

Amplificateurs opérationnels (AOP)

Auteur Jean-Marie COLLETTE

Menu

- [Qu'est-ce qu'un amplificateur opérationnel \(AOP\)?](#)
- [Principe de fonctionnement d'un AOP](#)
- [L'AOP parfait et l'AOP réel](#)
- [Caractéristiques générales des AOP](#)
- [Lire la data sheet d'un AOP](#)
 - [Tension de décalage en entrée \(input offset voltage\)](#)
 - [Courant de polarisation en entrée \(input bias current\)](#)
 - [Amplitude de la tension de sortie \(output voltage swing\)](#)
 - [Taux de réjection en mode commun \(common mode rejection ratio\)](#)
- [Lire la data sheet d'un AOP \(suite...\)](#)
 - [Fréquence à gain unitaire \(unity gain bandwidth\)](#)
 - [Pente de la tension maximale de sortie \(slew rate\)](#)
- [La contre-réaction](#)
- [Récapitulatif](#)
- [Les montages de l'AOP en amplificateur](#)
 - [Le montage amplificateur inverseur](#)
 - [Le montage amplificateur non inverseur](#)
 - [Le montage suiveur ou "tampon à gain unitaire"](#)
 - [Le montage additionneur inverseur](#)
 - [Le montage soustracteur](#)
- [Les montages de l'AOP en commutateur](#)
 - [Le montage comparateur de tensions](#)
- [L'AOP et la fonction de filtrage](#)

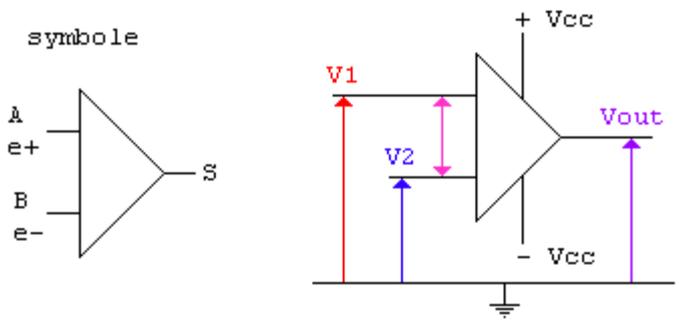
Qu'est-ce qu'un amplificateur opérationnel (AOP)?

Un **amplificateur opérationnel** (AOP, ou *OpAmp* en anglais) est un **circuit intégré** dont la fonction de base est, comme son nom le suggère, l'**amplification**. Il est en outre "opérationnel" en ce sens qu'il permet de réaliser des fonctions de type "arithmétique" (inversion, addition, soustraction...).

Précisons un peu tout cela...

Un AOP est, à la base, un système **amplificateur différentiel**. Amplificateur et différentiel car **il amplifie la différence des tensions appliquées sur ses deux entrées**, souvent notées $e+$ (entrée dite "non inverseuse") et $e-$ (entrée dite "inverseuse"). Le facteur d'amplification est appelé le **gain**.

