

# **MICROELECTRONIQUE 1**

## **MIC 4120**

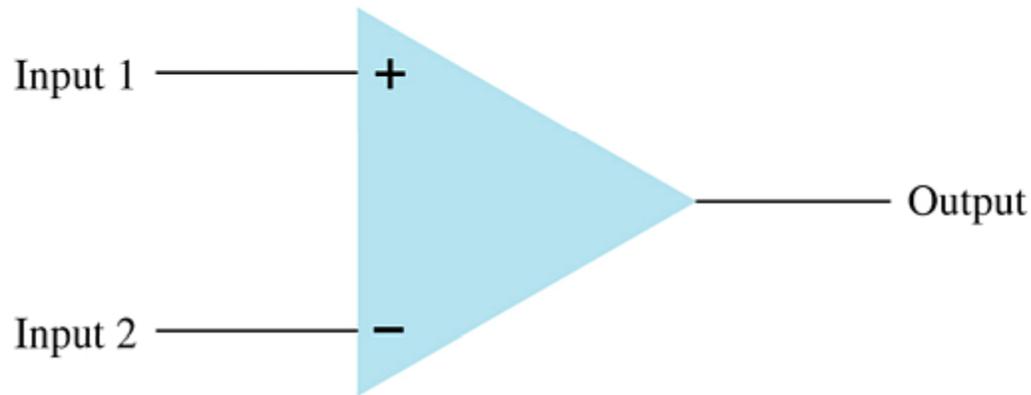
### **CHAPITRE 10**

# **AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS**

*Avec permission de Pearson Prentice Hall*

---

# L'amplificateur Opérationnel (AOP)



**Un amplificateur opérationnel, ou AOP, est un amplificateur différentiel à très haut gain avec une très haute impédance d'entrée. (typiquement de quelques méga-Ohms) et une très basse impédance de sortie (moins de 100 Ohms).**

**A noter que l'AOP comporte deux entrées et une sortie.**

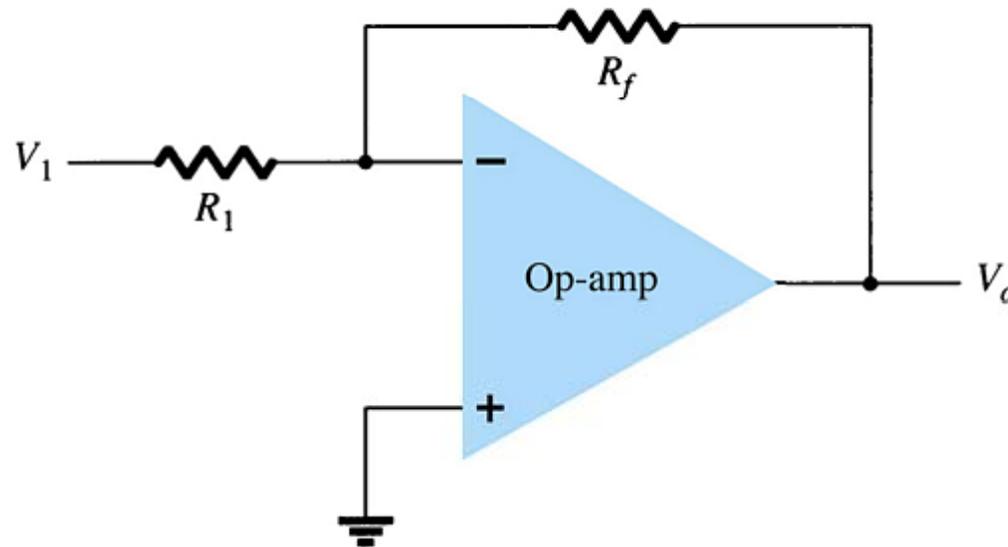
# Gain de l'AOP

**Les AOPs comportent un gain très grand. Ils peuvent être connectés en boucle ouvert ou fermé.**

**Boucle ouverte fait référence a la configuration qui ne comporte contre-réaction de la sortie vers l'entrée. Dans la configuration a boucle ouverte le gain peut excéder 10,000.**

