

Comparateurs

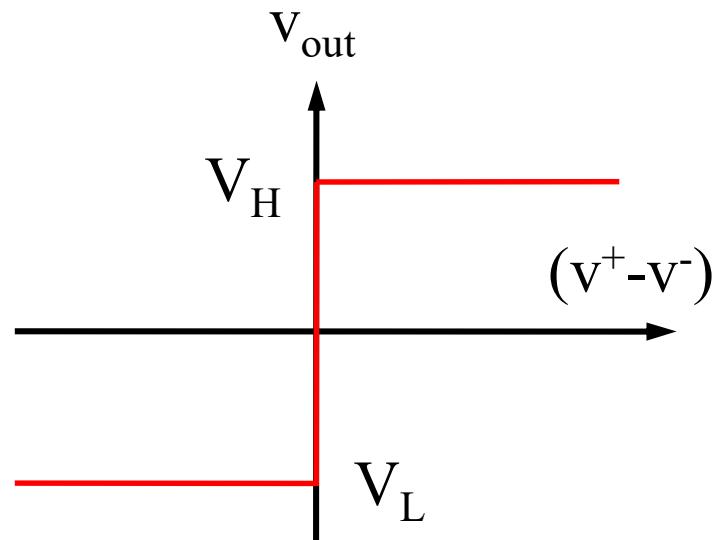
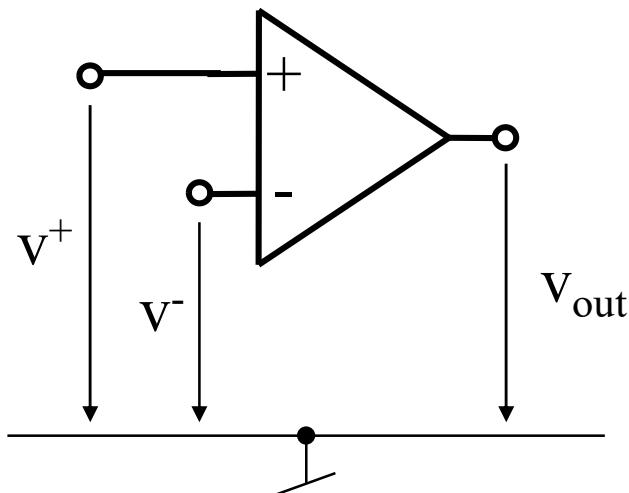
Systèmes électriques et électroniques

Adil KOUKAB

Sommaire

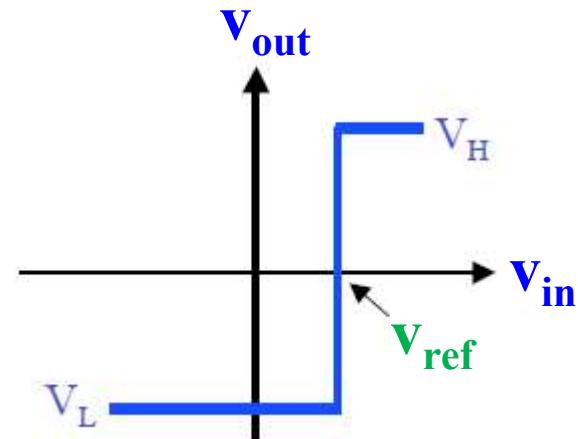
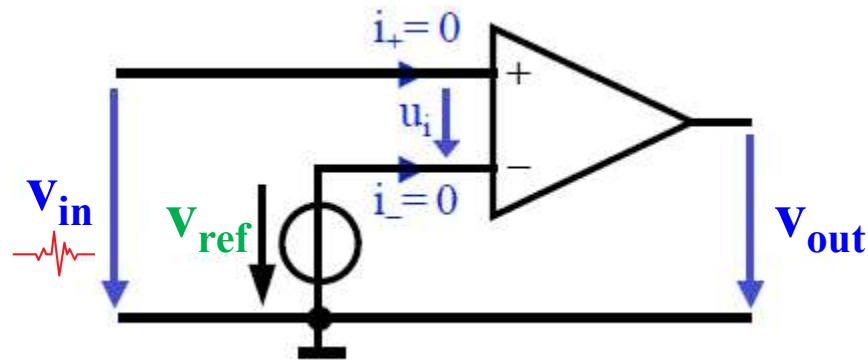
- Comparateur simple
 - Application
- Comparateur à seuil
 - Inverseur
 - Non-Inverseur
 - Application

Comparateur simple

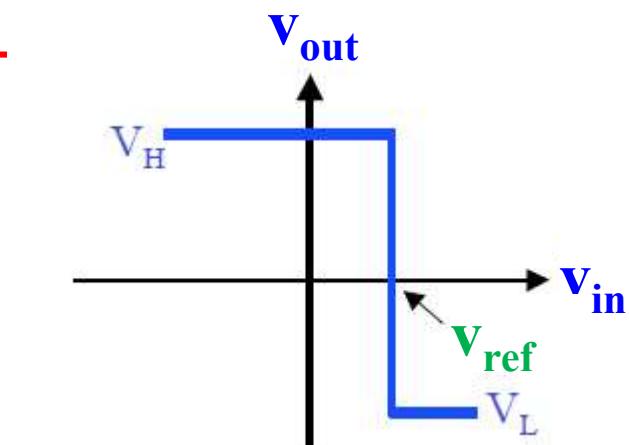
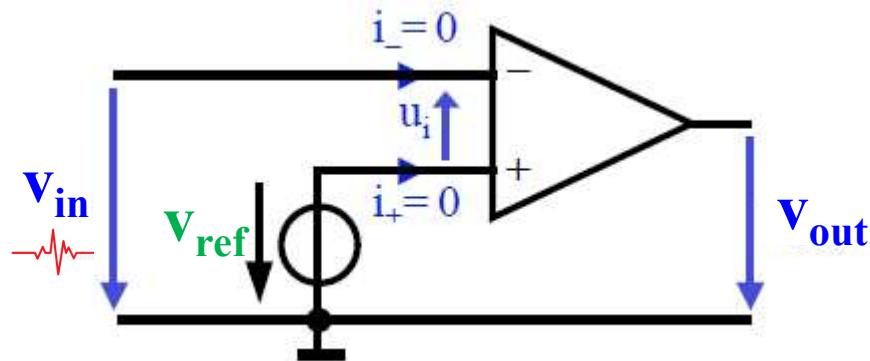


