

## COURS – CI6

### *Capter et mettre en forme un signal électrique Partie 3 - Montage de l'AOP en régime saturé et défauts statiques*

***Je dois être capable de :***

- ***Identifier le régime de fonctionnement d'un AOP***
- ***Mettre en équation un montage en régime saturé***
- ***Savoir appliquer les théorèmes de superposition et de Millman***
- ***Tracer la fonction de transfert d'un comparateur***
- ***Modéliser une structure sous la forme de schéma bloc***
- ***Connaître les différents défauts des AOP***
- ***Evaluer les conditions de saturation d'un AOP en régime linéaire***

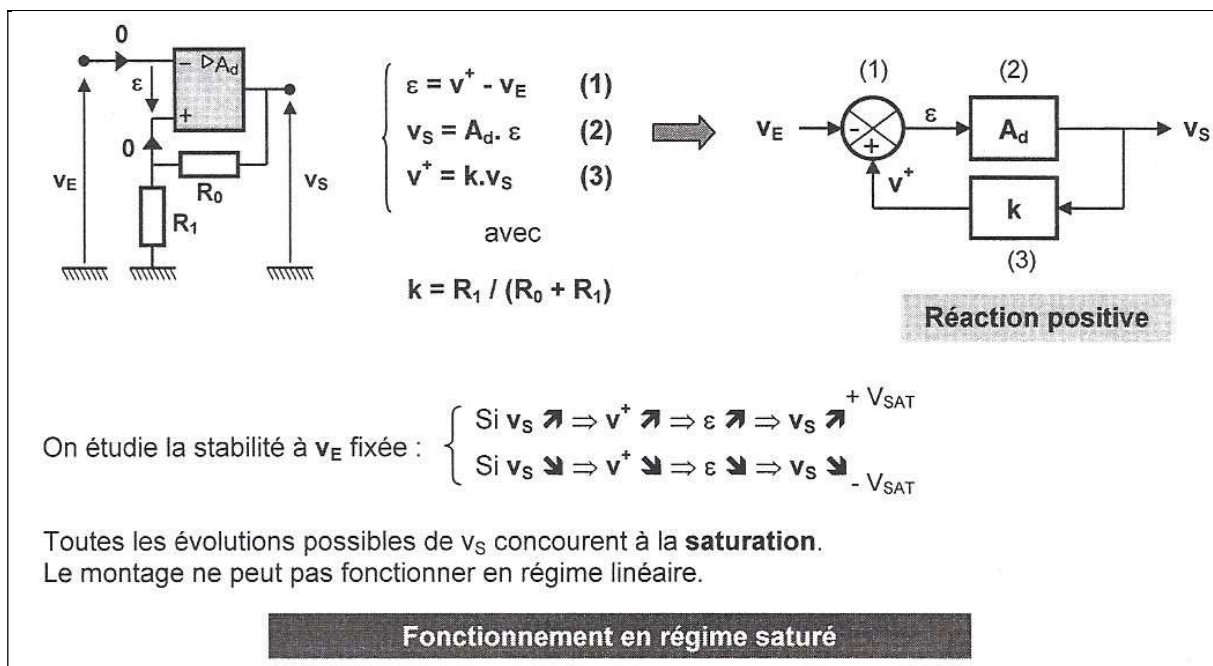
1. Introduction.....	3
2. Montage comparateur non-inverseur à 1 seuil .....	5
3. Montage comparateur inverseur à 1 seuil .....	6
4. Montage comparateur non-inverseur à 2 seuils ou TRIGGER non-inverseur .....	7
5. Montage comparateur inverseur à 2 seuils ou TRIGGER inverseur .....	8
6. Défauts statiques de l'AOP.....	9
a) Tension de décalage ou "offset" .....	9
b) Mise en évidence des tensions de saturations .....	10
c) Courant de polarisation.....	10
d) Modèle complet .....	11

