



TC - 4ETI – CI : CAPTEURS INTELLIGENTS

L. LABRAK

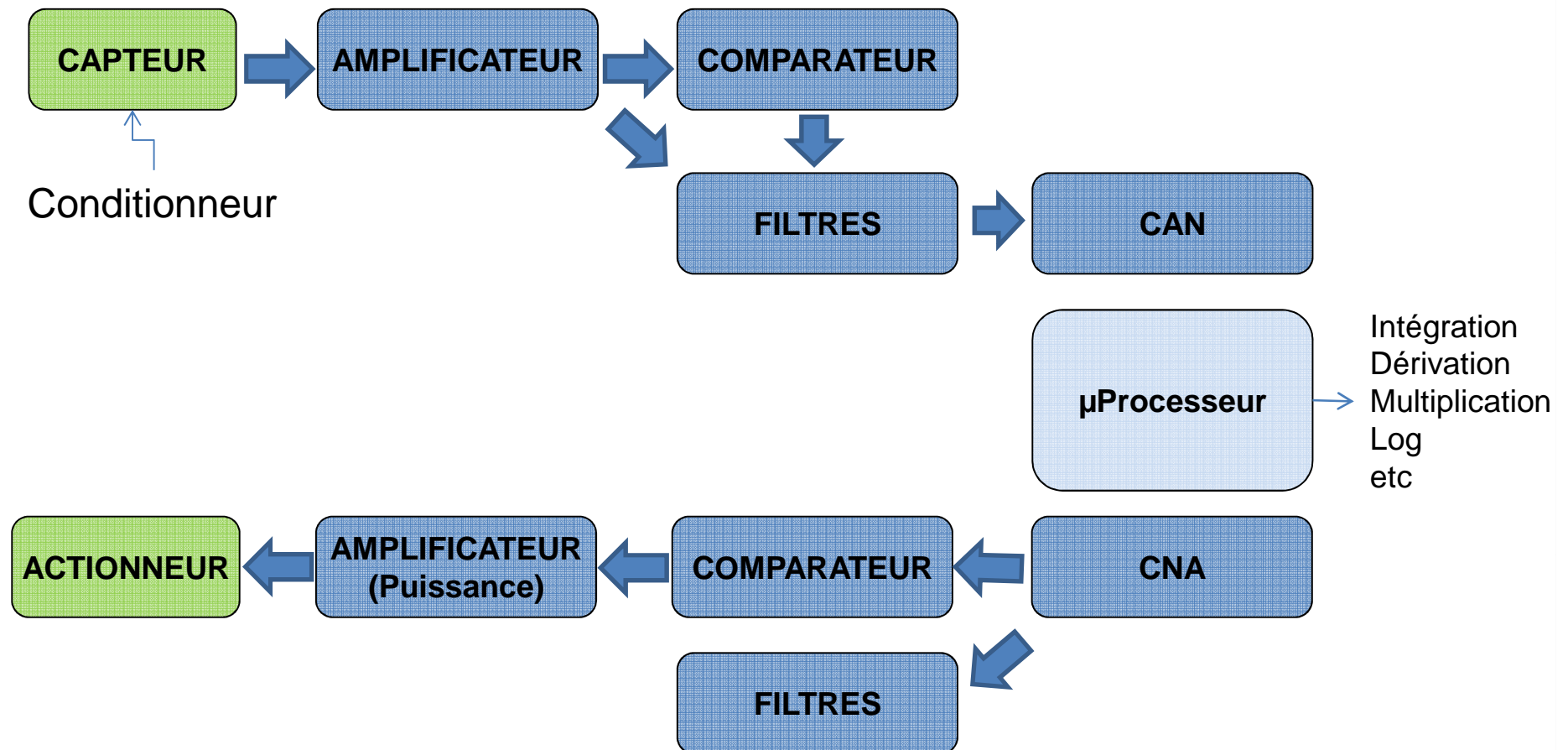
membre de  UNIVERSITÉ DE LYON


CPE
LYON
ÉCOLE SUPÉRIEURE
DE CHIMIE PHYSIQUE ÉLECTRONIQUE
DE LYON

Section ETI :
Sciences du Numérique

L'AMPLIFICATEURS OPERATIONNEL ET SES APPLICATIONS

Les Ampli Op dans une CdM



LES AOPs: Généralités



Composant le plus répandu en électronique analogique car permet de nombreuses réalisations:

- Amplification
- Dérivation – Intégration
- Multiplication – Addition – Soustraction
- Filtrage
- Comparaison
- Multivibrateurs
- etc

LES AOPs: Généralités



Composant le plus répandu en électronique analogique car permet de nombreuses réalisations:

- **Linéaires**

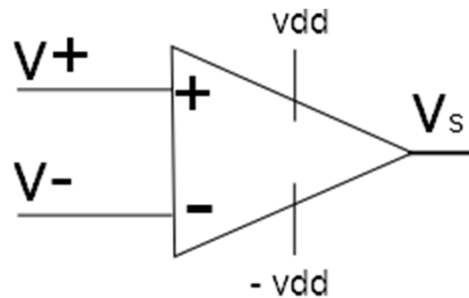
- Amplification
- Dérivation – Intégration
- Multiplication – Addition – Soustraction
- Filtrage

- **Non Linéaires**

- Comparaison
- Multivibrateurs
- etc

LES AOPs: Généralités

- Symboles et notations



- Circuits intégrés (ELA2...) alimentés!

LES AOPs:

Caractéristique de transfert

$$V_s = A_{vd} \cdot (V^+ - V^-) + A_{vc} \frac{(V^+ + V^-)}{2}$$

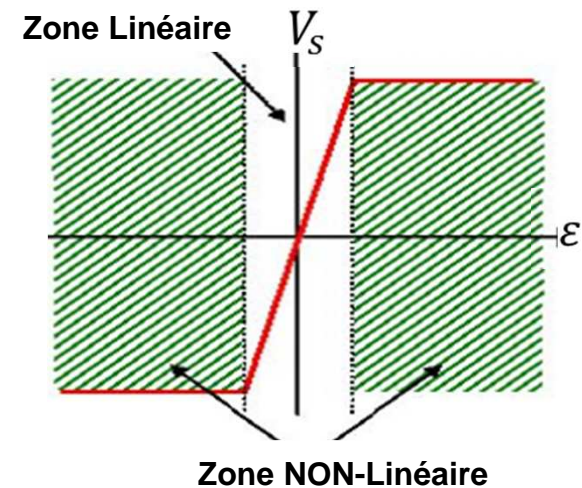
Gain différentiel >> Gain mode commun <<

$$V_s = A_{vd} \cdot (V^+ - V^-) = A_{vd} \cdot \varepsilon$$

avec $\varepsilon = (V^+ - V^-)$

La dynamique d'entrée différentielle vaut donc:

$$\varepsilon = \frac{\pm V_{dd}}{A_{vd}}$$

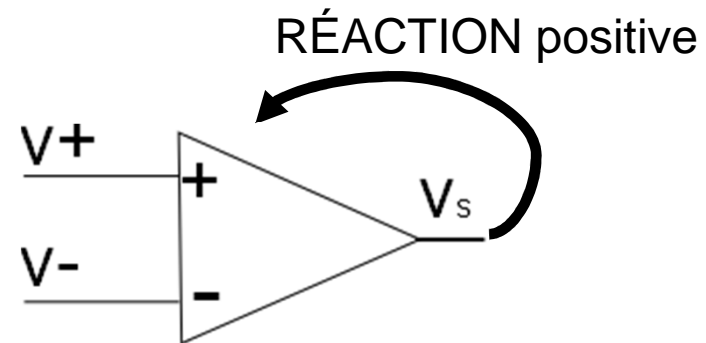
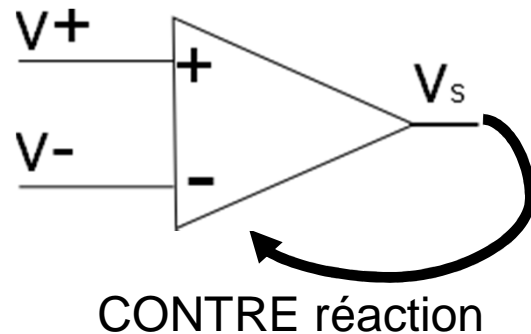


