



LPNHE PARIS



# Utilisation des Amplis OP

La Londe les Maures 2008

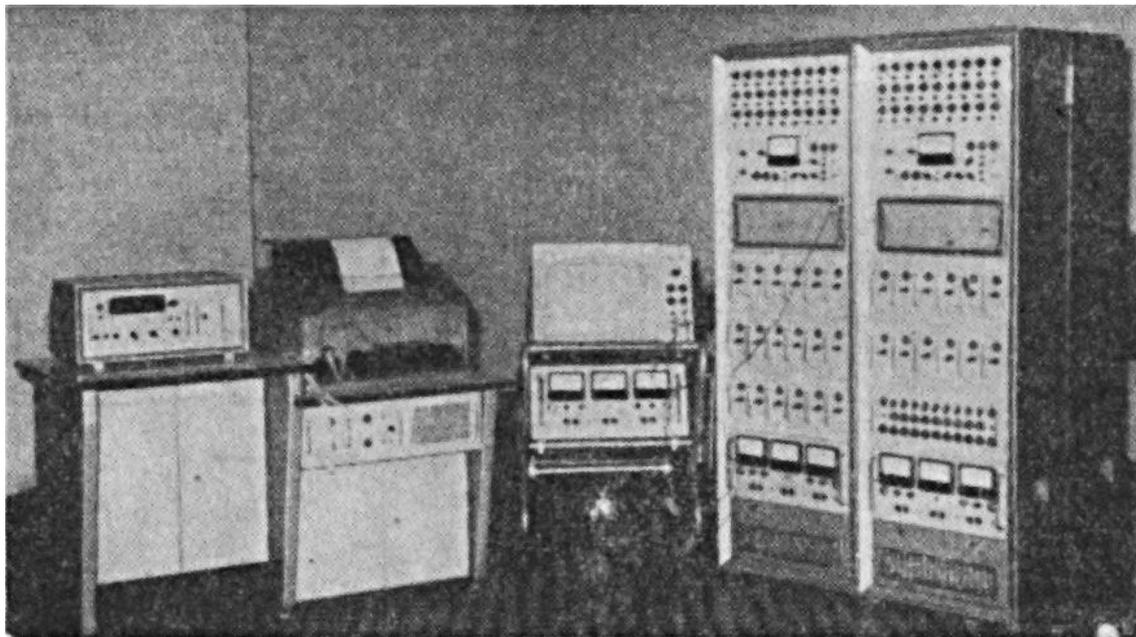
[http://lpnhe-electronique.in2p3.fr/rv/utilisation des amplis op.pdf](http://lpnhe-electronique.in2p3.fr/rv/utilisation%20des%20amplis%20op.pdf)

## Historique

Operational Amplifier : Né en 1947

Utilisés dans les calculateurs analogiques

1961 Ampli op à transistor



Calculateur analogique ELWAT (1967)



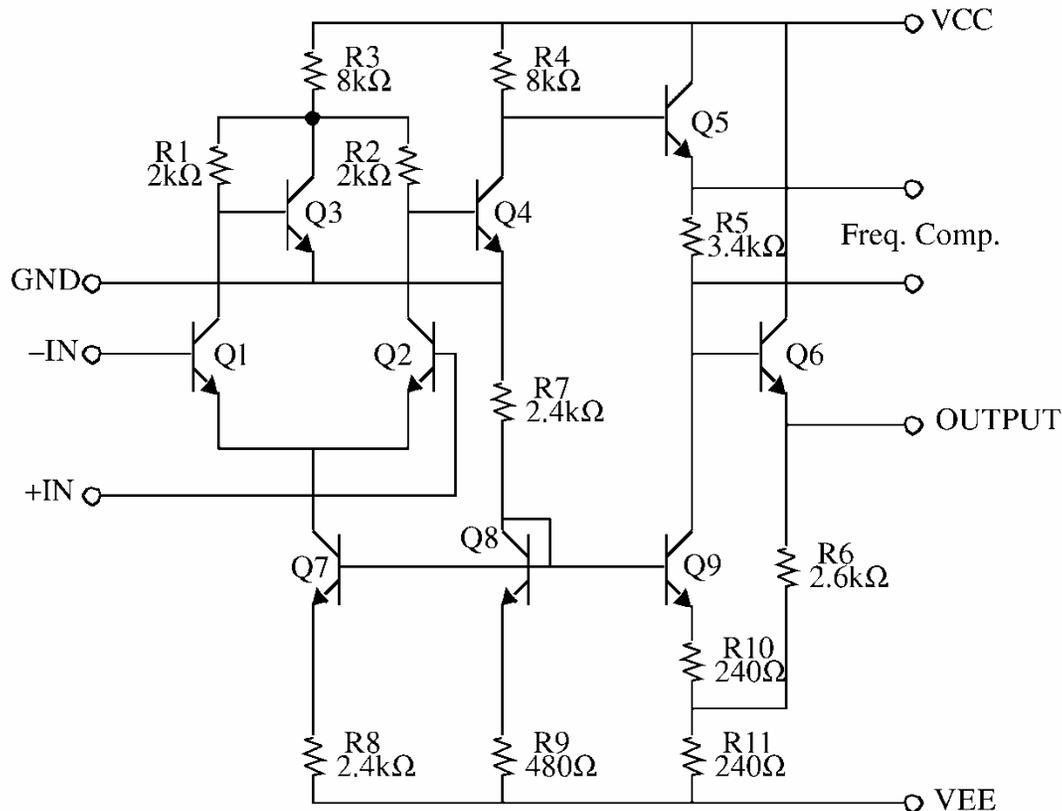
AOP à tubes K2-W  
(1953)

Premier ampli op intégré :  $\mu A702$  de Fairchild 1962 (150\$ - 300\$)

Puis  $\mu A709$  du même constructeur en 1965 (70\$)

$\mu A741$  en 1968 (2\$ en 1969)

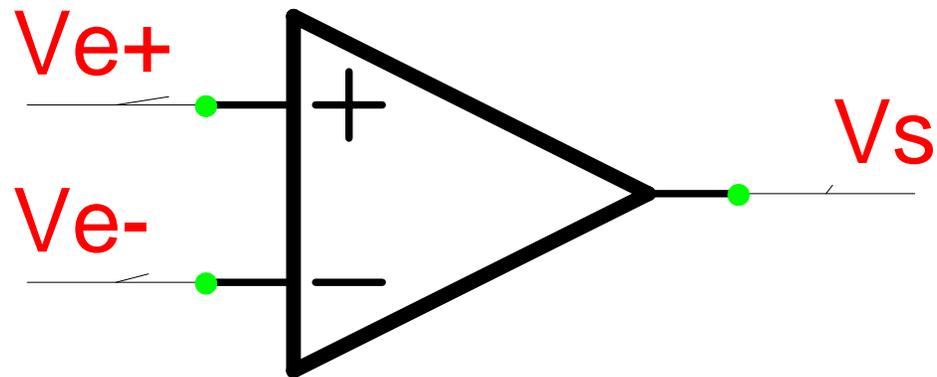
FIGURE 1.  $\mu A702A$



Zoologie:

4 configurations possibles :

$I_s = G \cdot I_e$	convoyeur de courant
$V_s = Z \cdot I_e$	transimpédance
$I_s = G_m \cdot V_e$	transconductance
$V_s = G \cdot V_e$	ampli opérationnel de tension



Caractéristiques :

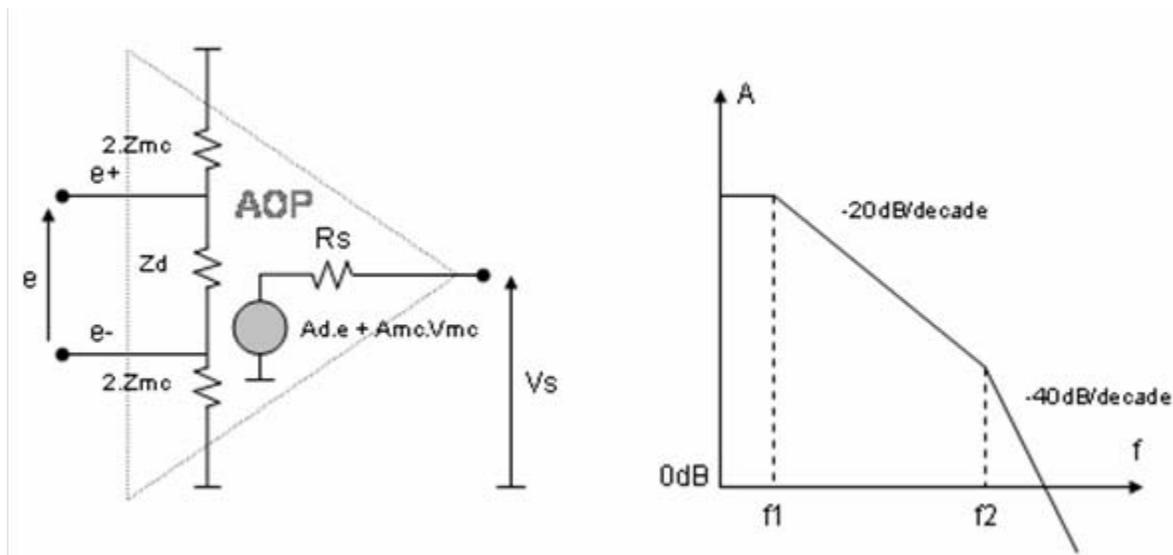
Gain différentiel, gain de mode commun :

$$S = G_{\text{diff}} (e^+ - e^-) + G_{\text{cm}} (e^+ + e^-)$$

$$G_{\text{diff}} = G_0 / (1 + j\omega/\omega_0) \quad (60 \text{ à } 130\text{dB})$$