## 1. Introduction

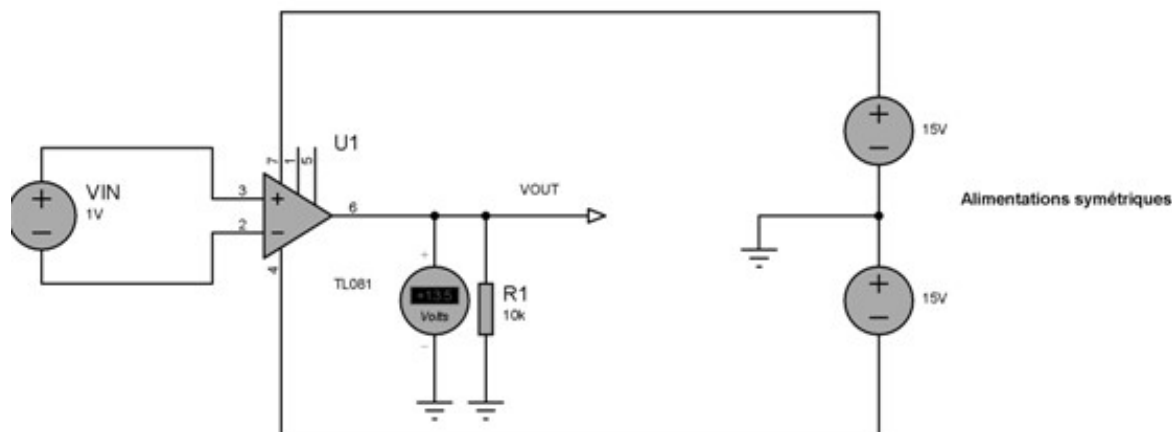
L'astuce pour reconnaître un montage en **régime saturé** :

Repérer si un fil ou un dipôle relie la sortie  $S$  à l'entrée  $E^+$ ,  
c'est la **contre-réaction positive**.  
Repérer si rien ne relie la sortie avec les entrées

Comportement de ces montages :



Les montages en régime saturé exploitent le phénomène de saturation pour réaliser des comparateurs qui permettent de comparer une tension avec 1 ou 2 seuils. La tension de sortie prendra seulement deux valeurs distinctes qui correspondent aux tensions de saturations de l'AOP. On parle aussi de "régime de commutation" car  $V_S$  passe d'une valeur de saturation à une autre, suivant la valeur de  $V_E$ .



### Hypothèses pour la mise en équation :

En régime saturé, on considère alors  $\varepsilon = V^+ - V^- \neq 0$

Dans les montages, on considère toujours l'AOP idéal, soit :

$$i^+ = i^- = 0$$

$$Ad \rightarrow \infty$$

$$Re \rightarrow \infty \quad Rs = 0$$

### Méthode :

- Exprimer  $V^+$ , exprimer  $V^-$
- Déterminer le signe de  $\varepsilon$ , et les conditions associées
- Représenter la caractéristique de transfert  $Vs = f(Ve)$
- Réaliser l'application numérique

### Particularité de certains montages :

- On peut repérer un montage comparateur inverseur car le signal à comparer entre sur l'entrée inverseuse  $E^-$  (directement, ou indirectement)
- Pour un montage comparateur non-inverseur, le signal entre cette fois-ci sur l'entrée non-inverseuse  $E^+$  (directement, ou indirectement)

## 2. Montage comparateur non-inverseur à 1 seuil

Régime saturé :  $\varepsilon \neq 0$

$$\begin{cases} V^+ = V_E \\ V^- = 0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= V^+ - V^- \\ \varepsilon &= V_E \end{aligned}$$

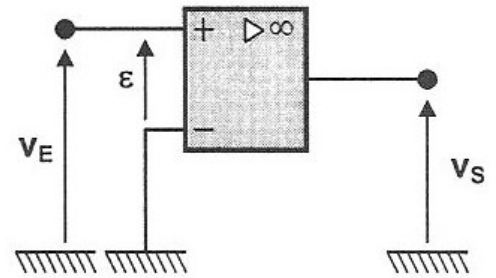
Deux cas se présentent :