Caractéristique $V_s = f(\varepsilon)$

LES AOPs: Régimes de fonctionnement

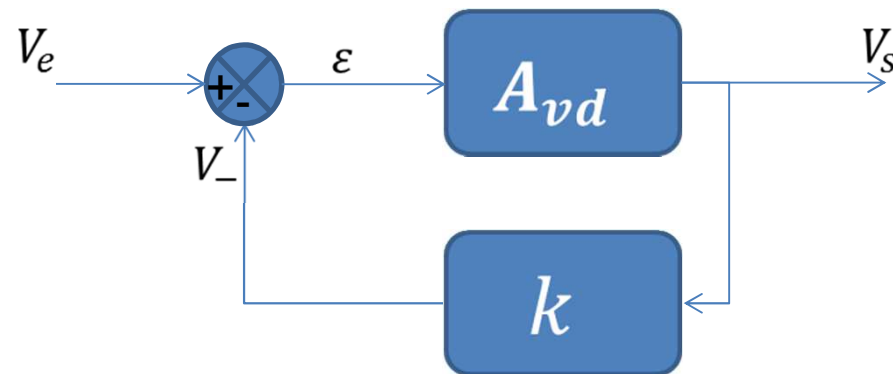
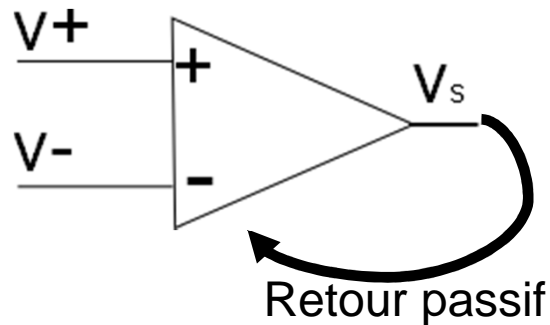
Le régime linéaire fonctionne:

- En boucle ouverte sur qq $100\mu\text{V}$
- => En boucle fermée (selon la réaction)



LES AOPs: Régimes de fonctionnement

- Cas de la CONTRE Réaction:



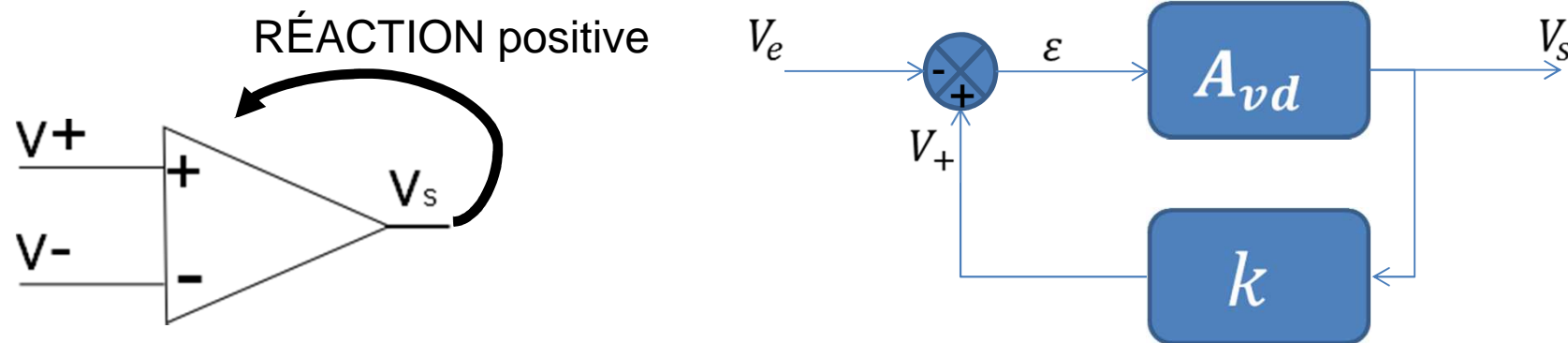
- Etude qualitative de la stabilité: Pour V_e fixé

$$V_s \uparrow \Rightarrow V_- \uparrow \Rightarrow \varepsilon \downarrow \Rightarrow V_s \downarrow$$

Le régime est LINEAIRE

LES AOPs: Régimes de fonctionnement

- Cas de la Réaction positive:



- Etude qualitative de la stabilité: Pour V_e fixé

$$V_s \uparrow \Rightarrow V_+ \uparrow \Rightarrow \varepsilon \uparrow \Rightarrow V_s \uparrow$$

Le régime est NON-LINEAIRE (ou Saturation)

LES AOPs: Ampli Op Parfait et Imperfections

On considère, sauf mention contraire, les AOPs parfaits:

$$- A_{vd} = \infty \Rightarrow \varepsilon = 0 \Rightarrow \mathbf{V_+ = V_-}$$

$$- Z_{in} = \infty \Rightarrow \mathbf{i_+ = i_- = 0}$$

$$- Z_{out} = 0$$

$$- V_{sat} = +/- V_{dd}$$

LES AOPs: Ampli Op Parfait et Imperfections

Dans certains cas on prends en compte les imperfections:

- $Z_{in} = 1 \text{ à } 100 \text{ M}\Omega$
- $Z_{out} = \text{qq } 10 \text{ }\Omega$
- i_+ et i_- quelques micro à pico-Ampères
- Présence d'une tension d'offset (décalage)
- $A_{vd} \geq 10^5$
- TRMC (80 à 120dB)
- Slew Rate
- GBW (Produit gain bande)

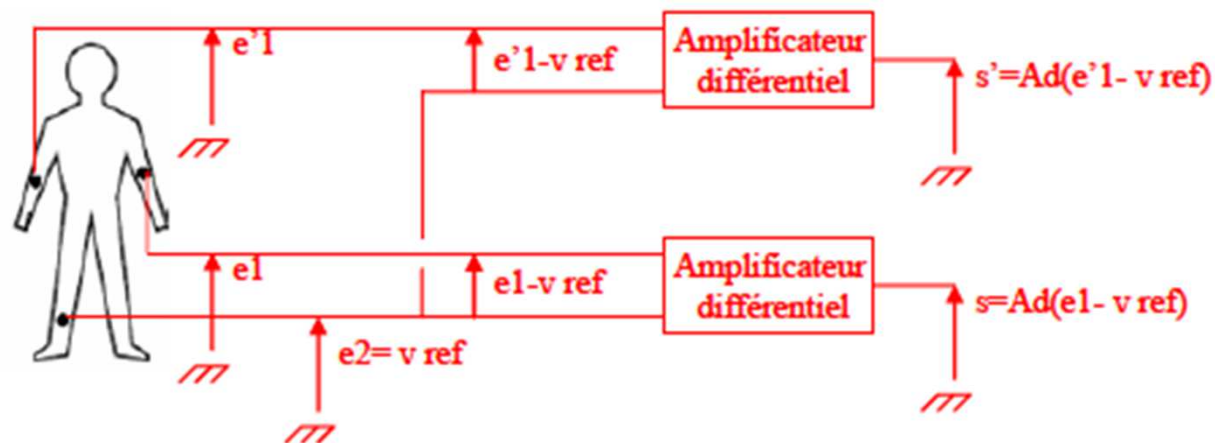
LES AOPs en régime linéaire: Montage de base



- Suiveur
- Non-Inverseur
- Inverseur
- Sommateur / Soustracteur
- Convertisseur Courant/Tension

