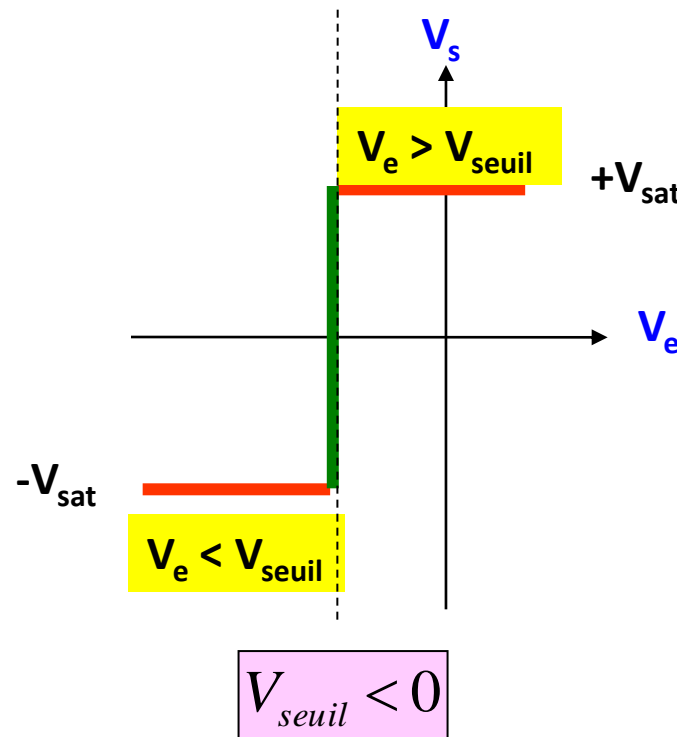


## Fonction de transfert

$$V_S = +V_{sat} \quad \text{si} \quad V_e > -\frac{R_1}{R_2} \cdot E_0 = V_{seuil}$$

$$V_S = -V_{sat} \quad \text{si} \quad V_e < -\frac{R_1}{R_2} \cdot E_0 = V_{seuil}$$

Basculement si  $V_e = V_{seuil} = -\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \cdot E_0$