$$\begin{cases} V_E < 0 \\ \varepsilon < 0 \\ V_S = -V_{SAT} \end{cases}$$

Saturation négative

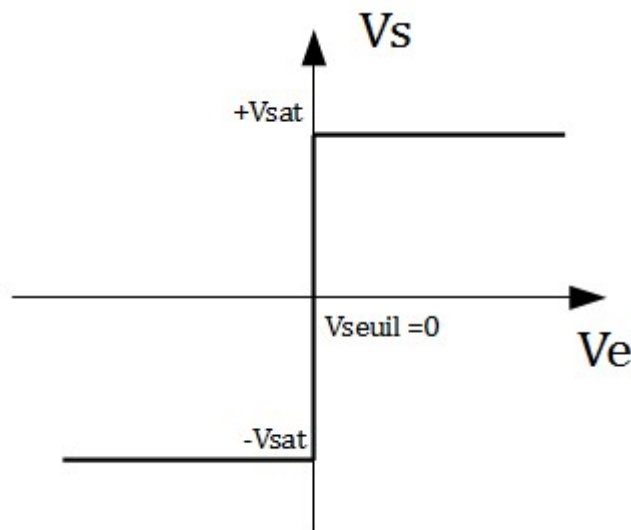
$$\begin{cases} V_E > 0 \\ \varepsilon > 0 \\ V_S = +V_{SAT} \end{cases}$$

Saturation positive

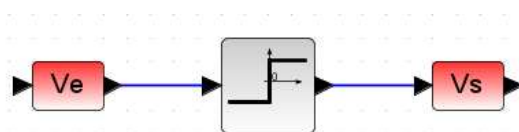


Concrètement, ce montage permet de comparer  $V_E$  à un seuil (ici, c'est le cas le plus simple  $V_{SEUIL} = 0$ ), la tension  $V_S$  va évoluer suivant la valeur de  $V_E$

**Caractéristique de transfert  $V_S = f(V_E)$  :**



**Modélisation :**



### 3. Montage comparateur inverseur à 1 seuil

Régime saturé :  $\varepsilon \neq 0$

$$\begin{cases} V^+ = 0 \\ V^- = V_E \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= V^+ - V^- \\ \varepsilon &= -V_E \end{aligned}$$

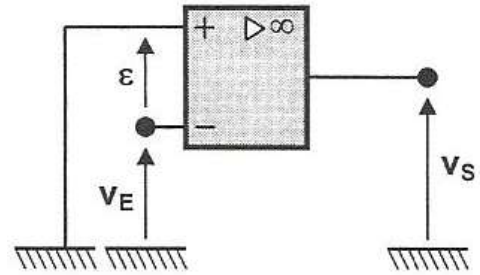
Deux cas se présentent :

$$\begin{cases} V_E < 0 \\ \varepsilon > 0 \\ V_S = +V_{SAT} \end{cases}$$

Saturation positive

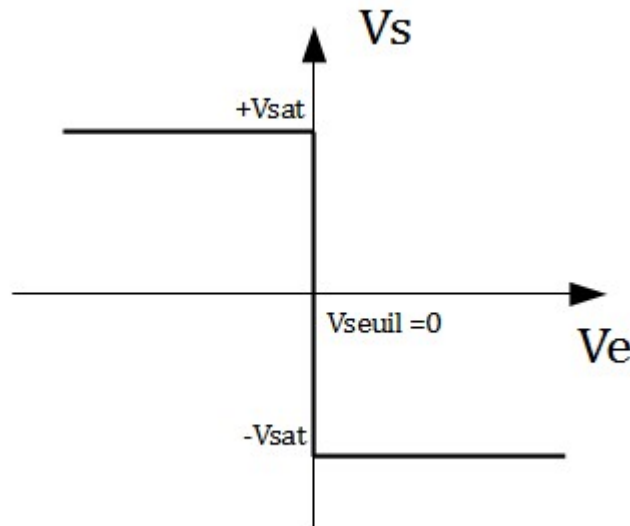
$$\begin{cases} V_E > 0 \\ \varepsilon < 0 \\ V_S = -V_{SAT} \end{cases}$$

Saturation négative

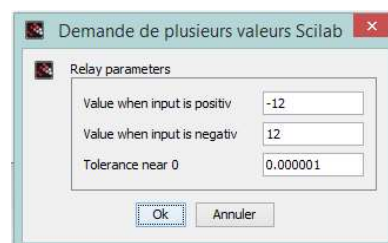
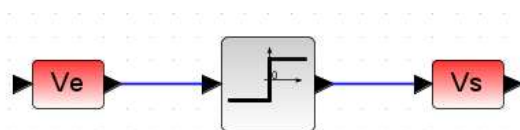


Concrètement, ce montage de la même manière que le précédent. Par contre,  $V_S$  va évoluer de manière inversée.