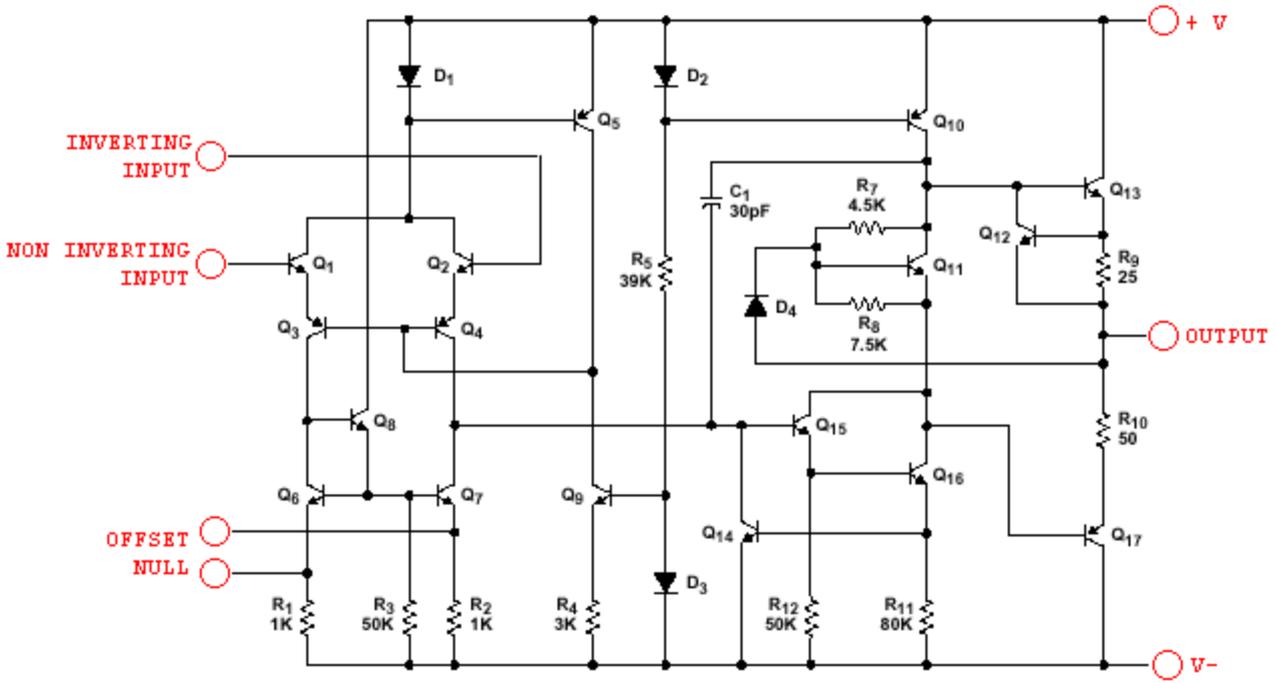
On aura donc un composant comportant deux entrées et une sortie. En règle générale, les AOP requièrent une alimentation symétrique (positive et négative), mais certains modèles acceptent une alimentation positive simple.



L'AOP est symbolisé par un triangle pointant à droite. Il comporte deux entrées et une sortie. L'entrée notée e+ est dite **non inverseuse** et l'entrée notée e- est dite **inverseuse**.

L'AOP **amplifie la différence** entre V1 et V2 par un facteur d'amplification, le gain, qui est constant (et gigantesque, voir plus loin). L'alimentation de l'AOP est ici symétrique (+Vcc et -Vcc); une alimentation non symétrique reste souvent possible.

Voici, à titre documentaire, le schéma équivalent d'un AOP très répandu, le 741. Il s'agit d'un modèle déjà ancien et parmi les plus simples. On observera le montage particulier des transistors bipolaires en entrée (*inverting* et *non inverting input* pour "entrée inverseuse" et "non inverseuse"):

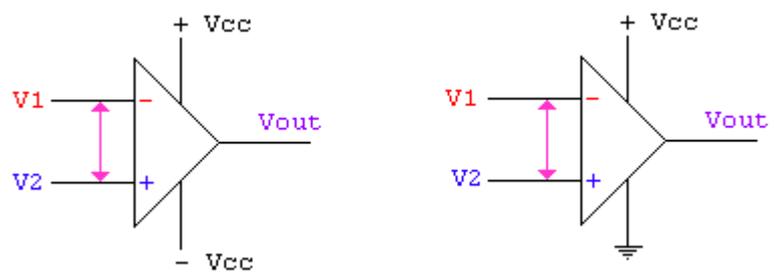


[Menu](#)

Principe de fonctionnement d'un AOP

Voyons concrètement ce qui se passe lorsque l'on applique des tensions continues V1 et V2 aux deux entrées d'un AOP.

La figure ci-contre reprend les deux cas possibles d'alimentation de l'AOP, symétrique (à gauche) ou simplement positive (à droite).



L'AOP fonctionne, en fait, comme un **comparateur**: il compare V1 et V2, et de cette comparaison dépendra l'état, haut ou bas, de sa sortie (Vout). Ce que nous pouvons résumer à l'aide du tableau suivant:

	Alimentation symétrique	Alimentation non symétrique
V2 > V1	Vout = presque +Vcc	Vout = presque +Vcc

V1 > V2

Vout = presque -Vcc

Vout = presque 0

En d'autres termes, on aura une sortie **haute** (proche de +Vcc) ou **basse** (proche de 0 ou de -Vcc).