- En boucle ouverte (absence de réaction), l'amplificateur opérationnel fonctionne tjs comme un comparateur simple.
- Sa sortie est: V_H (quand $V^+ > V^-$) ou V_L (quand $V^+ < V^-$).
- Rq: Il existe aussi des circuits conçus pour ne fonctionner que comme comparateur (souvent instable et donc inutilisable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

Comparateur non-inverseur

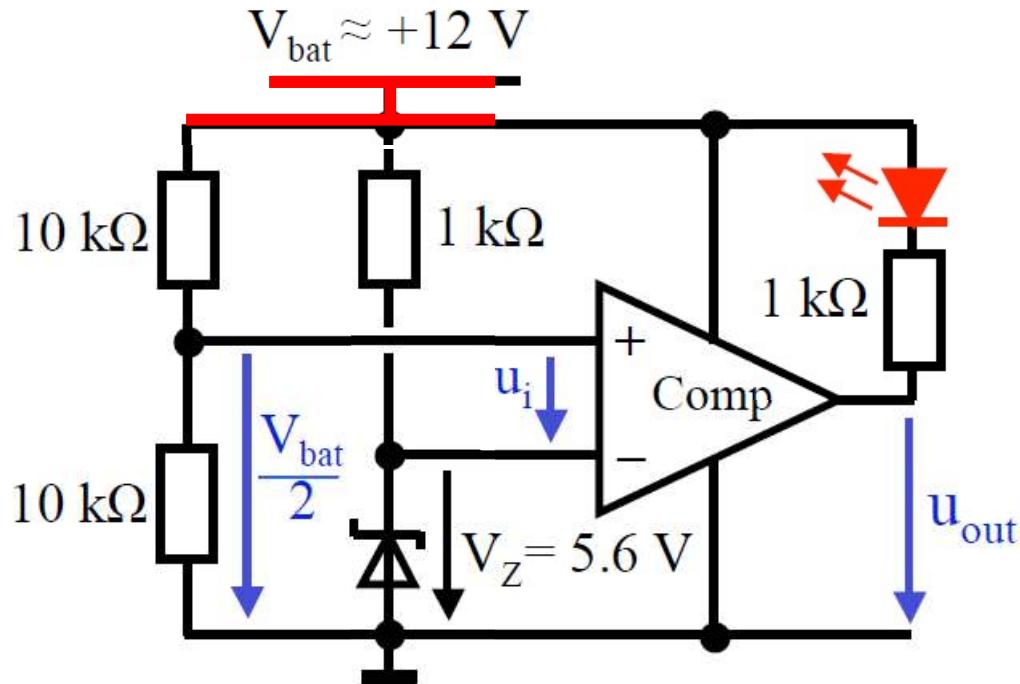


Comparateur inverseur



Application comparateur simple: Indicateur de batterie faible

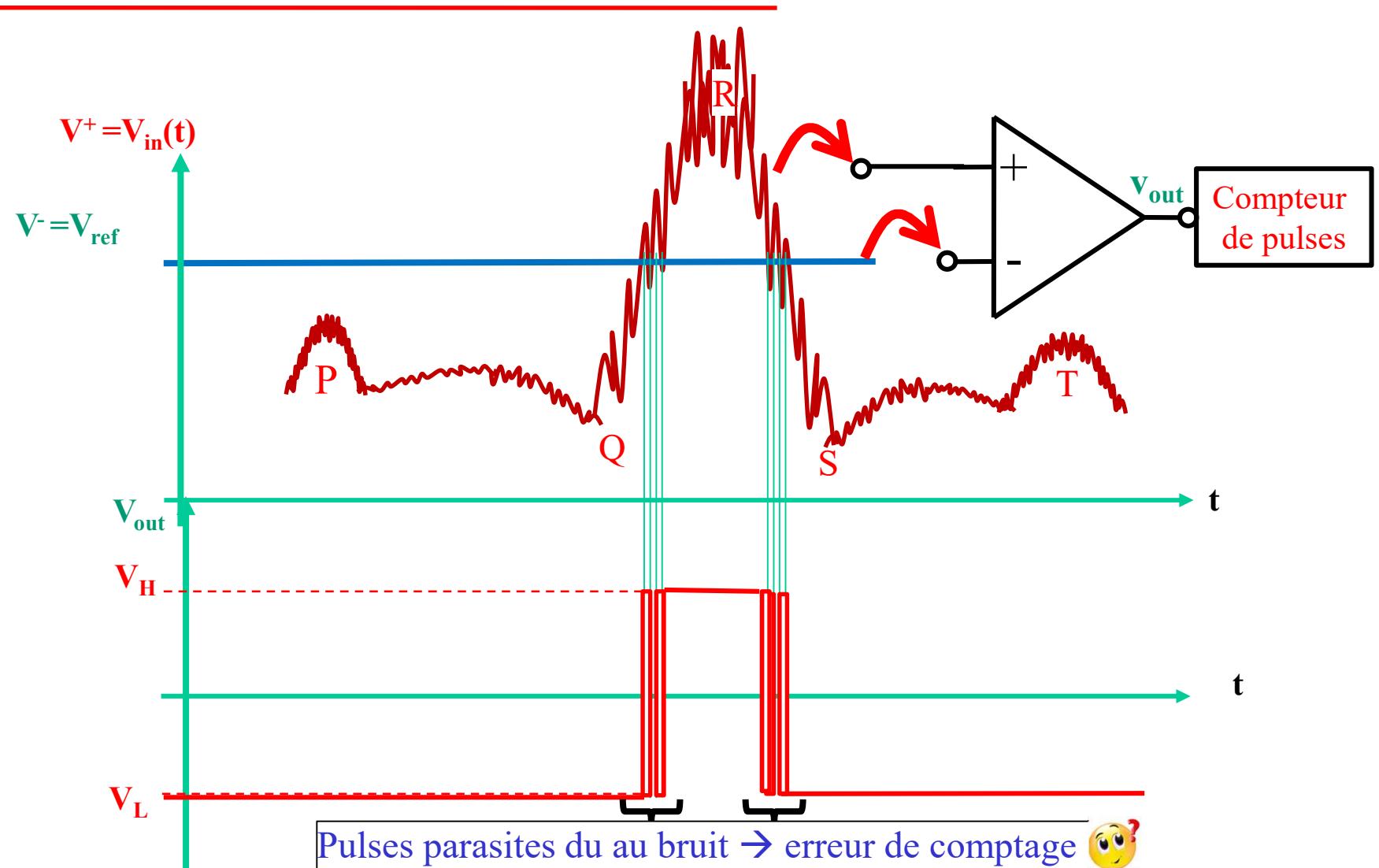
- Tension d'une batterie de voiture (≈ 14 V), chute à 11-10 V quand elle est déchargée.
- But: allumer une LED quand la tension s'approche de la limite inférieure, ceci sans autre source que la batterie elle-même.