**Boucle fermée fait référence à la configuration qui réduit le gain. Afin de contrôler le gain d'un AOP il doit comporter de la contre-réaction. Cette contre-réaction est négative. Une contre-réaction négative réduit le gain et améliore plusieurs caractéristiques de l'amplificateur.**

# AOP inverseur



- Le signal est appliqué à l'entrée négative (-)
- L'entrée positive (+) est mise à la masse.
- La résistance  $R_f$  est la **résistance de contre-réaction**. Elle est connectée entre la sortie et l'entrée négative. Ceci est appelé *contre-réaction négative*.

# Gain de l'AOP inverseur

Le gain peut être calculé à partir des résistances externes:  $R_f$  et  $R_1$

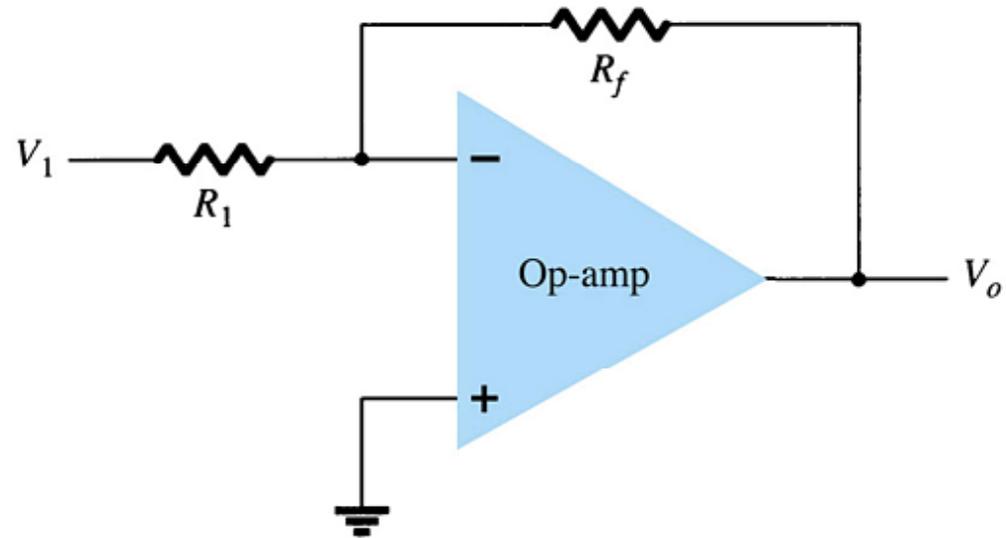
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f}{R_1}$$

