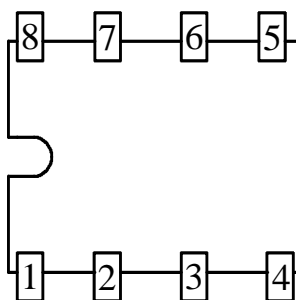
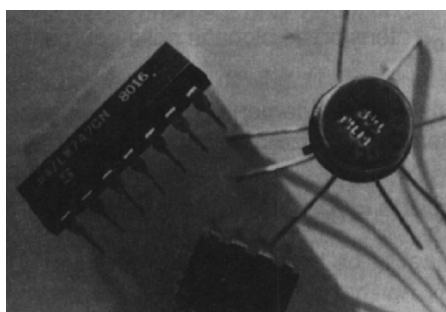


## Amplificateur intégré linéaire (A.I.L.)

### I- Introduction :

#### 1) Généralités :

L'amplificateur intégré linéaire (A.I.L.), aussi appelé '**Amplificateur opérationnel**' ('Ampli Op') se présente sous la forme d'un circuit intégré de 8 broches dans sa version la plus simple :

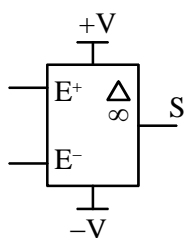


Ce circuit comprend au moins deux broches d'entrée, une broche de sortie et deux broches d'alimentation.

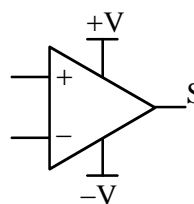
Il est utilisé dans différentes fonctions :

- Comparaison de deux tensions,
- Amplification d'une tension,
- Filtrage d'un signal,
- Opérations arithmétiques de grandeurs analogiques (addition, soustraction),
- Etc.

#### 2) Symbole :



Symbole européen



Autre symbole courant

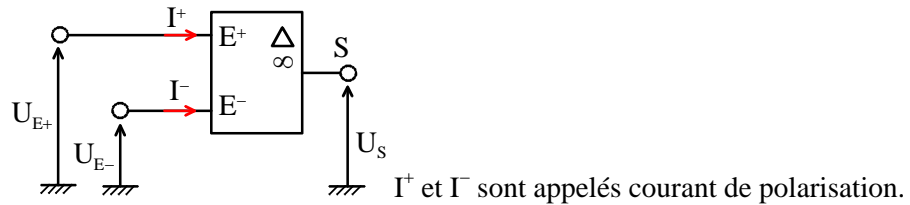
Reconnu internationalement

- E<sup>+</sup> est appelée 'Entrée non-inverseuse',
- E<sup>-</sup> est appelée 'Entrée inverseuse',
- S est la borne de sortie.
- +V est la borne d'alimentation haute du circuit intégré,
- -V est la borne d'alimentation basse du circuit intégré.

Remarque : Sur un schéma structurel, il n'est pas nécessaire d'indiquer sur les symboles les deux bornes d'alimentation, elles sont implicites. On indiquera uniquement, par écrit, les valeurs choisies pour alimenter le C.I.

### II- Propriétés :

### 1) Caractéristiques électriques :



- Les courant d'entrée  $I^+$  et  $I^-$  sont très faible, de l'ordre du  $\mu\text{A}$ .
- L'A.I.L. possède, sur chacune de ses entrées, une grande résistance, de l'ordre du  $\text{M}\Omega$ .
- L'A.I.L. possède une faible résistance de sortie, quelques ohms.
- L'A.I.L. pour fonctionner doit être alimenté par :

a) une alimentation symétrique :

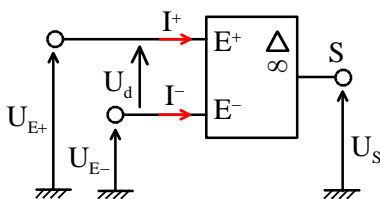
Exemple :  $+V = 12\text{V}$   
 $-V = -12\text{V}$

b) une alimentation simple :

Exemple :  $+V = 15\text{V}$   
 $-V = 0\text{V}$

### 2) Tension différentielle :

On appelle tension différentielle, notée  $U_d$ , la tension résultante de la différence entre la tension appliquée à l'entrée non-inverseuse  $E^+$  et celle appliquée à l'entrée inverseuse  $E^-$ .