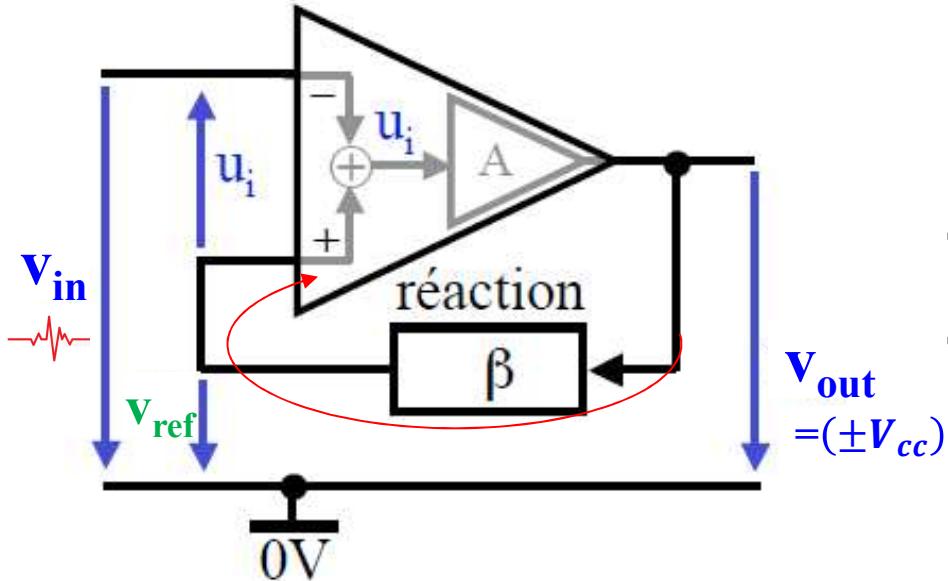
$V_{bat} > 11.2$ V $\Rightarrow u_{out} = V_H = V_{bat}$
 \Rightarrow LED Off

$V_{bat} < 11.2$ V $\Rightarrow u_{out} = V_L = 0$
 \Rightarrow LED On

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



Comparateur à seuils: modèle générique



- **Réaction positive:**

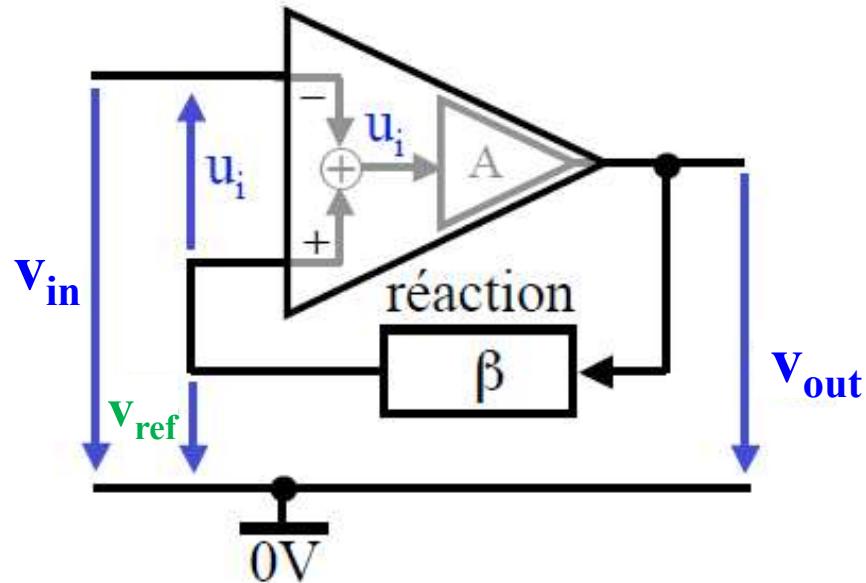
βv_{out} ajoutée à l'entrée +
→ emballement, système instable
→ Sortie à deux états V_{cc} et $-V_{cc}$

→ Comp. à seuil Inverseur

Deux tensions seuil de comparaisons:

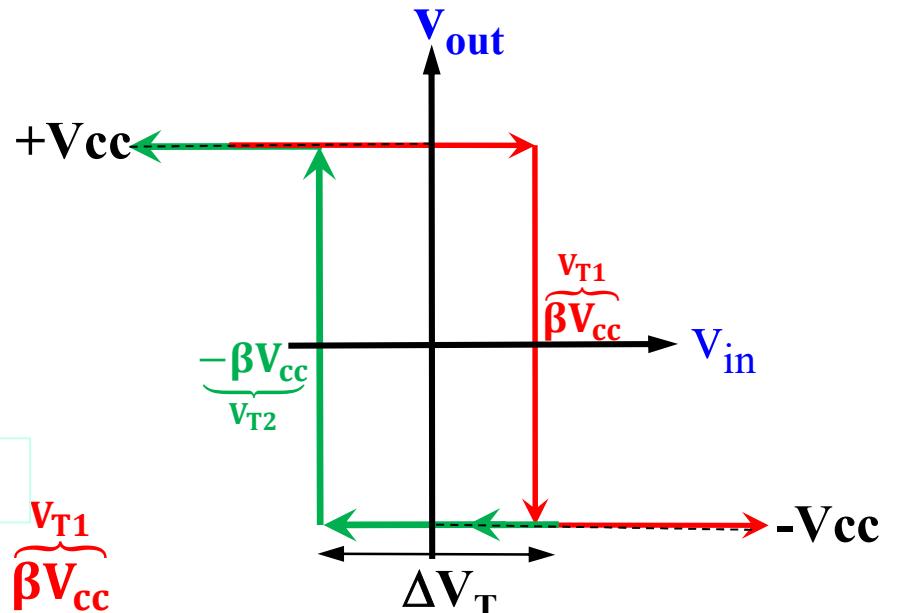
- $v_{ref} = V_{T1} = \beta V_{cc}$ (Haut → Bas)
- $v_{ref} = V_{T2} = -\beta V_{cc}$ (Bas → Haut)

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



- $V_{in} \nearrow (@ t_0: v_{in} = v_{faible}, V_{out} = +V_{cc})$ v_{T1}
 V_{out} bascule de $[V_{cc} \rightarrow -V_{cc}]$ à $v_{in1} = \widetilde{\beta V_{cc}}$
- $V_{in} \searrow (@ t_0: v_{in} = v_{elevée}, V_{out} = -V_{cc})$
 V_{out} bascule de $[-V_{cc} \rightarrow V_{cc}]$ à $v_{in2} = \widetilde{-\beta V_{cc}}$

