

Comparateurs

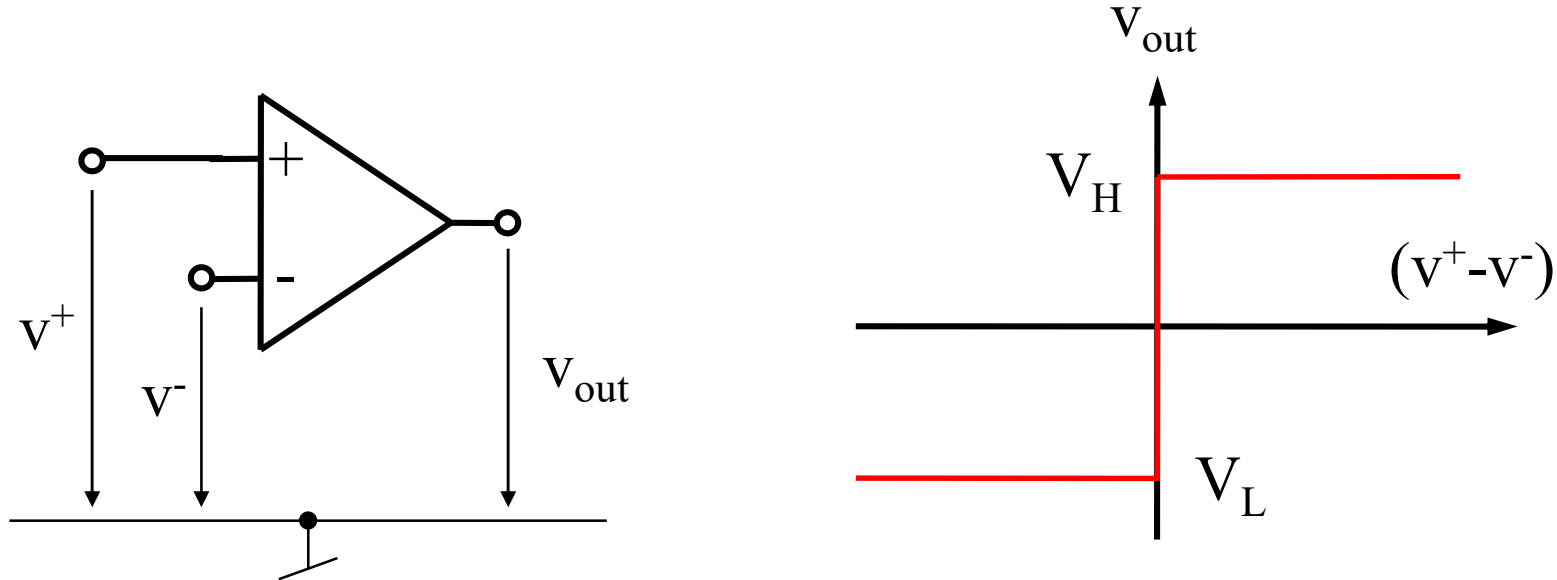
Systemes électriques et électroniques

Adil KOUKAB

Sommaire

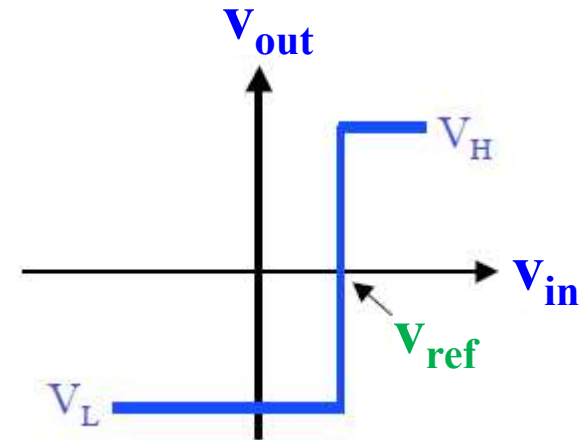
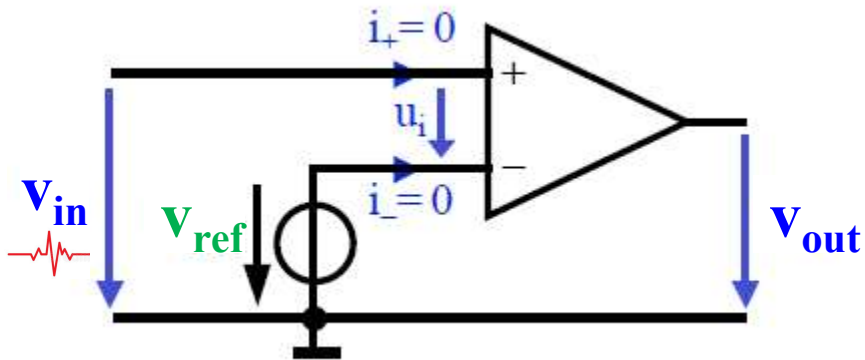
- Comparateur simple
 - Application
- Comparateur à seuil
 - Inverseur
 - Non-Inverseur
 - Application

