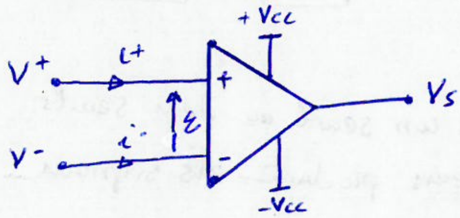
# Les amplificateurs opérationnels

*** Déf :**

un AOP réalise les opérations Arithmétique et ainsi les opérations de comparaison.

*** Symbole**



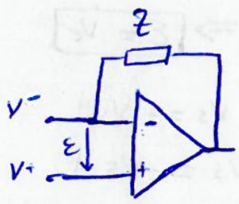

• $\varepsilon = V^+ - V^-$

*** Amplificateur AOP parfait**

- Résistance d'entrée infinie ⇒ $\boxed{i^+ = i^- = 0}$
- Resistance de sortie ⇒ $\boxed{R_s = 0}$
- gain différentielle ⇒ $A_d = \infty$ ⇒ $\boxed{V^+ = V^-}$

*** Régime de fonctionnement**

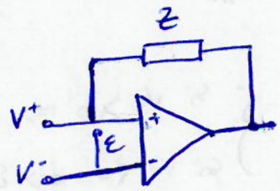
- Régime linéaire : AOP amplifier la tension d'entrée
- Régime non linéaire : AOP réalise de comparaison




Reaction négative
⇓
régime linéaire

$\boxed{\varepsilon = V^+ - V^- = 0}$

$\boxed{i^+ = i^- = 0}$



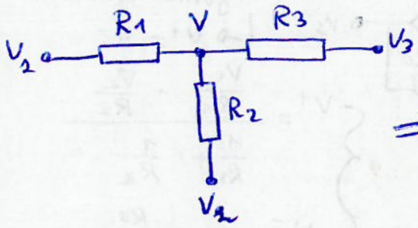

réaction positive
⇓
Régime non linéaire

$\boxed{\varepsilon = V^+ - V^- \neq 0}$

$\boxed{i^+ = i^- = 0}$

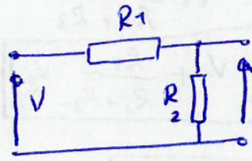
**A. AOP en régime linéaire**

- la sortie relier à l'entrée (−)
- $\varepsilon = 0 \Rightarrow V^+ = V^-$
- Pour les calculs ⇒ il faut utiliser que théorème de MILMAN




théorème de MILMAN

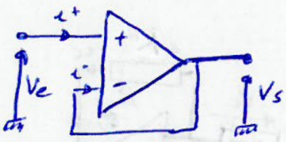
$$\Rightarrow \boxed{V = \frac{\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}}$$




théorème de diviseur de tension

$$\Rightarrow \boxed{V_2 = V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}}$$

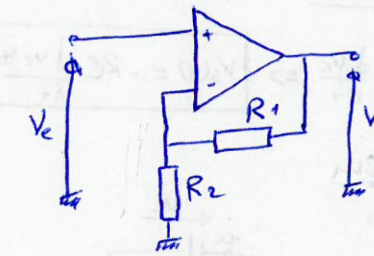
*** montage suiveur**




- AOP parfait ⇒ $i^+ = i^- = 0$
- AOP fonctionne en régime linéaire ⇒ $\varepsilon = 0 \Rightarrow V^+ = V^-$

$$\begin{cases} V^+ = V_e \\ V^- = V_s \end{cases} \Rightarrow \boxed{V_s = V_e}$$

*** montage non inverseur**

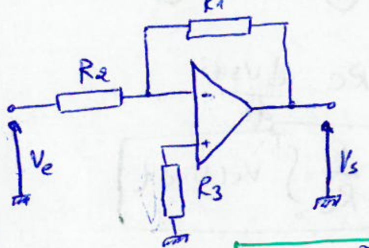



- AOP parfait $i^+ = i^- = 0$
- AOP fonctionne en régime linéaire
  ↳ $V^+ = V^-$

$$\begin{cases} V^+ = V_e \\ V^- = V_s \cdot \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} \end{cases} \text{(diviseur de tension)}$$

$$V^+ = V^- \Rightarrow \boxed{V_s = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_e}$$