- Caractéristique $V_{out}(V_{in})$

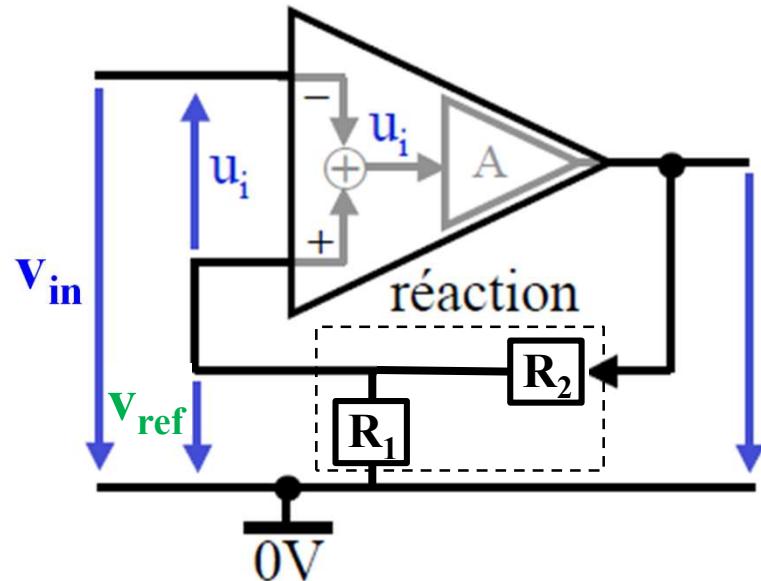


Hystérèse clockwise centré sur 0
et de largeur: $\Delta V_T = 2\beta V_{cc}$

Implémentation de β



Implémentation de β par diviseur de tension

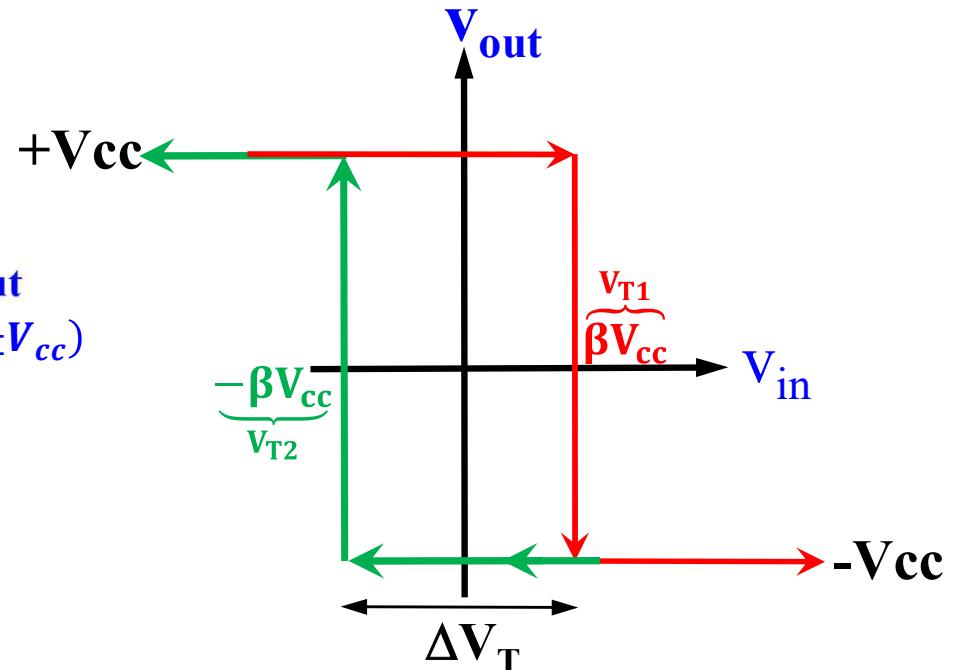


$$v_{\text{ref}} = V_{T1} = \underbrace{\frac{R_1}{R_1+R_2}}_{\beta} V_{cc}$$

ou

$$v_{\text{ref}} = V_{T2} = -\underbrace{\frac{R_1}{R_1+R_2}}_{\beta} V_{cc}$$

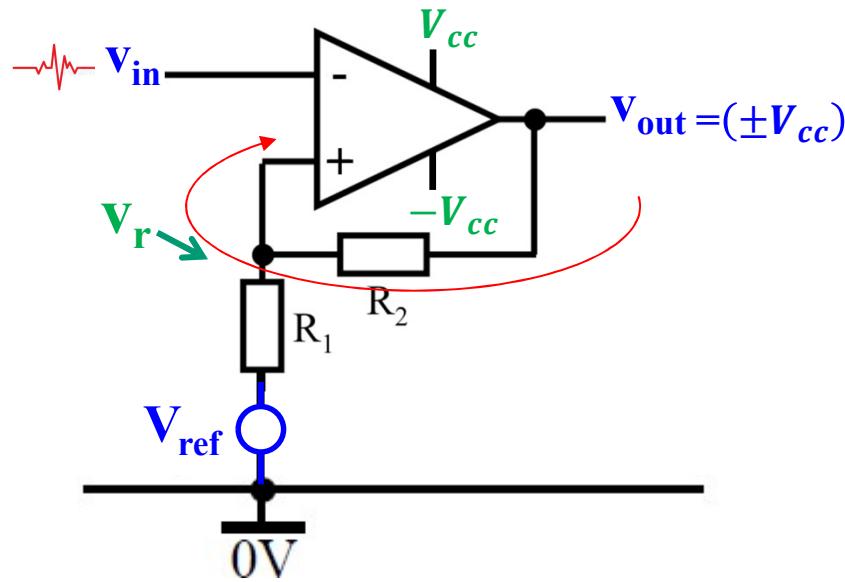
- Caractéristique $V_{\text{out}}(V_{\text{in}})$



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

Hystérèse non centré sur zéro 😊

Comparateur à seuils inverseur (généralisation)



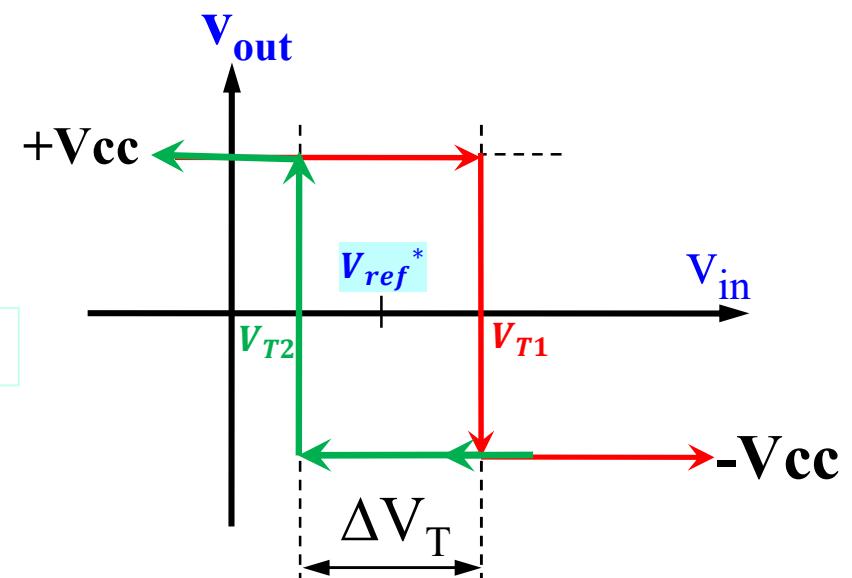
➤ $V_{in} \nearrow$: V_{out} bascule de $[V_{cc} \rightarrow -V_{cc}]$