Comparateur simple

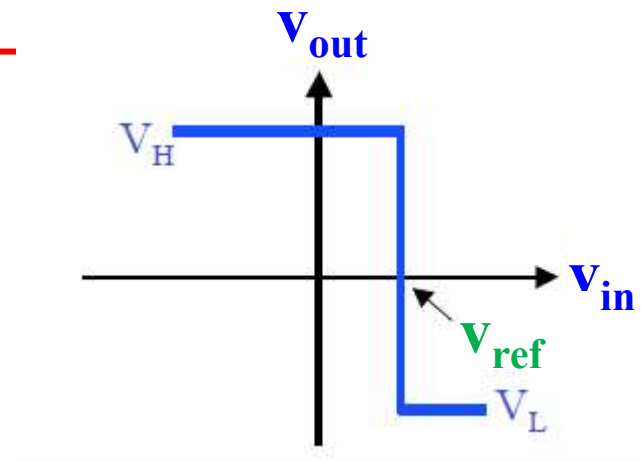
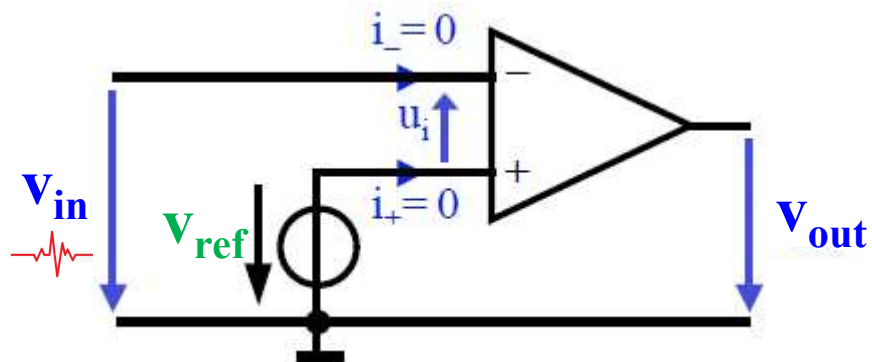


- En boucle ouverte (absence de réaction), l'amplificateur opérationnel fonctionne tjrs comme un comparateur simple.
- Sa sortie est: V_H (quand $V^+ > V^-$) ou V_L (quand $V^+ < V^-$).
- Rq: Il existe aussi des circuits conçus pour ne fonctionner que comme comparateur (souvent instable et donc inutilisable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