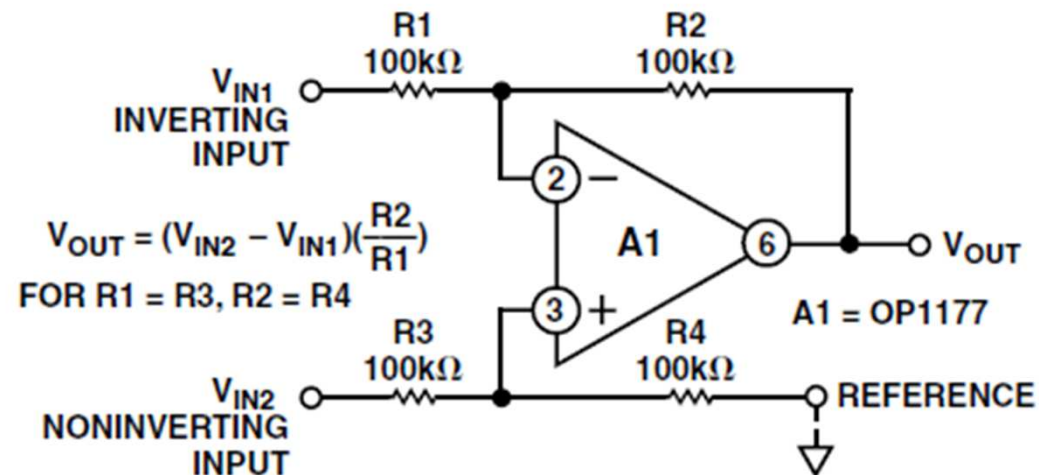
LES AOPs en régime linéaire: Montage de base

- Intégrateur / Dérivateur
- Différence
- instrumentation



LES AOPs en régime linéaire: Montage de base

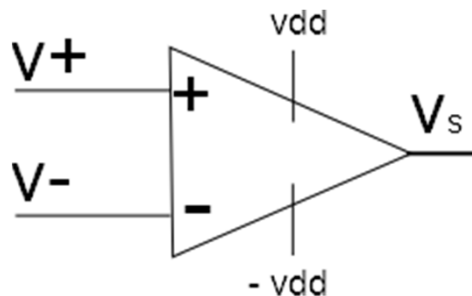
- Différence
- instrumentation



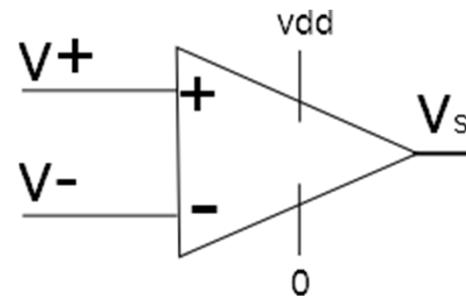
Cas des alimentations asymétriques

- Cas des alimentations sur batterie (application portable)
 - Gain de place
 - Mise en œuvre subtile
 - Exploitation de la dynamique max sortie (rail to rail)
 - Gestion des signaux d'entrée négatifs (mode commun)

Masse virtuelle 0 (V)

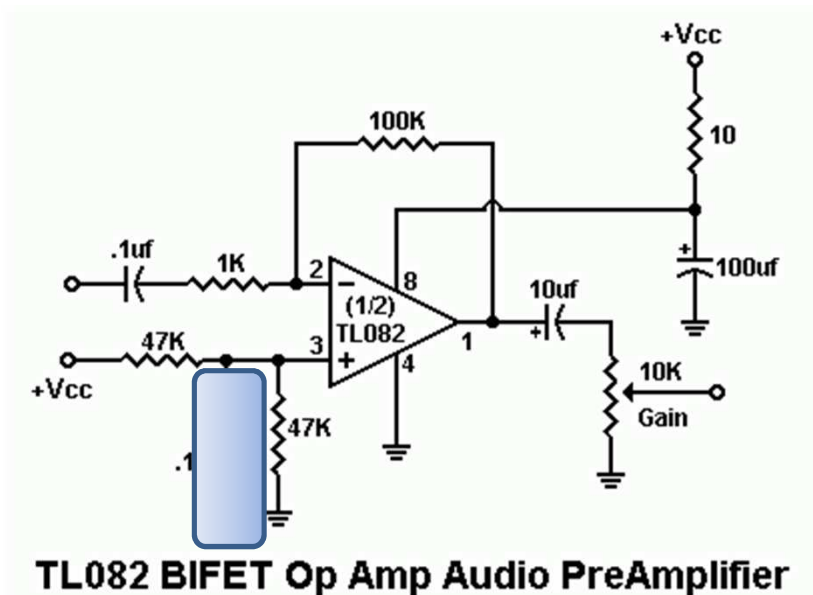
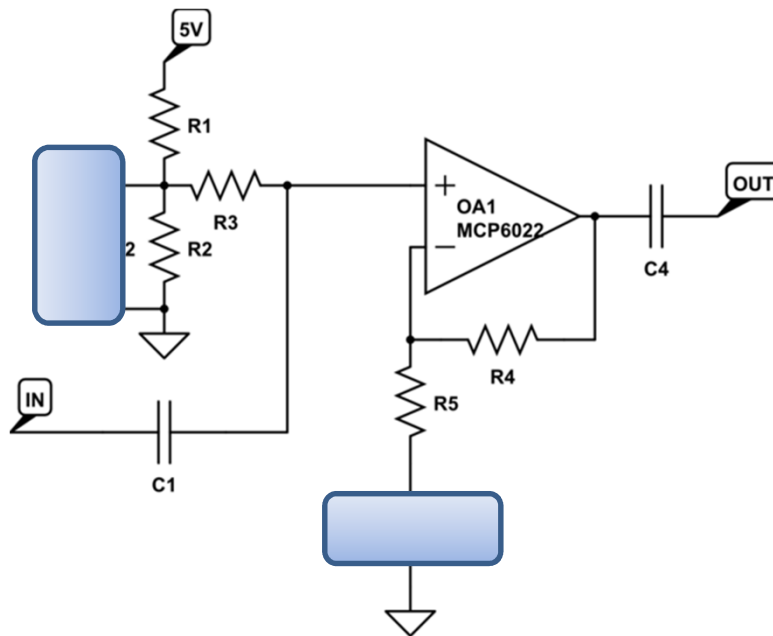


Masse dynamique $\frac{V_{dd}}{2}$ (V)



Cas des alimentations asymétriques

- Construction de la tension de référence:
 - à partir d'un pont diviseur
 - Sans oublier quelques condensateurs au besoin ...