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

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

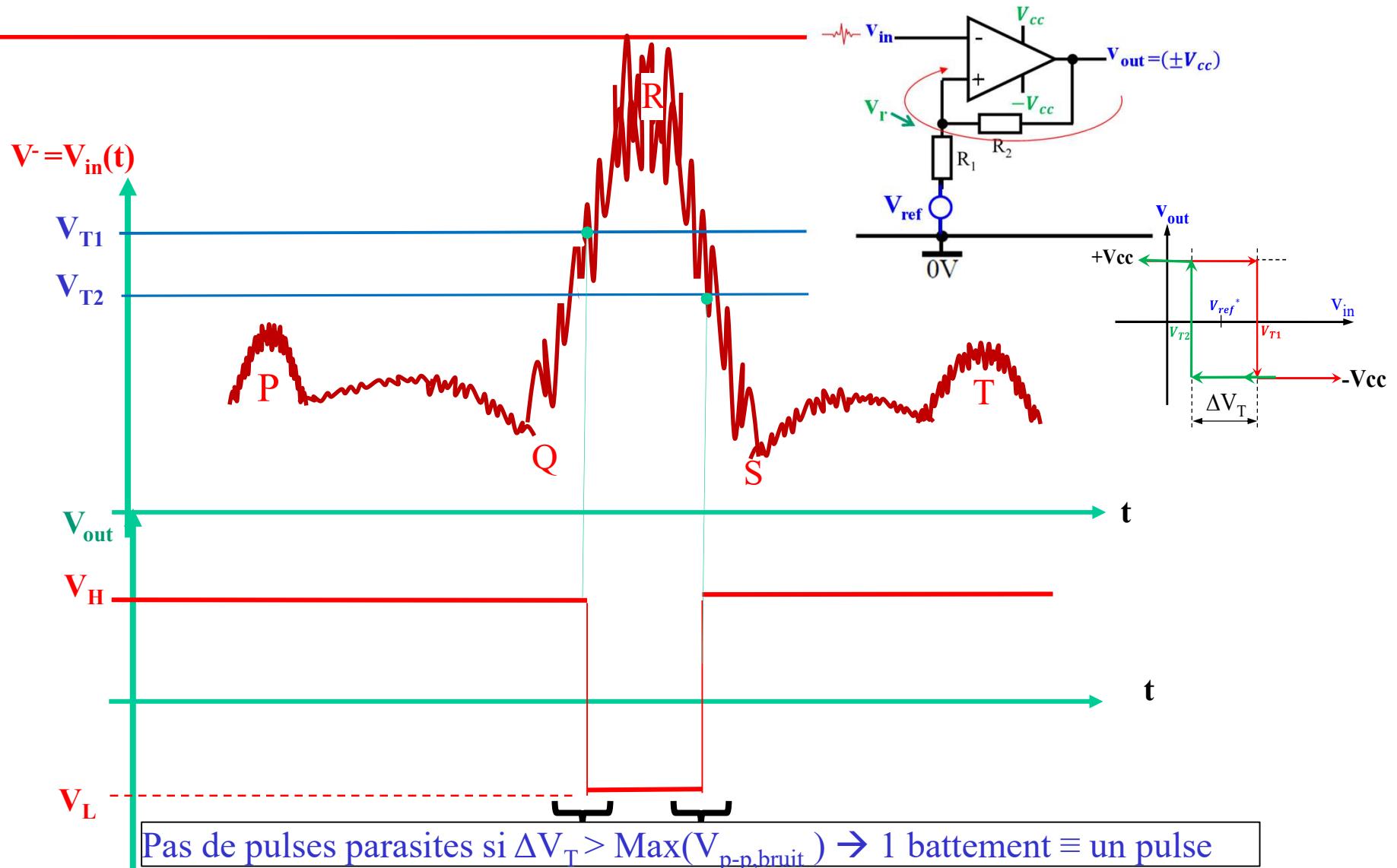
$$@ V_{in2} = V_r \Big|_{\frac{V_{out}}{-V_{cc}}} = V_{T2} = -V_{cc} \underbrace{\frac{R_1}{R_1+R_2}}_{\beta} + V_{ref}^*$$

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

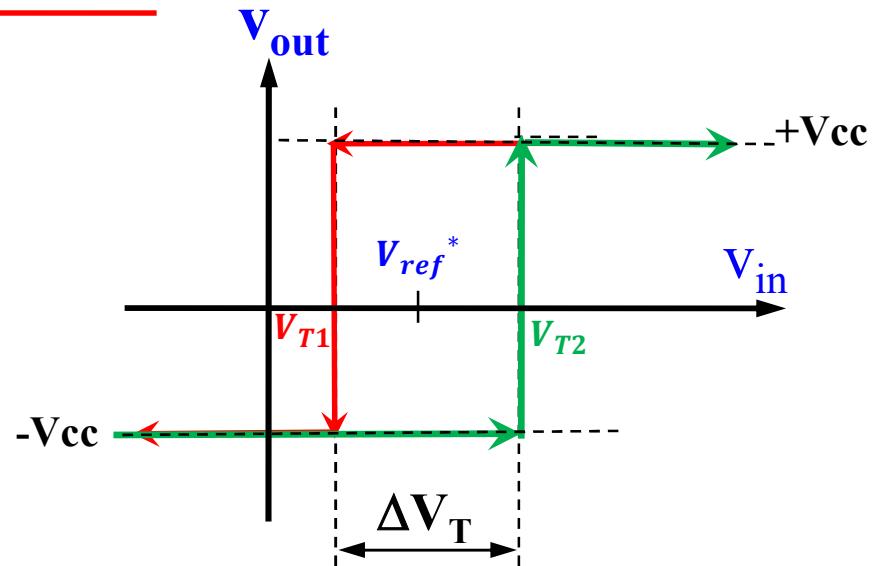
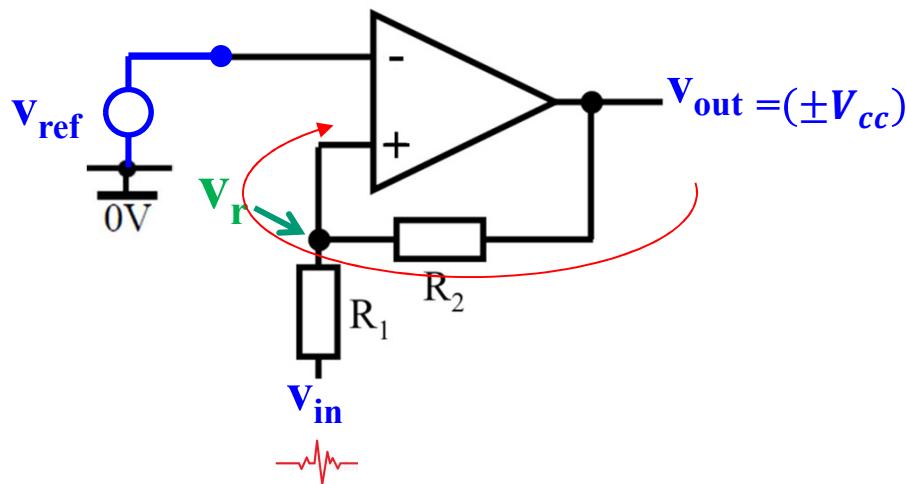