Comparateur non-inverseur

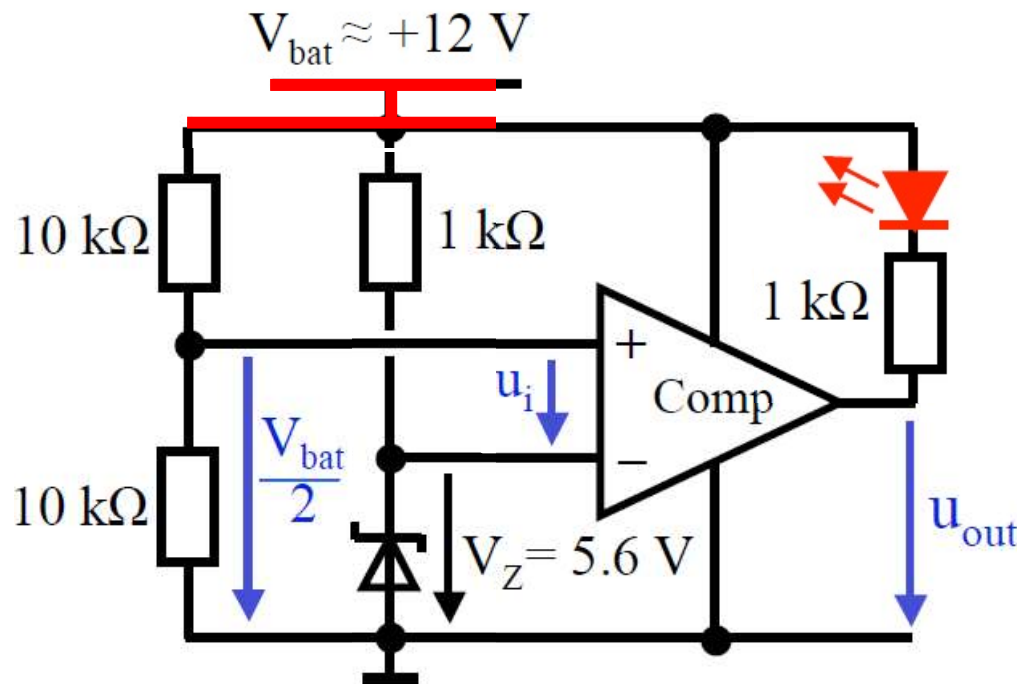


Comparateur inverseur



Application comparateur simple: Indicateur de batterie faible

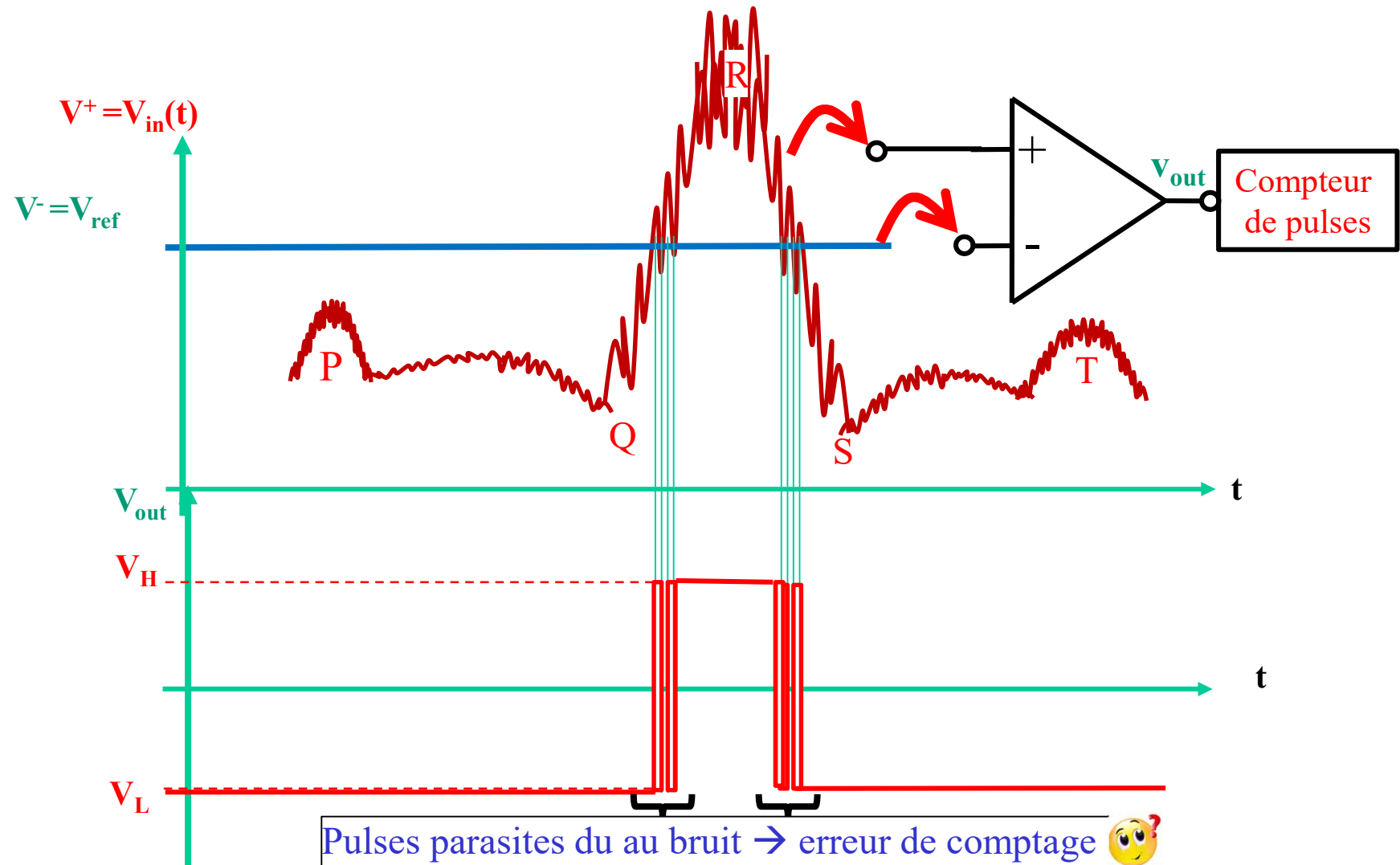
- Tension d'une batterie de voiture ($\approx 14 \text{ V}$), chute à 11-10 V quand elle est déchargée.
- But: allumer une LED quand la tension s'approche de la limite inférieure, ceci sans autre source que la batterie elle-même.



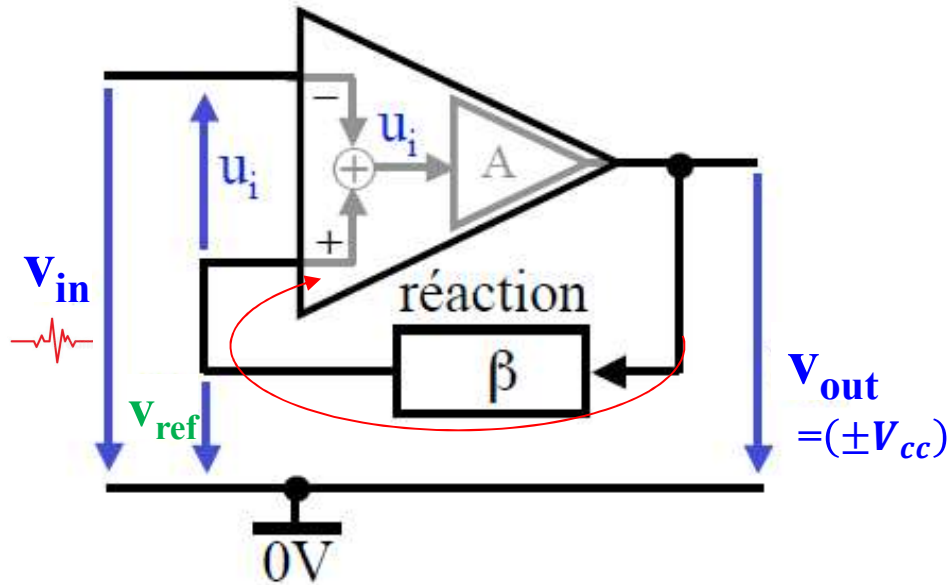
$$V_{\text{bat}} > 11.2 \text{ V} \Rightarrow u_{\text{out}} = V_H = V_{\text{bat}} \\ \Rightarrow \text{LED Off}$$

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

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



Comparateur à seuils: model générique



- Réaction positive:

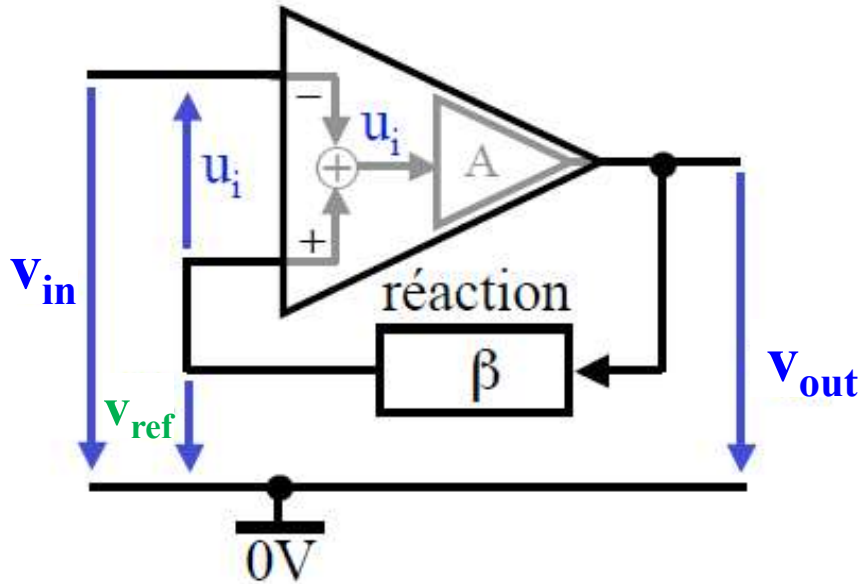
- βV_{out} ajoutée à l'entrée +
- emballement, system instable
- Sortie à deux états V_{cc} et $-V_{cc}$

→ **Comp. à seuil Inverseur**

Deux 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 $V_{out}(V_{in})$



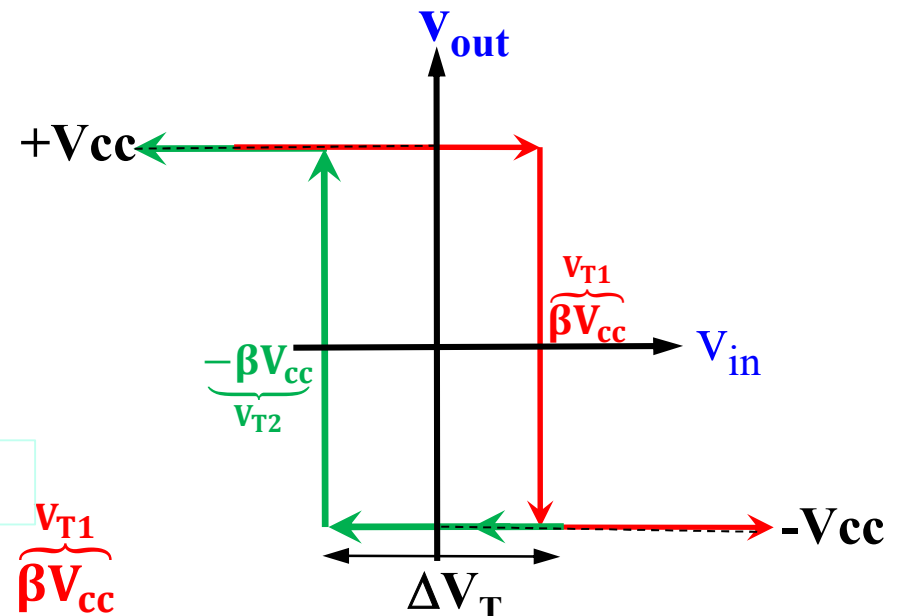
➤ $V_{in} \nearrow$ (@ t_0 : $v_{in} = v_{-}$ faible, $V_{out} = +V_{cc}$)

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

➤ $V_{in} \searrow$ (@ t_0 : $v_{in} = v_{-}$ élevée, $V_{out} = -V_{cc}$)

