

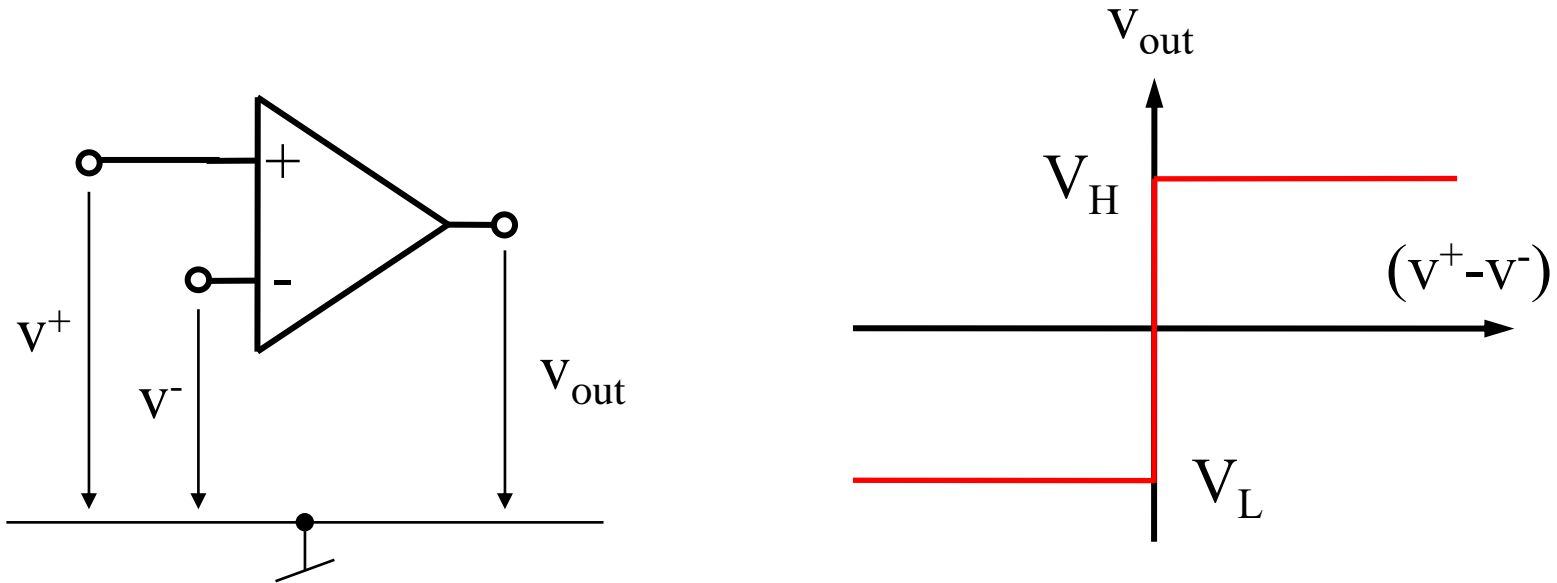
Electronique non-linéaire: Comparateurs

Electronique I
Adil KOUKAB

Sommaire

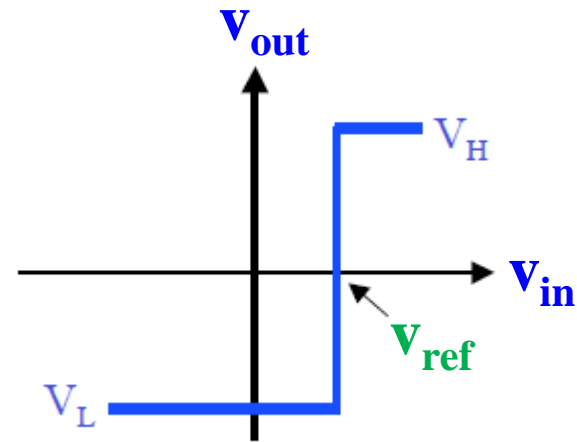
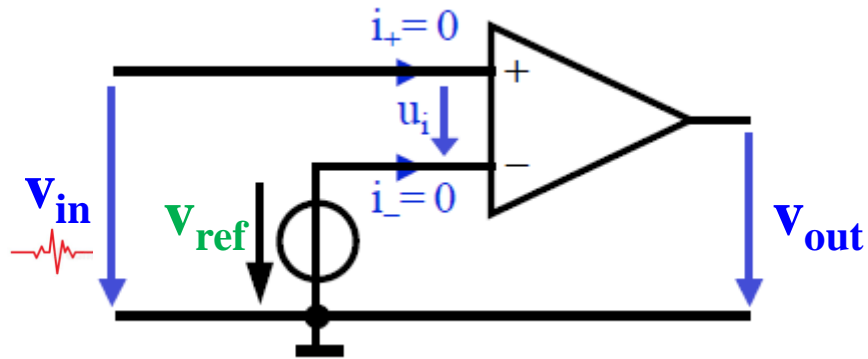
- Comparateur simple
 - Application
- Comparateur à seuil
 - Inverseur
 - Non-Inverseur
 - Application

Comparateur simple

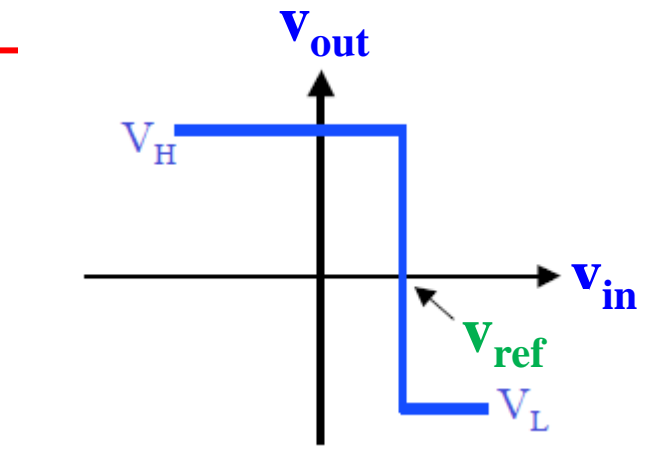
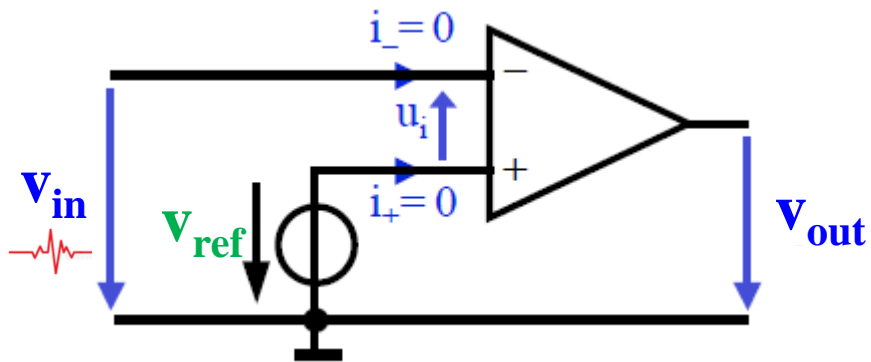