Caractéristique de transfert  $V_S = f(V_E)$  :



Modélisation :



#### 4. Montage comparateur non-inverseur à 2 seuils ou TRIGGER non-inverseur

Régime saturé :  $\varepsilon \neq 0$

$$\begin{cases} V^+ = \frac{V_S \cdot R_1 + V_E \cdot R_0}{R_0 + R_1} \\ V^- = 0 \end{cases} \text{ avec le Millman}$$

$$\varepsilon = V^+ - V^-$$

$$\varepsilon = \frac{V_S \cdot R_1 + V_E \cdot R_0}{R_0 + R_1}$$

$\varepsilon$  dépend de l'entrée et de la sortie.

Deux cas se présentent :

$$\begin{cases} \varepsilon > 0 \\ V_S = +V_{SAT} \end{cases}$$

$$\frac{+V_{SAT} \cdot R_1 + V_E \cdot R_0}{R_0 + R_1} > 0$$

$$\frac{V_E \cdot R_0}{R_0 + R_1} > \frac{-V_{SAT} \cdot R_1}{R_0 + R_1}$$

$$V_E > -V_{SAT} \cdot \frac{R_1}{R_0}$$

Saturation positive

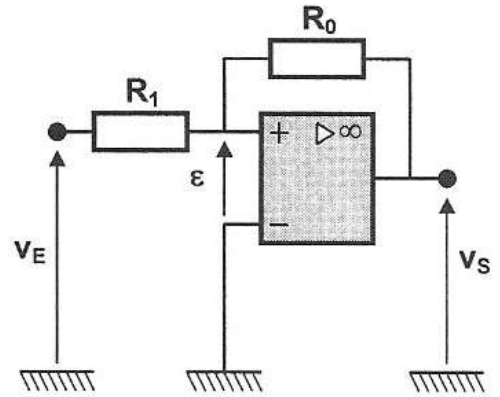
$$\begin{cases} \varepsilon < 0 \\ V_S = -V_{SAT} \end{cases}$$

$$\frac{-V_{SAT} \cdot R_1 + V_E \cdot R_0}{R_0 + R_1} < 0$$

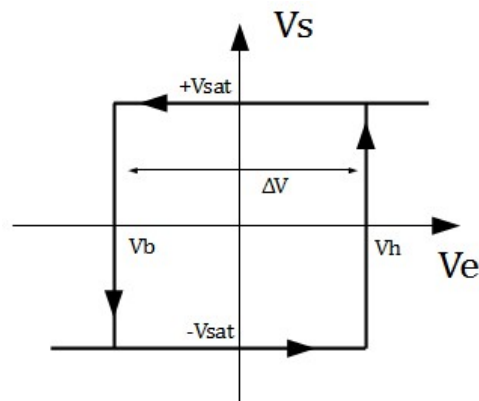
$$\frac{V_E \cdot R_0}{R_0 + R_1} < \frac{+V_{SAT} \cdot R_1}{R_0 + R_1}$$

$$V_E < +V_{SAT} \cdot \frac{R_1}{R_0}$$

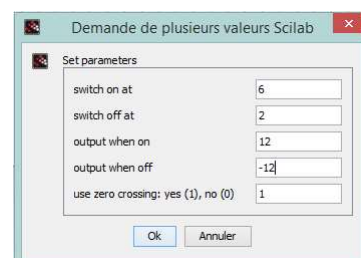
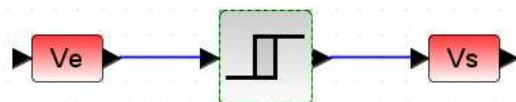
Saturation négative



Caractéristique de transfert  $V_S = f(V_E)$  :



Modélisation :