*** montage inverseur**

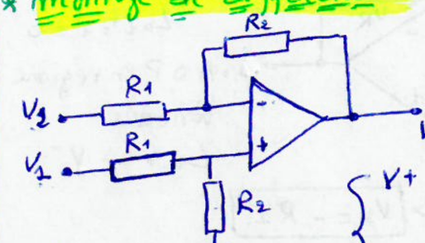



- AOP parfait $i^+ = i^- = 0$
- régime linéaire ⇒ $V^+ = V^-$

$$\begin{cases} V^+ = 0 \\ V^- = \dfrac{V_s \cdot R_2 + V_e \cdot R_1}{R_1 + R_2} \end{cases}$$

$$V^+ = V^- \Rightarrow \boxed{V_s = -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_e}$$

*** montage de différence**



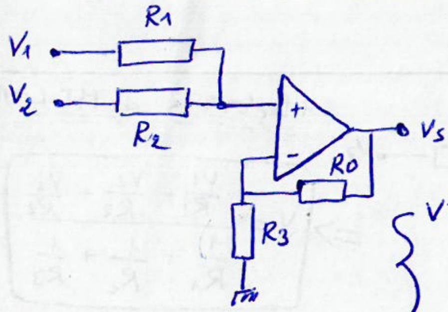

- AOP parfait : $i^+ = i^- = 0$
- régime linéaire
  ↳ $V^+ = V^-$

$$\begin{cases} V^+ = V_1 \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} \\ V^- = \dfrac{V_s \cdot R_1 + V_2 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \end{cases}$$

$V^+ = V^-$

$$\Rightarrow \boxed{V_s = \frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2)}$$

## * Amplificateur de somme



- AOP parfait $i^+ = i^- = 0$
- régime linéaire
  ↳ $V^+ = V^-$

$$\begin{cases} V^+ = \dfrac{\dfrac{V_1}{R_1} + \dfrac{V_2}{R_2}}{\dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}} \\ V^- = V_s \dfrac{R_3}{R_0 + R_3} \end{cases}$$

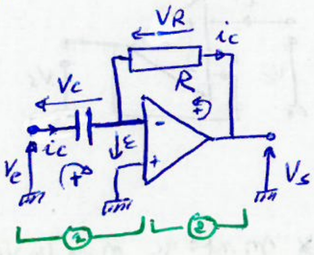
$V^+ = V^-$

$$\hookrightarrow \boxed{V_s = \left(1 + \frac{R_0}{R_3}\right)\left(\frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot V_1 + \frac{R_1}{R_1+R_2} \cdot V_2\right)}$$

si $R_1 = R_2 = R_3 = R_0 \Rightarrow \boxed{V_s = V_1 + V_2}$

## * montage dérivateur.

- AOP parfait : $i^+ = i^- = 0$
- AOP en régime linéaire
  ↳ $\varepsilon = 0 \Rightarrow V^+ = V^-$



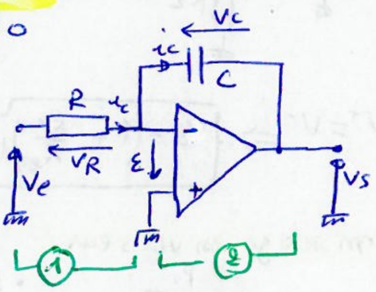
① $V_e - V_c + \varepsilon = 0$ et $\varepsilon = 0$
↳ $V_c = V_e$

② $\Rightarrow V_s + V_R = 0 \Rightarrow V_s = -R\,i_c$

① et ② : $V_s = -R.C.\dfrac{dV_c}{dt} \Rightarrow \boxed{V_s(t) = -RC\dfrac{dV_e(t)}{dt}}$

## * montage intégrateur

- AOP parfait $\Rightarrow i^+ = i^- = 0$
- régime linéaire
  ↳ $V^+ = V^- \Rightarrow \varepsilon = 0$



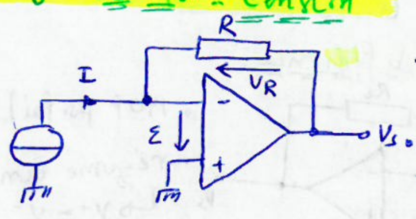
① $\Rightarrow V_e = R\,i_c(t)$

② $\Rightarrow i_c = -C\dfrac{dV_s(t)}{dt}$

① et ② $\Rightarrow V_e(t) = -RC \cdot \dfrac{dV_s(t)}{dt}$

$$\hookrightarrow \boxed{V_s(t) = -\frac{1}{RC}\int_0^T V_s(t)\,dt}$$

## * montage Courant - tension



- AOP parfait
  ↳ $i^+ = i^- = 0$
- AOP en régime linéaire
  ↳ $V^+ = V^-$

on a : $V_s + V_R = 0 \Rightarrow \boxed{V_s = -RI}$

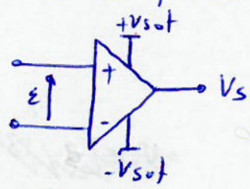
## B. AOP en régime non linéaire

### * conditions :

- pas de réaction $\Rightarrow$ boucle ouverte

- réaction positive $\Rightarrow \boxed{S \rightarrow V^+}$
- $V^+ \neq V^-$ car $\boxed{\varepsilon \neq 0}$