- En **boucle ouverte** (absence de réaction), l'amplificateur opérationnel fonctionne tjrs comme un **comparateur** simple.
- Sa **sortie** est: V_H (quand $V^+ > V^-$) ou V_L (quand $V^+ < V^-$).
- *Rq: Il existe aussi des circuits conçus pour ne fonctionner que comme comparateur (souvent instable et donc inutilisable en réaction négative).*

Comparateur non-inverseur

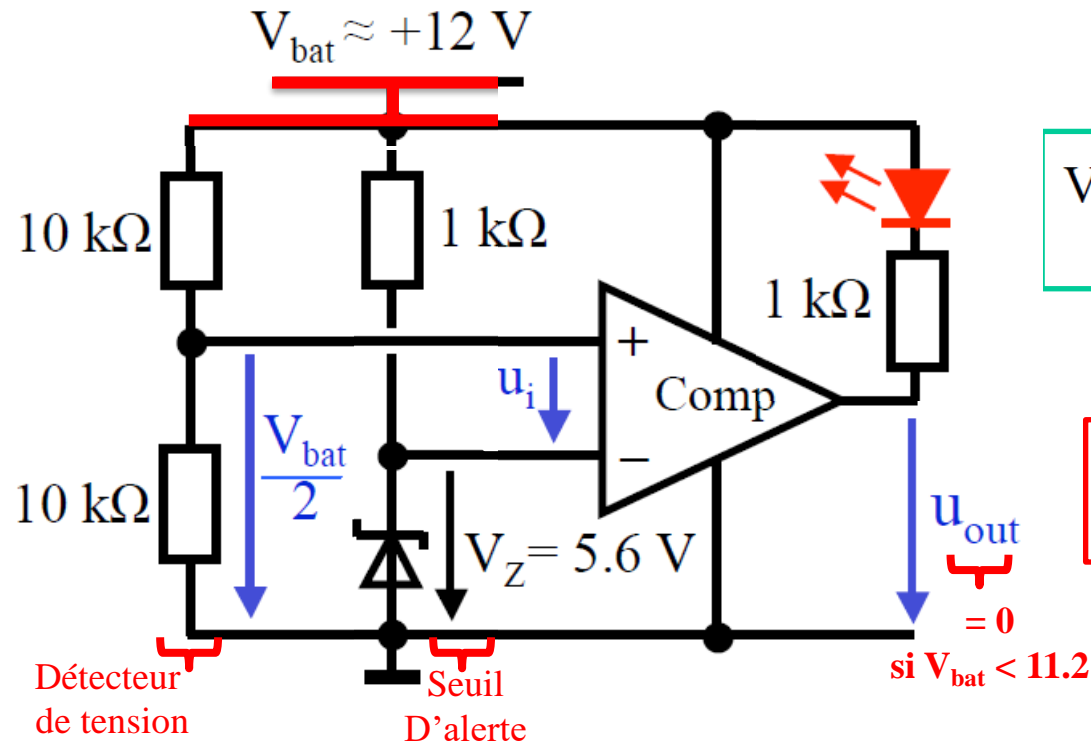


Comparateur inverseur



Application comparateur simple: Indicateur de batterie faible

- Tension d'une batterie de voiture ($\approx 14 \text{ V}$), chute à 11-10 V quand elle est déchargée.
- But: allumer une LED sur le tableau de bord quand la tension s'approche de la limite inférieure, ceci sans autre source que la batterie elle-même.