## 5. Montage comparateur inverseur à 2 seuils ou TRIGGER inverseur

Régime saturé :  $\varepsilon \neq 0$

$$\begin{cases} V^+ = V_S \cdot \frac{R_1}{R_0 + R_1} \\ V^- = V_E \end{cases} \text{ avec le Pont diviseur}$$

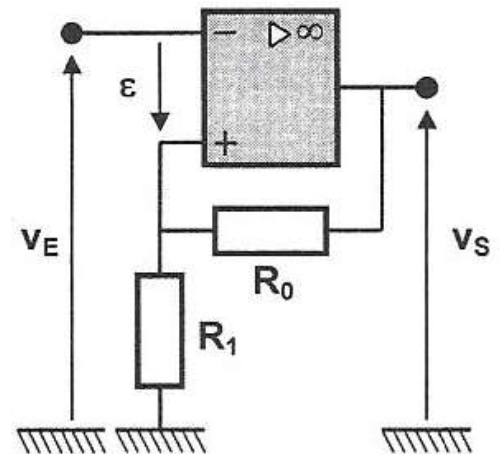
$$\varepsilon = V^+ - V^-$$

$$\varepsilon = V_S \cdot \frac{R_1}{R_0 + R_1} - V_E$$

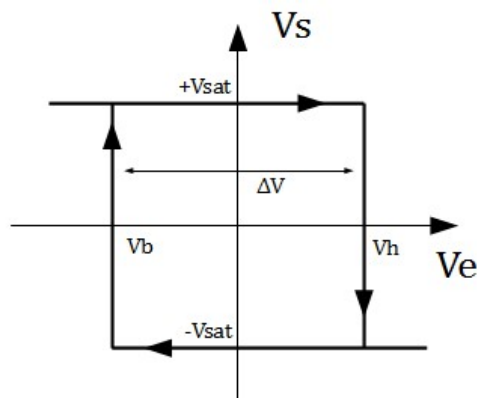
$\varepsilon$  dépend de l'entrée et de la sortie.

Deux cas se présentent :

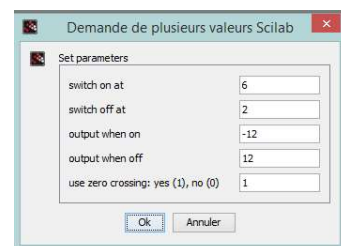
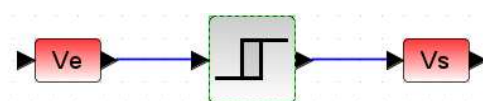
$\begin{cases} \varepsilon > 0 \\ V_S = +V_{SAT} \end{cases}$	$\begin{cases} \varepsilon < 0 \\ V_S = -V_{SAT} \end{cases}$
$+V_{SAT} \cdot \frac{R_1}{R_0 + R_1} - V_E > 0$	$-V_{SAT} \cdot \frac{R_1}{R_0 + R_1} - V_E < 0$
$V_E < +V_{SAT} \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_1}$	$V_E > -V_{SAT} \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_1}$
Saturation positive	Saturation négative



Caractéristique de transfert  $V_S = f(V_E)$  :



Modélisation :





## 6. Défauts statiques de l'AOP

### a) Tension de décalage ou "offset"

Pour le modèle "idéal" de l'AOP, nous avons vu que  $V_S = A_d \cdot \varepsilon$ . Si la tension  $\varepsilon = V^+ - V^- = 0$  alors  $V_S = 0$ .

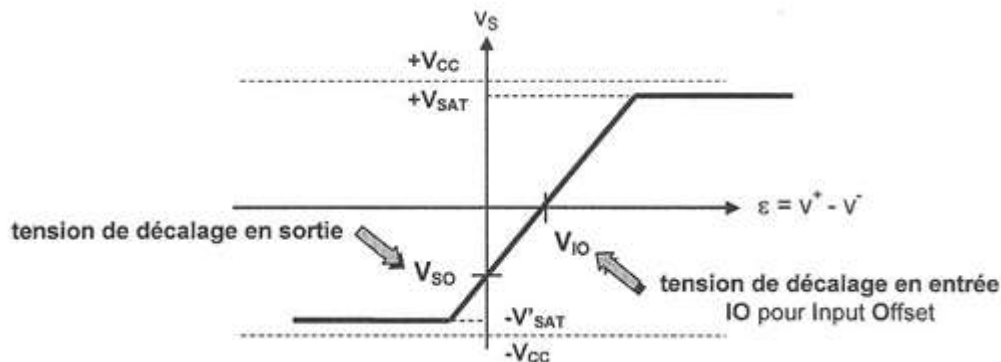
Pour l'AOP réel, on remarque si  $\varepsilon = 0$ ,  $V_S \neq 0$ .