Gain unitaire—le gain en tension est 1  $R_f = R_1$

$$A_v = \frac{-R_f}{R_1} = -1$$

Le signaux d'entrée et sortie sont déphasés de  $180^\circ$

Gain Constant —  $R_f$  est un multiple de  $R_1$

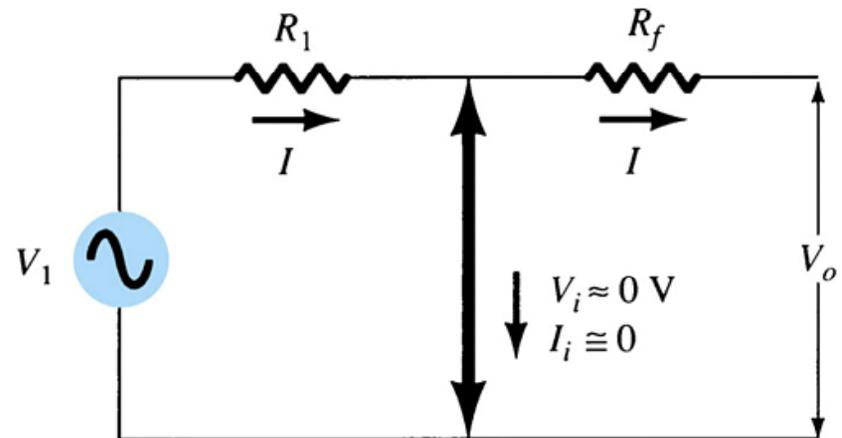
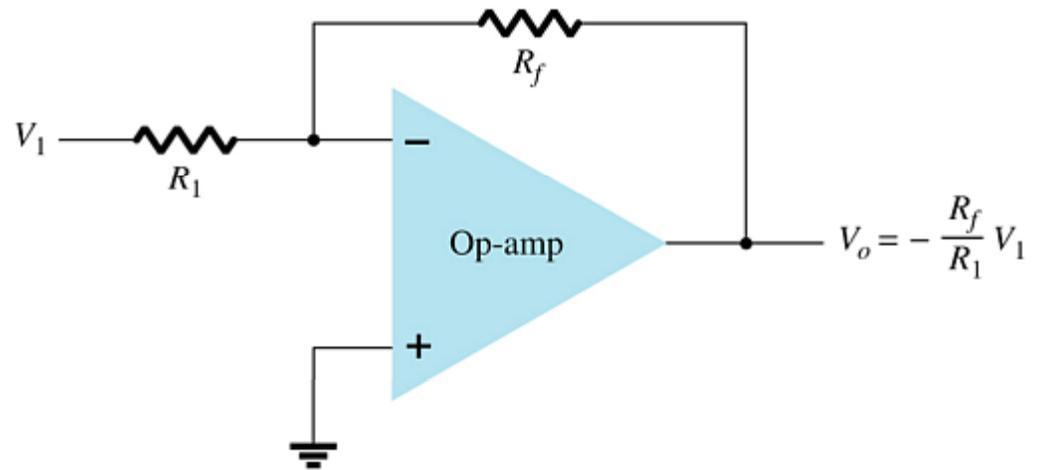


# Masse Virtuelle

La compréhension du concept **masse virtuelle** nous permet de mieux comprendre le fonctionnement de l'AOP.

L'entrée positive est reliée à la masse. L'entrée négative est aussi à 0 V pour un signal CA.

L'AOP comporte une très haute impédance d'entrée de façon que, même avec un gain très haut il n'y a pas de courant dans l'entrée négative, c.à.d. il n'y a pas de tension entre l'entrée négative et la masse. Tout le courant est à travers  $R_f$ .



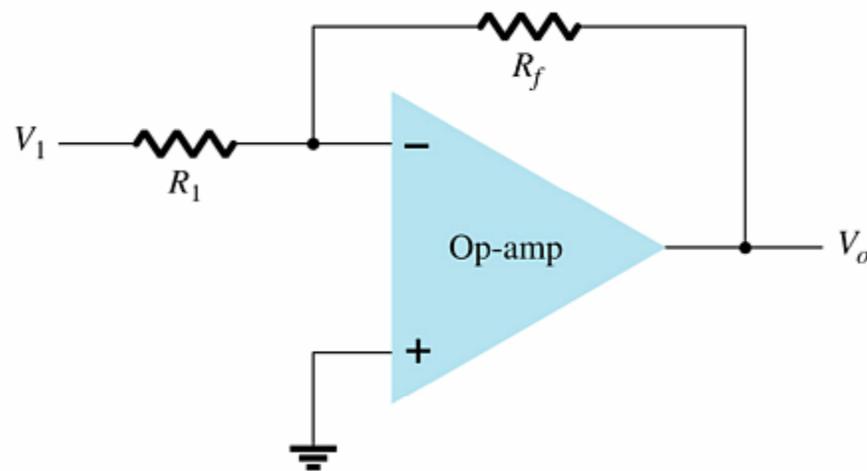
# Circuits AOP Pratiques

**Amplificateur Inverseur**  
**Amplificateur non-inverseur**  
**Suiveur d'entrée unitaire**  
**Amplificateur Additionneur**  
**Intégrateur**  
**Différentiateur**