Soit  $U_d$  la tension d'entrée différentielle, on a :

$$U_d = \boxed{\phantom{0}}$$

Remarque : cette tension d'entrée différentielle est aussi notée à l'aide de la lettre grecque Epsilon ( $\epsilon$ ).

### 3) Coefficient d'amplification :

L'A.I.L. est un 'amplificateur différentiel'. Cela signifie que sa seule activité consiste à : "Amplifier la tension d'entrée différentielle  $\epsilon$ " et présenter la tension résultante sur la borne de sortie S dans la plage que lui autorise son alimentation.

On a :  $U_S = \boxed{\phantom{0}}$

Le coefficient 'A' est appelé : 'Coefficient d'amplification en boucle ouverte de l'A.I.L.'. Il est fixé à la fabrication du composant, il est donc spécifique à un Ampli Op donné.

Le coefficient 'A' est de très grande valeur, de l'ordre de  $10^5$  à  $10^6$ .

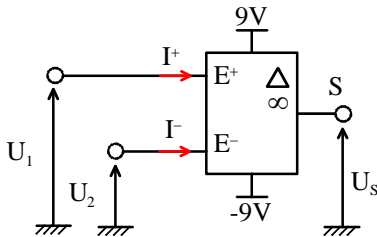
#### 4) Tension de saturation :

On appelle tension de saturation la tension maximale ou minimale que peut prendre la sortie de l'A.I.L. Cette tension de saturation est légèrement inférieure à la tension d'alimentation. Il existe donc deux tensions de saturation :

- Une tensions de saturation haute notée  $+V_{SAT}$
- Une tensions de saturation basse notée  $-V_{SAT}$

Exemple : Si l'A.I.L. est alimenté entre  $+12V$  et  $-12V$ , on a :  $+V_{SAT} = 11.8V \cong 12V$   
 $-V_{SAT} = -11.8V \cong -12V$

#### 5) Applications :



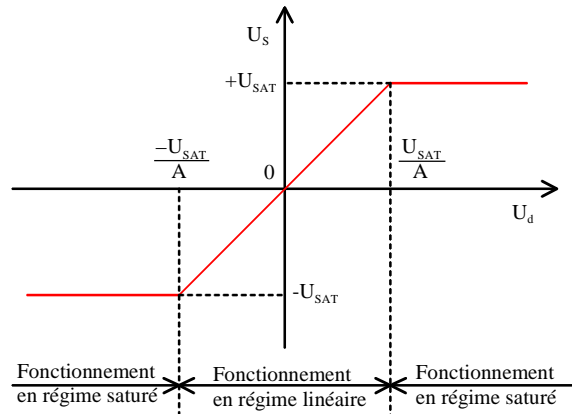
On donne aussi :  $A = 10^5$

- |  |
|--|
| <p>a) On donne <math>U_1 = 3\mu V</math> et <math>U_2 = 1\mu V</math>. Calculer <math>U_s</math>.</p> <p>b) On donne <math>U_1 = 1\mu V</math> et <math>U_2 = 3\mu V</math>. Calculer <math>U_s</math>.</p> <p>c) On donne <math>U_1 = 3V</math> et <math>U_2 = 1V</math>. Calculer <math>U_s</math>.</p> <p>d) On donne <math>U_1 = 1V</math> et <math>U_2 = 3V</math> Calculer <math>U_s</math>.</p> |
|--|

Correction:

## 6) Caractéristique de transfert :

C'est la représentation graphique des variations de la tension de sortie en fonction de la tension d'entrée différentielle  $U_D$  (aussi notée  $\varepsilon$ ).



Cette caractéristique de transfert met en évidence deux modes de fonctionnement pour un A.I.L. :

- Le 'fonctionnement en régime linéaire',
- Le 'fonctionnement en régime saturé', encore appelé 'fonctionnement en commutation'.

