

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

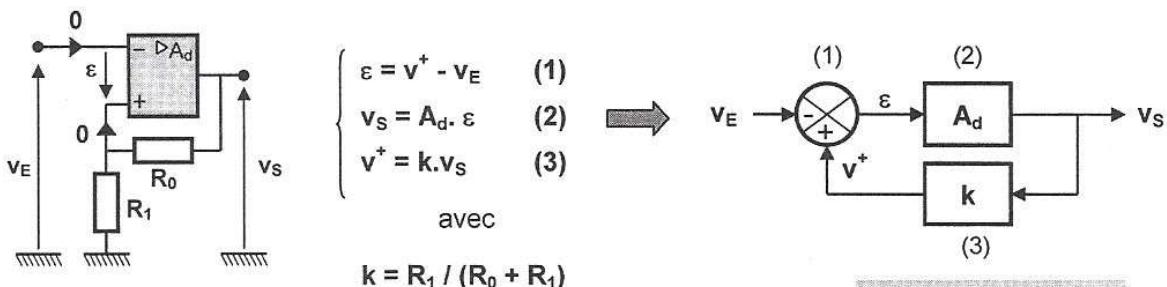
1. Introduction

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 :



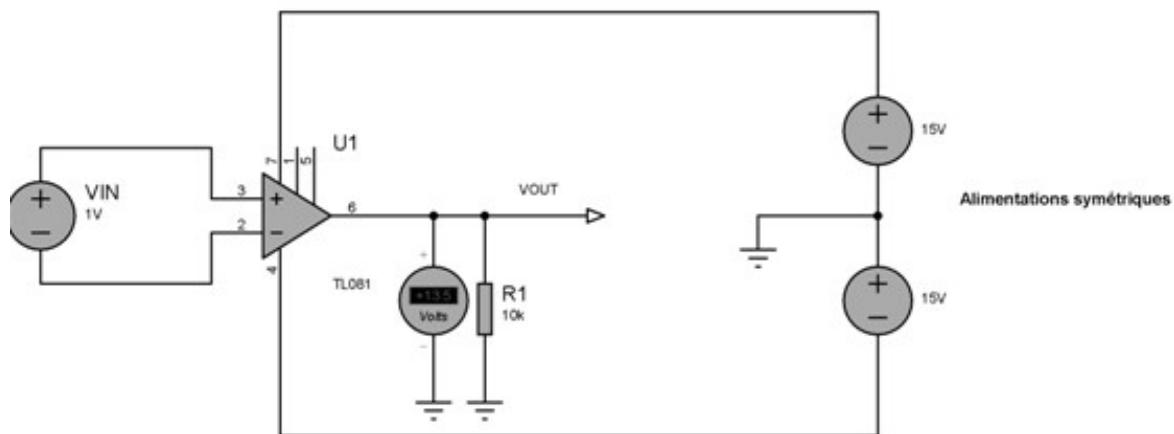
Réaction positive

On étudie la stabilité à v_E fixée : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } v_S \nearrow \Rightarrow v^+ \nearrow \Rightarrow \epsilon \nearrow \Rightarrow v_S \nearrow^{+V_{SAT}} \\ \text{Si } v_S \searrow \Rightarrow v^+ \searrow \Rightarrow \epsilon \searrow \Rightarrow v_S \searrow^{-V_{SAT}} \end{array} \right.$

Toutes les évolutions possibles de v_S concourent à la **saturation**.
Le montage ne peut pas fonctionner en régime linéaire.

Fonctionnement en régime saturé

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

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

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

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

$$Ad \rightarrow \infty$$

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

Méthode :

- Exprimer \mathbf{V}^+ , exprimer \mathbf{V}^-
- Déterminer le signe de $\boldsymbol{\varepsilon}$, et les conditions associées
- Représenter la caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$
- 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 : $\varepsilon \neq 0$

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

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

$$\varepsilon = V_E$$

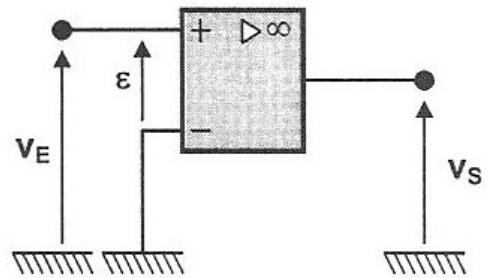
Deux cas se présentent :