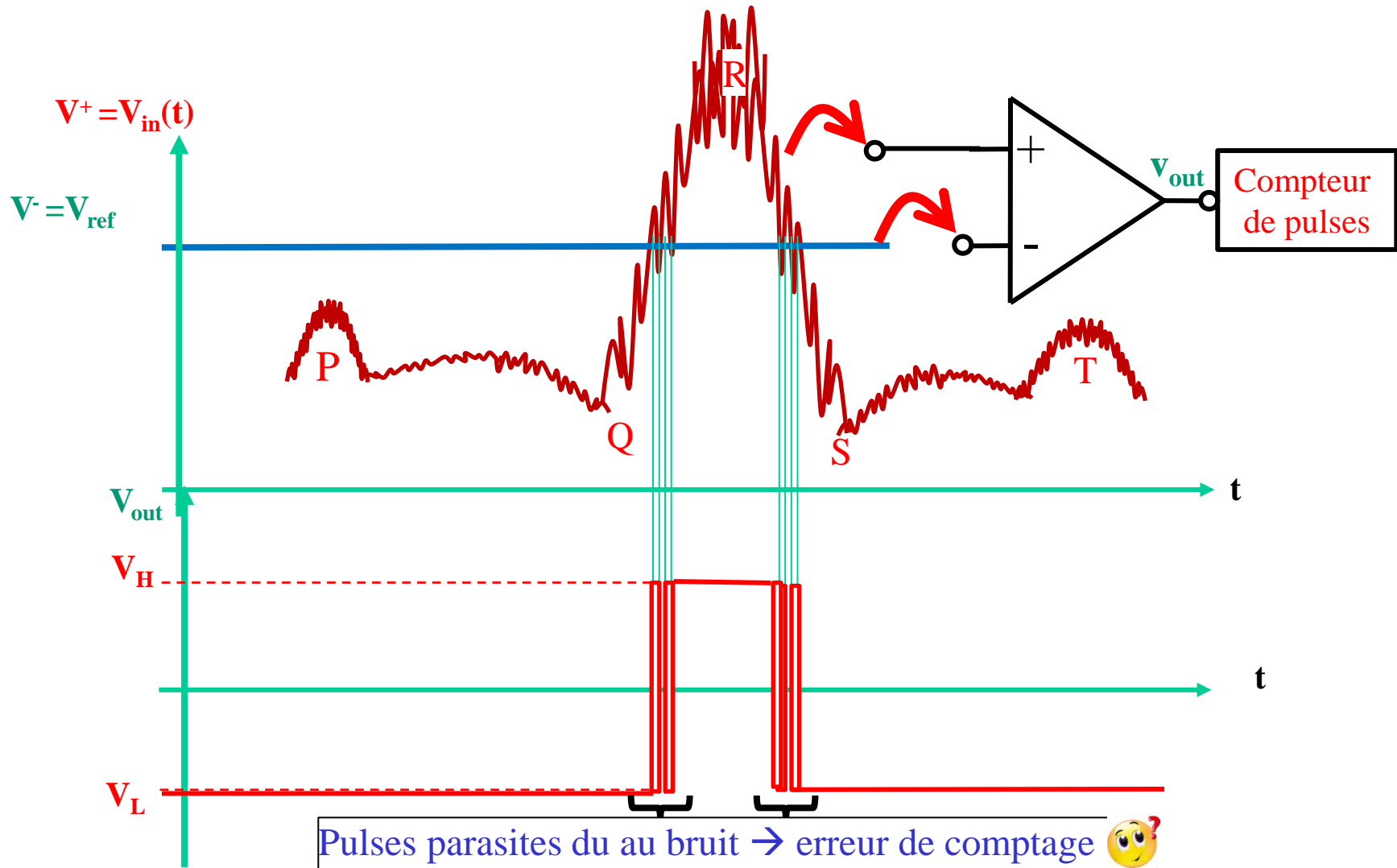
$$V_{\text{bat}} > 11.2 \text{ V} \Rightarrow u_{\text{out}} = V_{\text{H}} = V_{\text{bat}}$$

$$\Rightarrow \text{LED Off}$$

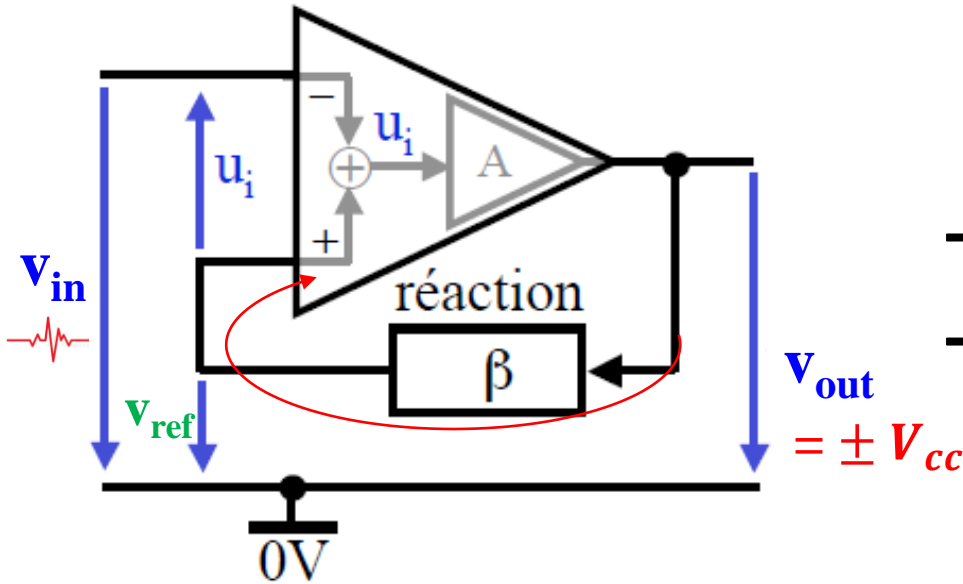
$$V_{\text{bat}} < 11.2 \text{ V} \Rightarrow u_{\text{out}} = V_{\text{L}} = 0$$

$$\Rightarrow \text{LED On}$$

Utilisation: Extraction du rythme cardiaque à partir d'un ECG



Comparateur à double seuils: model générique



• Réaction positive:

βv_{out} ajoutée à l'entrée +

→ emballement, system instable

→ Sortie à deux états V_{cc} et $-V_{cc}$

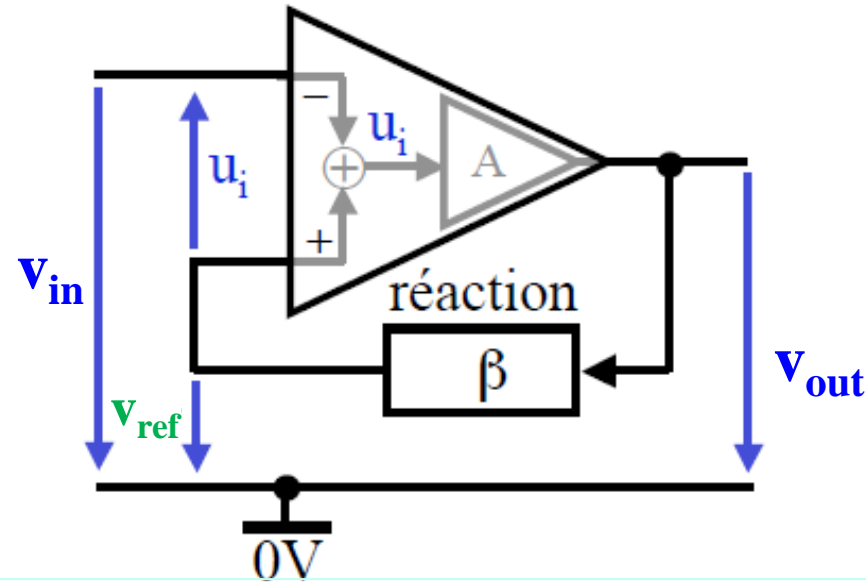
→ **Comp. à seuil Inverseur**

Deux tentions seuil de comparaisons:

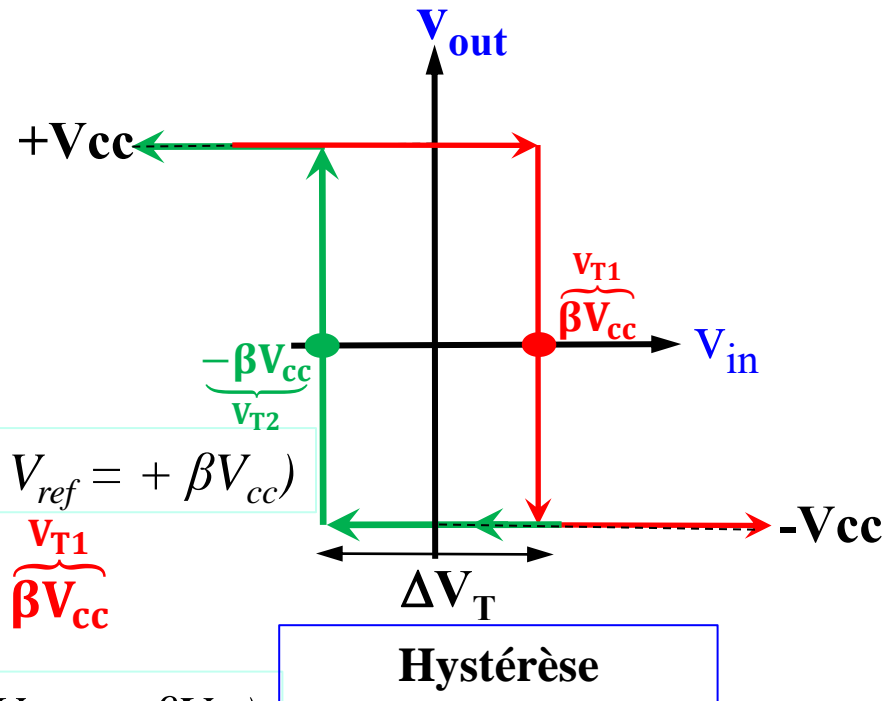
➤ $v_{ref} = V_{T1} = \beta V_{cc}$ (Haut → Bas)

➤ $v_{ref} = V_{T2} = -\beta V_{cc}$ (Bas → Haut)

Comparateur à seuils: Caractéristique $V_{out}(V_{in})$



- Caractéristique $V_{out}(V_{in})$



➤ $V_{in} \nearrow$ (@ t_0 : $v_{in} = v_- < v_+ \rightarrow V_{out} = +V_{cc}$ et $V_{ref} = +\beta V_{cc}$)

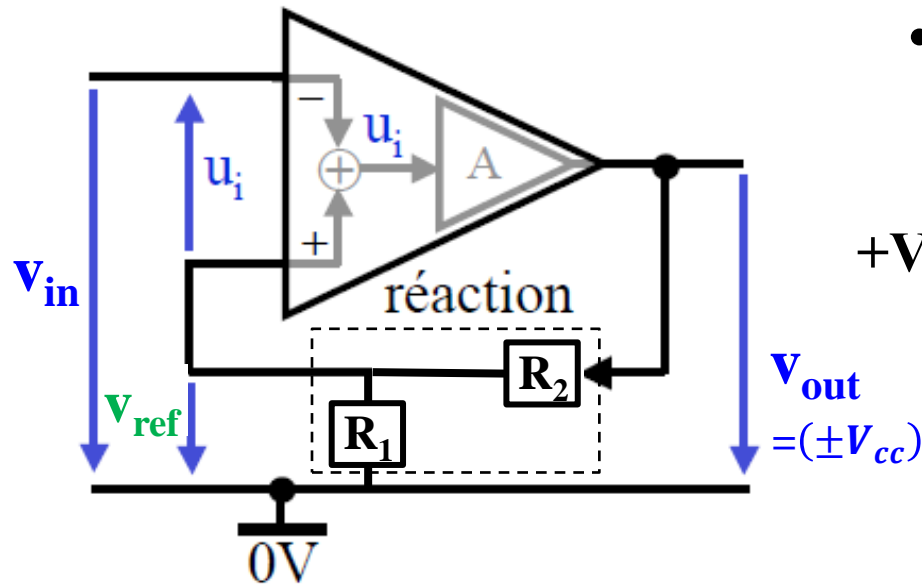
V_{out} bascule de $[V_{cc} \rightarrow -V_{cc}]$ à $v_{in1} = \overbrace{\beta V_{cc}}^{V_{T1}}$

➤ $V_{in} \searrow$ (@ t_0 : $v_{in} = v_- > v_+ \rightarrow V_{out} = -V_{cc}$ et $V_{ref} = -\beta V_{cc}$)

V_{out} bascule de $[-V_{cc} \rightarrow V_{cc}]$ à $v_{in2} = \underbrace{-\beta V_{cc}}_{V_{T2}}$

Implémentation de β

Implémentation de β par diviseur de tension



$$V_{\text{ref}} = V_{T1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{cc}}$$