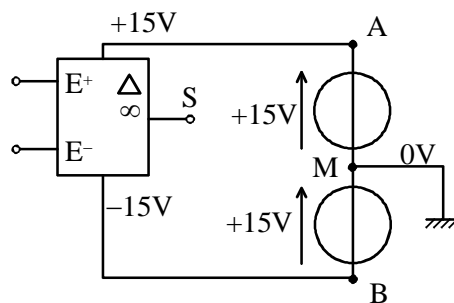
### Remarques :

- Pour un montage spécifique, un A.I.L. est câblé pour fonctionner soit en régime linéaire, soit en régime de commutation.
  - Lorsque l'A.I.L. fonctionne en régime de commutation, la tension de sortie ne peut prendre que deux valeurs :  $+V_{SAT}$  et  $-V_{SAT}$ .
  - Lorsque l'A.I.L. fonctionne en régime linéaire, la tension de sortie peut prendre toutes les valeurs comprises entre  $+V_{SAT}$  et  $-V_{SAT}$ .
- Aussi, la valeur de la tension d'entrée différentielle  $\varepsilon$  est très faible.

## 7) Mise en œuvre : Alimentation d'un A.I.L à l'aide d'une alimentation symétriques :

Comment procéder afin de mettre en œuvre une alimentation de  $+15V, -15V$  ?

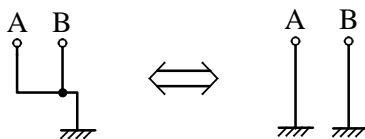
Il suffit de connecter deux sources "simples" de tension de  $15V$  en série dont le point milieu est pris comme potentiel de référence, c'est-à-dire le potentiel  $0V$ .



On a bien :

$$U_{AM} = +15V$$
$$U_{BM} = -U_{MB} = -15V$$

- Remarque :
- Le potentiel **0V** est aussi appelé '**Masse**' et a pour symbole '⏏' ou bien '⏚',  
Ou encore '⊥'.
  - La masse possède une connexion implicite :

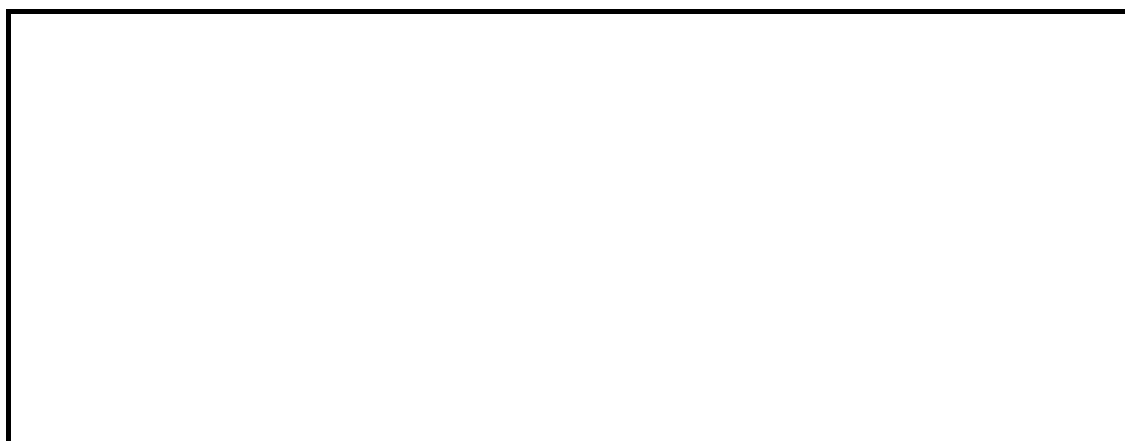


### **III- A.I.L. idéal :**

On sait qu'un A.I.L. réel possède entre autres caractéristiques :

- Les courants d'entrée sont très faibles,
- La résistance d'entrée est très grande,
- La résistance de sortie est très faible,
- Le coefficient d'amplification en tension 'A' est très élevé.

De ce fait, pour simplifier des calculs ultérieurs, il est possible de faire une approximation de ces caractéristiques sans modifier de manière significative les résultats des calculs. Ainsi, on posera :



Un A.I.L. possédant de telles caractéristiques est appelé '**A.I.L. idéal**' ou encore '**A.I.L. parfait**'.