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

Saturation négative

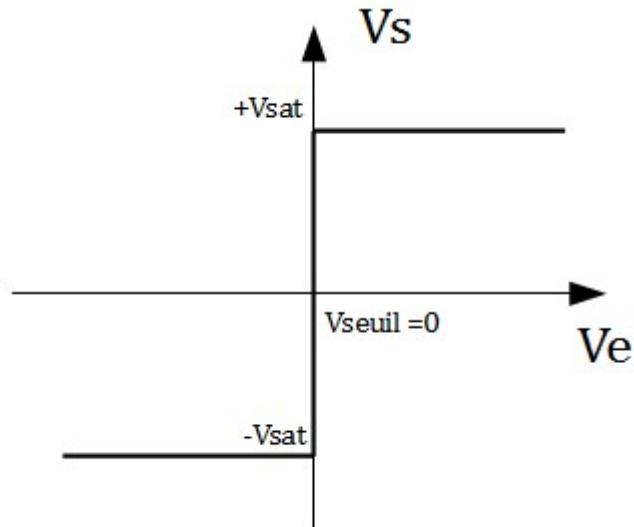
$$\begin{cases} V_E > 0 \\ \varepsilon > 0 \\ V_S = +V_{SAT} \end{cases}$$

Saturation positive

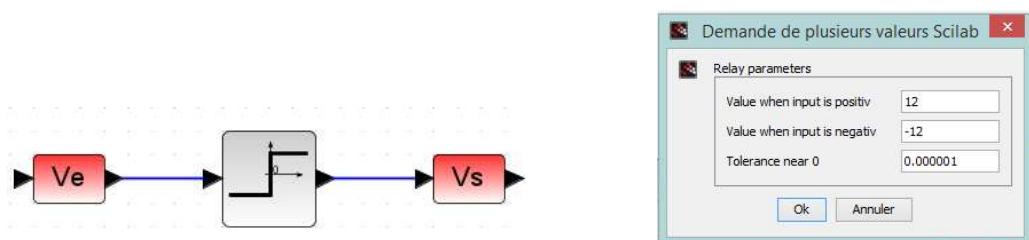


Concrètement, ce montage permet de comparer V_E à un seuil (ici, c'est le cas le plus simple $V_{SEUIL} = 0$), la tension V_S va évoluer suivant la valeur de V_E

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



Modélisation :



3. Montage comparateur inverseur à 1 seuil

Régime saturé : $\varepsilon \neq 0$

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

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

$$\varepsilon = -V_E$$

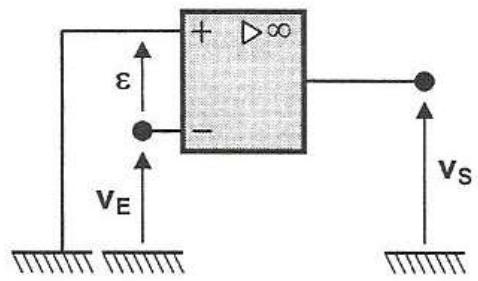
Deux cas se présentent :

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

Saturation positive

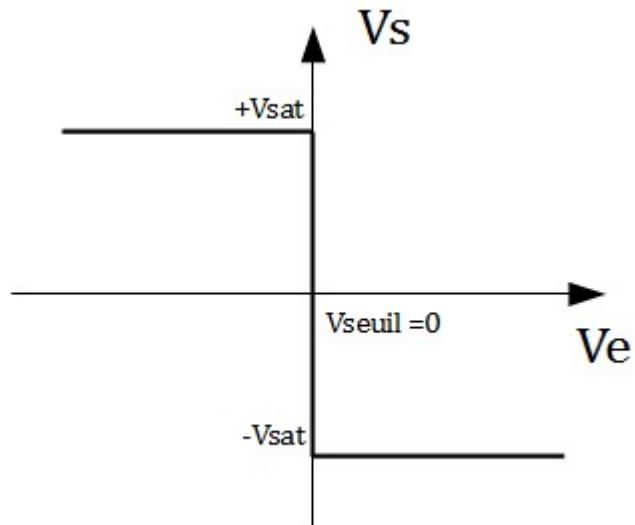
$$\begin{cases} V_E > 0 \\ \varepsilon < 0 \\ V_S = -V_{SAT} \end{cases}$$