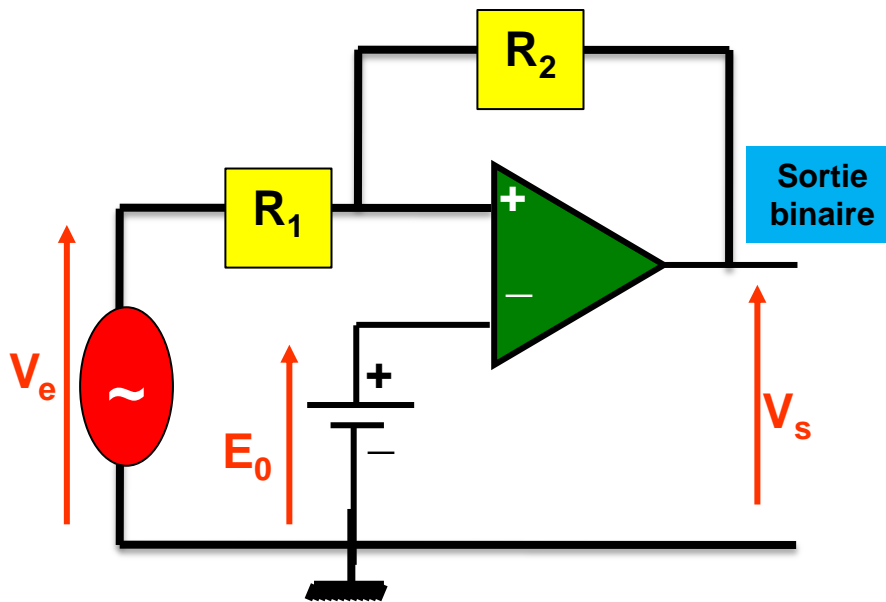




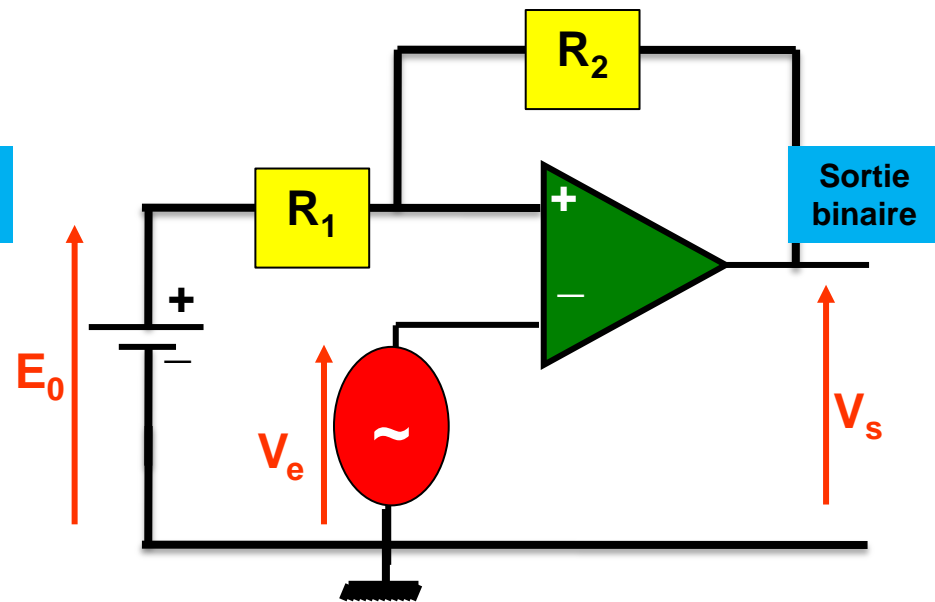
## Comparateurs à hystérésis « Triggers de Scmitt »

## 3°) Comparateurs à seuils ou à hystérésis (ou triggers de Scmitt)

Dans le cas général, les entrées  $e^+$  et  $e^-$  du montage reçoivent d'une part le signal à comparer  $V_e$  et d'autre part une tension de référence  $V_{REF} = E_0$ ; et inversement.

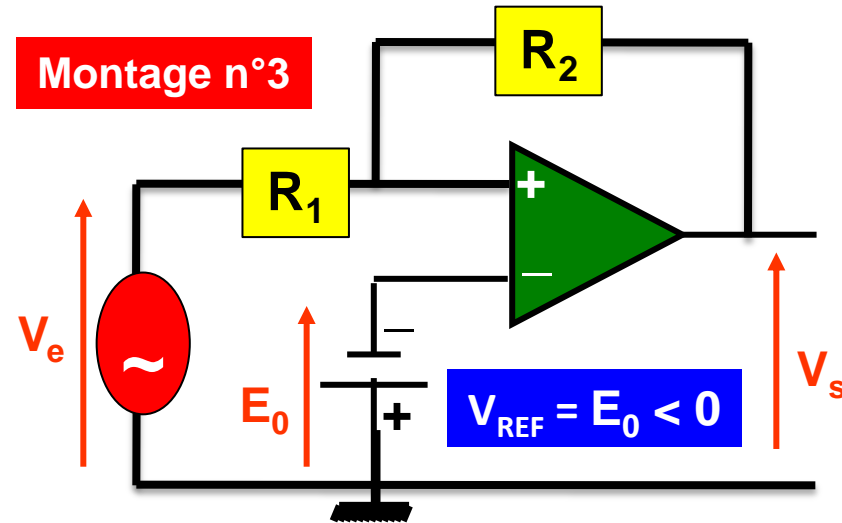
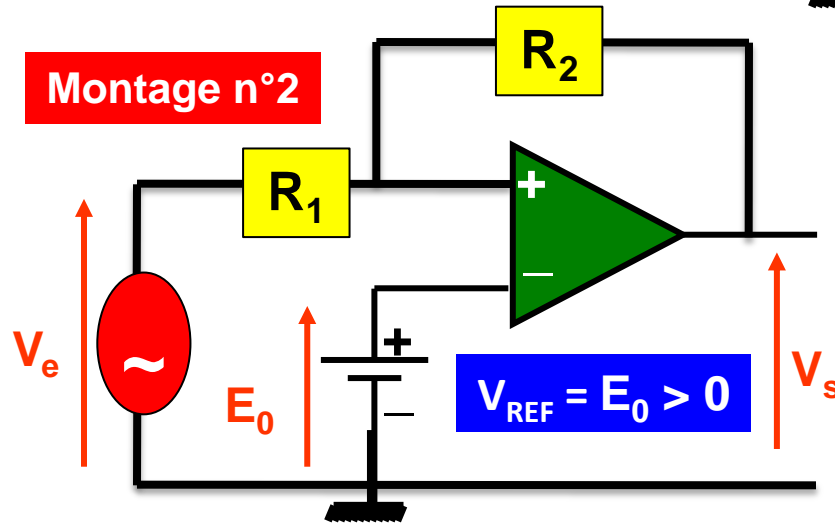
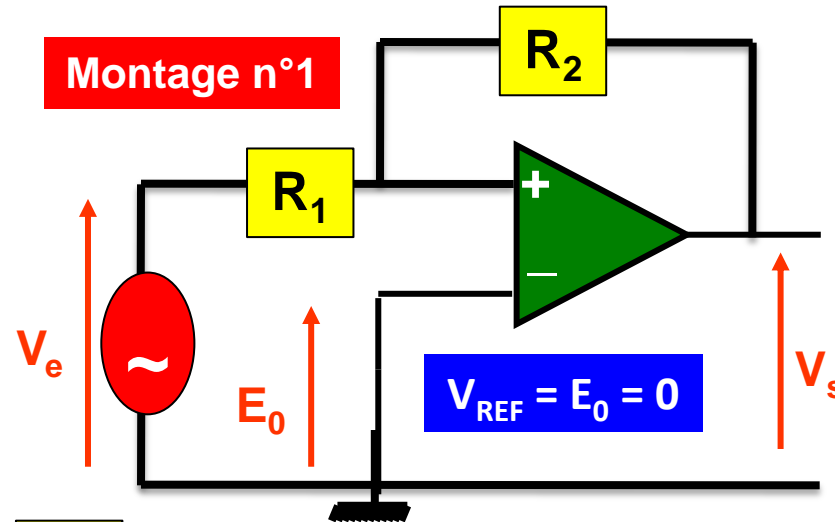