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

• Caractéristique $V_{out}(V_{in})$

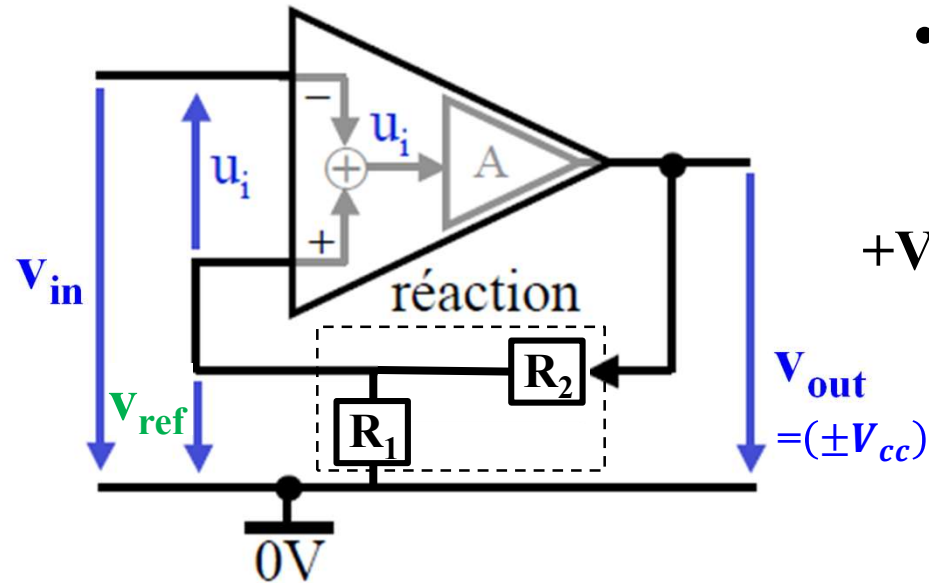


Hystérèse clockwise centré sur 0
et de largeur: $\Delta V_T = 2\beta V_{cc}$

Implémentation de β



Implémentation de β par diviseur de tension

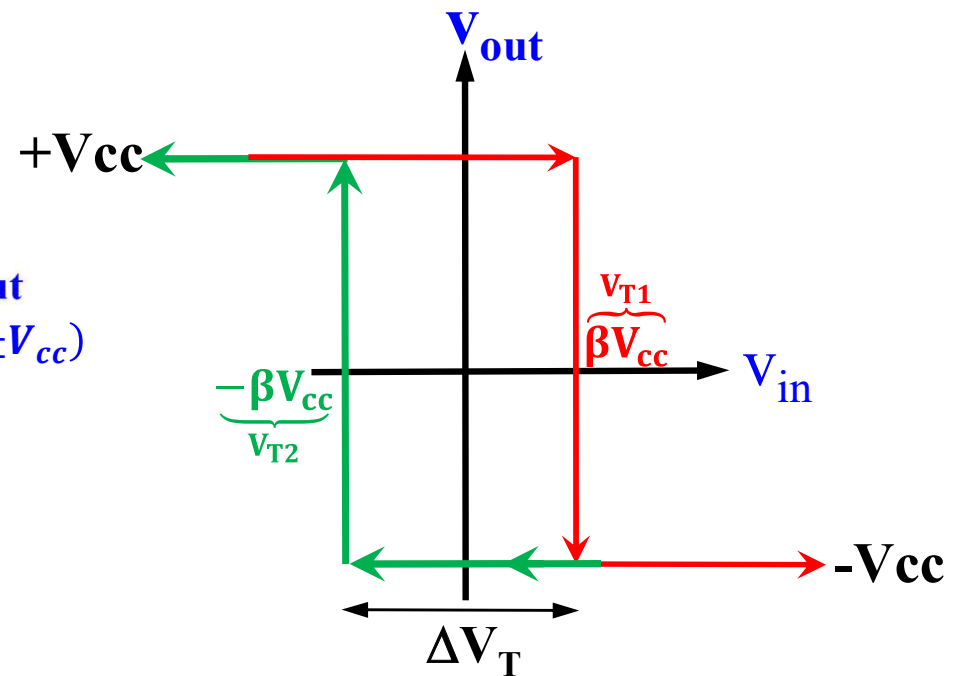


$$V_{\text{ref}} = V_{T1} = \underbrace{\frac{R_1}{R_1 + R_2}}_{\beta} V_{cc}$$

ou

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

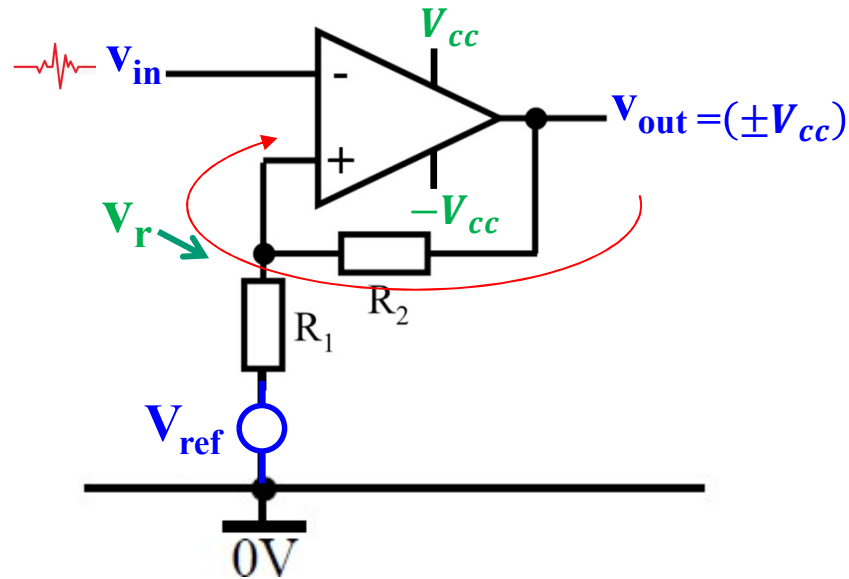
- Caractéristique $V_{\text{out}}(V_{\text{in}})$



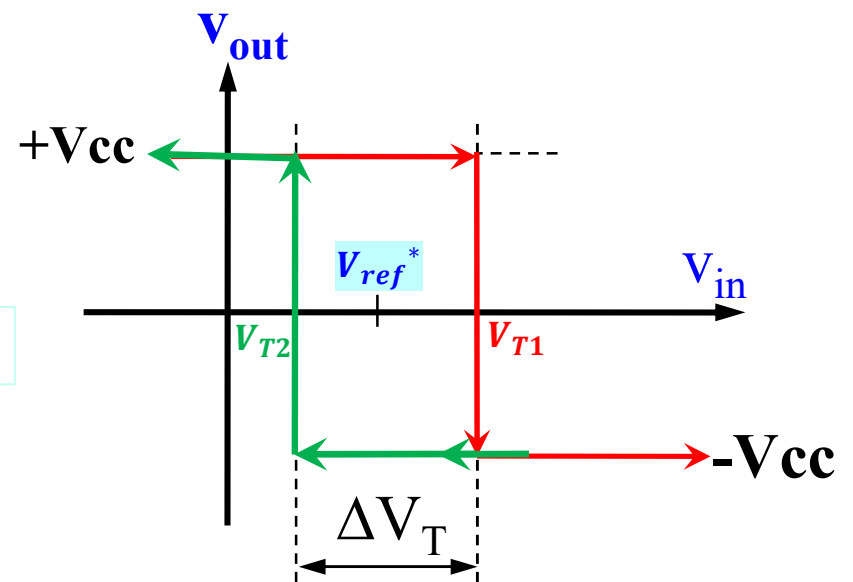
Hystérèse clockwise centré sur 0 et
de largeur: $\Delta V_T = 2\beta V_{cc}$

Hystérèse non centré sur zéro 🤔?