Taux de réjection de mode commun

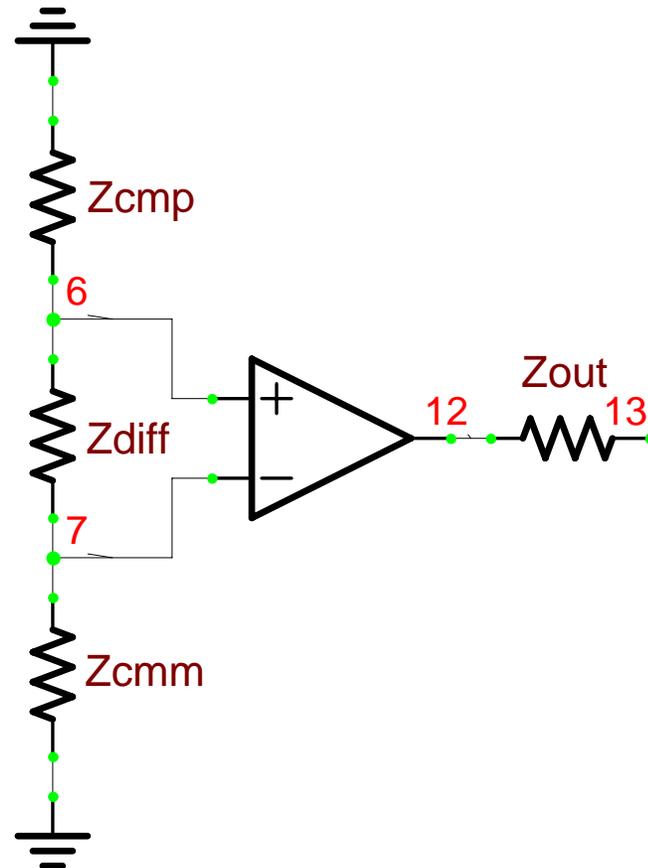
$$\text{CMRR} = G_{\text{diff}} / G_{\text{cm}} \quad (70 \text{ à } 130\text{dB en continu})$$



# Impédances d'entrée et de sortie

$Z_{diff}$      $Z_{mc}$     entre 10 et  $10^{12} \Omega$   
en parallèle avec C jusqu'à 25pF

$Z_{out}$     50 à ...  $\Omega$



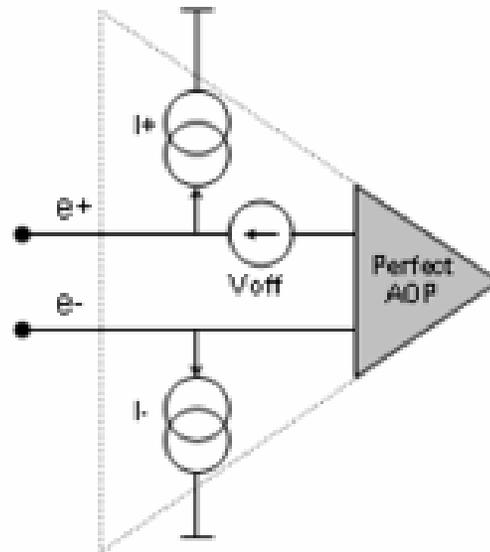
# Tension de décalage et courants d'entrée

$V_0$  entre  $1\mu V$  et  $50mV$   
variations de  $0,1$  à  $qq10\mu V/^\circ C$

Courant d'entrée  $I_e = (I_+ + I_-)/2$

$qq fA$  à  $qq \mu A/^\circ C$

Courant d'offset  $I_o = |I_+ - I_-|$



Bande passante :

La fonction de transfert en boucle ouverte (BO) des AOP est un filtre passe bas (FPB) à plusieurs pôles.

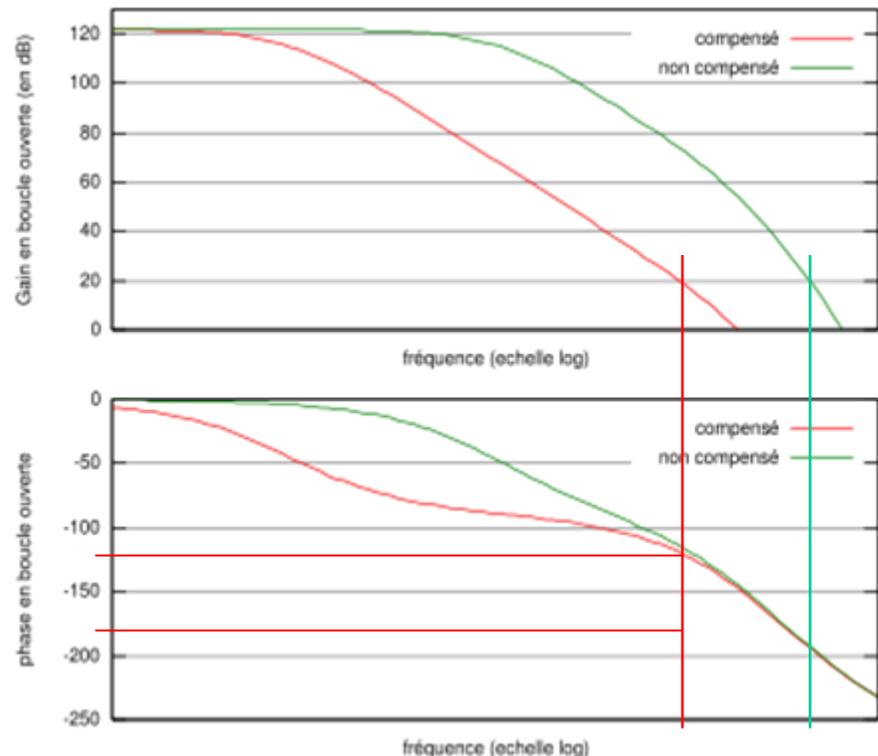
En général, la bande passante en BO est diminuée volontairement par l'ajout d'un condensateur dans l'étage de gain afin d'assurer une bonne stabilité en boucle fermée.

Stabilité :