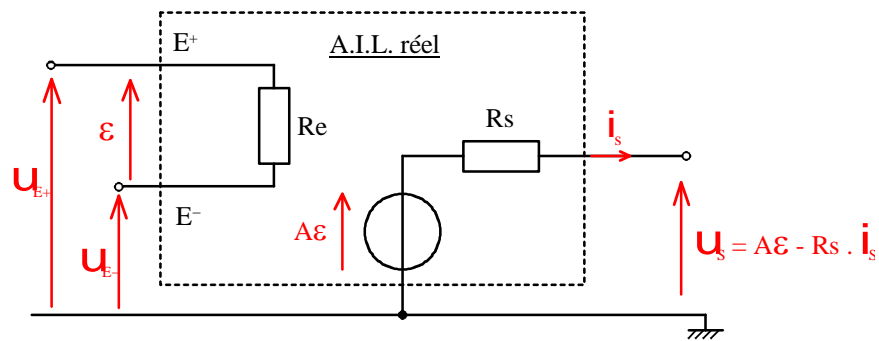
#### Tableau récapitulatif des caractéristiques :

	A.I.L. réel	A.I.L. idéal
Résistance d'entrée	$R_e \geq 1M\Omega$	$R_e = \infty$
Résistance de sortie	$R_s = \text{quelques ohms}$	$R_s = 0$
Courants d'entrée	$I^+ = I^- \leq 1\mu A$	$I^+ = I^- = 0$
Amplification en tension	$A \geq 10^5$	$A = \infty$

#### IV- Modélisation de l'A.I.L. :

##### 1) A.I.L. réel :

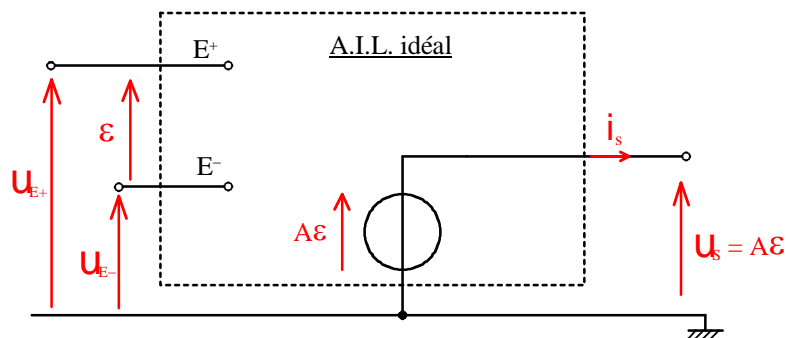
L'A.I.L. réel peut être modélisé comme suit :



- \*  $\varepsilon$  est la tension d'entrée différentielle :  $\varepsilon = u_{E+} - u_{E-}$ ,
- \*  $R_e$  est la résistance d'entrée,
- \*  $R_s$  est la résistance de sortie,
- \*  $A$  est le coefficient d'amplification en tension de l'A.I.L.

##### 2) A.I.L. idéal :

L'A.I.L. idéal peut être modélisé comme suit :



- \*  $\varepsilon$  est la tension différentielle d'entrée :  $\varepsilon = u_{E+} - u_{E-}$ ,
- \*  $A$  est le coefficient d'amplification en tension de l'A.I.L.

#### V- Différenciation entre Régime linéaire et régime de commutation :

Un A.I.L. ne peut fonctionner que suivant deux modes :

- En régime linéaire,
- En régime de commutation (régime saturé).

##### 1) Régime linéaire :

- En régime linéaire, la tension de sortie peut varier dans une plage de valeurs comprises entre  $+V_{sat}$  et  $-V_{sat}$ .
- De plus, en considérant que l'A.I.L. est idéal, la tension d'entrée différentielle  $\varepsilon$  est toujours nulle.

##### 2) En commutation :

- En commutation (régime saturé), la tension de sortie ne peut prendre que deux valeurs :  $+V_{sat}$  et  $-V_{sat}$ .
- La tension d'entrée différentielle  $\varepsilon$  ne peut pas être nulle.