# AOPs inverseur/non-inverseur

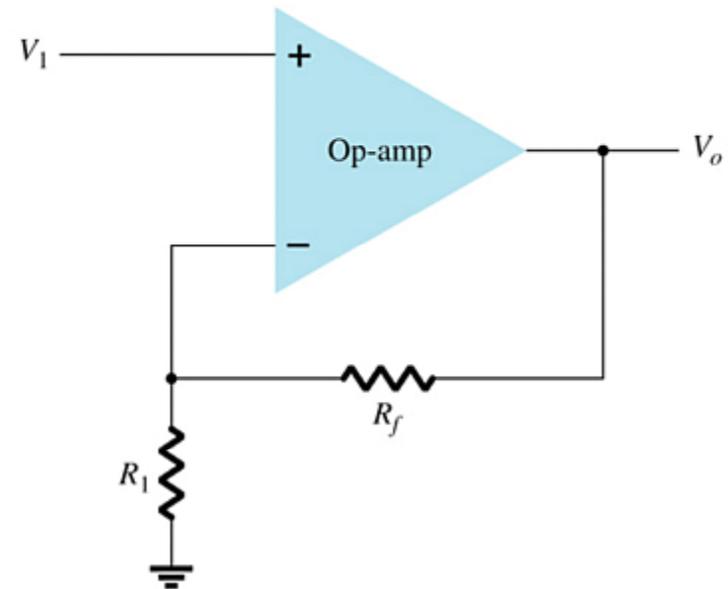
Amplificateur inverseur

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_1$$



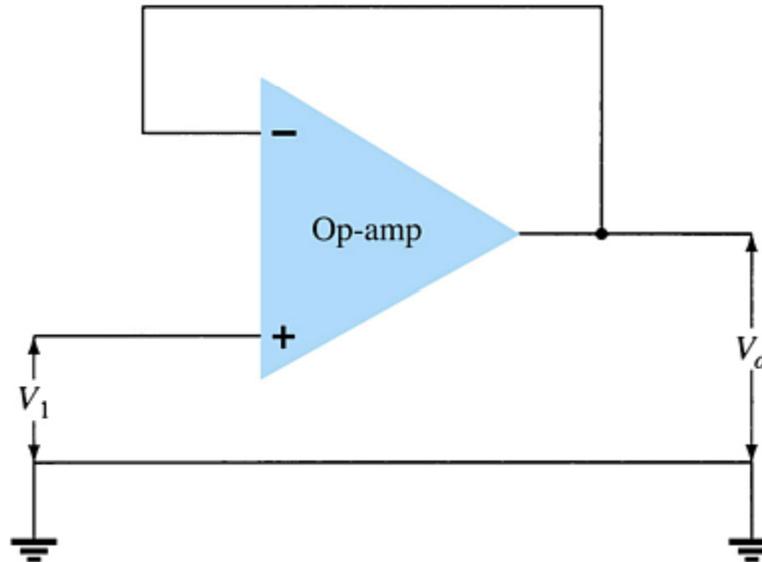
Amplificateur non-inverseur

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_1$$



# Suiveur d'entrée unitaire

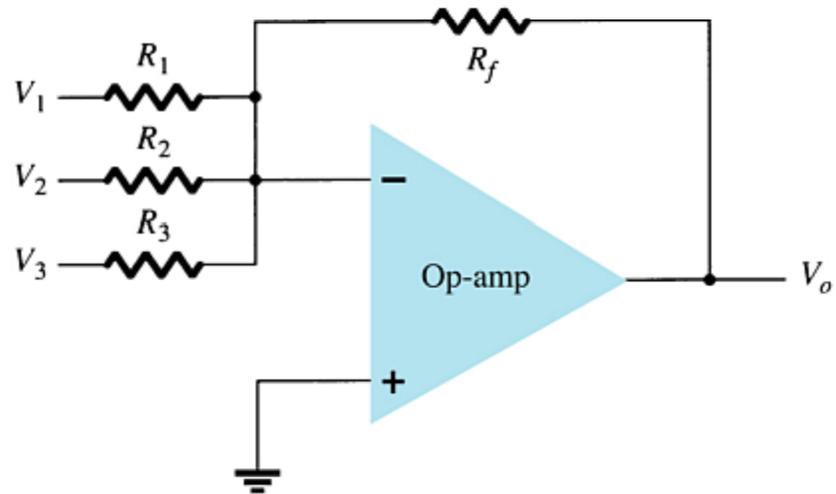
$$V_o = V_1$$



# Amplificateur Additionneur

Puisque l'AOP comporte une très haute impédance d'entrée, les entrées multiples sont considérées comme des entrées indépendantes.