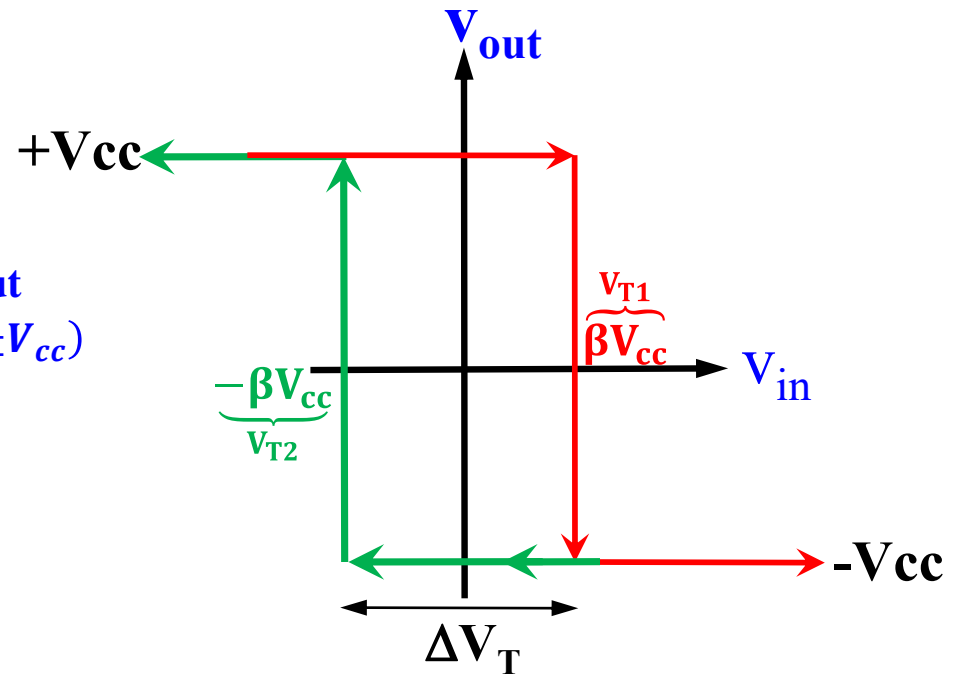
β

ou

$$V_{\text{ref}} = V_{T2} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{\text{cc}}$$

β

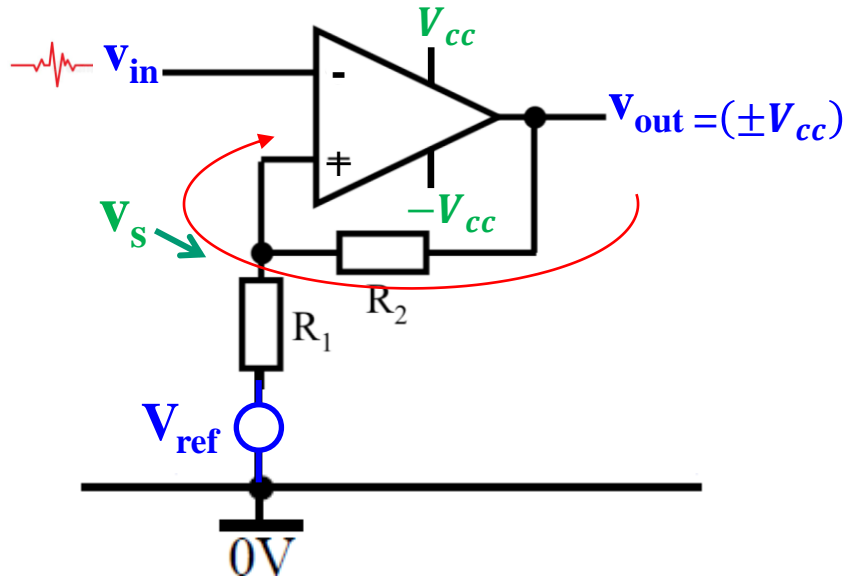
- Caractéristique $V_{\text{out}}(V_{\text{in}})$



Hystérèse clockwise centré sur 0 et de largeur: $\Delta V_T = 2\beta V_{\text{cc}}$

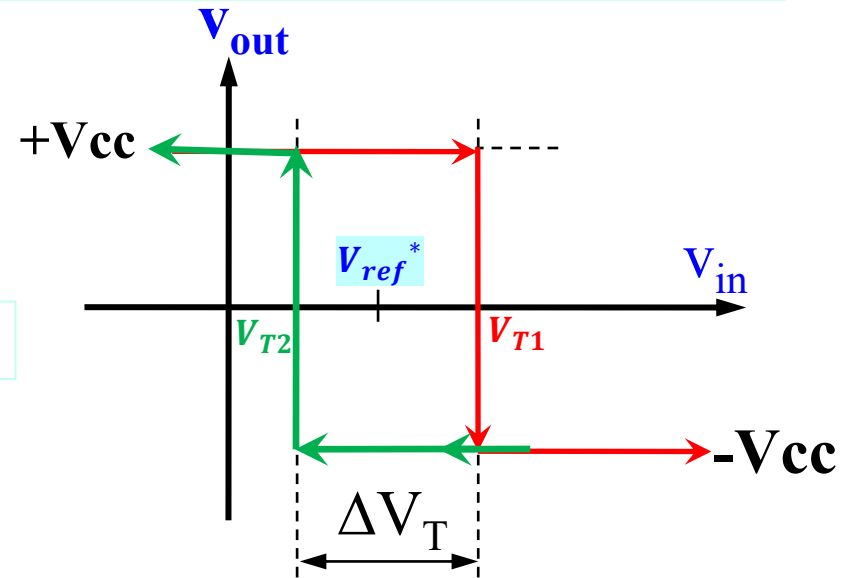
Hystérèse non centré sur zéro 🤔

Comparateur à seuils inverseur (généralisation)



Tension seuil:

$$V_s = \left(\frac{V_{out}}{\pm V_{cc}} \right) \frac{R_1}{R_1 + R_2} + \underbrace{V_{ref}}_{V_{ref}^*} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