Le Comparateur Simple: AOP en boucle ouverte

- Amplificateur en **régime SATURE**

$$\Rightarrow \varepsilon = v_+ - v_- \neq 0$$

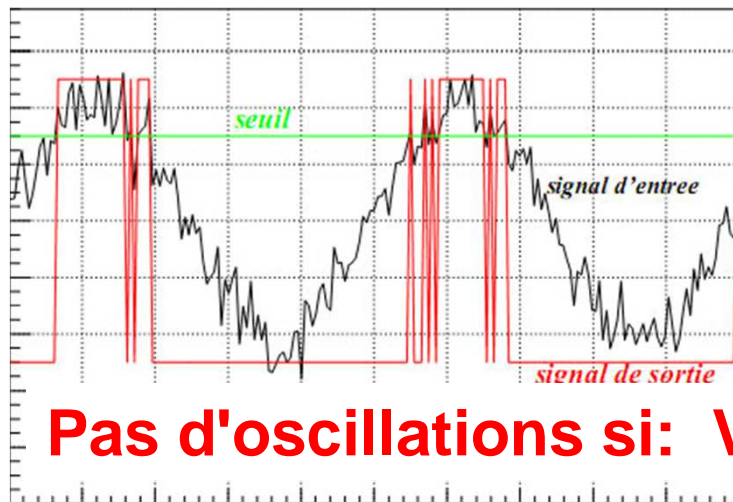
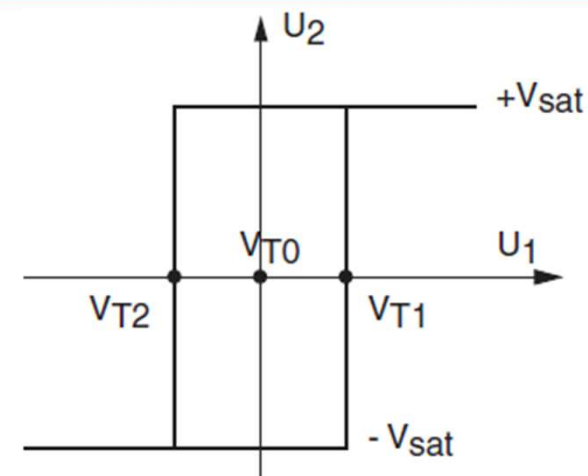
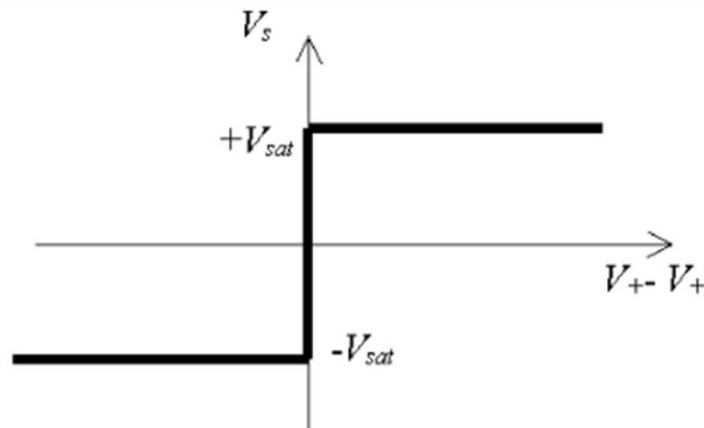
\Rightarrow Seuil de basculement définit pour $\varepsilon = 0$

Si ε Négatif \Rightarrow saturation basse $V_{sat} = -V_{dd}$

Si ε Positif \Rightarrow saturation haute $V_{sat} = +V_{dd}$



Le comparateur à hystérésis



Pas d'oscillations si: $V_{T1} - V_{T2} > \text{amplitude des fluctuations}$

Le comparateur à hystérésis

- Amplificateur en **régime SATURE**

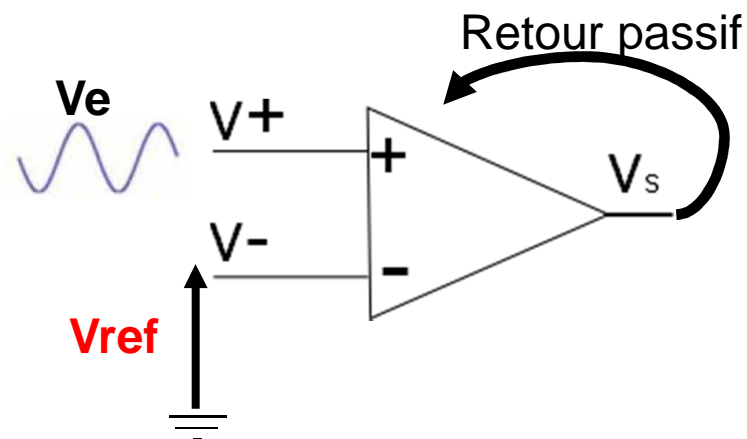
$$\Rightarrow \varepsilon = v_+ - v_- \neq 0$$

\Rightarrow Seuil de basculement définit pour $\varepsilon = 0$

Si ε Négatif \Rightarrow saturation basse $V_{sat} = -V_{dd}$

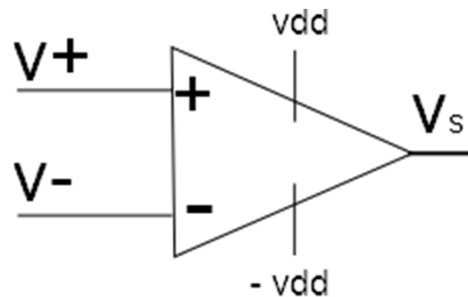
Si ε Positif \Rightarrow saturation haute $V_{sat} = +V_{dd}$

- Fonctionnement avec Réaction positive



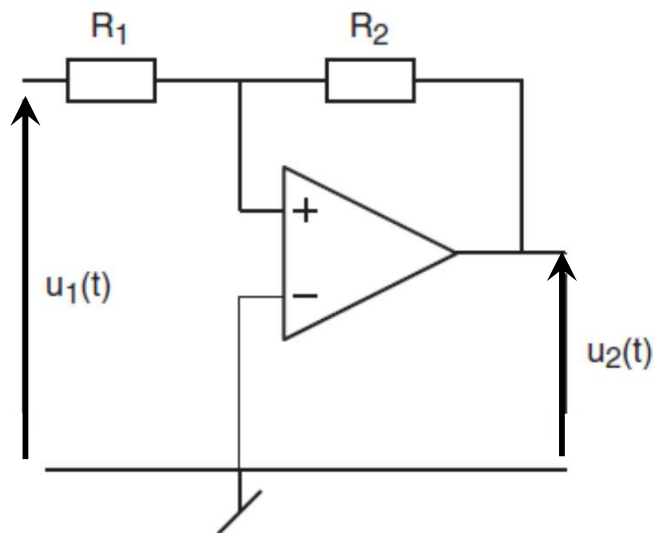
Le comparateur à hystérésis

- Pour réaliser des comparateurs à **seuils symétriques**, il faut:
 - un AO alimenté symétriquement $+/- V_{dd}$
 - une tension de référence nulle : $V_{ref} = 0$

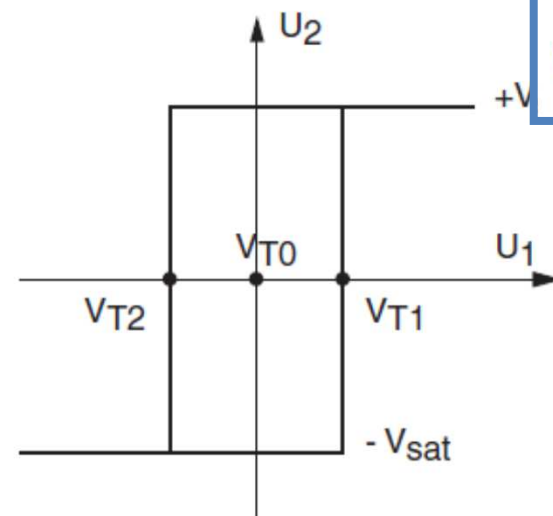


Le comparateur à hystérésis

A seuils symétriques Non inverseur



$$u_1(t) = \begin{pmatrix} V_{T1} \\ V_{T2} \end{pmatrix} = \pm V_{sat} \frac{R_1}{R_2}$$