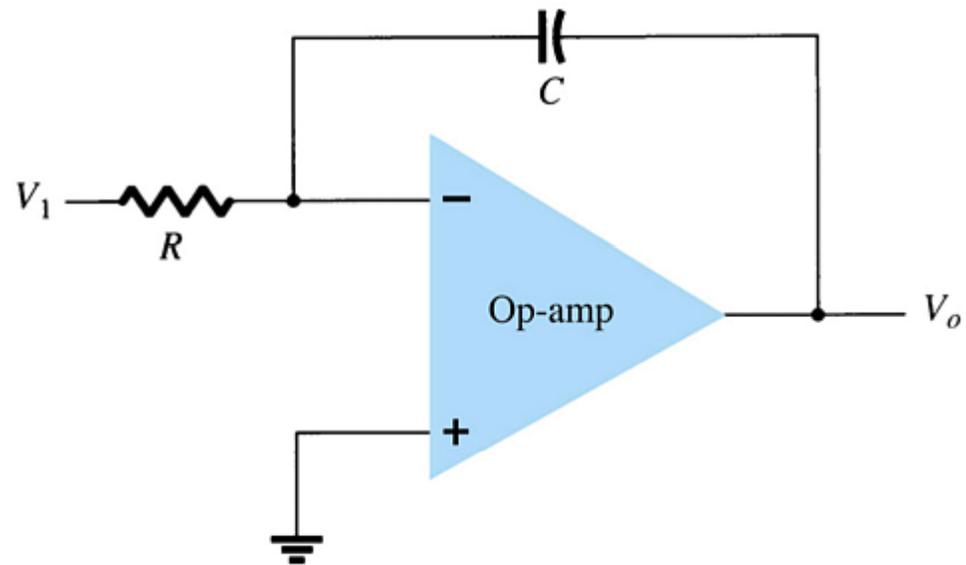
$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3\right)$$



# Intégrateur

La sortie est l'intégrale de l'entrée. Intégration est l'opération d'additionner la superficie par-dessous une onde ou par-dessous une courbe pour une période de temps. Ce circuit est utilisé comme filtre passe-bas.

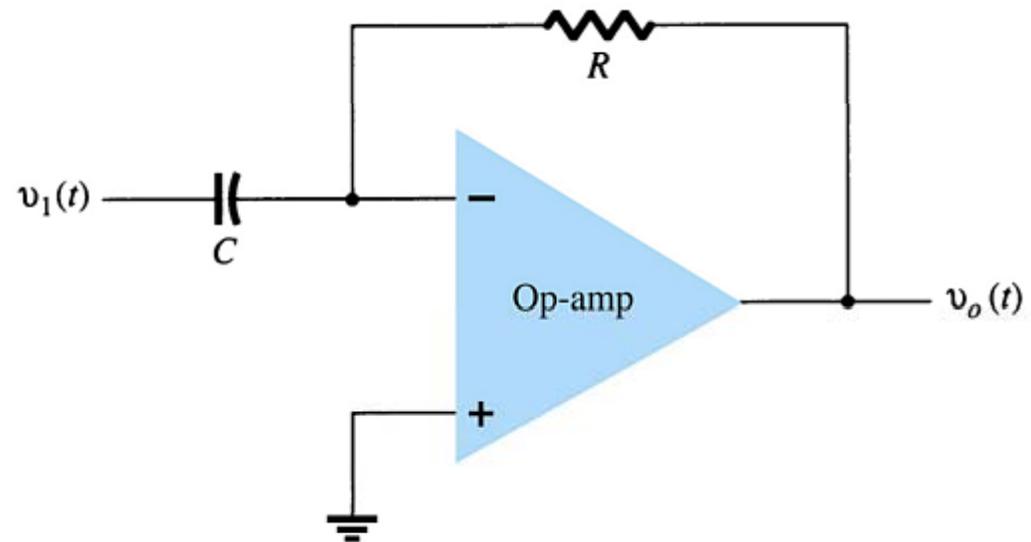
$$v_o(t) = -\frac{1}{RC} \int v_1(t) dt$$