➤ $v_{in} \nearrow$: V_{out} bascule de $[V_{cc} \rightarrow -V_{cc}]$

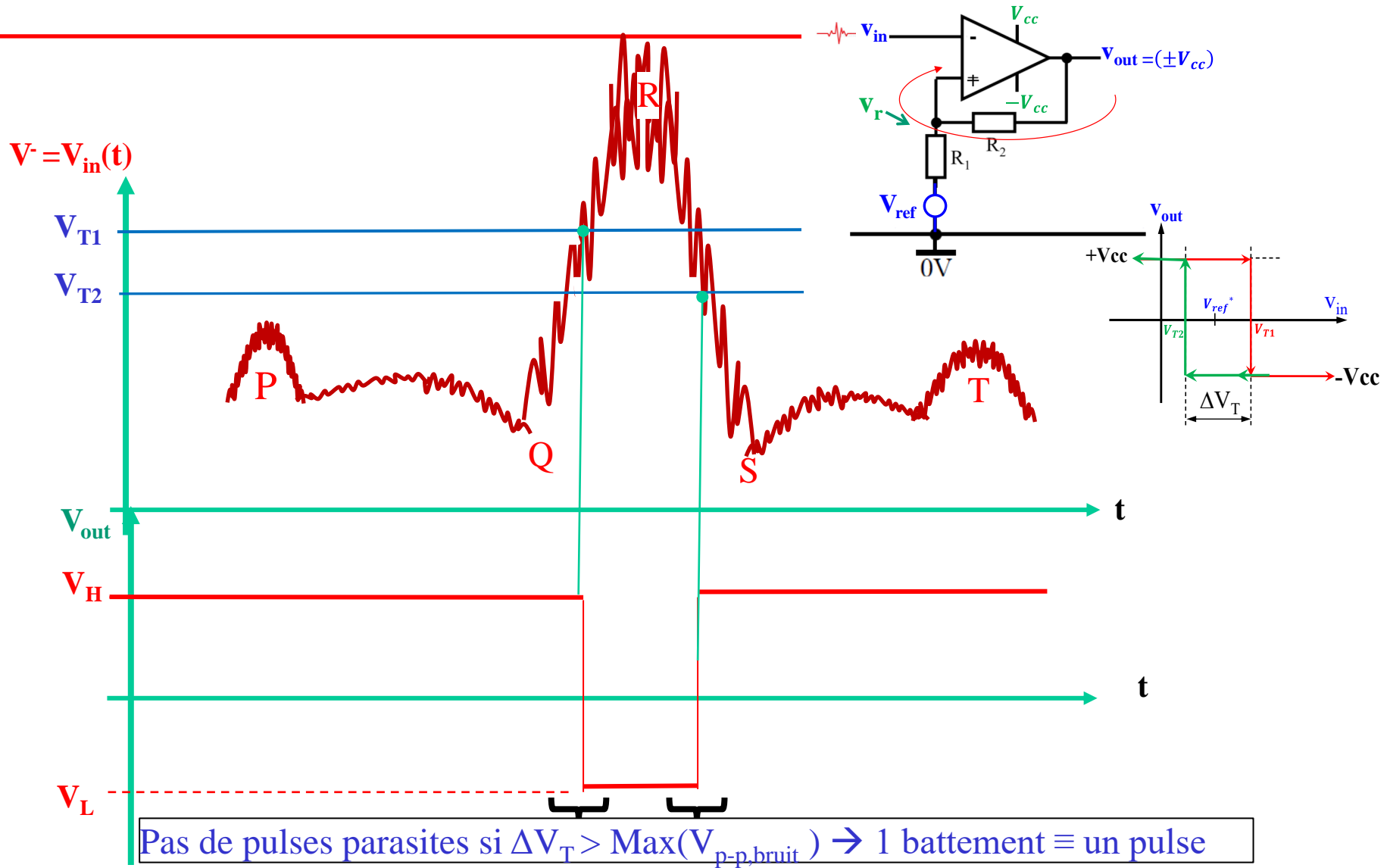
$$@ v_{in1} = V_s \Big|_{\frac{V_{out}}{+V_{cc}}} = V_{T1} = V_{cc} \underbrace{\frac{R_1}{R_1 + R_2}}_{\beta} + V_{ref}^*$$

➤ $v_{in} \searrow$: V_{out} bascule de $[-V_{cc} \rightarrow V_{cc}]$

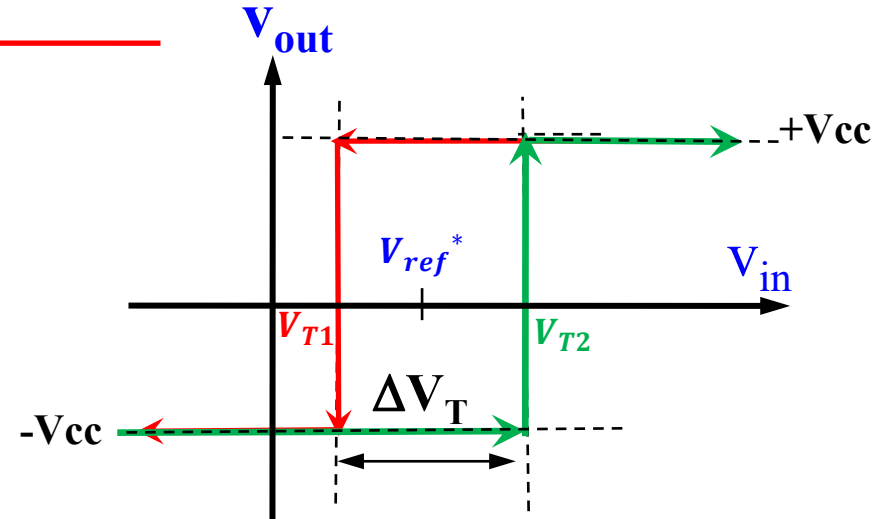
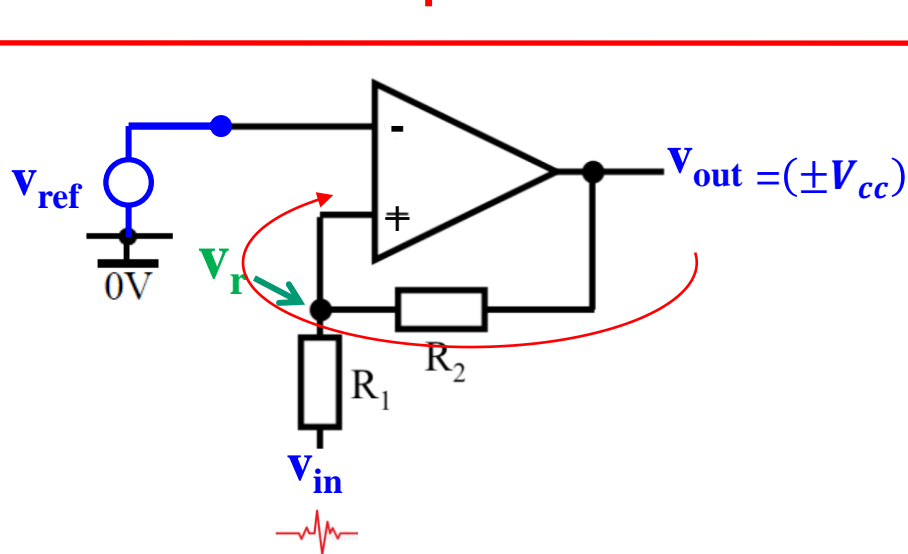
$$@ v_{in2} = V_s \Big|_{\frac{V_{out}}{-V_{cc}}} = V_{T2} = -V_{cc} \underbrace{\frac{R_1}{R_1 + R_2}}_{\beta} + V_{ref}^*$$