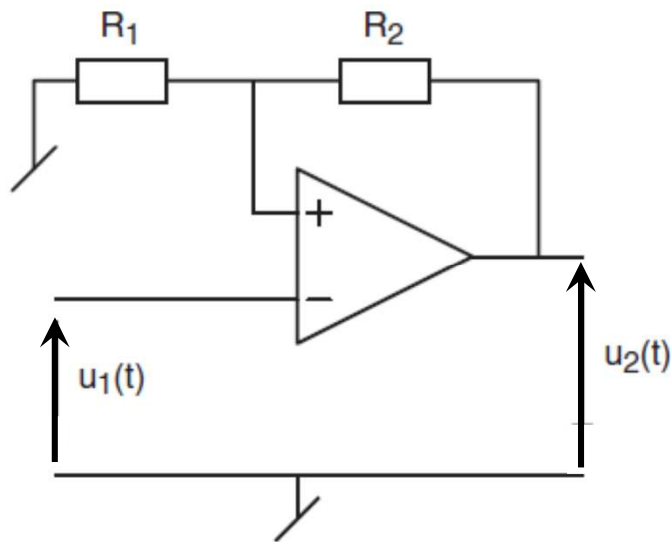
$$V_{T0} = \frac{V_{T1} + V_{T2}}{2}$$

$$V_{T0} = 0$$

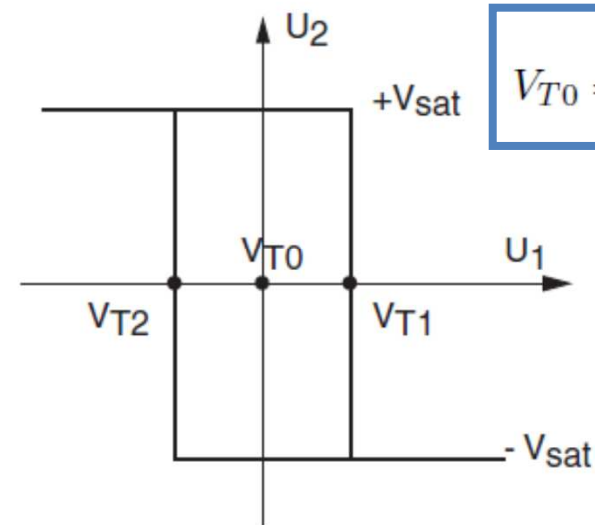
$$\Delta V_T \equiv V_{T1} - V_{T2} = 2 V_{sat} \frac{R_1}{R_2}$$

Le comparateur à hystérésis

A seuils symétriques Inverseur



$$u_1(t) = \begin{pmatrix} V_{T1} \\ V_{T2} \end{pmatrix} = \pm V_{sat} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



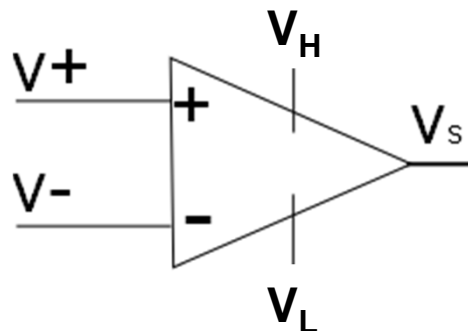
$$V_{T0} = \frac{V_{T1} + V_{T2}}{2}$$

$$V_{T0} = 0$$

$$\Delta V_T \equiv V_{T1} - V_{T2} = 2 V_{sat} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

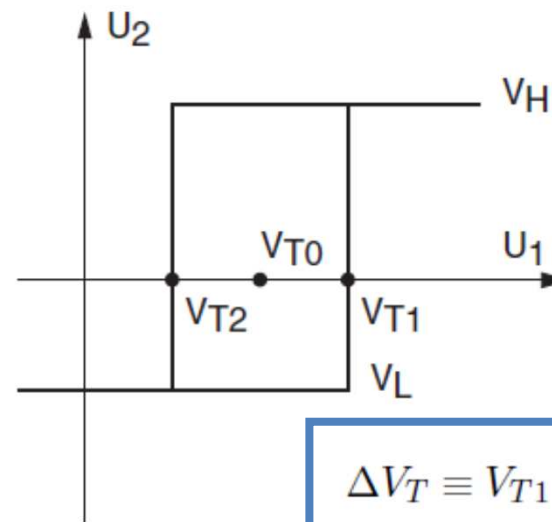
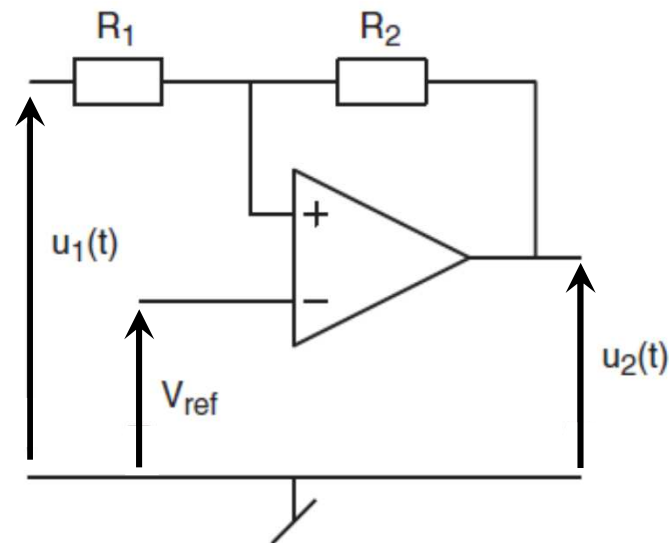
Le comparateur à hystérésis

- Pour réaliser des comparateurs à **seuils** variables, il faut:
 - Une alimentation asymétrique
 - Une sortie indépendante de $+/- V_{dd}$
 \Rightarrow Collecteur / Drain ouvert
 - déplacer le centre du cycle en prenant : $V_{ref} \neq 0$.



Le comparateur à hystérésis

A seuils asymétriques Non inverseur



$$V_{T0} = \frac{V_{T1} + V_{T2}}{2}$$

$$\Delta V_T \equiv V_{T1} - V_{T2} = (V_H - V_L) \frac{R_1}{R_2}$$

$$u_1(t) = \begin{pmatrix} V_{T1} \\ V_{T2} \end{pmatrix} = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - \begin{pmatrix} V_L \\ V_H \end{pmatrix} \frac{R_1}{R_2}$$

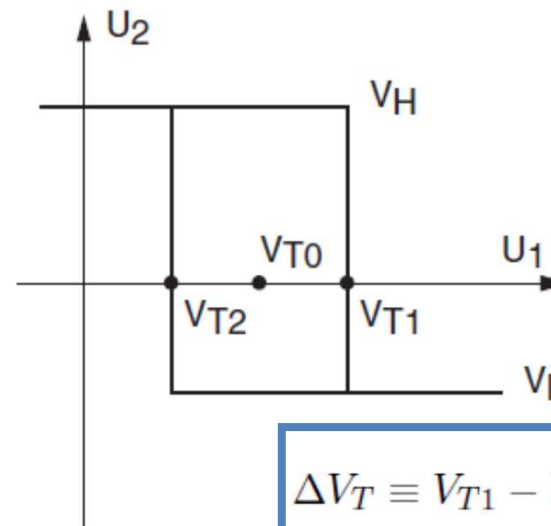
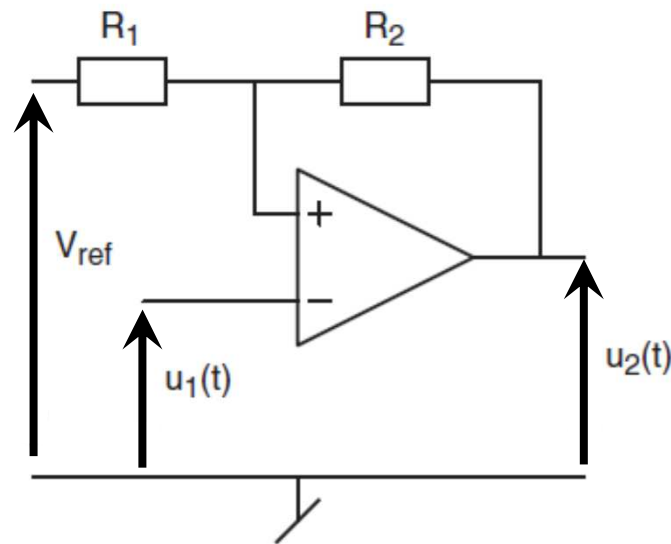
Alimentations symétriques

$$\Delta V_T \equiv V_{T1} - V_{T2} = 2 V_{sat} \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_{T0} = V_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Le comparateur à hystérésis