Hystérèse clockwise centré sur V_{ref}^* de largeur: $\Delta V_T = 2\beta V_{cc} = 2 \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{cc}$

Utilisation comparateur à seuil inverseur: rythme cardiaque



Comparateur à seuils Non-inverseur



$$V_r = (\pm V_{cc}) \frac{R_1}{R_1+R_2} + V_{in} \frac{R_2}{R_1+R_2} \rightarrow V_{in} = -(\pm V_{cc}) \frac{R_1}{R_2} + V_r \frac{R_1+R_2}{R_2}$$

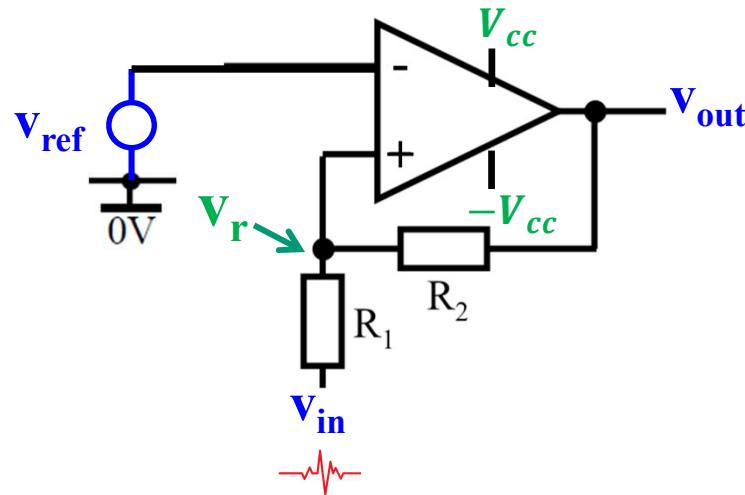
➤ $V_{in} \nearrow \equiv V_r \nearrow$ (@ t_0 : $v_r = v_+$ faible, $V_{out} = -V_{cc}$)

V_{out} bascule de $[-V_{cc} \rightarrow +V_{cc}]$ à $v_{r2} = V_{ref}$ et donc $v_{in2} = V_{T2} = +V_{cc} \frac{R_1}{R_2} + V_{ref} \frac{R_1+R_2}{R_2}$

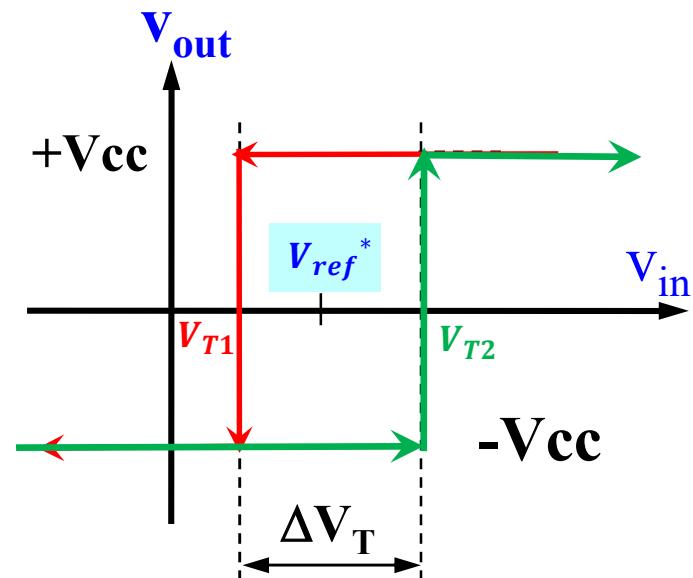
➤ $V_{in} \searrow \equiv V_r \searrow$ (@ t_0 : $v_r = v_+$ élevée, $V_{out} = +V_{cc}$)

V_{out} bascule de $[+V_{cc} \rightarrow -V_{cc}]$ à $v_{r2} = V_{ref}$ et donc $v_{in1} = V_{T1} = -V_{cc} \frac{R_1}{R_2} + V_{ref} \frac{R_1+R_2}{R_2}$