Saturation négative

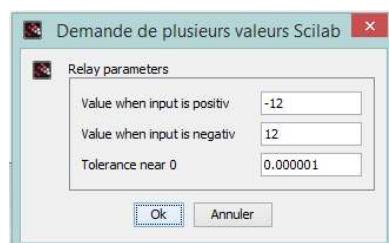
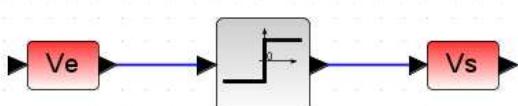


Concrètement, ce montage de la même manière que le précédent. Par contre, V_S va évoluer de manière inversée.

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



Modélisation :



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

Régime saturé : $\varepsilon \neq 0$

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

$$\begin{aligned} \varepsilon &= V^+ - V^- \\ \varepsilon &= \frac{V_S \cdot R_1 + V_E \cdot R_0}{R_0 + R_1} \end{aligned}$$

ε 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

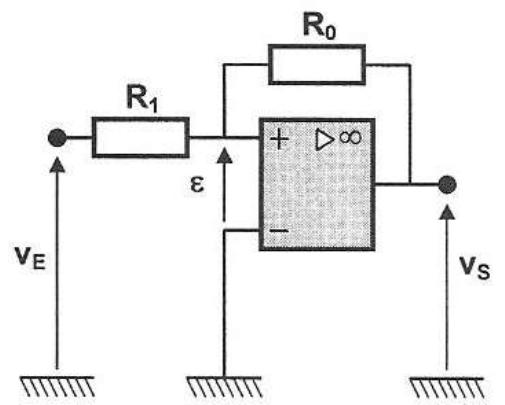
$$\begin{cases} \varepsilon < 0 \\ V_S = -V_{SAT} \end{cases}$$

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

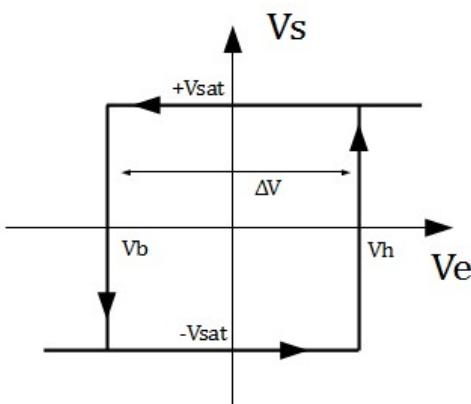
$$\frac{V_E \cdot R_0}{R_0 + R_1} < \frac{+V_{SAT} \cdot R_1}{R_0 + R_1}$$

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

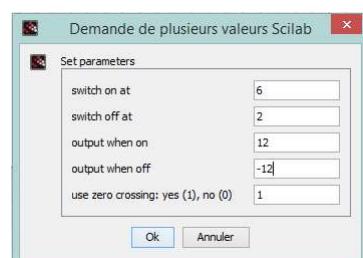
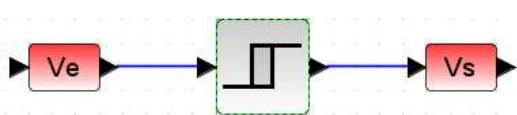
Saturation négative



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



Modélisation :



5. Montage comparateur inverseur à 2 seuils ou TRIGGER inverseur

Régime saturé : $\varepsilon \neq 0$

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

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

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

ε dépend de l'entrée et de la sortie.