#### Pourquoi cette différence ?

Il s'agit de la tension d'offset  $V_{IO}$ . La présence de la tension de décalage d'entrée  $V_{IO}$  entraîne l'apparition d'une tension de décalage de sortie  $V_{SO}$ .

#### Influence sur $V_S$ :

Dans notre simulation, on remarque bien que  $V_S \neq 0$  ce qui prouve bien l'existence de cette tension de décalage, nommée  $V_{IO}$ .



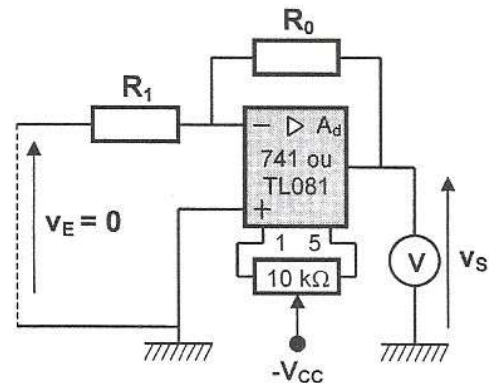
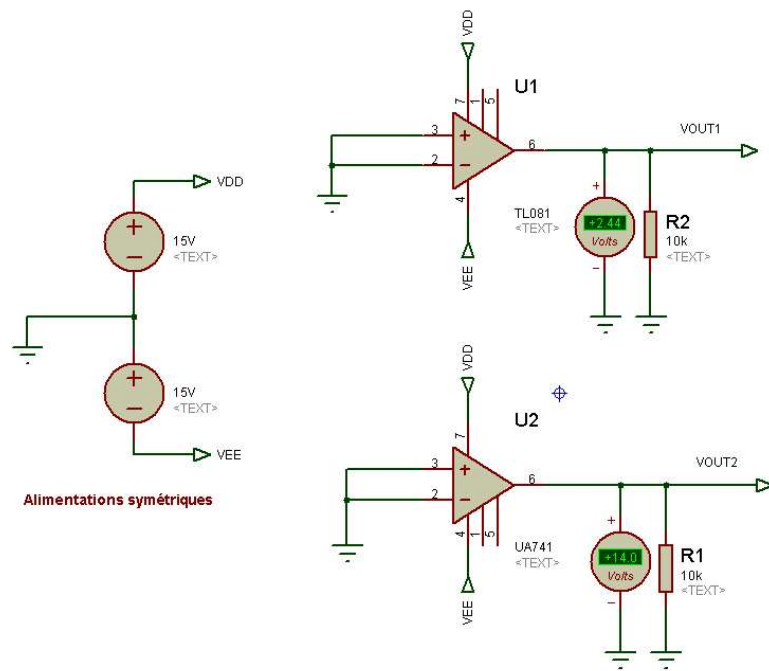
#### Compensation :

Des broches de compensation sont parfois disponibles afin de corriger ce défaut (broche 1 et 5 du TL081).

Régler le potentiomètre permet d'annuler  $V_{IO}$ .