A seuils asymétriques Inverseur



$$V_{T0} = \frac{V_{T1} + V_{T2}}{2}$$

$$\Delta V_T \equiv V_{T1} - V_{T2} = (V_H - V_L) \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$u_1(t) = \begin{pmatrix} V_{T1} \\ V_{T2} \end{pmatrix} = V_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \begin{pmatrix} V_H \\ V_L \end{pmatrix} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Alimentations symétriques

$$\Delta V_T \equiv V_{T1} - V_{T2} = 2V_{sat} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

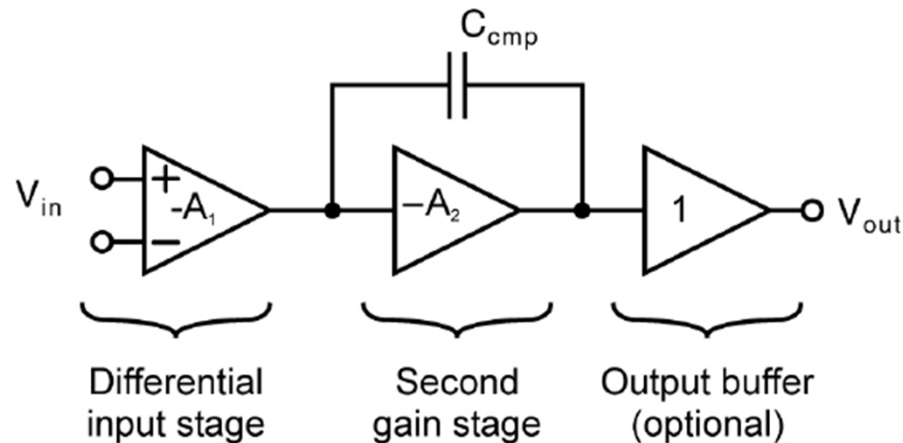
$$V_{T0} = V_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Performances des comparateurs



- Qu'est ce qu'un comparateur?
 - Un amplificateur rapide
 - Faible limitation en fréquence dues à la compensation
 - Recherche de stabilité pour AOP
 - Temps de bascule fixe et faible

COMPARATEURS vs AOPs



- Gain élevé
- Bande passante large
- Stabilité / Rapidité
- Dynamique de sortie
- Rapidité
- Faible offset
- Sortie Adaptable
- Dynamique entrée

Performances des comparateurs

AOF

6.5 Electrical Characteristics, TL07xC, TL07xAC, TL07xBC, TL07xI

$V_{CC} \pm = \pm 15$ V (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS ⁽¹⁾		T _A ⁽²⁾	TL071C, TL072C, TL074C			TL071AC, TL072AC, TL074AC			TL071BC, TL072BC, TL074BC			TL071I, TL072I, TL074I			UNIT
					MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO}	Input offset voltage	V _O = 0, R _B = 50 Ω	25°C	3	10	3	6	2	3	3	6	mV					
			Full range	13	7.5	5	8										
°V _{IO}	Temperature coefficient of input offset voltage	V _O = 0, R _B = 50 Ω	Full range	18	18	18	18	μV/°C									
I _{IO}	Input offset current	V _O = 0	25°C	5	100	5	100	5	100	5	100	pA					
			Full range	10	2	2	2	nA									
I _{IB}	Input bias current ⁽³⁾	V _O = 0	25°C	65	200	65	200	65	200	65	200	pA					
			Full range	7	7	7	7	nA									
V _{ICR}	Common-mode input voltage range		25°C	±11	-12 to 15	±11	-12 to 15	±11	-12 to 15	±11	-12 to 15	V					
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	R _L = 10 kΩ	25°C	±12	±13.5	±12	±13.5	±12	±13.5	±12	±13.5	V					
		R _L ≥ 10 kΩ	Full range	±12	±12	±12	±12	±12									
		R _L ≥ 2 kΩ		±10	±10	±10	±10										
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification	V _O = ±10 V, R _L ≥ 2 kΩ	25°C	25	200	50	200	50	200	50	200	V/mV					
			Full range	15	25	25	25										
B ₁	Unity-gain bandwidth		25°C	3	3	3	3	MHz									
r _i	Input resistance		25°C	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹²	10 ¹²	Ω									
CMRR	Common-mode rejection ratio	V _{IC} = V _{ICRmin} , V _O = 0, R _B = 50 Ω	25°C	70	100	75	100	75	100	75	100	dB					
k _{SVR}	Supply-voltage rejection ratio (ΔV _{CC} /ΔV _{IO})	V _{CC} = ±9 V to ±15 V, V _O = 0, R _B = 50 Ω	25°C	70	100	80	100	80	100	80	100	dB					
I _{CC}	Supply current (each amplifier)	V _O = 0, No load	25°C	1.4	2.5	1.4	2.5	1.4	2.5	1.4	2.5	mA					
V _{O1} /V _{O2}	Crosstalk attenuation	A _{VD} = 100	25°C	120	120	120	120	dB									

(1) All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage, unless otherwise specified.

(2) Full range is $T_A = 0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$ for TL07_C, TL07_AC, TL07_BC and is $T_A = -40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$ for TL07_I.

(3) Input bias currents of an FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive, as shown in Figure 1. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

Performances de Voltage Comparateur

- Push-pull CMOS output (no external pull-up resistor required)
- Extremely low supply current: 9µA typ / comparator
- Wide single supply range: 2.7V to 16V or dual supplies ($\pm 1.35V$ to $\pm 8V$)
- Extremely low input bias current: 1pA typ
- Extremely low input offset currents: 1pA typ
- Input common-mode voltage range includes GND
- High input impedance: $10^{12}\Omega$ typ
- Fast response time: 2µs typ for 5mV overdrive
- Pin-to-pin and functionally compatible with bipolar LM393

Figure



Electrical characteristics

Table 3. $V_{CC}^+ = 3V$, $V_{CC}^- = 0V$, $T_{amb} = 25^\circ C$ (unless otherwise specified)

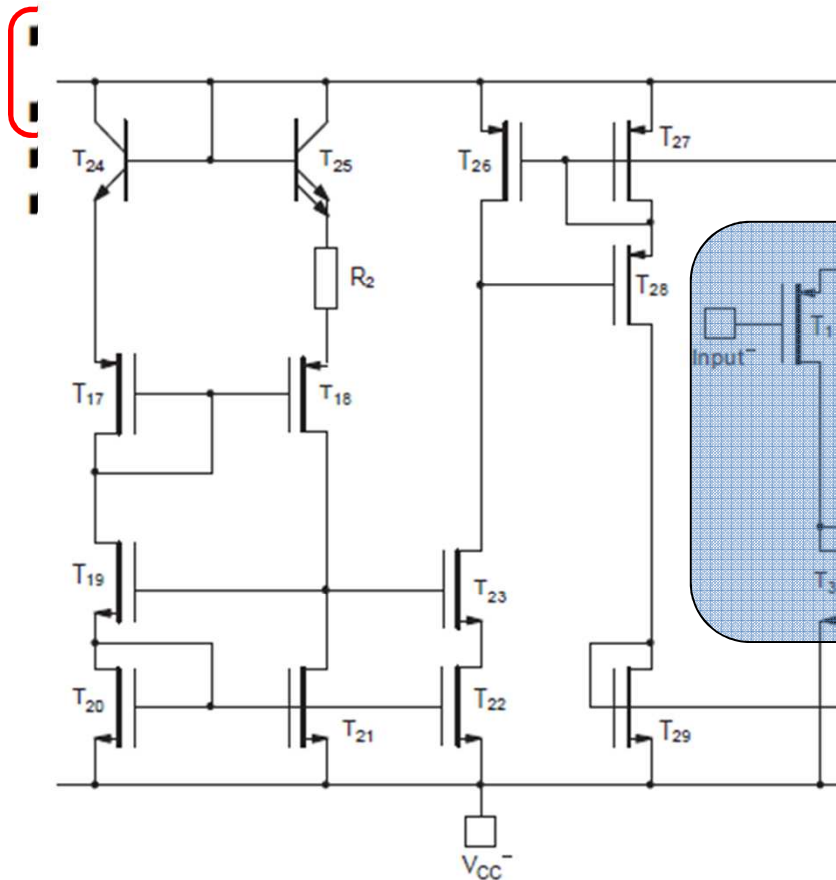
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{IO}	Input offset voltage ⁽¹⁾ $V_{IC} = 1.5V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			5 6.5	mV
I_{IO}	Input offset current ⁽²⁾ $V_{IC} = 1.5V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	300	pA
I_{IB}	Input bias current ⁽²⁾ $V_{IC} = 1.5V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	600	pA
V_{ICM}	Input common mode voltage range $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.2$ $V_{CC}^+ - 1.5$	V
CMR	Common-mode rejection ratio $V_{IC} = V_{ICM min}$		80		dB
SVR	Supply voltage rejection ratio $V_{CC}^+ = 3V$ to $5V$		75		dB
V_{OH}	High level output voltage $V_{ID} = 1V$, $I_{OH} = -4mA$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	2 1.8	2.4		V
V_{OL}	Low level output voltage $V_{ID} = -1V$, $I_{OL} = 4mA$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		300	400 575	mV
I_{CC}	Supply current (each comparator) No load - Outputs low $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		7	20 25	µA
t_{PLH}	Response time low to high $V_{IC} = 0V$, $f = 10kHz$, $C_L = 50pF$, overdrive = 5mV TTL input		1.5 0.7		µs
t_{PHL}	Response time high to low $V_{IC} = 0V$, $f = 10kHz$, $C_L = 50pF$, overdrive = 5mV TTL input		2.2 0.15		µs