On notera qu'il existe toujours une petite différence entre la tension disponible en sortie (*output voltage swing*, en anglais) et la tension d'alimentation. Cette différence fait partie des caractéristiques propres à chaque modèle d'AOP, mais elle reste en général très faible, voire quasi négligeable.

[Menu](#)

L'AOP parfait et l'AOP réel

On pourrait définir l'AOP "parfait" ou "idéal" (celui de la théorie) comme un amplificateur de différence pur à gain différentiel infini, dont l'[impédance](#) d'entrée est infinie (pour ne consommer aucun courant de la source) et l'impédance de sortie est nulle (pour fournir un courant infini à la charge).

De plus, cet AOP parfait présenterait une largeur de bande infinie et un décalage en tension nul, rejeterait parfaitement le mode commun, et serait en outre insensible aux variations de température et de tension d'alimentation.

Mais on sait qu'en ce bas monde, rien n'est parfait...

Dans la réalité, on constate, par rapport à ce modèle théorique idéal, quelques "défauts" (souvent minimes, il est vrai)... Ces divergences entre l'AOP "réel" et l'AOP "parfait" donnent lieu à divers paramètres, qui sont répertoriés et quantifiés dans les *data sheets* des fabricants. Nous allons en étudier quelques uns...

[Menu](#)

Caractéristiques générales des AOP

Avant de décrypter une *data sheet*, voyons quelles sont les caractéristiques générales communes à la plupart des AOP disponibles:

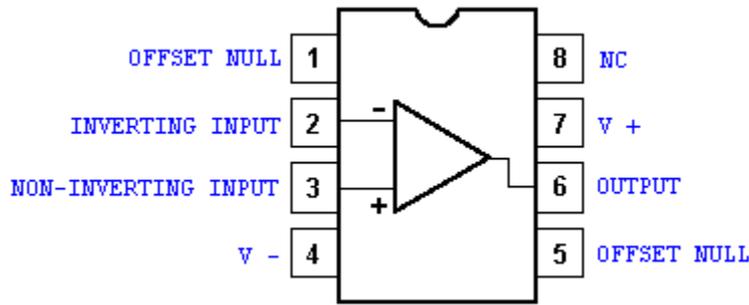
- technologie bipolaire (μ A741...), BI-FET (LF353...), CMOS...
- gain en boucle ouverte de l'ordre de 100.000 (souvent exprimé en [décibels](#))
- [impédance](#) d'entrée très grande (de l'ordre de 2 M Ω pour un μ A741, de 10⁶ M Ω pour un LF353...)
- [impédance](#) de sortie très faible (de l'ordre de 75 ohms pour un μ A741)
- courant disponible de l'ordre de 25 mA
- bande passante du continu à 1 MHz (LM324), 2 MHz (μ A741), 4 MHz (LF353)...

Ajoutons à cela que la plupart des AOP, notamment le LM324, acceptent volontiers une alimentation non-symétrique.

[Menu](#)

Lire la *data sheet* d'un AOP

Prenons pour exemple un AOP très courant (et très bon marché), le $\mu A741$. Voici son brochage :



Le $\mu A741$, en boîtier DIL 8. Ce boîtier comporte un seul AOP; d'autres modèles peuvent en comporter 2 (*dual*) ou même 4 (*quad*). La broche 8 n'est pas utilisée (NC pour *not connected*).

Voici maintenant un extrait de la fiche technique du $\mu A741$:

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	Min	Typ	Max	UNIT
V_S	Supply voltage				+/- 18	V
V_{IN}	Differential input voltage				+/- 30	V
V_{OS}	Offset voltage	$R_S = 10\text{ k}$		2,0	6,0	mV
I_{OS}	Offset current			20	200	nA
I_{BIAS}	Input bias current			80	500	nA
V_{out}	Output voltage swing	$R_L = 10\text{ k}$		+/- 12	+/- 14	V
CMRR	Common Mode Rejection Ration		70	90		dB
V_{IN}	Input voltage range		+/- 12	+/- 13		V
R_{IN}	Input resistance		0,3	2		$M\Omega$
R_{OUT}	Output resistance			75		Ω

A quoi correspondent tous ces paramètres?