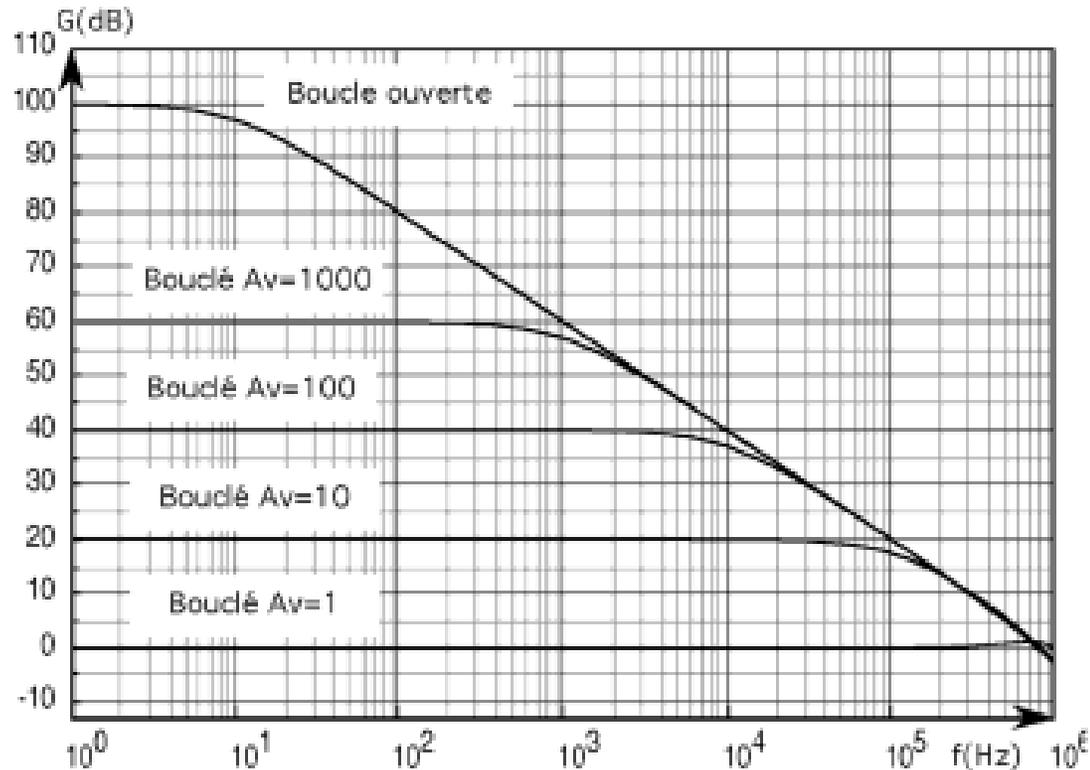
marge de phase / marge de gain

Certains AOP ne sont pas compensés et ne sont pas stables en dessous un certain gain.

(bufstable)



- Ft = fréquence de transition
- = produit gain\* bande (si un seul pôle avant 0dB)
- = fréquence pour laquelle le gain vaut 1



Taux de réjection d'alimentation:

PSRR =  $20 \cdot \log(\Delta V_{cc} / \Delta V_s)$  dépend de la fréquence

gainbandeVFOA  
gainbandeCFOA

Slew Rate (SR), vitesse de balayage :

$SR = \max dV_s/dt$ , en général exprimé en  $V/\mu s$

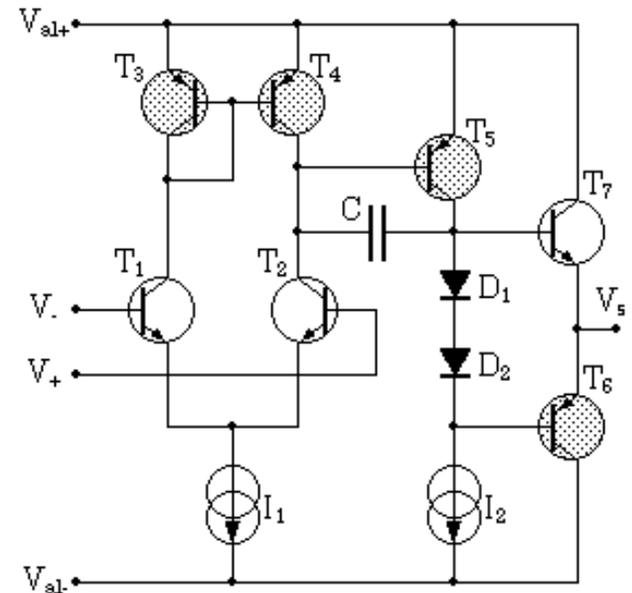
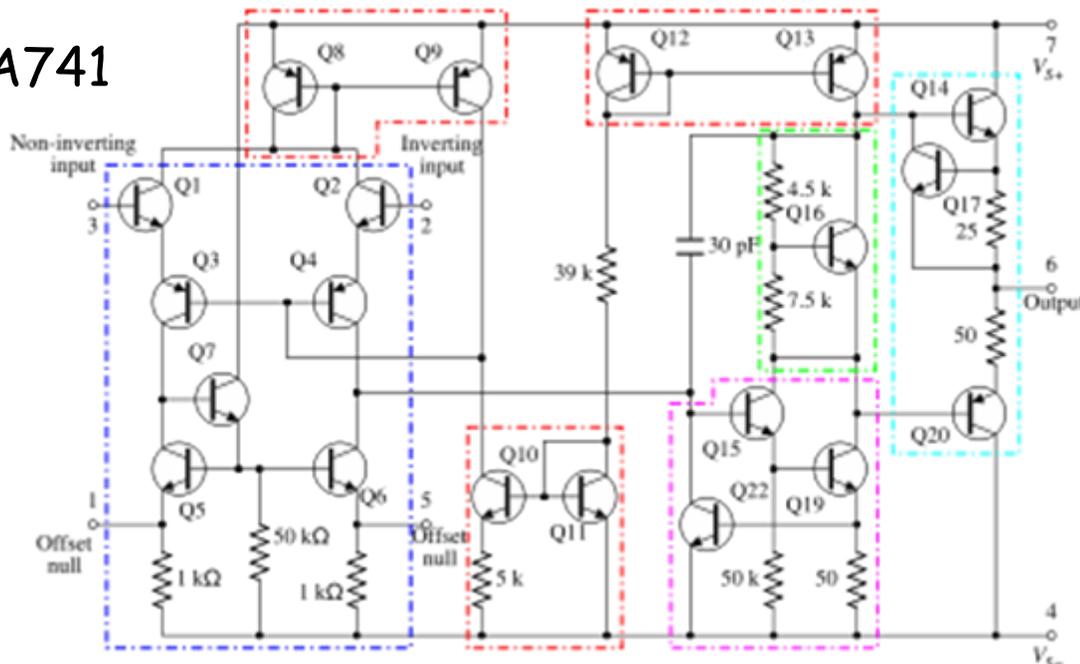
En général, le SR est déterminé par le courant de polarisation du premier étage de l'AOP et par la capacité de compensation ou les capacités parasites.

$$SR = I_1/C$$

$$(t_m = 0,35/f)$$

$$(sr-tm-vfoa)$$

$\mu A741$



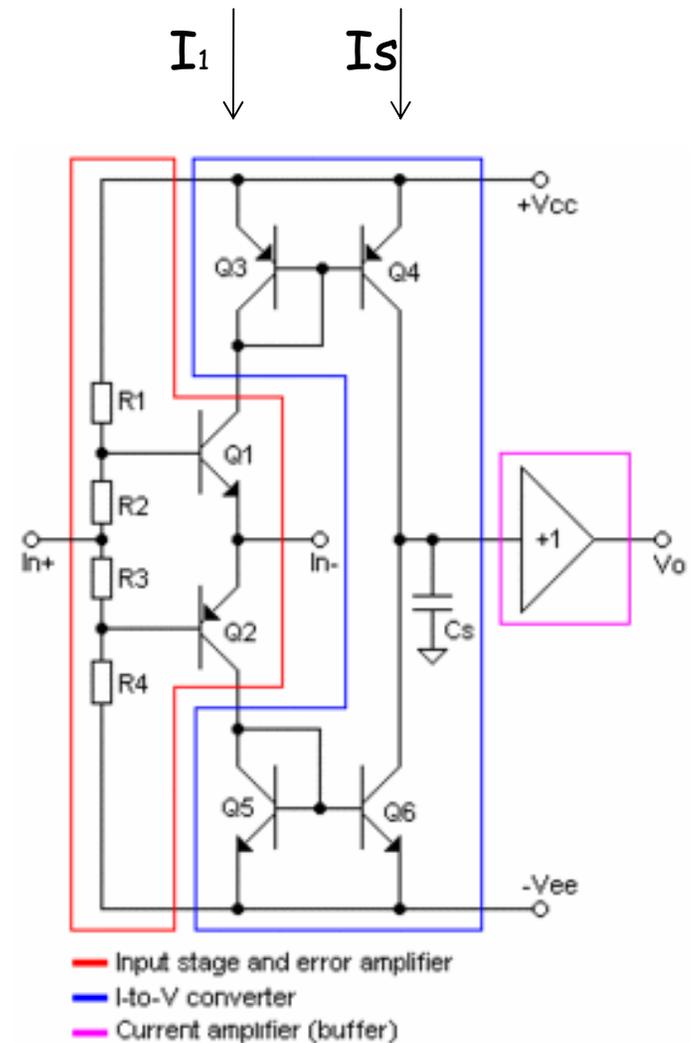
Slew Rate (2):

Current feedback opamp (1982)

Entrée inverseuse à basse impédance

Gain / Bande passante

Offset, dérive



(sr-tm-cfoa)