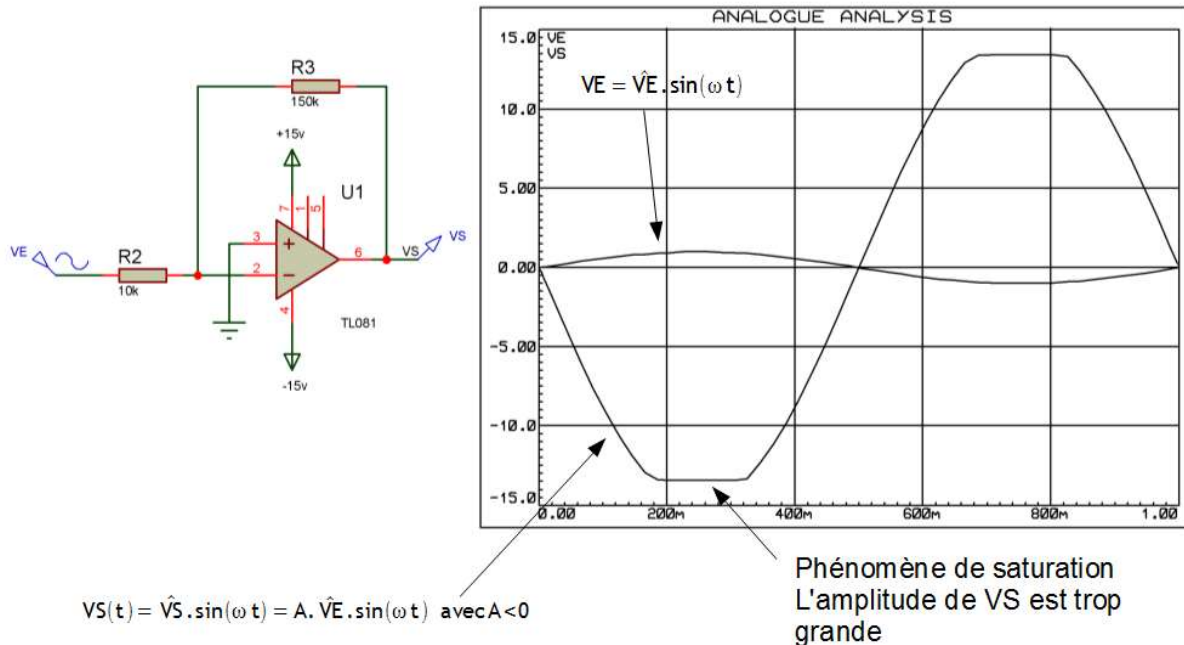
#### Données constructeur :

- TL081,  $V_{IO}$  compris entre 3 et 20mV
- UA741,  $V_{IO}$  compris entre 1 et 6mV



## b) Mise en évidence des tensions de saturations

En régime linéaire, si l'amplification est trop élevée, on observe un phénomène de saturation, car la source de sortie  $V_S$  est limitée par les tensions de saturation  $+V_{SAT}$  et  $-V_{SAT}$ .

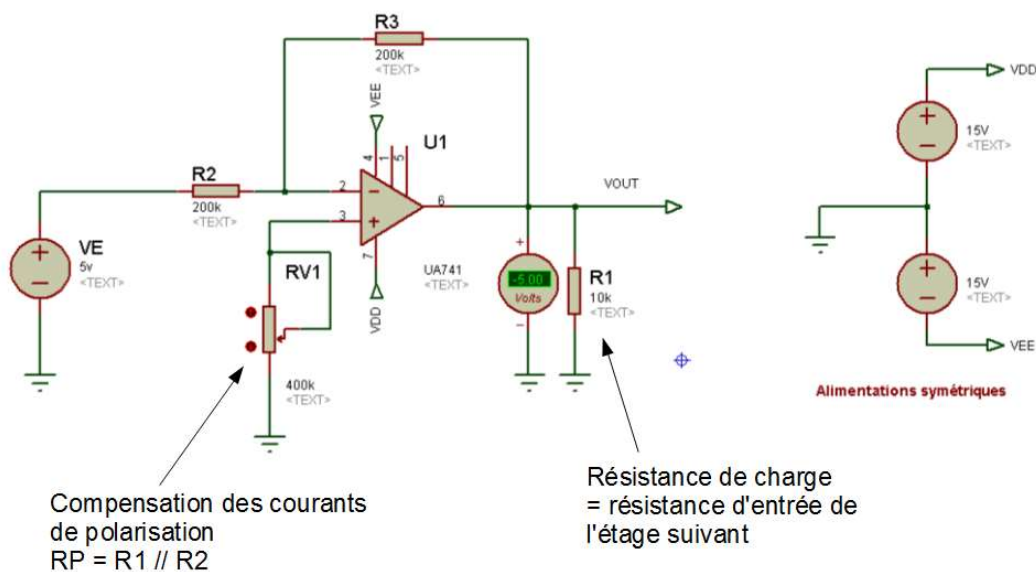


### Données constructeur :

- TL081,  $+/-V_{SAT}$  compris entre 10 et 13,5V
- UA741,  $+/-V_{SAT}$  compris entre 12 et 14V

## c) Courant de polarisation

Dans le modèle réel de l'ALI, les courants d'entrées ne sont pas tout à fait nuls. La grandeur de ces courants est de quelques nano ampères.