Hystérèse clockwise centré sur V_{ref}^* de
largeur: $\Delta V_T = 2\beta V_{cc} = 2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc}$

Utilisation comparateur à seuil inverseur: rythme cardiaque



Comparateur à seuils Non-inverseur



$$V_r = (\pm V_{cc}) \frac{R_1}{R_1+R_2} + V_{in} \frac{R_2}{R_1+R_2} \rightarrow \underbrace{V_{T1,2}}_{V_{in}} = -(\pm V_{cc}) \frac{R_1}{R_2} + \underbrace{V_{ref}}_{V_r} \frac{R_1+R_2}{R_2}$$

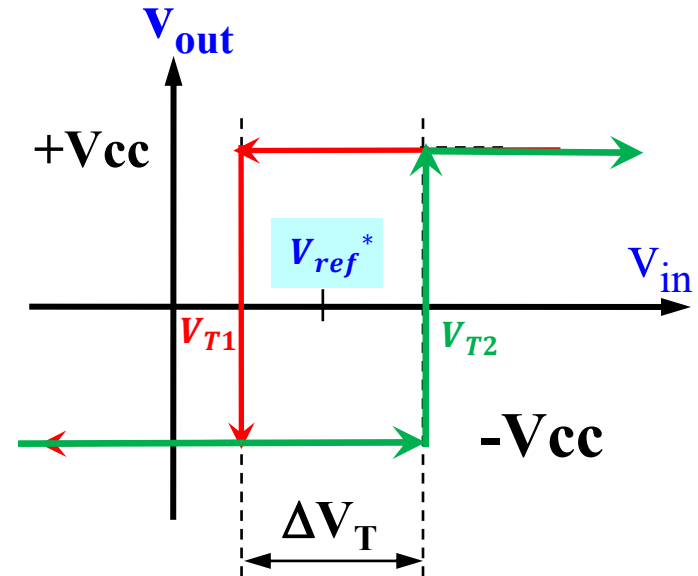
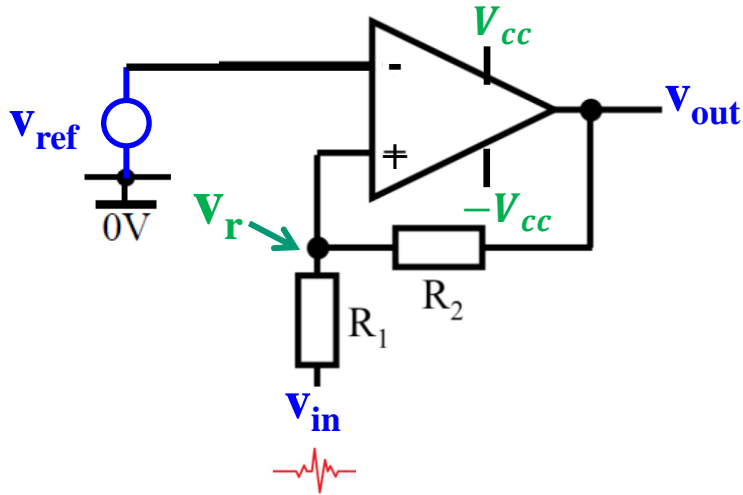
➤ $V_{in} \nearrow \equiv V_r \nearrow$ (@ t_0 : $v_r = v_+$ faible, $V_{out} = -V_{cc}$)

V_{out} bascule de $[-V_{cc} \rightarrow +V_{cc}]$ à $V_r = V_{ref}$ et donc $V_{in} = V_{T2} = +V_{cc} \frac{R_1}{R_2} + \overbrace{V_{ref}^* \frac{R_1+R_2}{R_2}}$

➤ $V_{in} \searrow \equiv V_r \searrow$ (@ t_0 : $v_r = v_+$ élevée, $V_{out} = +V_{cc}$)

V_{out} bascule de $[+V_{cc} \rightarrow -V_{cc}]$ à $V_r = V_{ref}$ et donc $V_{in} = V_{T1} = -V_{cc} \frac{R_1}{R_2} + \overbrace{V_{ref}^* \frac{R_1+R_2}{R_2}}$