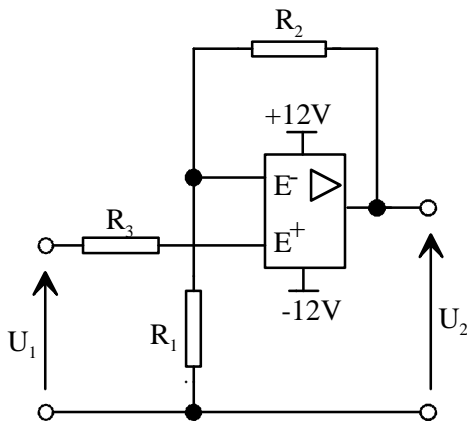
3) Comment différencier, au sein d'une structure quelconque, un AIL fonctionnant en régime de commutation ou en régime linéaire ?

**RÈGLE :**

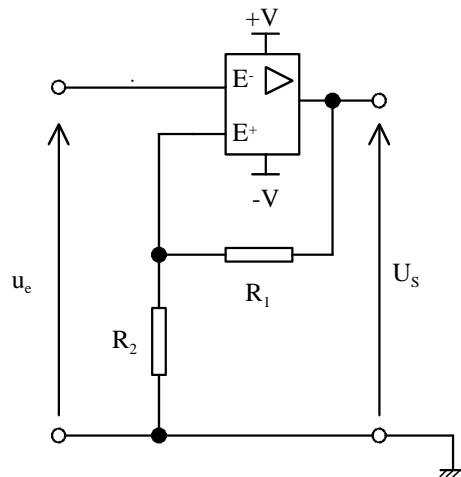
Un A.I.L. fonctionne en régime linéaire lorsqu'il existe UNIQUEMENT une contre-réaction : {rebouchage de la sortie (S) vers l'entrée inverseuse (E<sup>-</sup>)}, que cette contre-réaction soit constituée d'un simple conducteur, d'un composant, ou d'une structure électronique plus complexe.

Un A.I.L. fonctionne en régime de commutation (régime saturé) dans tous les autres cas.

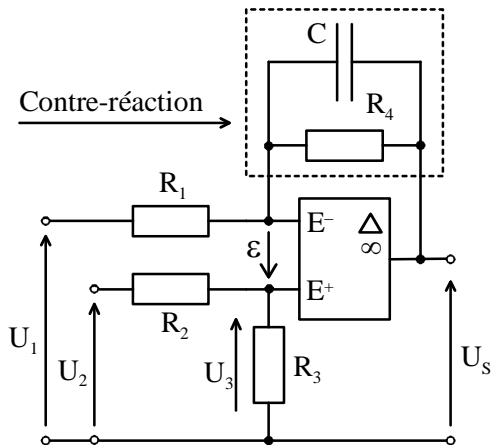
Exemples :



Régime linéaire ( $\varepsilon = 0$ )



Régime saturé ( $\varepsilon \neq 0$ )

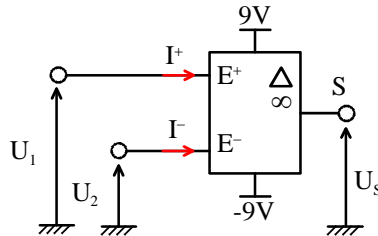


Régime linéaire ( $\varepsilon = 0$ )

## VI- Fonctions réalisées avec une A.I.L. en commutation :

### 1) Comparateur simple :

Le comparateur est la fonction la plus élémentaire réalisée avec un A.I.L.



Etude :

Si  $U_1 > U_2$  alors  $\varepsilon > 0$

**Règle :** - Si la tension appliquée à l'entrée  $E^+$  est plus grande que la tension appliquée à l'entrée  $E^-$  alors  $U_S = +V_{SAT}$ .  
- Si la tension appliquée à l'entrée  $E^+$  est plus petite que la tension appliquée à l'entrée  $E^-$  alors  $U_S = -V_{SAT}$

On effectue bien la comparaison entre les tensions d'entrée de l'A.I.L. la tension de sortie  $U_S$  est représentative du résultat de cette comparaison.