Deux cas se présentent :

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

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

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

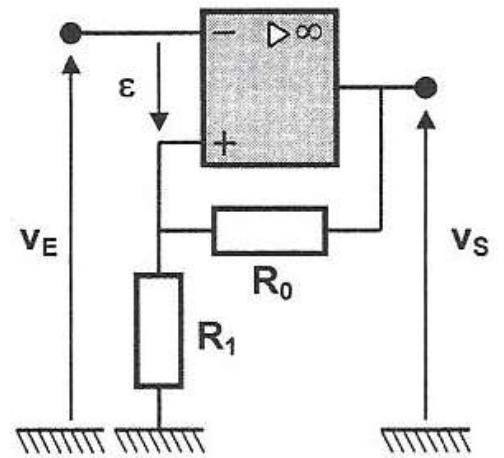
$$-V_{SAT} \cdot \frac{R_1}{R_0 + R_1} - V_E < 0$$

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

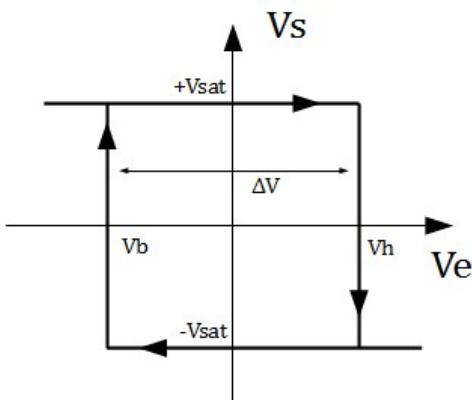
Saturation positive

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

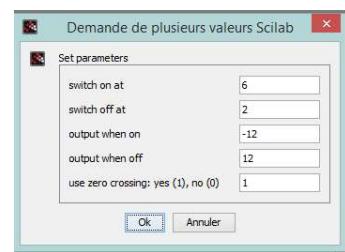
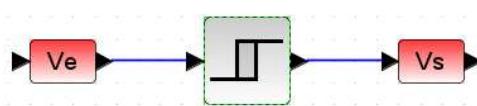
Saturation négative



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 $V_s = 0$.

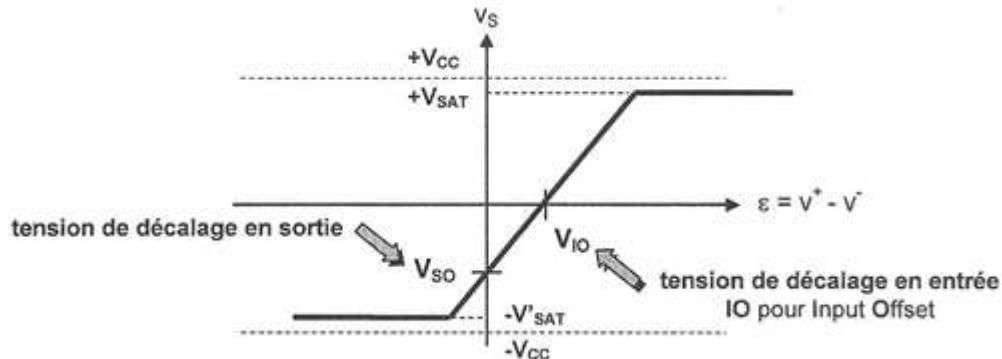
Pour l'AOP réel, on remarque si $\varepsilon = 0$, $V_s \neq 0$.

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 VS :

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} .