Comparateur à seuils Non-inverseur



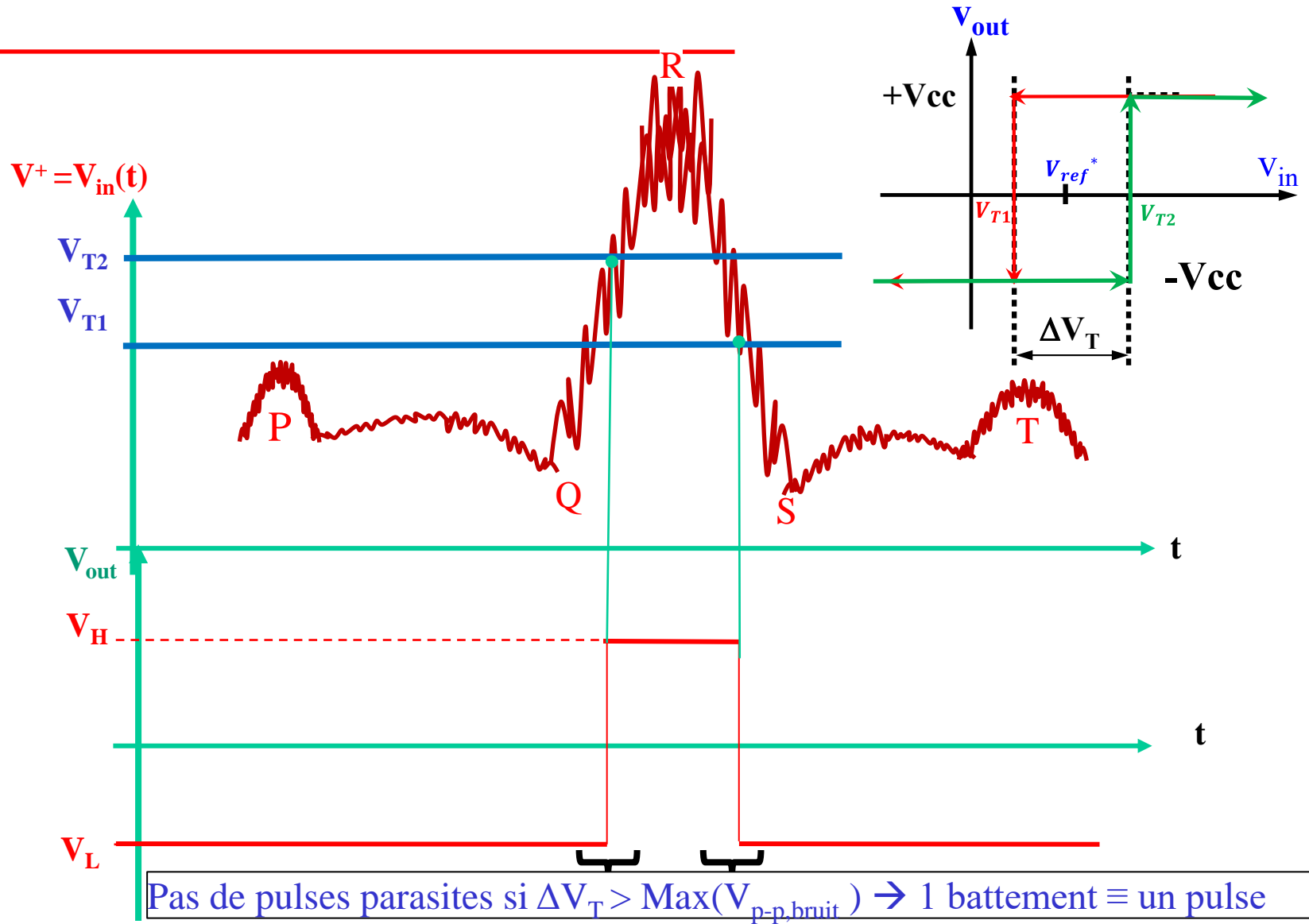
$$\triangleright V_{T2} = V_{cc} \underbrace{\frac{R_1}{R_2}}_{\beta} + V_{ref}^*$$

$$\triangleright V_{T1} = -V_{cc} \underbrace{\frac{R_1}{R_2}}_{\beta} + V_{ref}^*$$

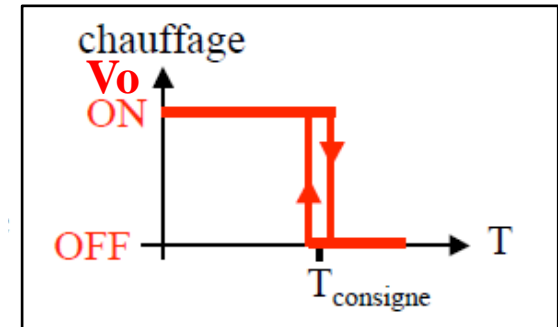
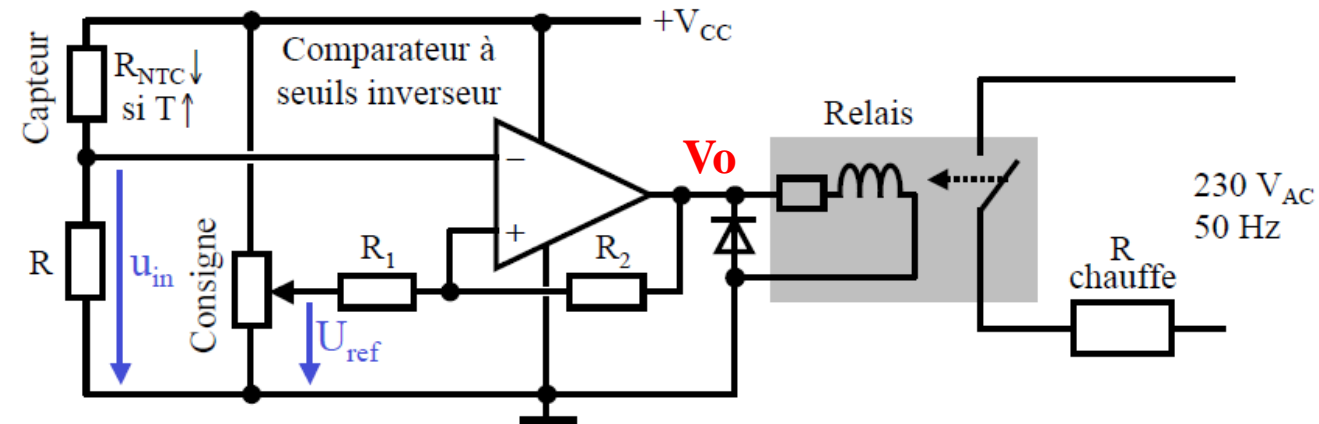
$$\triangleright V_{ref}^* = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Hystérèse contre-clockwise
de largeur: $\Delta V_T = 2\beta V_{cc} = 2 \frac{R_1}{R_2} V_{cc}$

Utilisation comparateur à seuil non-inverseur: rythme cardiaque



Application comparateur à seuil: Thermostat



L'hystérèse → une marge de variation de T avant que le relais commute.

• Comparateur à seuil inverseur

- $u_{in} = f(T)$
- U_{ref} réglable par l'utilisateur pour ajuster $V_{T1,2}$ et donc la température de consigne.

• Fonctionnement:

- Quand T diminue → R_{NTC} augmente → u_{in} (v-) diminue.

→ On passe de $V_o = V_L$ (0V), où $I_{bobine} = 0$ → **à** → $V_o = V_H$ (V_{CC}) → $I_{bobine} > 0$, activation de l'électroaimant qui ferme le relais → alimentation du corps de chauffe.

• **Rq:** La diode protège la sortie du comparateur en limitant sa valeur min à $-U_j$. En effet sans diode, le courant de commande chutera brusquement à chaque fois que T dépasse $T_{consigne}$, ce qui engendrerait un surtension sur la bobine ($L di/dt \rightarrow \infty$) et donc à la sortie de comparateur.