**Trigger non inverseur**

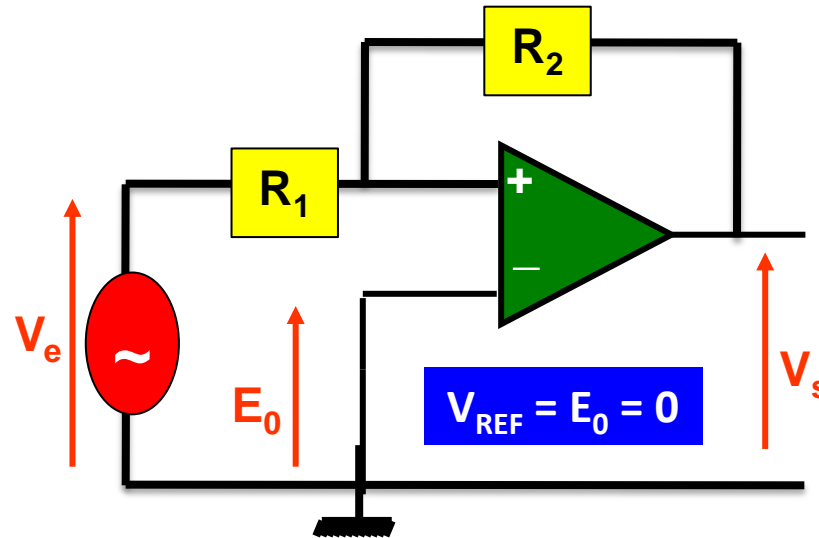


**Trigger inverseur**

## Montage comparateur à hystérésis non inverseur (Trigger non inverseur) :



## Montage n°1



$$e^+ = V_s \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad \text{et} \quad e^- = E_0 = 0 \quad \text{Basculement} \quad \text{si} \quad e^+ = e^-$$

$$0 = V_s \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \Rightarrow V_e = - \left( \frac{R_1}{R_2} \right) V_s$$

*Les seuils :  $V_{1/2} = V_{H/B} = \pm \left( \frac{R_1}{R_2} \right) V_{Sat}$  car  $V_s = \pm V_{Sat}$*