### Définition :

- Courant de polarisation (Input Bias Current)  $I_{IB} = \frac{1}{2} \cdot |i_p^+ + i_p^-|_{V_S=0}$
- Courant de décalage (Input Offset Current)  $I_{IO} = \frac{1}{2} \cdot |i_p^+ - i_p^-|_{V_S=0}$

### Influence sur $V_S$ :

Si  $i_p^+ \neq i_p^-$ , la tension de sortie  $V_S$  est légèrement modifiée, ce qui entraîne une réduction de la précision sur le signal.

### Compensation :

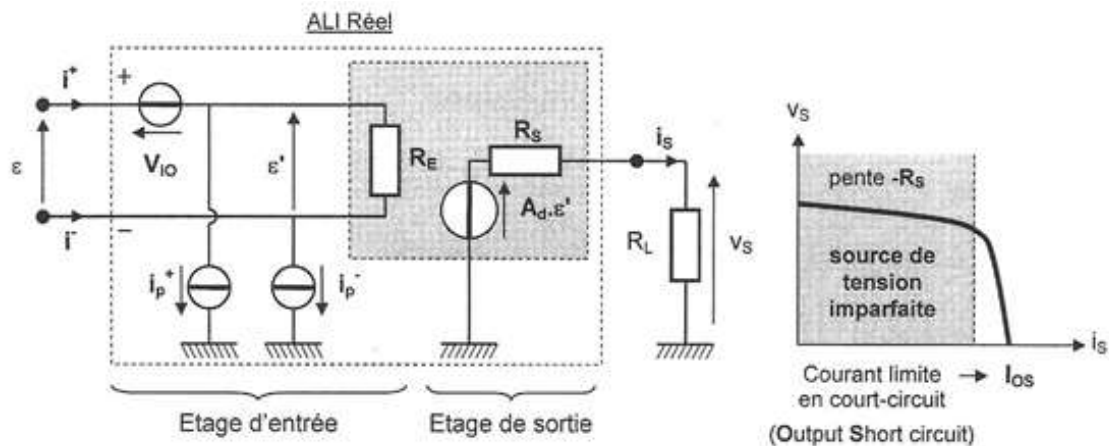
On doit faire en sorte que les résistances équivalentes sur les entrées  $E^+$  et  $E^-$  soient égales (sources éteintes). On trouve parfois une résistance de compensation dont c'est le rôle. Dans notre exemple, RV1 ne modifie pas l'amplification de l'étage, mais joue le rôle de résistance de compensation.

### Données constructeur :

- TL081,  $I_{IB}$  compris entre 5pA et 10nA,  $I_{IO}$  compris entre 30pA et 20nA
- UA741,  $I_{IB}$  compris entre 2nA et 70nA,  $I_{IO}$  compris entre 10nA et 200nA

### d) Modèle complet

On déduit de nos observation le modèle suivant :



On retrouve dans ce modèle, la résistance d'entrée  $R_E$  ou  $R_E$ , l'amplification en tension  $A_{VD}$  ou  $A_d$  et la tension différentielle  $\varepsilon$  ou  $V_d$ .

Retrouver les différentes caractéristiques d'un modèle d'AOP récent, le CS3012 :

- $A_{VD}$  très élevée : 10 milliard =  $10 \cdot 10^9$
- $V_{IO}$  en  $\mu V$  :  $\pm 10 \mu V$
- $I_{IB}$  et  $I_{IO}$  en pA : 50 à 2000pA
- $\pm V_{SAT}$  :  $V^+ - 0,3V < V_S < V^- + 0,3V$
- Les tensions et courant d'offset varient avec la température (dérive en  $V/^\circ C$ )