# Différentiateur

Le différentiateur produit la dérivée de l'entrée. Ce circuit est utilisé comme filtre passe-haut.

$$v_o(t) = -RC \frac{dv_1(t)}{dt}$$



# Spécifications des AOP— Tension de décalage (off-set)

Même quand la tension d'entrée est zero, l'on peut avoir en sortie une tension de décalage ou **offset**. Les causes suivantes peuvent causer le offset:

- Tension de décalage d'entrée
- Courant de décalage d'entrée
- Tension et courant de décalage d'entrée.
- Courant de polarisation d'entrée

# Tension de décalage d'entrée ( $V_{IO}$ )

Les spécifications d'un OAP indiquent une tension de décalage d'entrée. ( $V_{IO}$  ou input offset voltage).

L'effet de cette tension sur la sortie peut être calculé comme suit.

$$V_{o(\text{offset})} = V_{IO} \frac{R_1 + R_f}{R_1}$$

# Tension de Décalage de sortie causée par un courant de décalage d'entrée. ( $I_{IO}$ )

S'il y a une différence entre les courants de polarisation pour le même signal appliqué, cela peut aussi causer une tension de décalage en sortie:  $R_f*$

- Le courant de décalage d'entrée ( $I_{IO}$ ) se trouve dans la page de spécifications de l'AOP.
- L'impact sur la sortie peut être calculé comme suit:

$$V_{o(\text{offset causé par } I_{IO})} = R_f * I_{IO}$$

# Décalage total causé par $V_{IO}$ et $I_{IO}$

**Les AOPs peuvent comporter une tension de décalage de sortie causée par les deux facteurs  $V_{IO}$  et  $I_{IO}$ . La tension de décalage totale de sortie est la somme de l'effet des deux.**

$$V_o (\text{offset}) = V_o (\text{offset causé par } V_{IO}) + V_o (\text{offset causé par } I_{IO})$$

# Paramètres de Fréquence

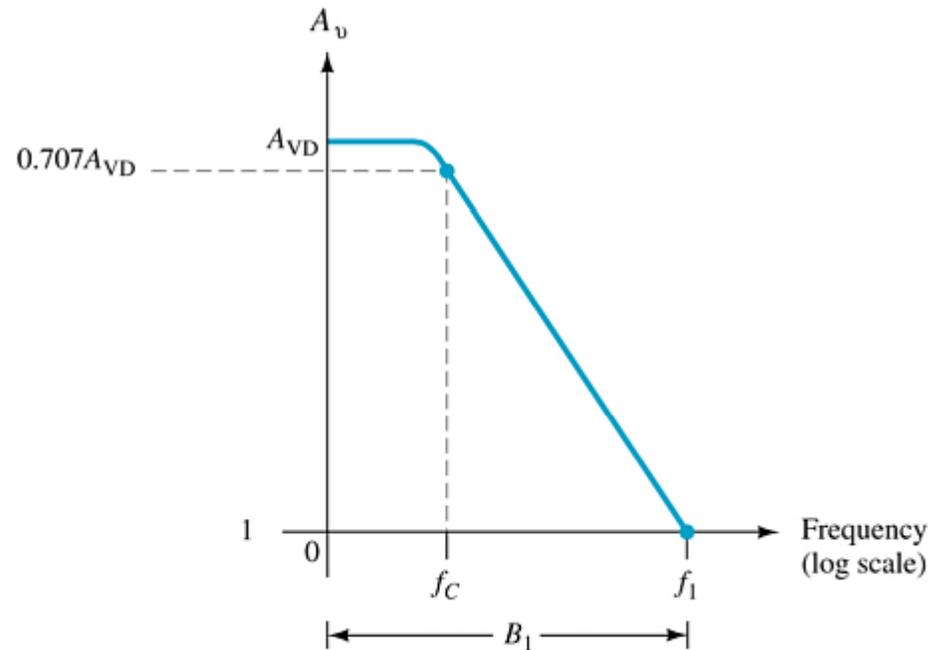
**Un AOP est un amplificateur a bande large. Les paramètres suivants affectent la largeur de bande passante de l'AOP:**