Comparateur à seuils Non-inverseur

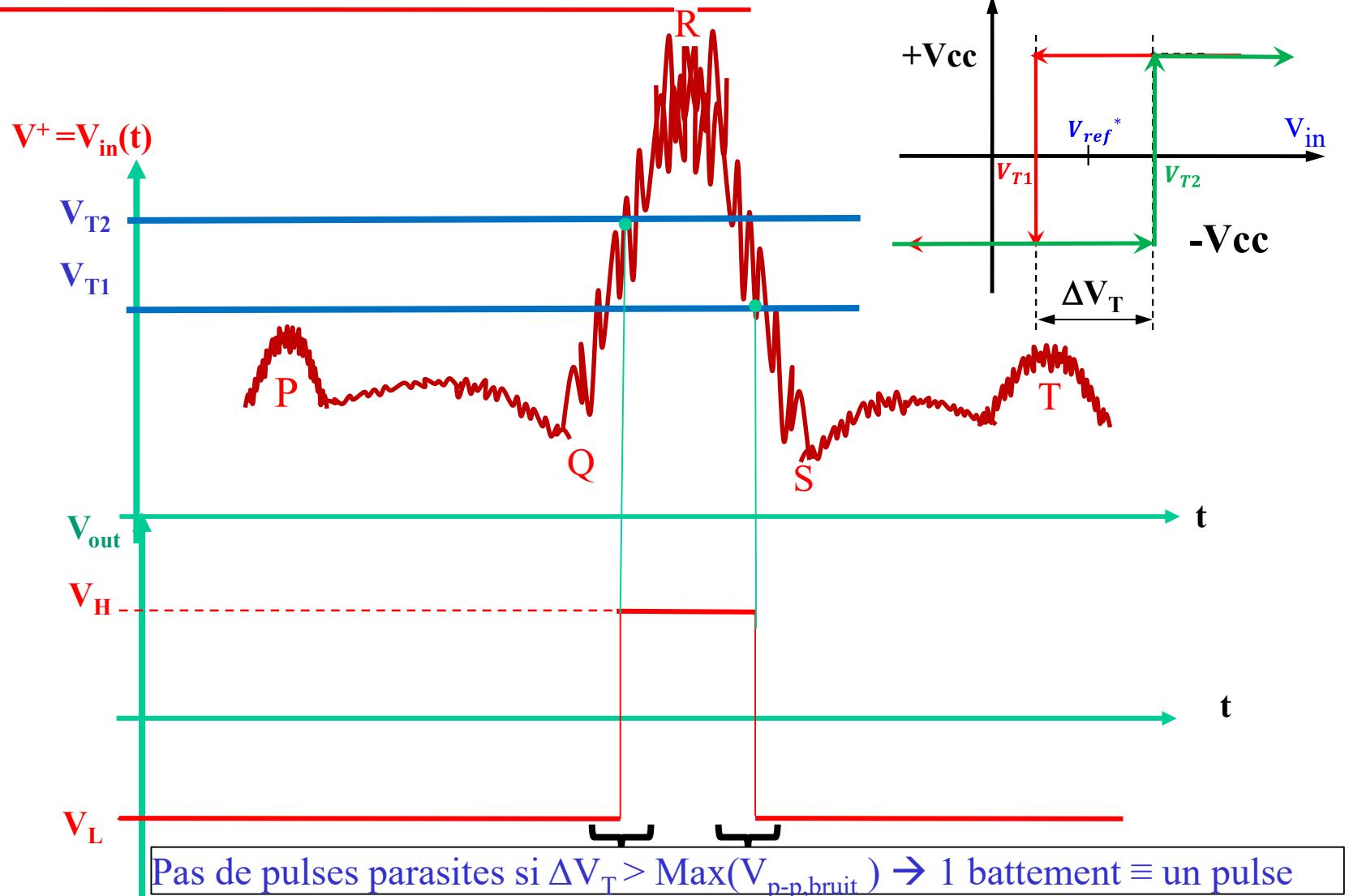


- $V_{T2} = V_{cc} \frac{R_1}{R_2} + V_{ref}^*$
- $V_{T1} = -V_{cc} \frac{R_1}{R_2} + V_{ref}^*$
- $V_{ref}^* = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2}$

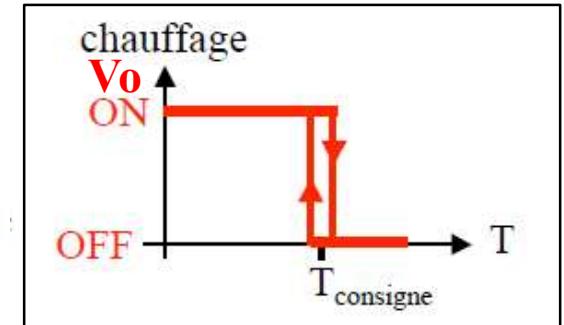
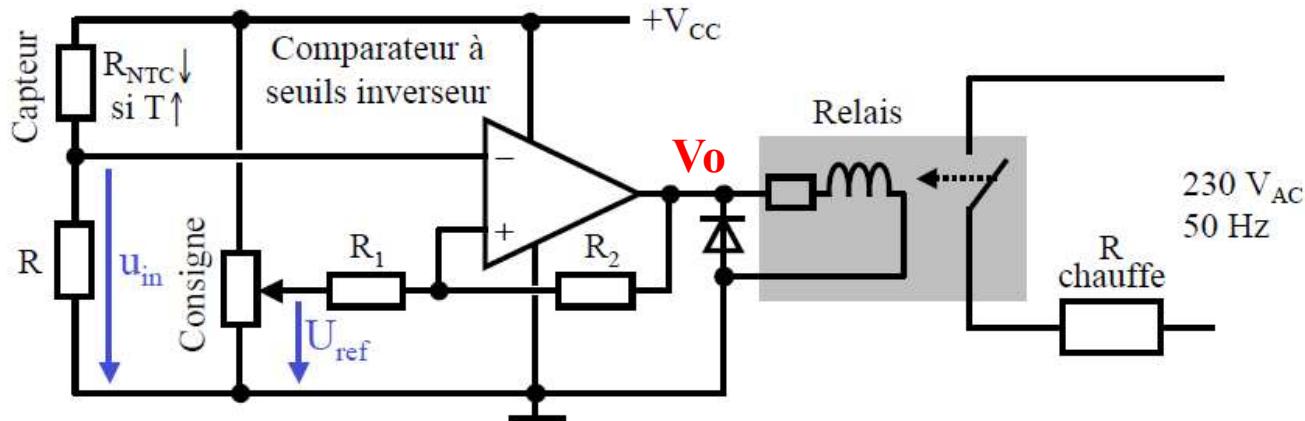


Hystérèse contre-clockwise
de largeur: $\Delta V_T = 2\beta V_{cc} = 2 \frac{R_1}{R_2} V_{cc}$

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 $\rightarrow R_{NTC}$ augmente $\rightarrow u_{in}$ (v_-) diminue.
 \rightarrow On passe de $Vo = V_L$ (0V), où $I_{bobine} = 0 \rightarrow$ à $Vo = V_H$ (V_{CC}) $\rightarrow I_{bobine} > 0$, activation de l'électroaimant qui ferme le relais \rightarrow alimentation du corps de chauffe.
 - Rq: La diode protège la sortie du comparateur on 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 ($Ldi/dt \rightarrow \infty$) et donc à la sortie de comparateur.