### * la sortie prend que deux valeurs :



$$\begin{cases} \text{si } \boxed{\varepsilon > 0} \Rightarrow \boxed{V_s = +V_{sat}} \\ \text{si } \boxed{\varepsilon < 0} \Rightarrow \boxed{V_s = -V_{sat}} \end{cases}$$

### * utilisat :

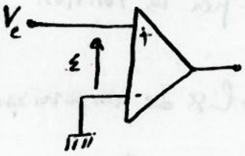
- Comparateur : un seuil ou deux seuils
- multivibrateur : product des signaux

### * Comparateur à AOP

- Comparateur simple : seuil de comparaison unique
- Comparateur à hystérésis : deux seuil de comparaison

### # Comparateur simple (pas de react)

* comparateur non inverseur

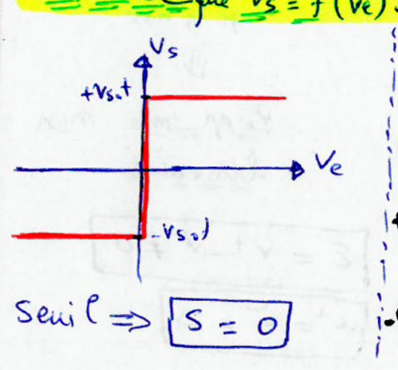


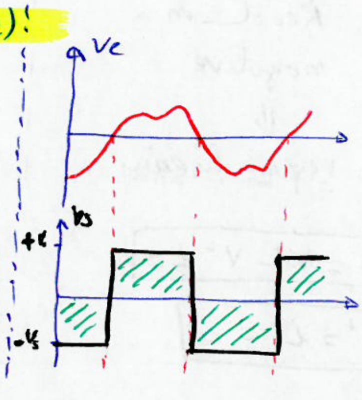
- AOP parfait : $i^+ = i^- = 0$
- AOP en régime non linéaire
  ↳ $\varepsilon \neq 0$

$$\begin{cases} V^+ = V_e \\ V^- = 0 \end{cases} \Rightarrow \boxed{\varepsilon = V_e}$$

$$\begin{cases} \text{si } V_e > 0 \Rightarrow \varepsilon > 0 \Rightarrow V_s = +V_{sat} \\ \text{si } V_e < 0 \Rightarrow \varepsilon < 0 \Rightarrow V_s = -V_{sat} \end{cases}$$

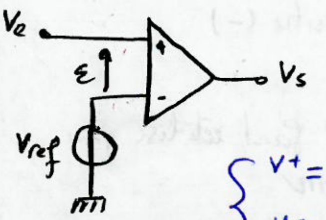
### * caractéristique $V_s = f(V_e)$ :




Seuil $\Rightarrow \boxed{S = 0}$

### * Comparateur non inverseur ave seuil $S > 0$



AOP parfait : $i^+ = i^- = 0$

AOP en régime non linéaire
↳ $\varepsilon \neq 0$

$$\begin{cases} V^+ = V_e \\ V^- = V_{ref} \end{cases} \Rightarrow \boxed{\varepsilon = V_e - V_{ref}}$$

finalement $V_s = +V_{sat}$ tant que

↳ $\boxed{V_e > -\frac{R_1}{R_2} V_{sat} + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{ref} = V_b}$

hypothèse 2 : On suppose que $V_s = -V_{sat}$

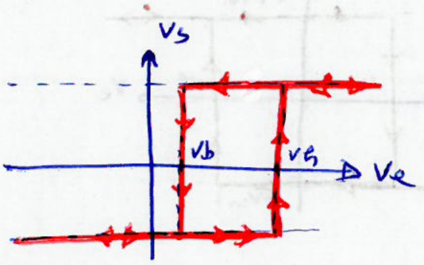
la sortie $V_s = -V_{sat}$ tant que $\varepsilon < 0$