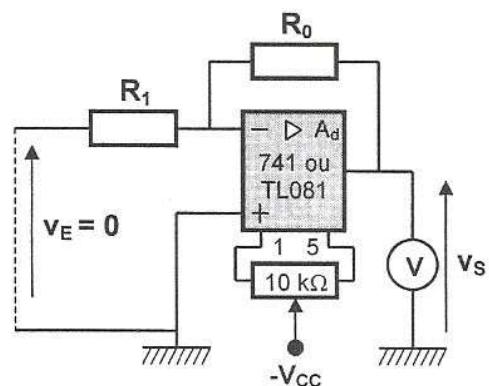
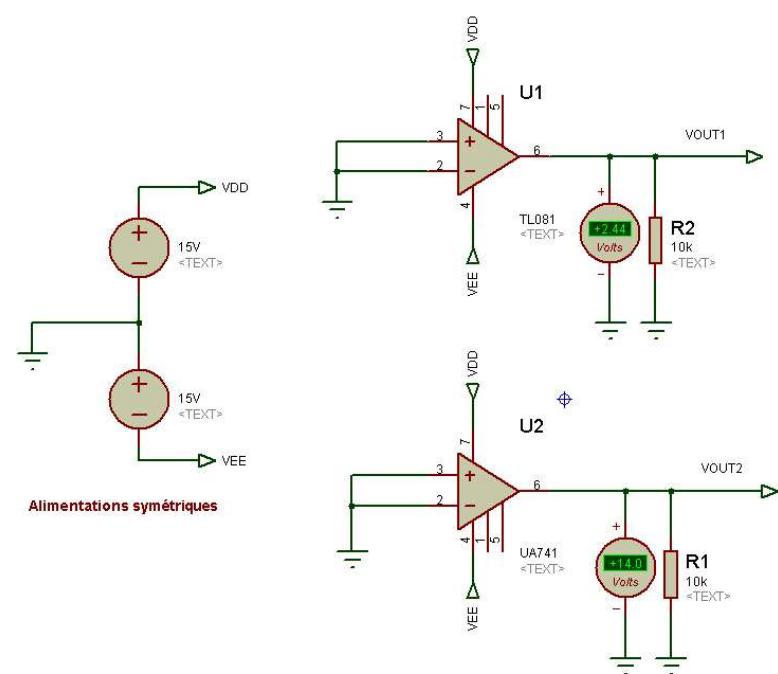
Compensation :

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} .

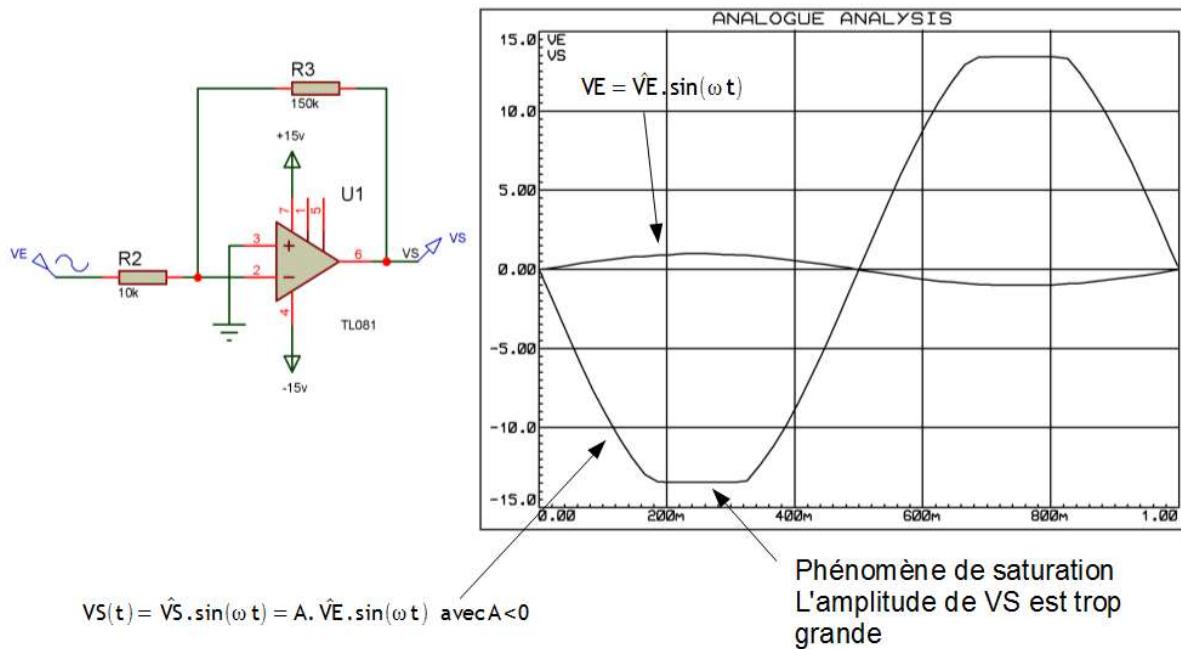
Données constructeur :

- 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 $-V_{SAT}$.