- **Gain**
- **Taux de descente**

# Gain et Bande Passante

La réponse en haute fréquence de l'AOP est limitée par la circuiterie interne. Le graphique adjacent montre le gain à boucle ouvert ( $A_{OL}$  or  $A_{VD}$ ). C'est à dire que le AOP fonctionne au plus haut gain sans aucune résistance de réaction.

En boucle ouverte, le AOP comporte une bande passante étroite. La bande passante augmente en boucle fermée mais le gain diminue.



# Vitesse de montée du signal de sortie (Slew Rate SR)

**Slew rate (SR) ou Vitesse Maximale de montée du signal de sortie est le taux maximum auquel un AOP peut faire varier le signal de sortie sans distortion.**

$$SR = \frac{\Delta V_o}{\Delta t} \quad (\text{in } V/\mu s)$$

**Le taux SR est donné dans les spécifications comme le taux en V/μs.**

# Fréquence maximale du signal

**La vitesse de montée du signal de sortie détermine la fréquence la plus haute de l'AOP sans distortion.**

$$f \leq \frac{SR}{2\pi V_p}$$

Avec  $V_p$  = tension de crête.

# Spécifications typiques de l'AOP

**Autres valeurs trouvées dans les spécifications des AOPs sont:**

- **Valeurs Absolues**
- **Caractéristiques électriques**
- **Performance**

# Valeurs Absolues

**Voici des valeurs  
maximales typiques  
pour l'AOP:**

Absolute Maximum Ratings	
Supply voltage	6.22 V
Internal power dissipation	500 mW
Differential input voltage	6.30 V
Input voltage	6.15 V

# Caractéristiques électriques

**TABLE 13.2** mA741 Electrical Characteristics:  $V_{CC} = \pm 15 \text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$

Characteristic	MIN	TYP	MAX	Unit
$V_{IO}$ Input offset voltage		1	6	mV
$I_{IO}$ Input offset current		20	200	nA
$I_{IB}$ Input bias current		80	500	nA
$V_{ICR}$ Common-mode input voltage range	$\pm 12$	$\pm 13$		V
$V_{OM}$ Maximum peak output voltage swing	$\pm 12$	$\pm 14$		V
$A_{VD}$ Large-signal differential voltage amplification	20	200		V/mV
$r_i$ Input resistance	0.3	2		M $\Omega$
$r_o$ Output resistance		75		$\Omega$
$C_i$ Input capacitance		1.4		pF
CMRR Common-mode rejection ratio	70	90		dB
$I_{CC}$ Supply current		1.7	2.8	mA
$P_D$ Total power dissipation		50	85	mW

**Note:** Cettes valeurs s'appliquent à des conditions de circuits particulières, et souvent elles incluent le minimum, le maximum et la valeur typique.

# CMRR

**Une valeur qui s'applique uniquement aux AOPs est le CMRR ou *common-mode rejection ratio*.**

**Du fait que le AOP comporte deux entrées qui s'opposent en phase (positive ou non-inverseur et negative ou inverseur) tout signal commun à ces deux sera annullé.**

**Le CMRR est une mesure de la capacité de l'AOP d'annuler les signaux de mode commun.**

# Performance de l'AOP

Les spécifications vont souvent inclure des graphiques qui indiquent la performance de l'AOP sur une plage étendue de conditions.