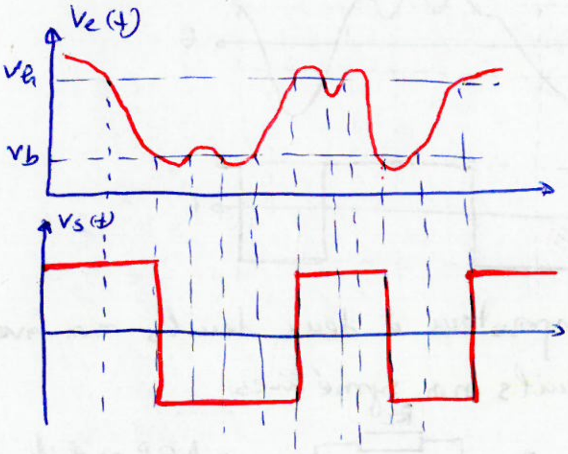
↳ $\varepsilon = \frac{V_e . R_2 - V_{sat} . R_1}{R_1 + R_2} - V_{ref} < 0$

finalement $V_s = -V_{sat}$ tant que :

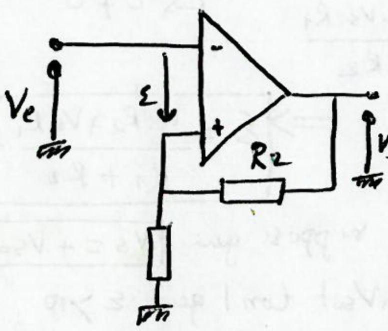
$\boxed{V_e < \frac{R_1}{R_2} V_{sat} + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) . V_{ref} = V_h}$

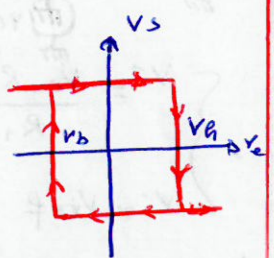
* Caractéristique $V_s = f(V_e)$



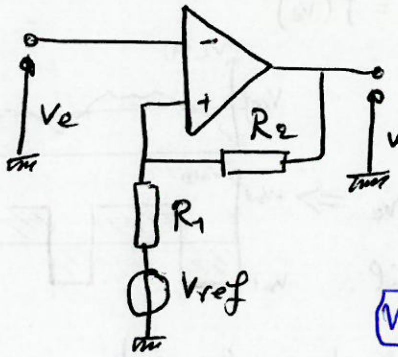

* Comparateur inverseur à deux seuils symétrie

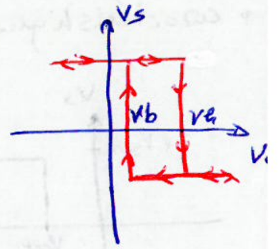



$\boxed{V_h = -V_b}$

* comparateur inverseur à deux seuils non symétrie ⇒ $V_h \neq V_b$

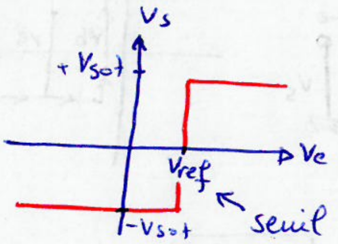


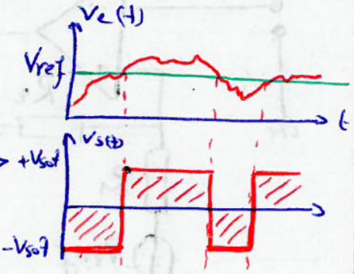




$\boxed{V_h \neq V_b}$

même démarche pour les calculs

- si $\boxed{V_e > V_{ref}} \Rightarrow \varepsilon > 0 \Rightarrow \boxed{V_s = +V_{sat}}$
- si $\boxed{V_e < V_{ref}} \Rightarrow \varepsilon < 0 \Rightarrow \boxed{V_s = -V_{sat}}$
- caractéristique $V_s = f(V_e)$



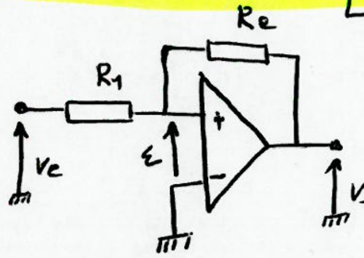




- dans le seuil de basculement
  $\boxed{S = V_{ref}}$

*** Comparateur à hystérésis**

- en se basant sur deux hypothèses
  - $\rightarrow V_s = +V_{sat}$
  - $\rightarrow V_s = -V_{sat}$
- on détermine pour chacune la valeur de $V_e$ qui est équivalent un seuil bas $V_b$ ou seuil haut $V_h$