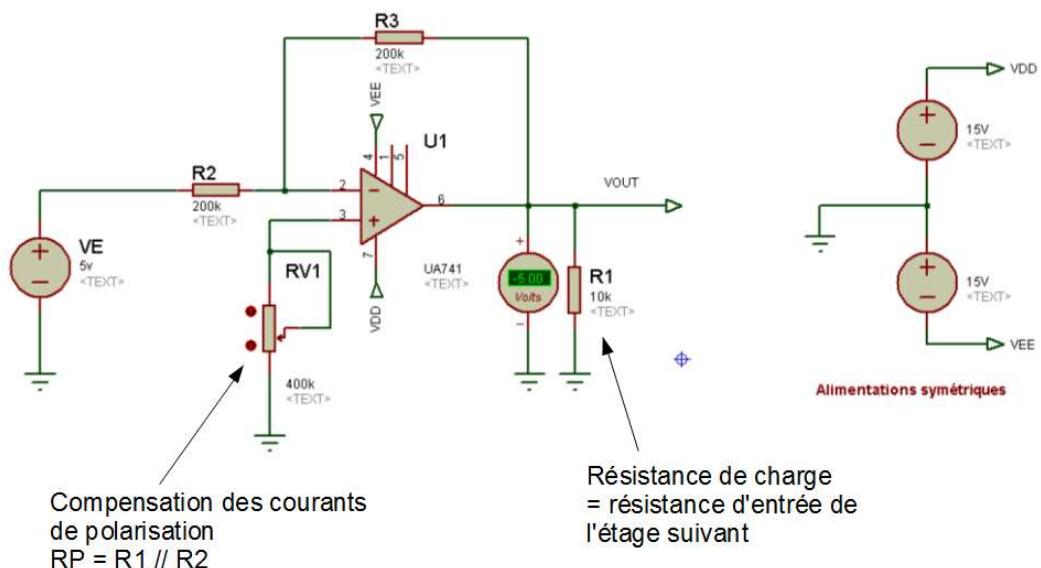


Données constructeur :

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

Influence sur Vs :

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 :

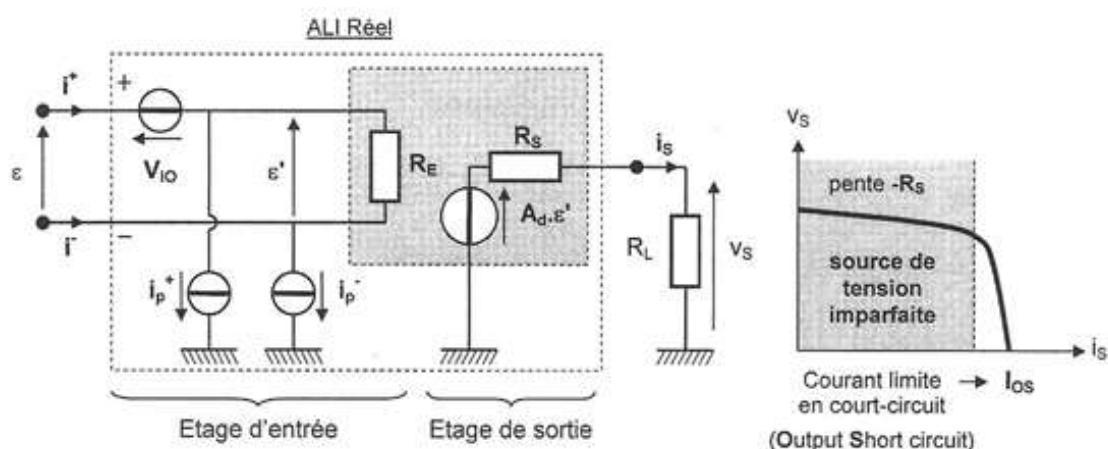
On doit faire en sorte que les résistances équivalentes sur les entrées E^+ et E^- soient égales (sources éteintes). On trouve parfois une résistance de compensation dont c'est le rôle. Dans notre exemple, RV1 ne modifie pas l'amplification de l'étage, mais joue le rôle de résistance de compensation.

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 observations 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 ε 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 μV : $+/- 10\mu V$
- I_{IB} et I_{IO} en pA : 50 à 2000pA
- $+/-V_{SAT}$: $V^+ - 0,3V < V_s < V^- + 0,3V$
- Les tensions et courant d'offset varient avec la température (dérive en $V/^\circ C$)