1. The specified offset voltage is the maximum value required to drive the output up to 2.5V or down to 0.3V.

2. Maximum values include unavoidable inaccuracies of the industrial tests.

Performances des c Amplificateur TS272

■ OUTPUT VOLTAGE CAN SWING TO



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

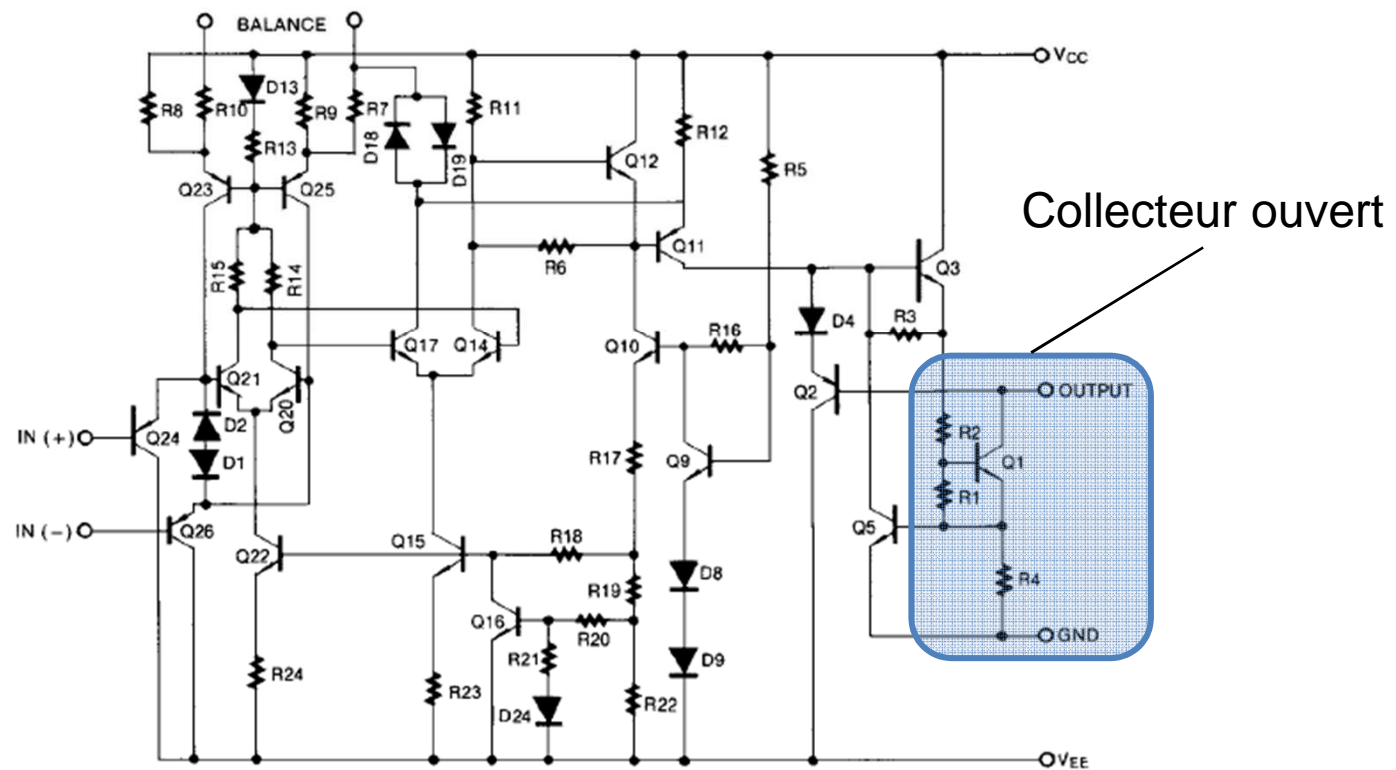
$V_{CC}^+ = +10V$, $V_{CC}^- = 0V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TS272C/AC/BC			TS272I/AI/BI TS272M/AM/BM			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{IO}	Input Offset Voltage $V_O = 1.4V$, $V_{IC} = 0V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.1 0.9 0.25	10 5 2		1.1 0.9 0.25	10 5 2	mV
DV_{IO}	Input Offset Voltage Drift		2			2		$\mu V/^\circ C$
I_{IO}	Input Offset Current note 1) $V_{IC} = 5V$, $V_O = 5V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	100		1	200	pA
I_{IB}	Input Bias Current - see note 1 $V_{IC} = 5V$, $V_O = 5V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	150		1	300	pA
V_{OH}	High Level Output Voltage $V_{ID} = 100mV$, $R_L = 10k\Omega$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	8.2 8.1	8.4		8.2 8	8.4		V
V_{OL}	Low Level Output Voltage $V_{ID} = -100mV$			50			50	mV
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain $V_{IC} = 5V$, $R_L = 10k\Omega$, $V_O = 1V$ to $6V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 7	15		10 6	15		V/mV
GBP	Gain Bandwidth Product $A_v = 40dB$, $R_L = 10k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f_{in} = 100kHz$		3.5			3.5		MHz
CMR	Common Mode Rejection Ratio $V_{IC} = 1V$ to $7.4V$, $V_O = 1.4V$	65	80		65	80		dB
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio $V_{CC}^+ = 5V$ to $10V$, $V_O = 1.4V$	60	70		60	70		dB
I_{CC}	Supply Current (per amplifier) $A_v = 1$, no load, $V_O = 5V$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1000	1500 1600		1000	1500 1700	μA
I_O	Output Short Circuit Current $V_O = 0V$, $V_{ID} = 100mV$		60			60		mA
I_{sink}	Output Sink Current $V_O = V_{CC}^-$, $V_{ID} = -100mV$		45			45		mA
SR	Slew Rate at Unity Gain $R_L = 10k\Omega$, $C_L = 100pF$, $V_I = 3$ to $7V$		5.5			5.5		V/ μs
ϕ_m	Phase Margin at Unity Gain $A_v = 40dB$, $R_L = 10k\Omega$, $C_L = 100pF$		40			40		Degrees
KOV	Overshoot Factor		30			30		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz$, $R_s = 100\Omega$		30			30		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
V_{O1}/V_{O2}	Channel Separation		120			120		dB