**$V_H$  et  $V_B$  (seuils de commutation de la sortie) sont les valeurs de la tension  $V_e$  qui font changer la valeur de la sortie  $V_s$**

$$\text{Les 2 seuils : } V_H = + \left( \frac{R_1}{R_2} \right) V_{Sat} \quad \text{et} \quad V_B = - \left( \frac{R_1}{R_2} \right) V_{Sat}$$

$$\text{Lorsque } V_S = +V_{sat} \quad \text{alors} \quad e^+ > e^- \Rightarrow V_{sat} \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) > 0 \Rightarrow V_e > - \left( \frac{R_1}{R_2} \right) V_{sat} = V_B$$

$$\text{Lorsque } V_S = -V_{sat} \quad \text{alors} \quad e^+ < e^- \Rightarrow -V_{sat} \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_e \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) < 0 \Rightarrow V_e < + \left( \frac{R_1}{R_2} \right) V_{sat} = V_H$$

$$\begin{aligned} \text{Si } V_e > V_B &\Rightarrow V_S = +V_{sat} \\ \text{Si } V_e < V_H &\Rightarrow V_S = -V_{sat} \end{aligned}$$

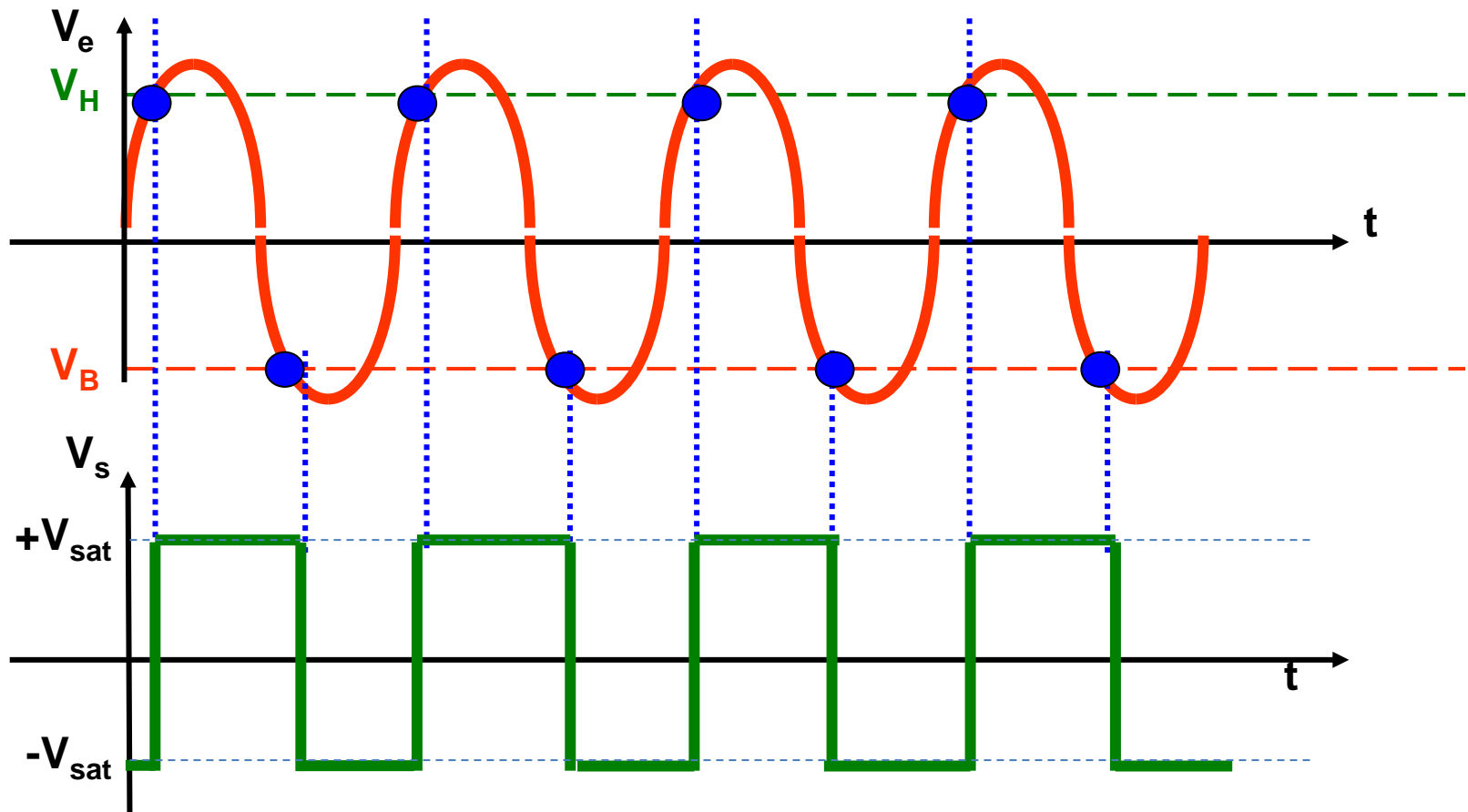


$$\begin{aligned} \text{Si } V_e < V_B &\Rightarrow V_S = -V_{sat} \\ \text{Si } V_e > V_H &\Rightarrow V_S = +V_{sat} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_S = +V_{sat} &\quad \text{si} \quad V_e > V_B \quad \text{et} \quad V_e > V_H \\ V_S = -V_{sat} &\quad \text{si} \quad V_e < V_B \quad \text{et} \quad V_e < V_H \end{aligned}$$

$$V_S = +V_{sat} \quad \text{si} \quad V_e > V_B \quad \text{et} \quad V_e > V_H$$

$$V_S = -V_{sat} \quad \text{si} \quad V_e < V_B \quad \text{et} \quad V_e < V_H$$



Rapport cyclique > 50%

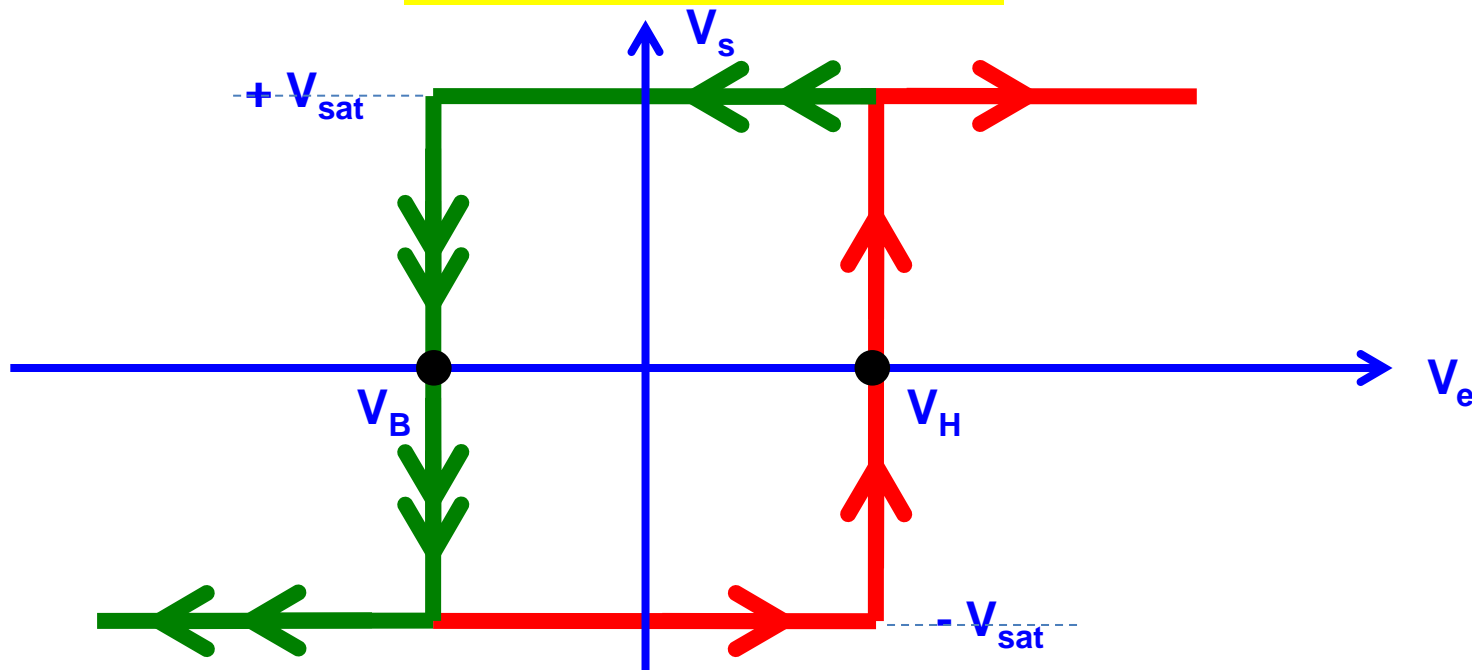


Il apparait deux cycles :