Exemple :

Dans le montage ci-dessus, l'A.I.L. est alimenté entre 9V et -9V.

\* Pour  $U_1 = 8V$  et  $U_2 = 3V$ , quelle est la valeur de la tension  $U_S$  ?

$$\begin{aligned} U_{E^+} &= U_1 = 8V \\ U_{E^-} &= U_2 = 3V \end{aligned} \quad U_{E^+} > U_{E^-} \Rightarrow U_S = +V_{SAT} = 9V$$

\* Pour  $U_1 = -7V$  et  $U_2 = 4V$ , quelle est la valeur de la tension  $U_S$  ?

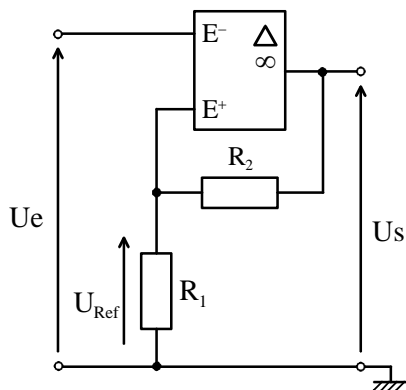
$$\begin{aligned} U_{E^+} &= U_1 = -7V \\ U_{E^-} &= U_2 = 4V \end{aligned} \quad U_{E^-} > U_{E^+} \Rightarrow U_S = -V_{SAT} = -9V$$

Exemple d'utilisation :

Testeur de batterie : on compare la tension aux bornes d'une batterie par rapport à une tension de référence.



## 2) Comparateur à deux seuils :

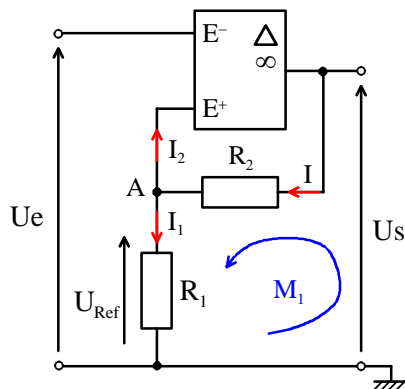


Dans un comparateur simple, le changement d'état de la sortie s'effectue pour une valeur fixée de la tension appliquée à l'entrée, quelque soit le sens de variation de cette tension.

Dans un comparateur à seuils, aussi appelé 'Trigger' ou encore 'Bascule de Schmitt', le changement d'état de la sortie se produit :

- Pour une valeur donnée lorsque la tension d'entrée augmente,
- Pour une autre valeur, souvent opposée, lorsque la tension d'entrée diminue.

### Fonctionnement :



$U_{REF}$  est notre tension de référence. Elle est appliquée à l'entrée  $E^+$  de notre dispositif. On va comparer une tension appliquée à l'entrée  $E^-$  à cette tension de référence.

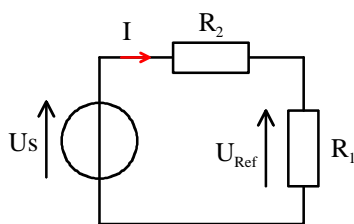
Or, cette tension de référence vaut une fraction de la tension de sortie.

Calculons  $U_{REF}$  en fonction de  $U_s$ ,  $R_1$  et  $R_2$  :

Au point A, d'après la loi des nœud, on a :

Or  $I_2 = 0$  donc  $I_1 = I$ .

Dessignons le schéma équivalent de la maille  $M_1$  :



D'après la relation du pont diviseur de tension, on a :

$$U_{Ref} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_s$$

Or  $U_s$  peut prendre deux valeurs :  $+V_{SAT}$  et  $-V_{SAT}$ .

De ce fait,  $U_{Ref}$  peut prendre deux valeurs :

$$U_{Ref} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{SAT} \text{ ou } U_{Ref} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{SAT}$$

Ces deux tensions sont appelées 'Seuils de basculement' du comparateur de Schmitt. Il existe donc :

- Un seuil de basculement positif noté  $T^+$  :

$$T^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{SAT}$$

- Un point de basculement négatif noté  $T^-$  :

$$T^- = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{SAT}$$

Remarque : La notation 'T' provient de l'anglais 'Trigger'.