## Quelques caractéristiques :

Type	$\mu A741$	OPA627	TLC2201CP	AD797	Idéal
Techno	Bipolaire	BiFet	CMOS	Bipolaire	Perfect Op Amp
$V_o$	1mV	100 $\mu$ V	100 $\mu$ V	80 $\mu$ V	0
$I_o$	20nA	10pA	0,5pA	200nA	0
$I_e$	80nA	10pA	1pA	0,9 $\mu$ A	0
$G_o$	106dB	116dB	100dB	146dB	$\infty$
$F_t$	1MHz	16MHz	1,9MHz	110MHz	$\infty$
CMRR	90dB	116dB	115dB	120dB	$\infty$
PSRR	90dB	120dB	110dB	130dB	$\infty$
$Z_{diff}$	2M $\Omega$	10 <sup>13</sup> $\Omega$	-	7,5k $\Omega$	$\infty$
SR	0,5V/ $\mu$ s	40V/ $\mu$ s	2,7V/ $\mu$ s	20V/ $\mu$ s	$\infty$

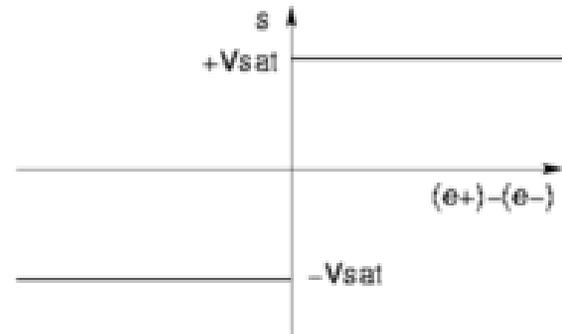
## L'AOP idéal :

Caractéristique entrée / sortie

Zin infinie : pas de courant d'entrée

Zout nulle

Gdiff infini, Gcm nul

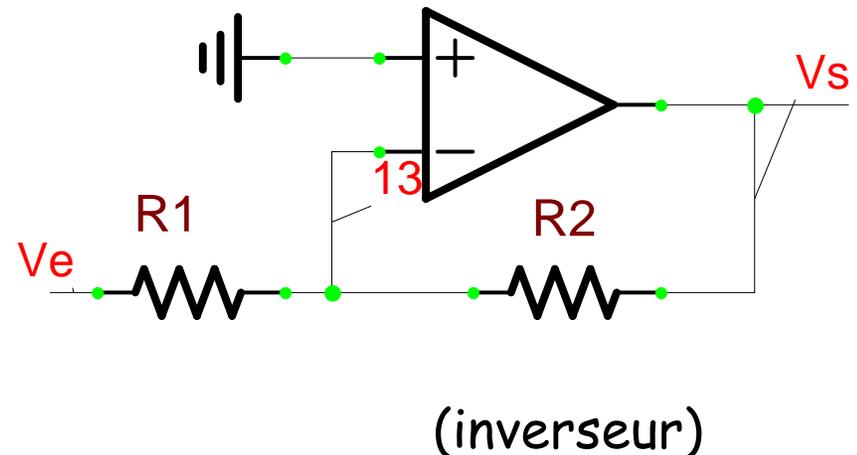


## Montage amplificateur inverseur :

$$V_s = -V_e R_2 / R_1$$

Entrée inverseuse = masse virtuelle

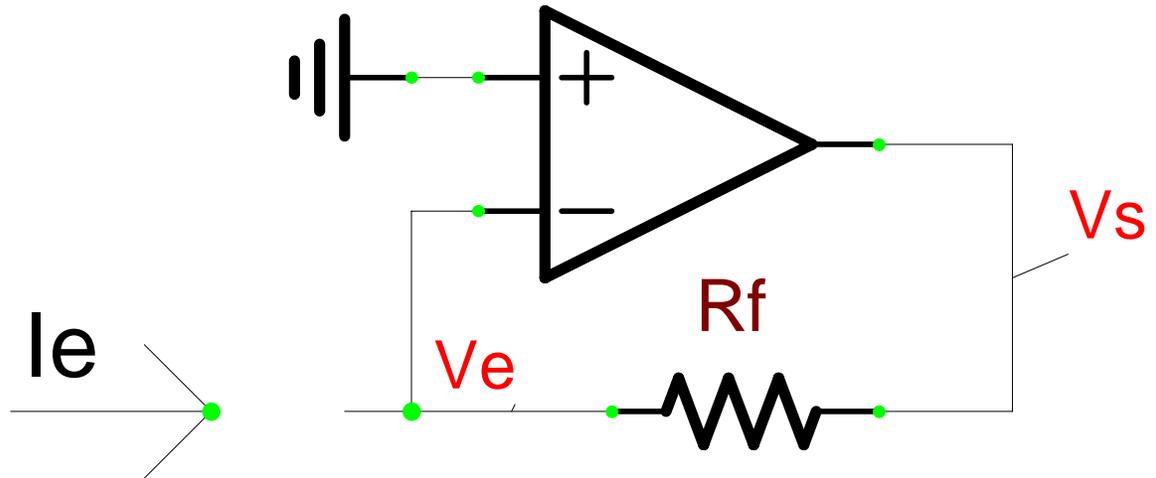
$$Z_{in} = R_1$$



## Transrésistance :

$$V_s = -I_e R_f$$

$$Z_{in} = 0$$



AOP réel :

$$V_s / I_e = -R_f / (1 + 1/A)$$

$$Z_{in} = V_e / I_e = R_f / (A + 1) \sim R / A$$

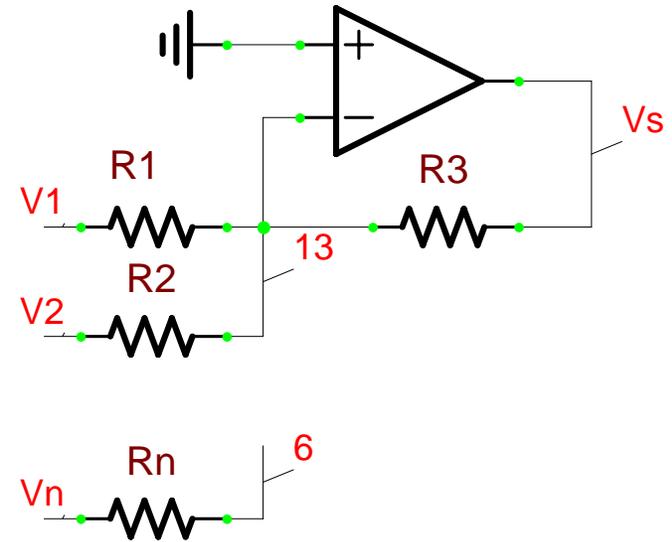
$$A = A_0 / (1 + jf/f_0)$$

(zinresistance)

## Montage Sommateur Inverseur :

$$V_s = -R_f(V_1/R_1 + \dots + V_n/R_n)$$

$$Z_n = R_n$$

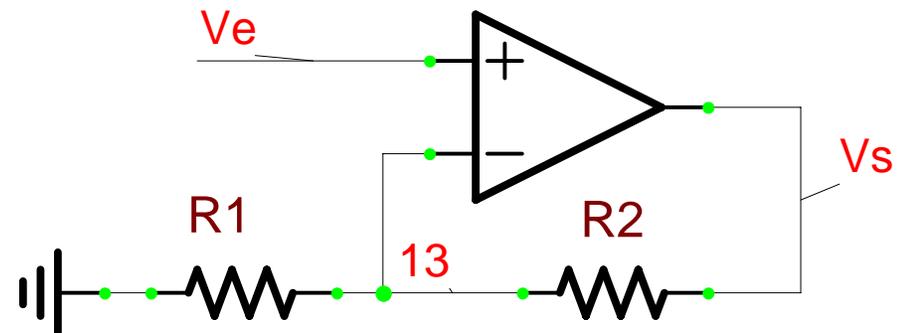


(additionneur)

## Amplificateur non inverseur :

$$V_s = V_e(R_2 + R_1)/R_1 = V_e(1 + R_2/R_1)$$

$$(V_e = V_s R_1 / (R_1 + R_2))$$



(noninverseur)

## Suiveur :

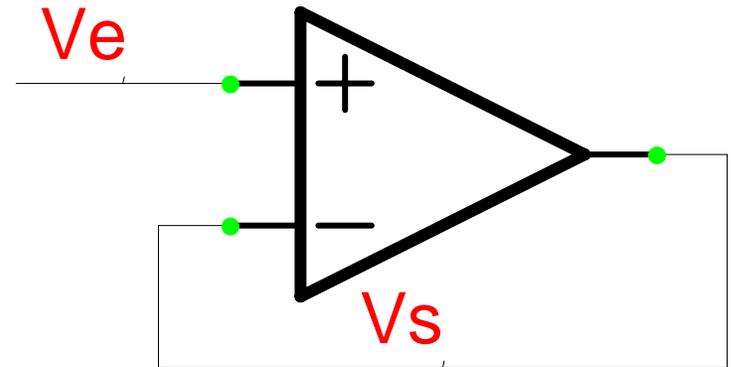
$$V_s = V_e$$

$$Z_{in} = \infty$$

$$Z_{out} = 0$$

adaptation d'impédance

$$V_s/V_e = A/(A+1)$$



(filtre avec ou sans buf) (inverter versus buffer)