Comparateur à seuils inverseur (généralisation)



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



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

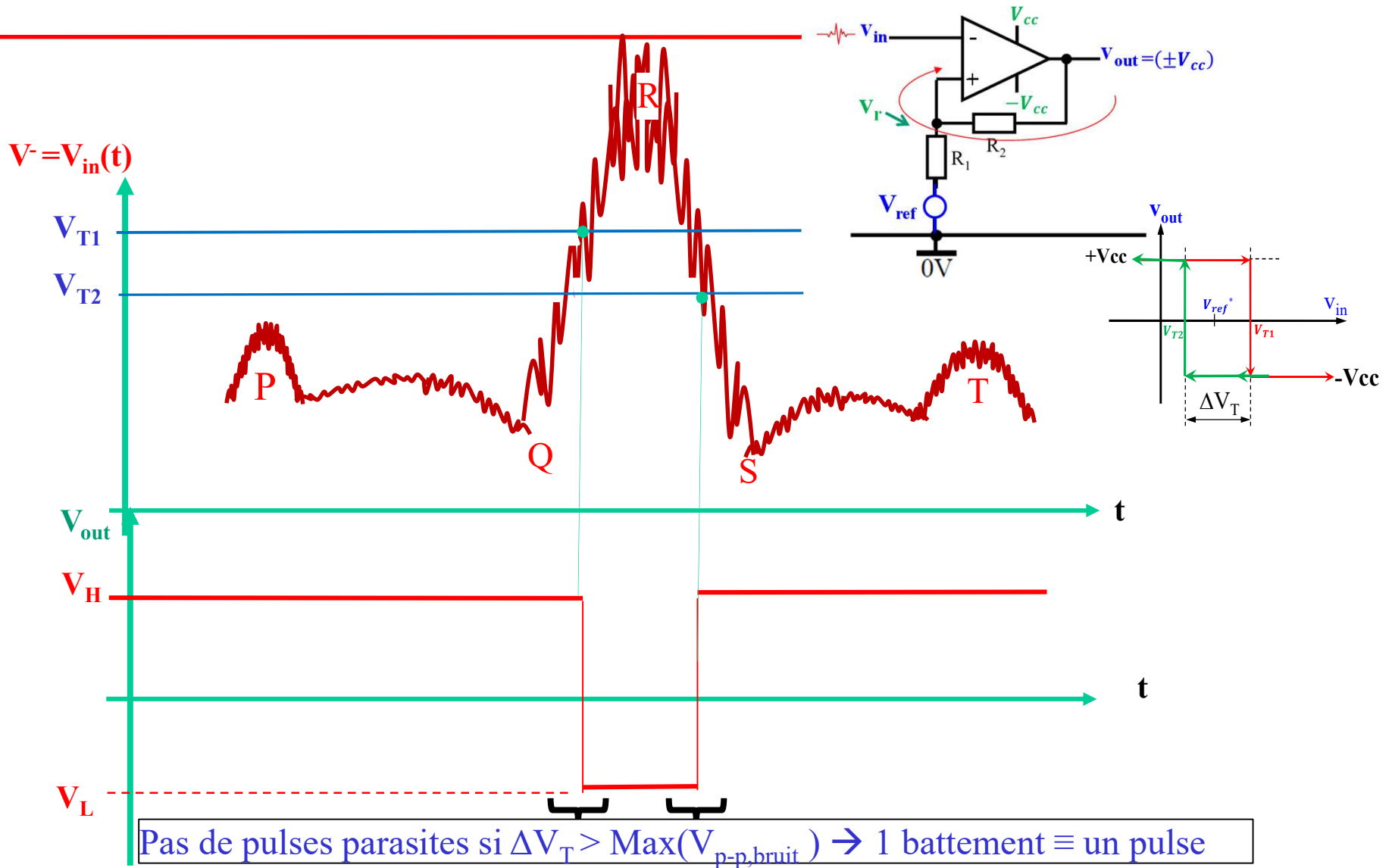
@ $v_{in1} = V_r|_{\frac{v_{out}}{+V_{cc}}} = V_{T1} = V_{cc} \underbrace{\frac{R_1}{R_1 + R_2}}_{\beta} + V_{ref}^*$