1. Maximum values including unavoidable inaccuracies of the industrial test.

Performances des comparateurs LM311

Schematic Diagram



Performances des comparateurs LM311

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

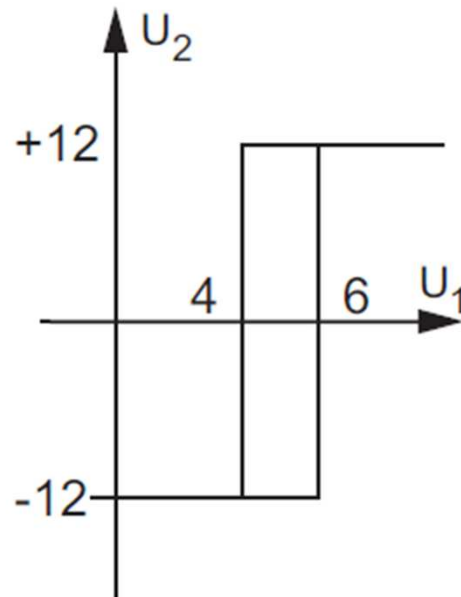
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 50K\Omega$	-	1.0	7.5	mV
		Note 1	-	-	10	
Input Offset Current	I_{IO}		-	6	50	nA
		Note 1	-	-	70	
Input Bias Current	I_{BIAS}		-	100	250	nA
		Note 1	-	-	300	
Voltage Gain	G_V	-	40	200	-	V/mV
Response Time	T_{RES}	Note 2	-	200	-	ns
Saturation Voltage	V_{SAT}	$I_O = 50mA, V_I \leq -10mV$	-	0.75	1.5	V
		$V_{CC} \geq 4.5V, V_{EE} = 0V$ $I_O = 8mA, V_I \leq -10mV$, Note 1	-	0.23	0.4	
Strobe "ON" Current	$I_{STR(ON)}$	-	-	3	-	mA
Output Leakage Current	I_{SINK}	$I_{STR} = 3mA, V_I \geq 10mV$ $V_O = 15V, V_{CC} = \pm 15V$	-	0.2	50	nA
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note 1	-14.5 to 13.0	-14.7 to 13.8	-	V
Positive Supply Current	I_{CC}	-	-	3.0	7.5	mA
Negative Supply Current	I_{EE}	-	-	-2.2	-5.0	mA
Strobe Current	I_{STR}	-	-	3	-	mA

COMPARATEUR vs AOPs

- AOP non idéal ...
 - Gain non infini
 \Rightarrow basculent à $\varepsilon = \frac{\pm V_{dd}}{A_{vd}}$ c'est la **sensibilité comparateur**
 - Offset \Rightarrow déplace le centre de l'hystérésis
 - Ampli rail to rail
- Critères importants dans un comparateur:
 - Fréquence de fonctionnement
 - Temps de basculement
 - Adaptation des niveaux de tension de sortie
 - Faible niveau des tensions de déchets

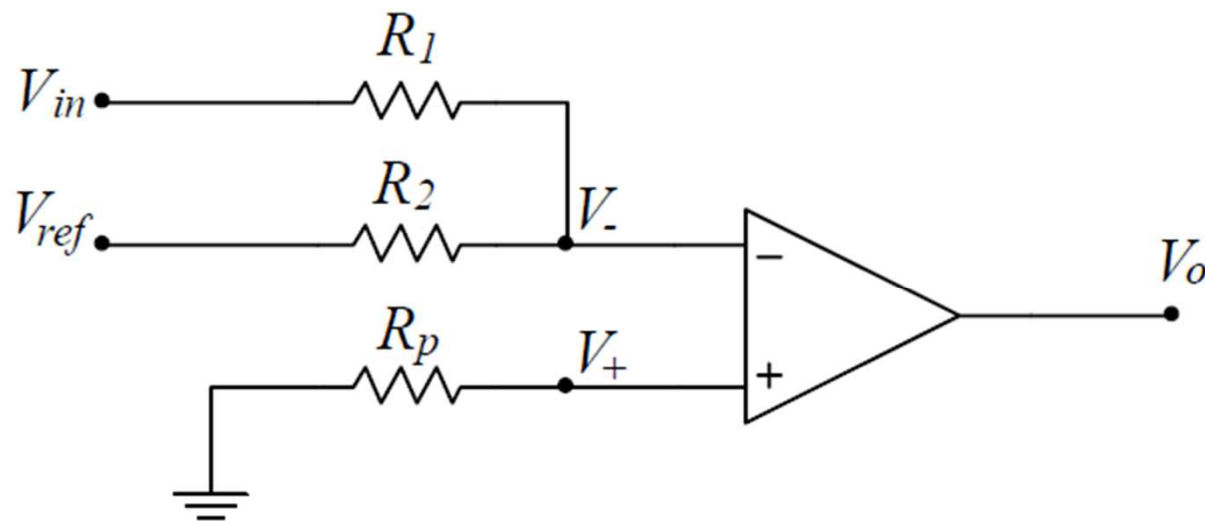
EXERCICES D'APPLICATION

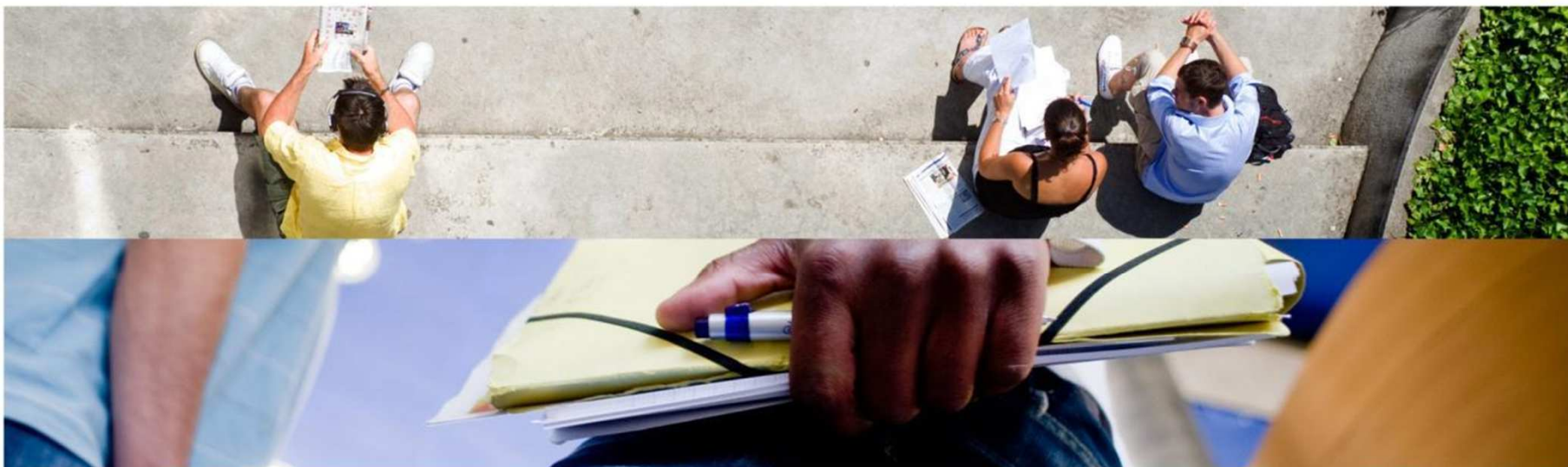
- Proposez un schéma permettant de réaliser la caractéristique de transfert suivante.



EXERCICES D'APPLICATION

- Tracer la caractéristique de transfert





MERCI DE VOTRE ATTENTION !

L. LABRAK

membre de  UNIVERSITÉ DE LYON


CPE
LYON
ÉCOLE SUPÉRIEURE
DE CHIMIE PHYSIQUE ÉLECTRONIQUE
DE LYON