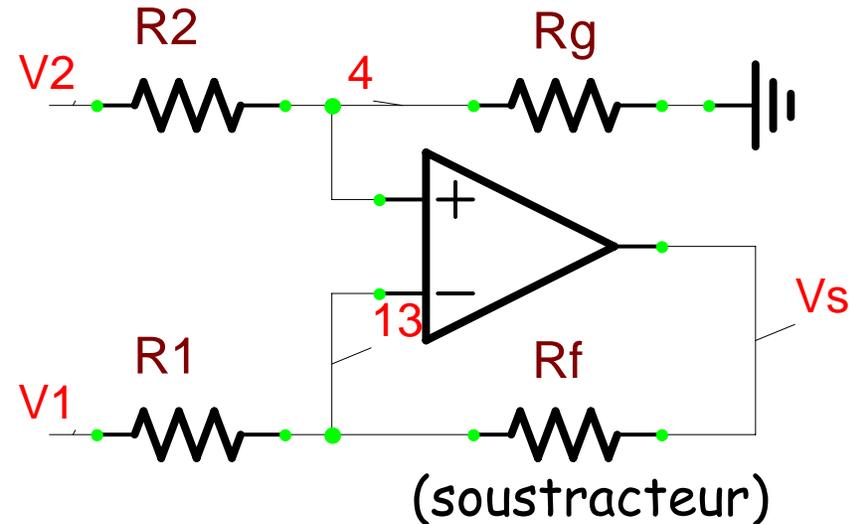
## Amplificateur différentiel :

$$V_2 R_g / (R_2 + R_g) = V_1 + (V_s - V_1) R_1 / (R_f + R_1)$$

$$V_s = V_2 R_g (R_1 + R_f) / (R_1 (R_2 + R_g) - V_1 R_f / R_1)$$

Si  $R_1 = R_2$  et  $R_g = R_f$

Alors  $V_s = (V_2 - V_1) R_f / R_1$   
(impédance d'entrée)

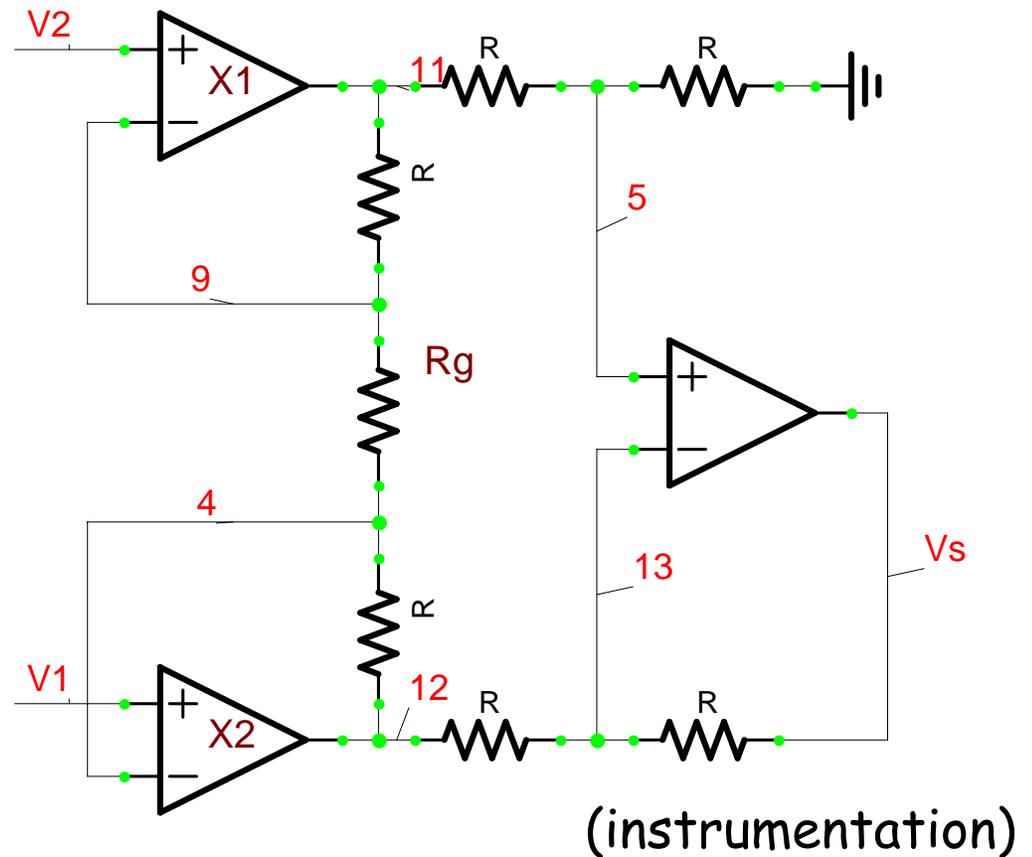


# Amplificateur différentiel (instrumentation) :

$$V_s = (V_2 - V_1)(1 + 2R/R_{gain})$$

Z<sub>in</sub>

Mode commun



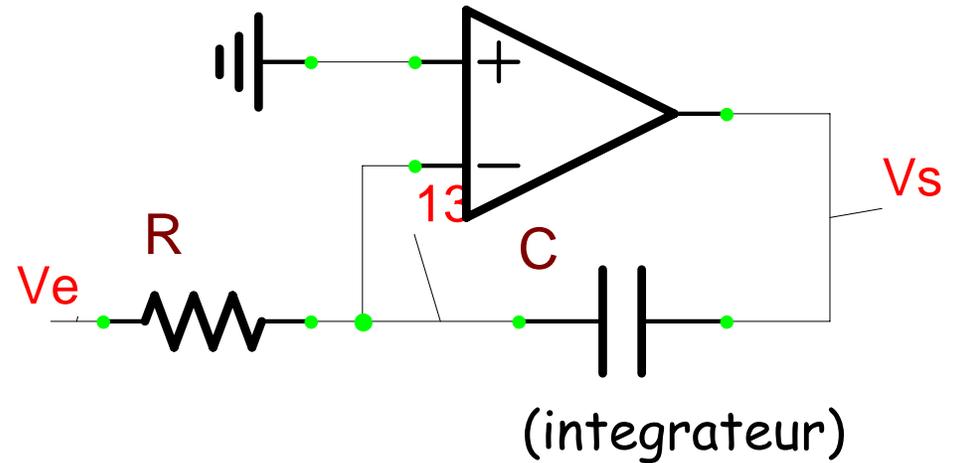
## Intégrateur :

$$V_s(t) = -(1/RC) \int V_e(t) dt$$

$$V_s/V_e = -1/RCp$$

$$p = j\omega/\omega_0$$

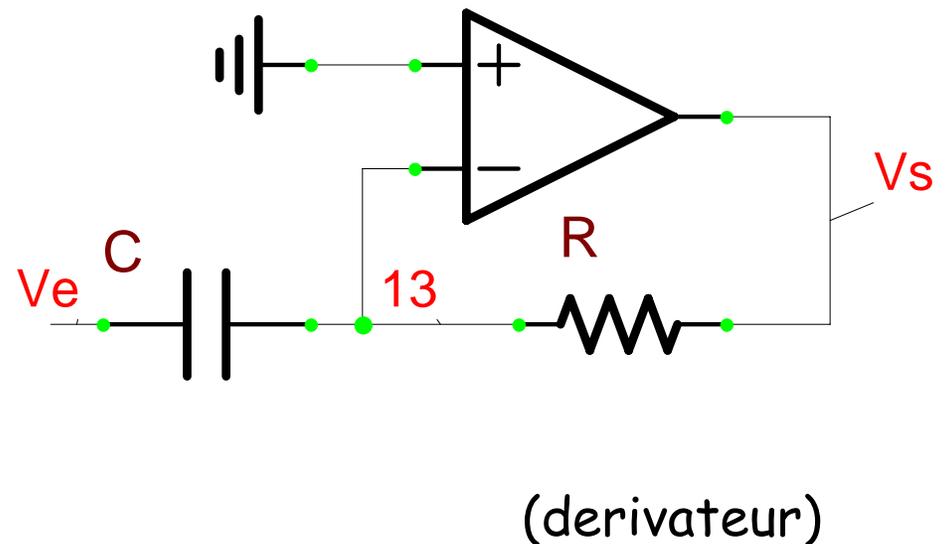
(DC)