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

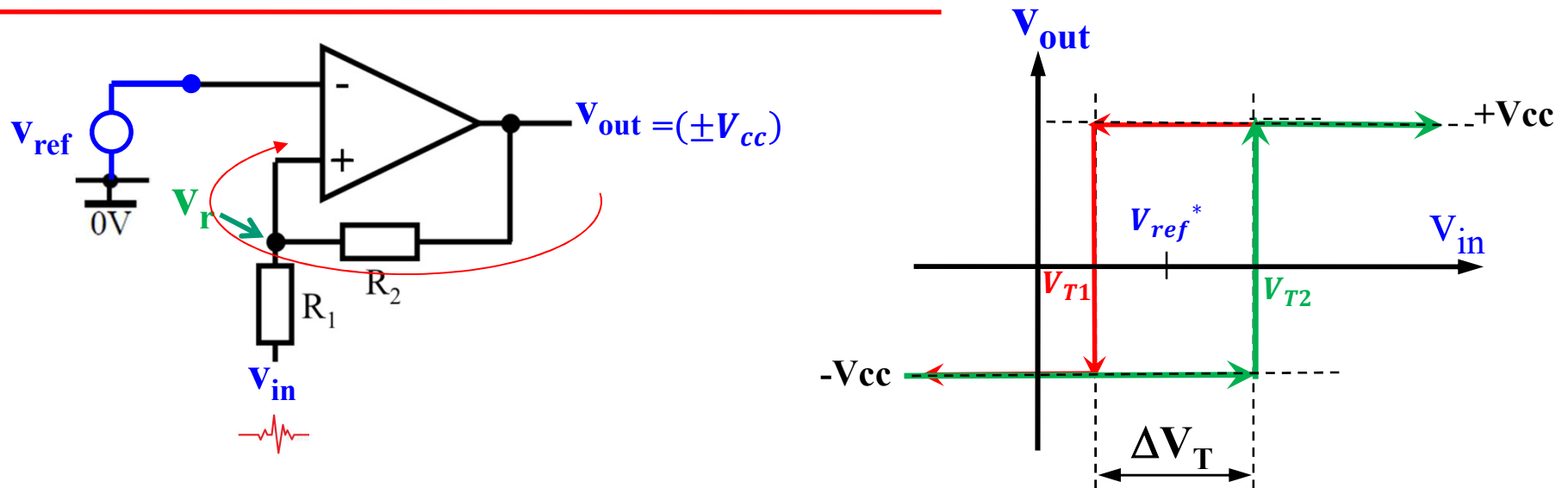
@ $v_{in2} = V_r|_{\frac{v_{out}}{-V_{cc}}} = V_{T2} = -V_{cc} \underbrace{\frac{R_1}{R_1 + R_2}}_{\beta} + V_{ref}^*$

Hystérèse clockwise centrée 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



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

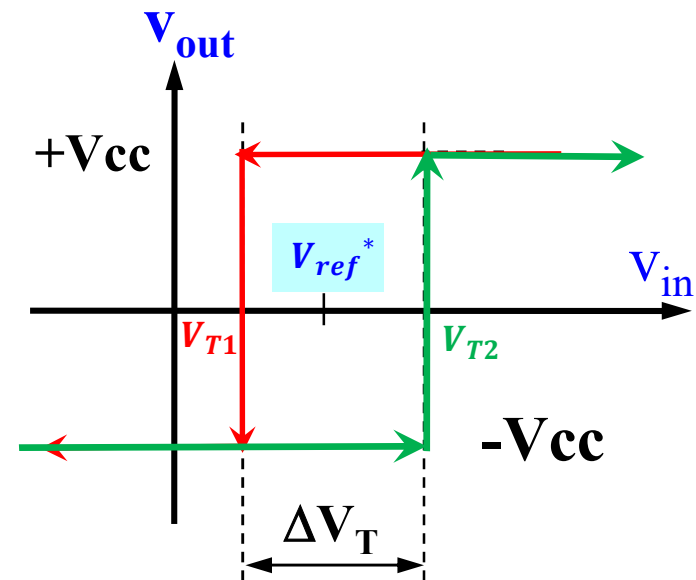
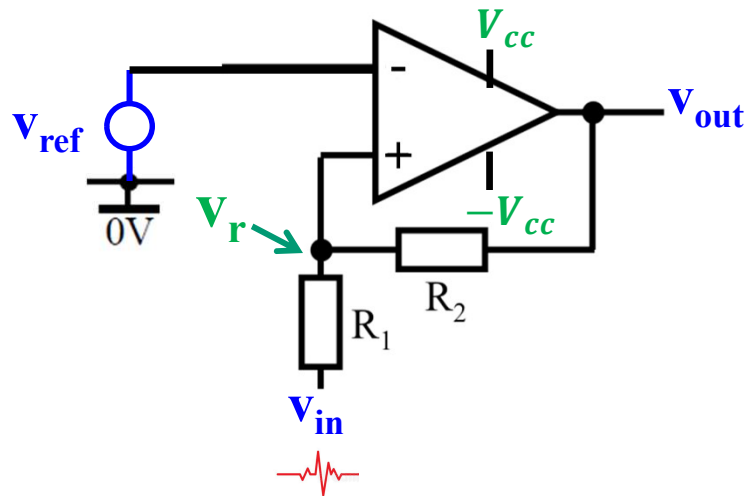
➤ $V_{in} \nearrow \equiv V_r \nearrow$ (@ t_0 : $v_r = v_+$ faible, $V_{out} = -V_{cc}$)

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

➤ $V_{in} \searrow \equiv V_r \searrow$ (@ 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 $v_{in1} = V_{T1} = -V_{cc} \frac{R_1}{R_2} + \overbrace{V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2}}^{V_{ref}^*}$