$\Rightarrow$ **Comparateur à deux seuils non inverseur** $\rightarrow$ symétrie




- AOP parfait $\rightarrow i^+ = i^- = 0$
- fonctionnent en régime non linéaire $\Rightarrow \varepsilon \neq 0$

$$\begin{cases} V^+ = \dfrac{V_e . R_2 + V_s . R_1}{R_1 + R_2} \\ V^- = 0 \end{cases} \Longrightarrow \boxed{\varepsilon = \frac{V_s . R_1 + V_e R_2}{R_1 + R_2}}$$

- **hypothèse 1 :** on suppose que $\boxed{V_s = +V_{sat}}$

$\rightarrow$ la sortie $V_s = +V_{sat}$ tant que $\varepsilon > 0$

$$\hookrightarrow \varepsilon = \frac{+V_{sat} . R_1 + V_e R_2}{R_1 + R_2} > 0$$

finalement $V_s = +V_{sat}$ tant que :

$$\boxed{V_e > -\frac{R_1}{R_2} . V_{sat} = V_b} \Leftarrow \text{seuil bas}$$

**hypothèse 2 :** on suppose que $V_s = -V_{sat}$

$\rightarrow$ la sortie $V_s = -V_{sat}$ tant que $\varepsilon < 0$

$$\hookrightarrow \varepsilon = \frac{-V_{sat} . R_1 + V_e . R_2}{R_1 + R_2} < 0$$

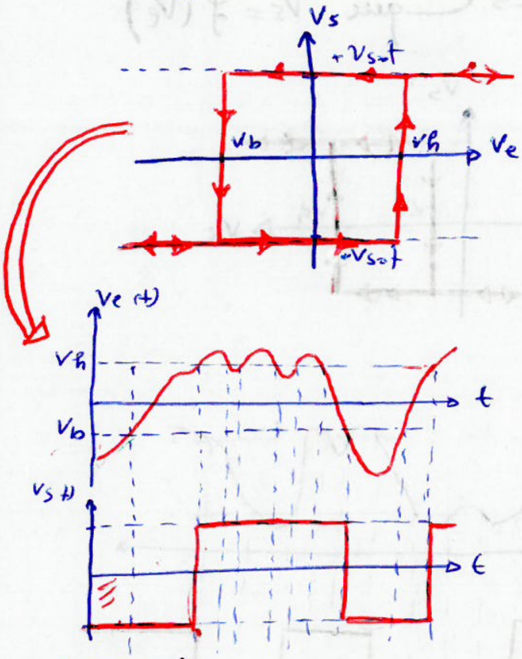
$\rightarrow$ finalement $V_s = -V_{sat}$ tant que

$$\boxed{V_e < \frac{R_1}{R_2} V_{sat} = V_h}$$

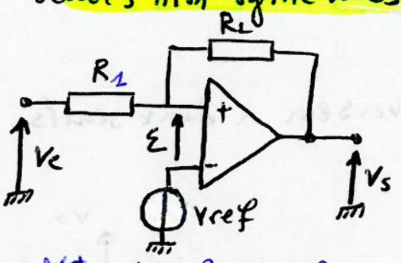
*** caractéristique $V_s = f(V_e)$**

les seuils :

$$\begin{cases} V_h = +\dfrac{R_1}{R_2} V_{sat} \\ V_b = -\dfrac{R_1}{R_2} V_{sat} \end{cases} \Rightarrow \boxed{V_h = -V_b} \Rightarrow \text{seuil symétrie}$$




$\Rightarrow$ **Comparateur à deux seuils non inverseur à seuils non symétries**




- AOP parfait $\rightarrow i^+ = i^- = 0$
- AOP en régime non linéaire $\rightarrow \varepsilon \neq 0$

$$\begin{cases} V^+ = \dfrac{V_e . R_2 + V_s . R_1}{R_1 + R_2} \\ V^- = V_{ref} \end{cases} \Longrightarrow \boxed{\varepsilon = \frac{V_e . R_2 + V_s R_1}{R_1 + R_2} - V_{ref}}$$

**hypothèse 1 :** on suppose que $\boxed{V_s = +V_{sat}}$

$\rightarrow$ la sortie $V_s = +V_{sat}$ tant que $\varepsilon > 0$

$$\hookrightarrow \varepsilon = \frac{V_e . R_2 + V_{sat} R_1}{R_1 + R_2} - V_{ref} > 0$$