## Différentiateur :

$$V_s(t) = -RC \cdot dV_e(t)/dt$$

$$V_s/V_e = -RCp$$

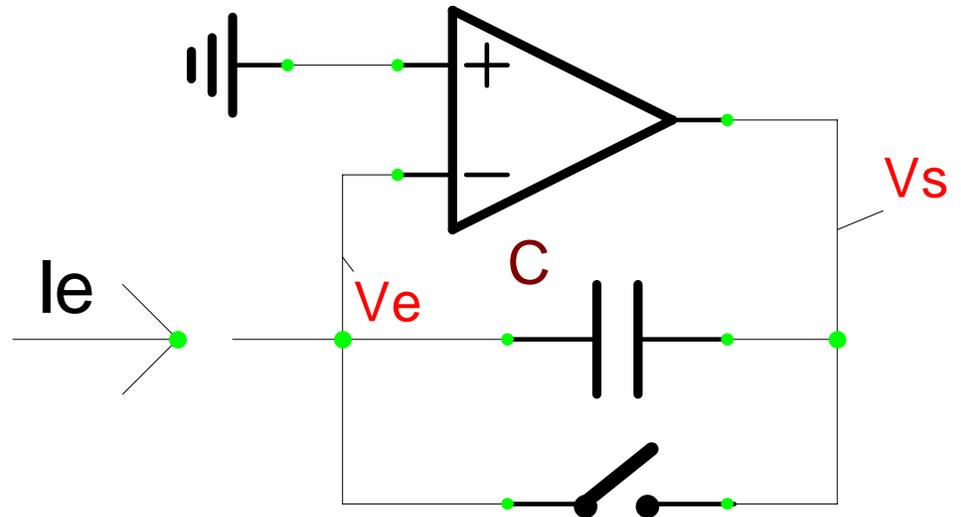


## Ampli de charge :

$$V_s(t) = -(1/C) \int I_e(t) dt$$

$$V_s / I_e(p) = 1 / C p$$

$$Z_{in} \sim 1 / A_c p \sim (1 + j f / f_0) / A_0 C j f$$

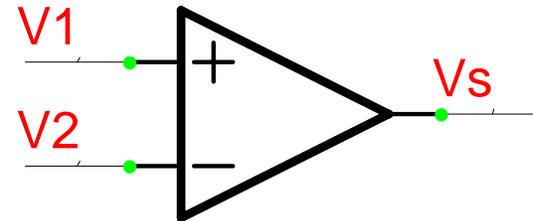


(ampli charge)

## Comparteur :

$$V1 > V2 \quad V_s \sim V_{dd}$$

$$V1 < V2 \quad V_s \sim V_{ss}$$



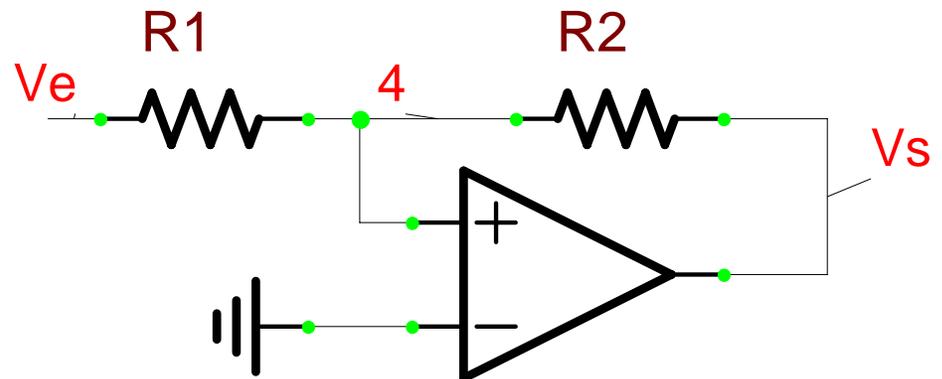
(comparteur)

## Comparteur à 2 seuils : Trigger de Schmitt

$$V_{tp} = V_{dd}(R2/R1)$$

$$V_{tm} = V_{ss}(R2/R1)$$

$$V_{e+} = (V_e R2 + V_s R1) / (R1 + R2)$$



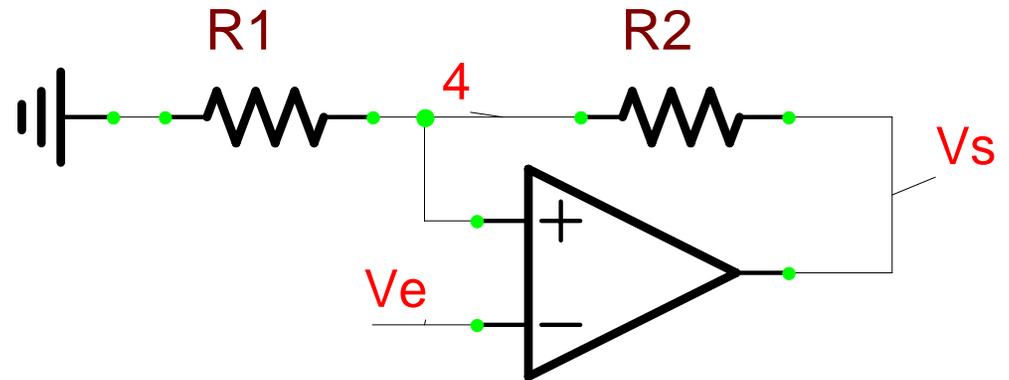
(schmitt)

## Comparateur inverseur à 2 seuils :

$$V_{tp} = V_p R_1 / (R_1 + R_2)$$

$$V_{tm} = V_m R_1 / (R_1 + R_2)$$

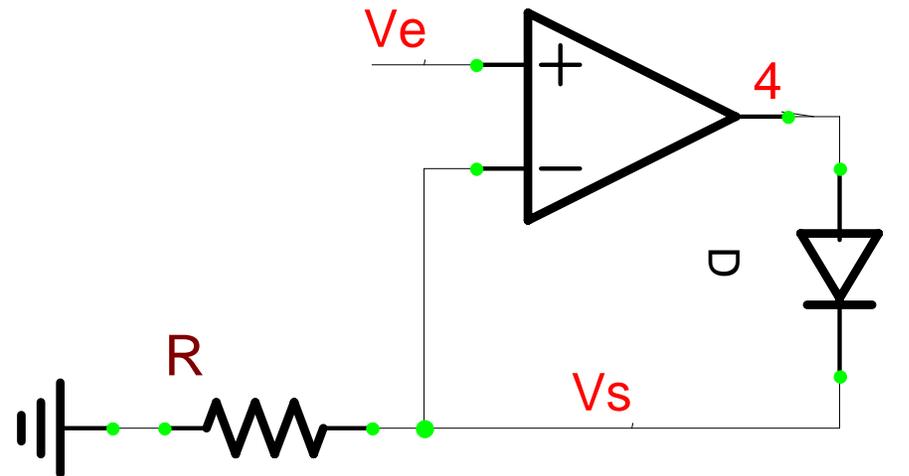
$$V_{e+} = V_s R_1 / (R_1 + R_2)$$



(schmittinverseur) (generateur)

## Diode sans seuil :

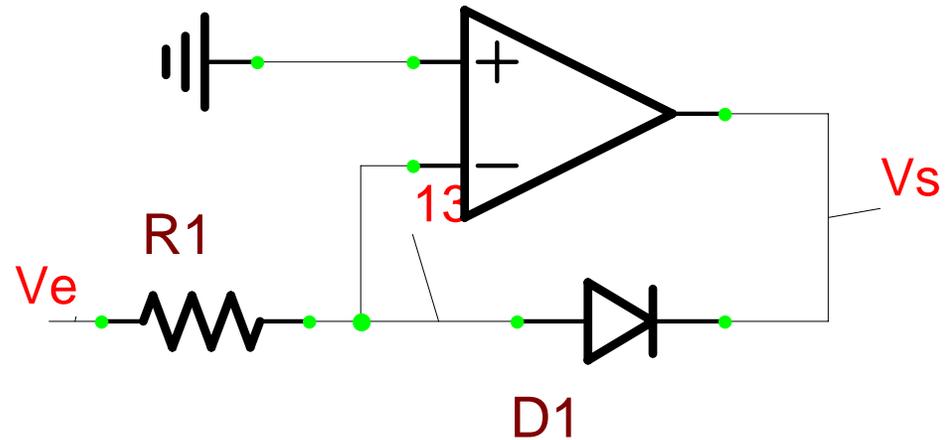
(détecteur de crête)