Comparateur à seuils Non-inverseur



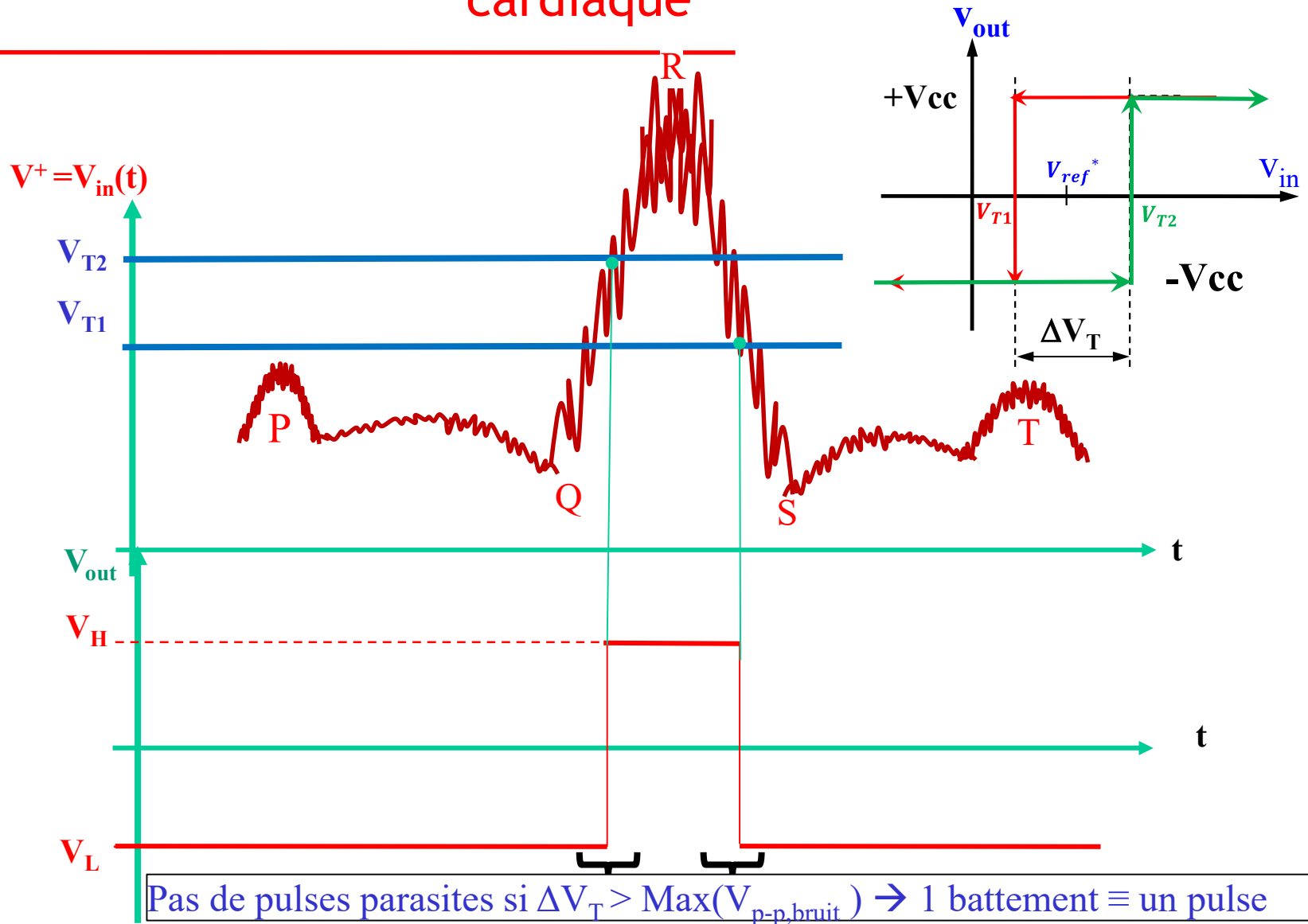
$$\triangleright V_{T2} = V_{cc} \underbrace{\frac{R_1}{R_2}}_{\beta} + V_{ref}^*$$

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

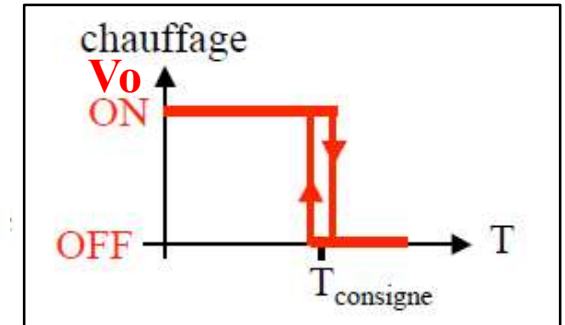
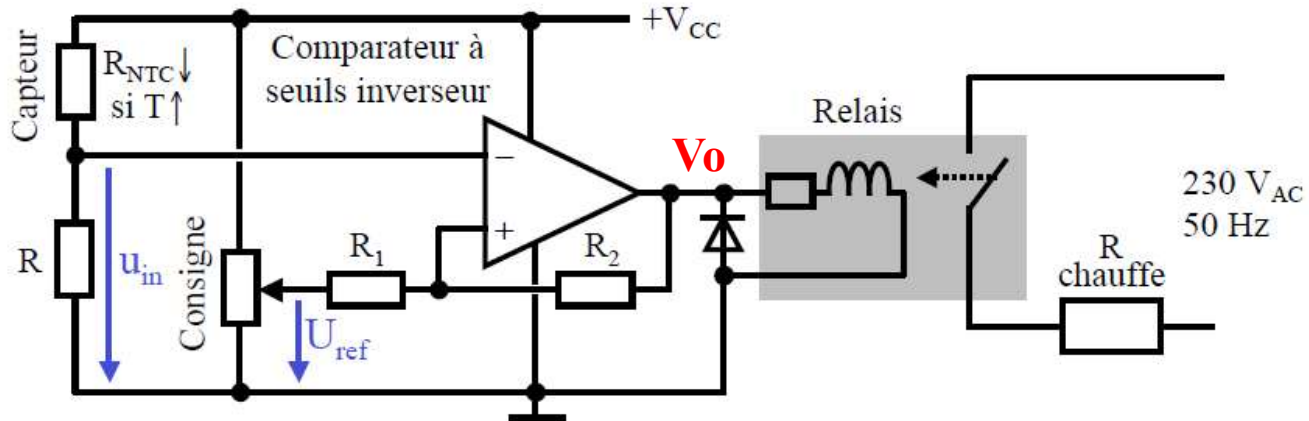
$$\triangleright V_{ref}^* = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

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.