- un cycle par rapport au seuil  $V_H$
- un cycle par rapport au seuil  $V_B$

1<sup>er</sup> cycle :  $V_s$  passe de  $-V_{sat}$  à  $+V_{sat}$  (seuil :  $V_H$ )  
 2<sup>ème</sup> cycle :  $V_s$  passe de  $+V_{sat}$  à  $-V_{sat}$  (seuil :  $V_B$ )

Cycle d'hystérésis :  $V_s = f(V_e)$

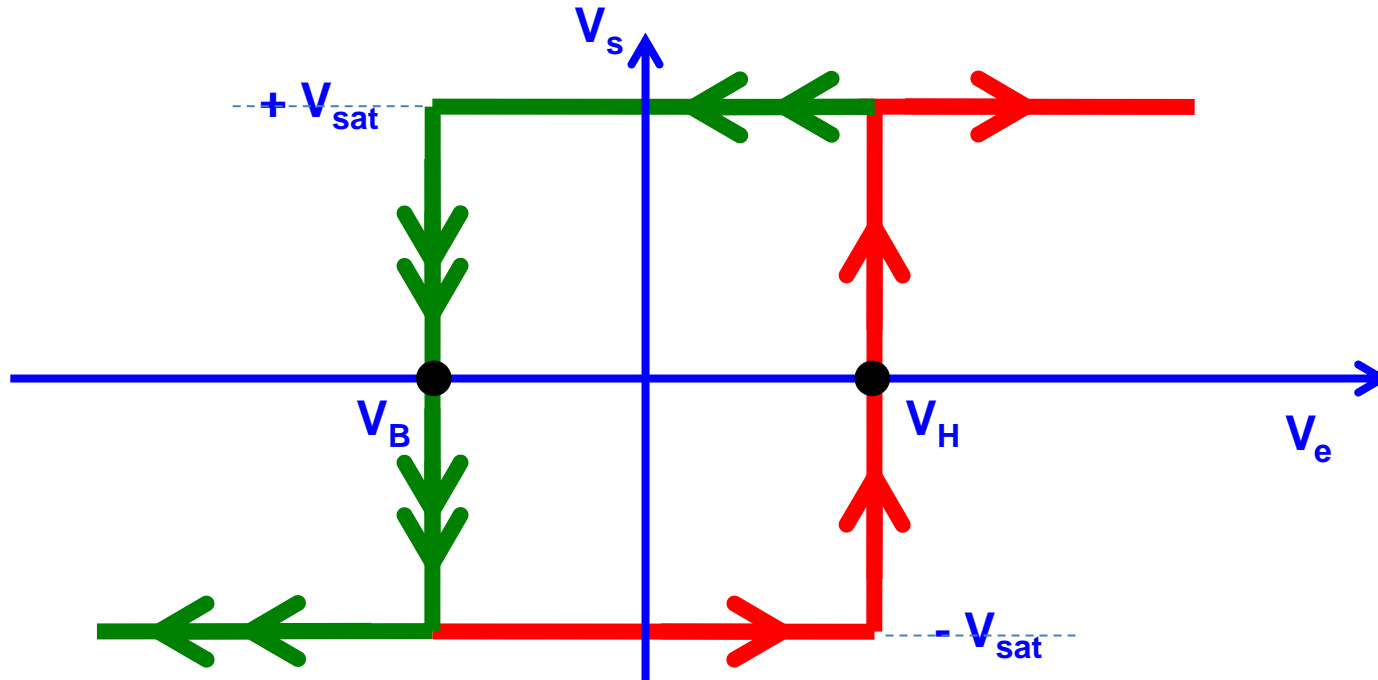


$V_s = +V_{sat}$  si  $V_e > V_B$  et  $V_e > V_H$   
 $V_s = -V_{sat}$  si  $V_e < V_H$  et  $V_e < V_B$

Longueur du cycle :

$$L = V_H - V_B$$

Cycle d'hystérésis :  $V_s = f(V_e)$



Valeur moyenne :

$$V_{moy} = \frac{V_B + V_H}{2}$$