(diode)

## Amplificateur logarithmique :

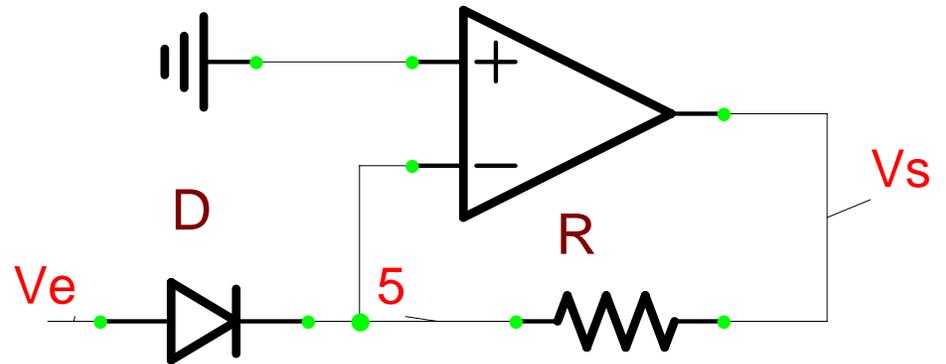
$$V_s = -(kT/q)\text{Log}(V_e/(I_sR))$$



(logarithme)

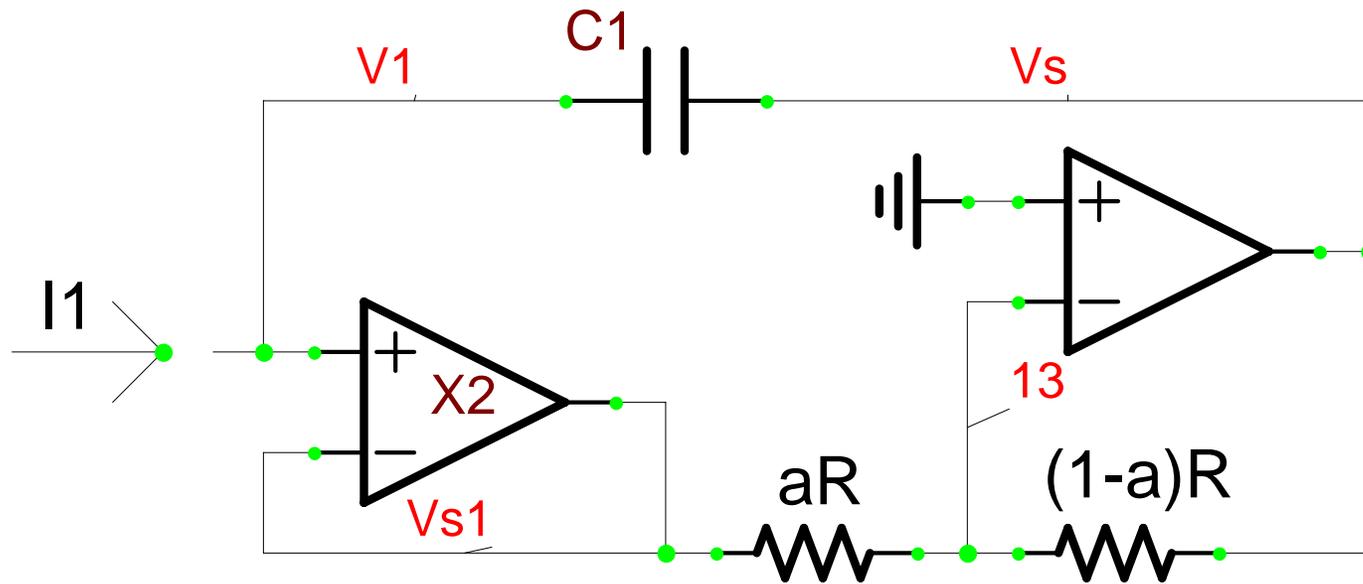
## Amplificateur exponentiel :

$$V_s = -(RI_s)\exp(qV_e/kT)$$



(exponentiel)

## Condensateur variable :



$$V_{s1} = V_1$$

$$V_s = -V_1(1-a)/a$$

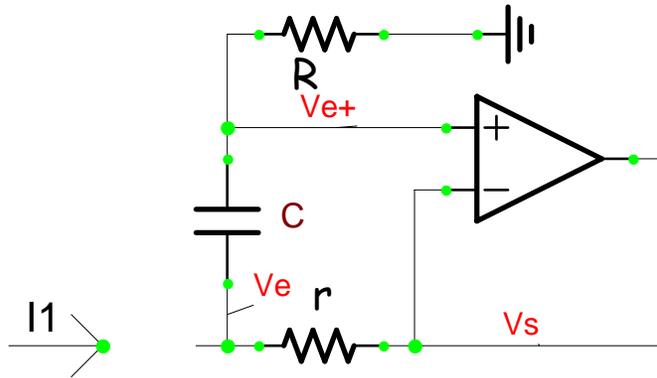
$$I_1 = (V_1 - V_s)C_1 p = [1 + (1-a)/a]V_1 C_1 p = V_1 C_1 p / a$$

$$Z_{in} = V_1 / I_1 = a / C_1 p$$

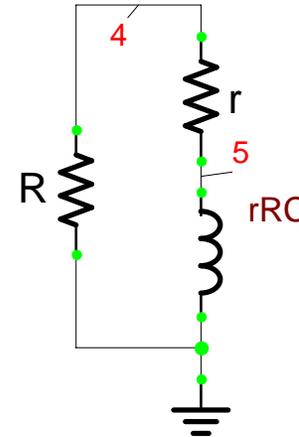
$$C = C_1 / a$$

(capavariabile)

## Synthèse d'une inductance :



=



$$I1 = (Ve - Vs) / r + Ve / (R + 1/Cp)$$

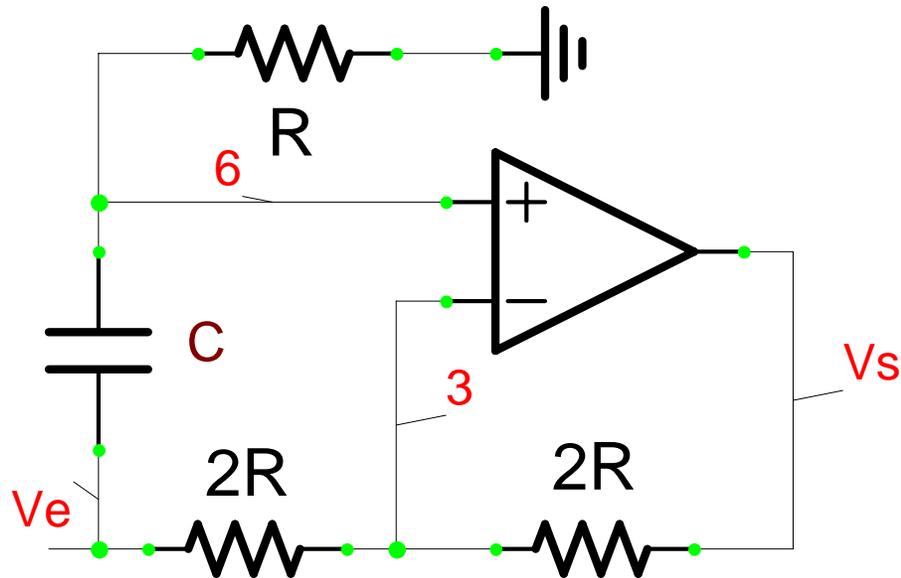
$$Vs = Ve+ = RVe / (R + 1/Cp)$$

$$I1 = (Ve / r) \cdot (1 + rCp) / (1 + RCp)$$

$$Z = Ve / I1 = (r + rRCp) / (1 + rCp)$$

(inductance)

## Déphaseur, Filtre Passe Tout :



$$V_s = 2V_e R / (R + 1/Cp) - V_e$$

$$V_s / V_e = -(1 - RCp) / (1 + RCp)$$

$$\Phi = \pi - 2 \operatorname{Arctg}(f / 2\pi RC)$$

(passe tout)