Application :

L'A.I.L. est alimenté entre +10V et -10V ( $V_{SAT} = \pm 10V$ ).

On donne  $R_1 = R_2 = 5k\Omega$ .

a) Calculer les deux tensions de basculement  $T^+$  et  $T^-$ .

b) Représenter la caractéristique de transfert en tension,  $V_S : f(V_E)$ .

c) Représenter sur une durée de deux périodes les variations de la tension de sortie  $U_s$  si on applique sur la borne d'entrée  $E^-$  une tension alternative sinusoïdale d'amplitude 10V et de fréquence 50Hz.

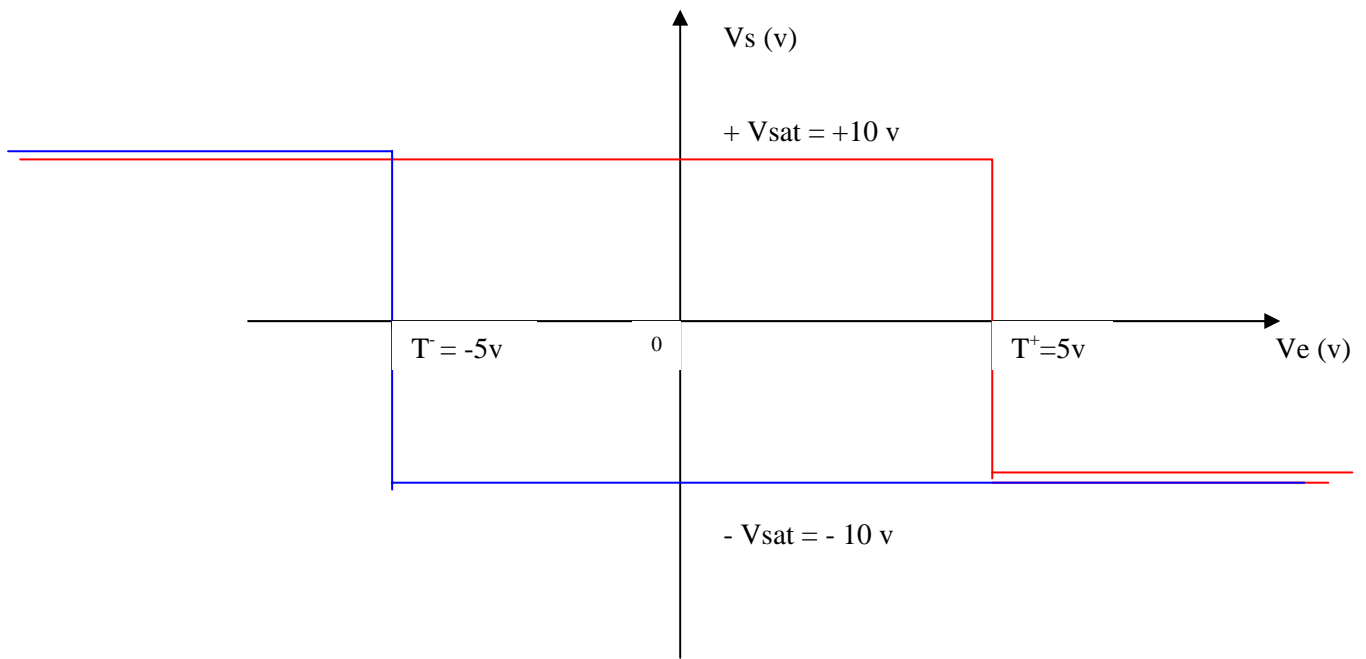
Réponses attendues :

a)

$$T^+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{SAT} = \frac{5 \cdot 10^3}{(5 + 5)10^3} \times 10 \Rightarrow \underline{T^+ = 5V}$$

$$T^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (-V_{SAT}) = \frac{5 \cdot 10^3}{(5 + 5)10^3} \times (-10) \Rightarrow \underline{T^- = -5V}$$

b)



c) Posons comme conditions initiales :

$$U_e = 0 \text{ v}$$

$U_e$  croissant, commençant par l'alternance positive.