## Résistance négative :

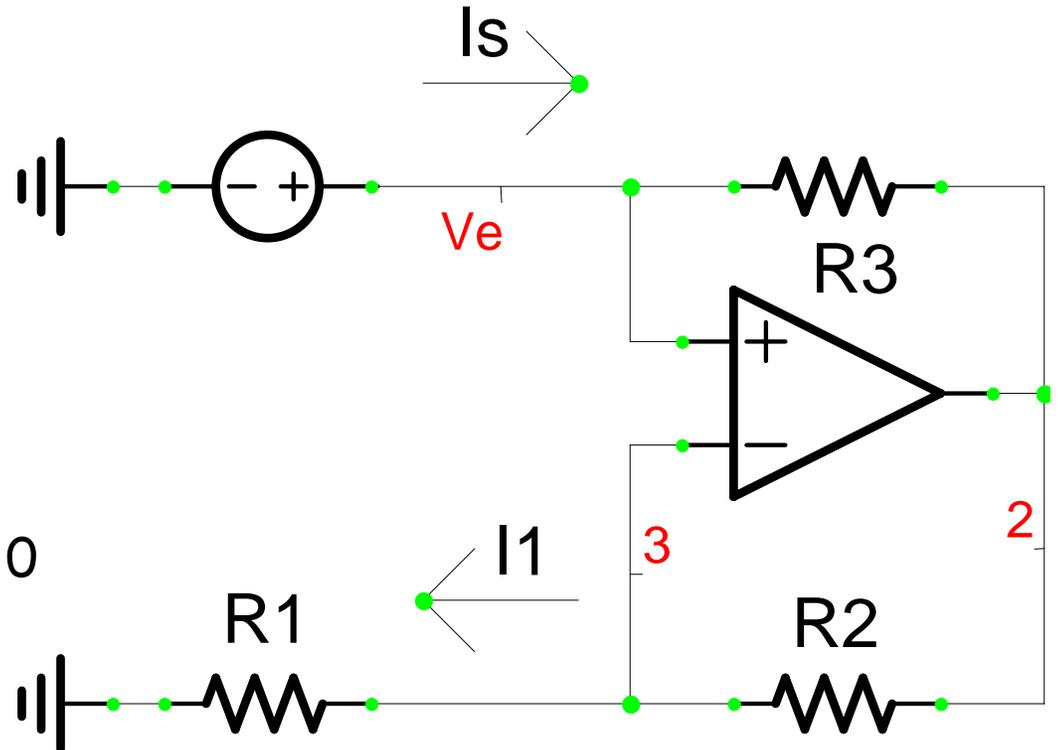
$$0 = (R1+R2)I1+R3Is-Ve$$

$$I1 = Ve/R1$$

$$R3Is +(R1+R2)Ve/R1 -Ve = 0$$

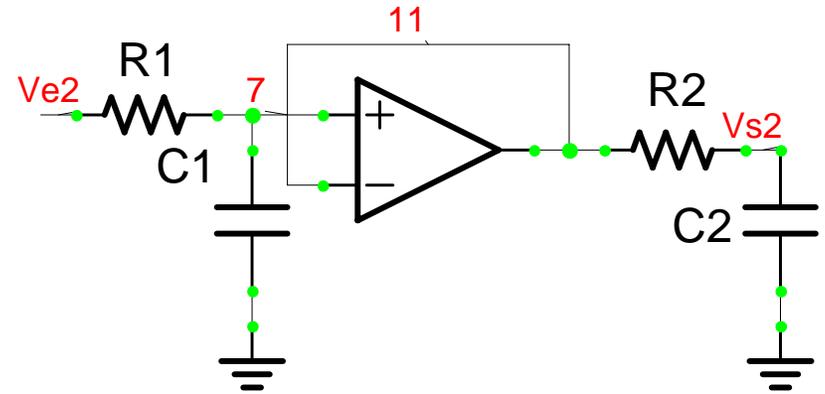
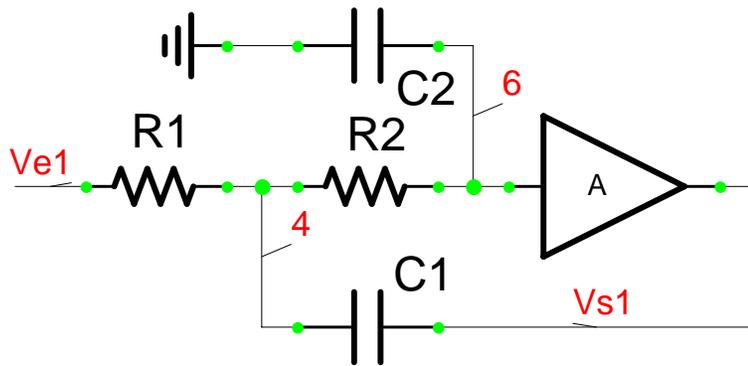
$$VeR2/R1 = -R3Is$$

$$Rin = Ve/Is = -R3.R1/R2$$



(resnegative)

## Filtres actifs :



$$V_s/V_e = A/[1+(1-A)R_1C_1p+(R_1+R_2)C_2p+R_1R_2C_1C_2p^2]$$

$$\text{si } A=1 \quad H(p) = 1/[1+(R_1+R_2)C_2p+ R_1R_2C_1C_2p^2]$$

$$\text{si } R_1 = R_2 = R, \quad C_1 = C_2 = C$$

$$H(p) = 1/(p^2 + 2p + 1) \quad p = jf/f_0 \quad f_0 = 1/2\pi RC$$

(filtre actif)

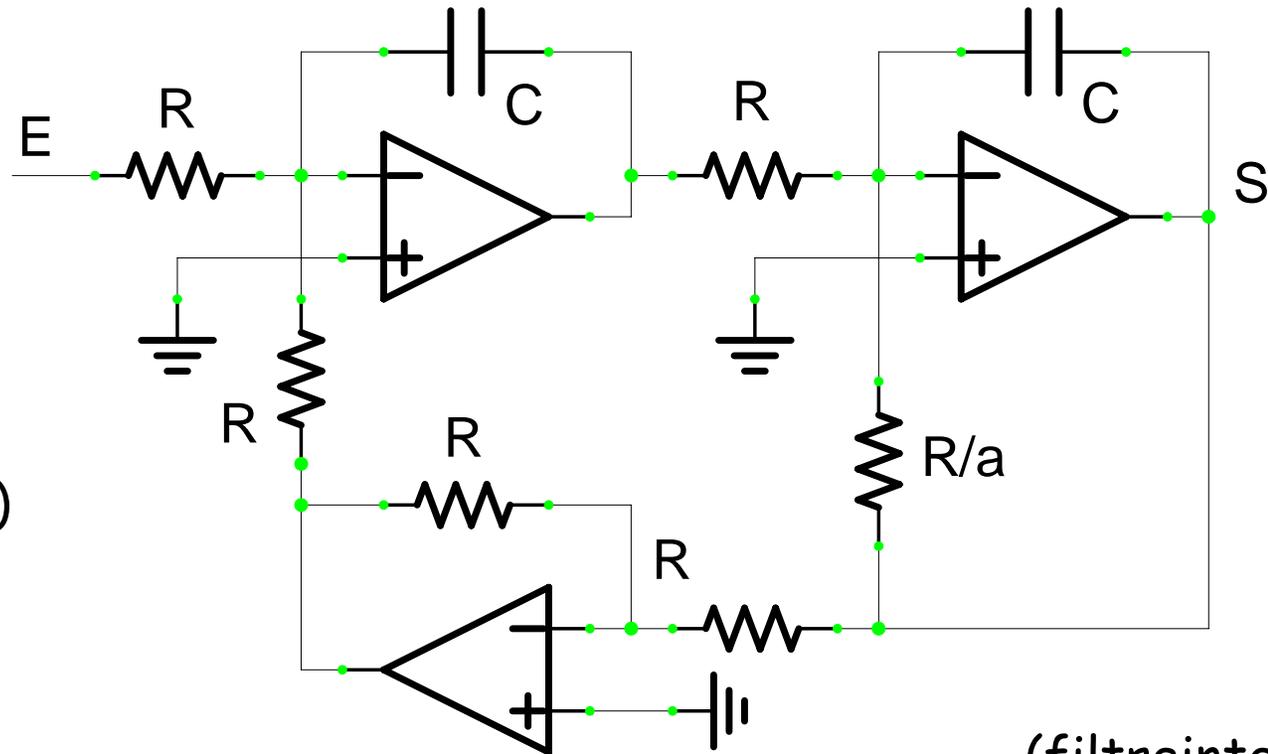
# Filtre actif (2)

Synthèse par intégrateur

$$H(p) = S/E = 1/(1+ap+p^2)$$

$$S = E/p^2 - aS/p - S/p^2$$

$$f_0 = 1/(2\pi RC)$$



(filtreintegre)