V_S et V_{IN} ne nous sont pas inconnus: il s'agit de la tension (symétrique) d'alimentation du c.i. et de la tension différentielle maximale. Nous avons également signalé que les impédances d'entrée R_{in} (**input resistance**) et de sortie R_{out} (**output resistance**) sont respectivement très grande et très petite, ce que confirment les valeurs fournies.

[Menu](#)

Tension de décalage en entrée (*input offset voltage*)

Si les deux entrées e+ et e- sont reliées à la masse, la tension différentielle devrait bien évidemment être égale à 0. Or, dans la pratique, on peut vérifier l'existence d'une tension continue de sortie V_{out} ... Le phénomène s'explique par une infime dissymétrie dans la géométrie des entrées. Ce décalage (*input offset voltage*, noté V_{OS}) peut être compensé en montant une résistance ou un potentiomètre monté sur les entrées *offset null*, ce qui a pour effet de forcer la sortie à 0 quand les entrées sont elles-mêmes à 0.

Modèle	V_{OS} Input Offset Voltage (typique)
LM324	+/- 2 mV
$\mu A741C$, CA1458	2,0 mV
LF353	5 mV

Courant de polarisation en entrée (*input bias current*)

Les deux entrées d'un AOP sont, on l'a vu, des transistors (bipolaires dans le cas du $\mu A741$). Leur polarisation devrait être rigoureusement identique, ce qui n'est jamais le cas et provoque, du fait d'un décalage de courant (*input offset current*), un décalage de la tension de sortie V_{out} . Le remède consiste à monter une résistance sur l'entrée non inverseuse.

Amplitude de la tension de sortie (*output voltage swing*)

Le paramètre v_{out} fournit la valeur maximale de la tension en sortie, cette tension ne pouvant être, naturellement, supérieure à la tension d'alimentation.

Taux de réjection en mode commun (*common mode rejection ratio*)

Dans le cas où les deux tensions V_1 et V_2 sont égales, la tension différentielle est nulle (elle vaut 0). On dit alors que l'AOP amplifie en **mode commun** (*common mode*, en anglais).

On voit bien que ceci n'est pas souhaitable, car cela n'a guère de sens d'amplifier une tension nulle... En fait, un signal mode commun correspond en général à un parasite, et par conséquent il doit, ou devrait, être rejeté par l'AOP. Celui-ci n'étant parfait, on risque de trouver en sortie une amplification partielle de ce parasite. Les fabricants spécifient donc un *common mode rejection ratio* (CMRR), ou **taux de réjection en mode commun**, qui correspond au taux entre l'amplification en mode différentiel (la bonne) et celle en mode commun (la mauvaise). Ce taux est exprimé en décibels (dB): plus il est élevé, plus l'AOP s'oppose au mode commun.

Modèle	CMRR (valeur typique)
LM324	70 dB
$\mu A741C$, CA1458	90 dB
LF353	100 dB

Lire la *data sheet* d'un AOP (suite...)

Prenons maintenant pour exemple un autre modèle d'AOP, lui aussi très courant, le LM324.

Ce quadruple AOP en boîtier DIL 14 présente d'intéressantes particularités, notamment la possibilité de l'alimenter avec une tension continue positive comprise entre 3 et 30 V ou une tension symétrique comprise entre $\pm 1,5$ V et ± 15 V.

Qui plus est:

- son gain en boucle ouverte atteint 100 [dB](#)
- il consomme très peu de courant (1 mW par AOP sous 5 V)
- la tension différentielle V_{in} peut être égale à la tension d'alimentation V_{cc}
- la tension de sortie peut atteindre 0 V (pas de décalage) ou la valeur de $(V_{cc} - 1,5 \text{ V})$

Voici un court extrait (simplifié) de sa *data sheet*:

SYMBOL	PARAMETER	Typ	UNIT
I_{OUT}	Output current	20	mA
GBW	Unity gain bandwidth	1	MHz
SR	Slew rate	0,3	V/ μ V

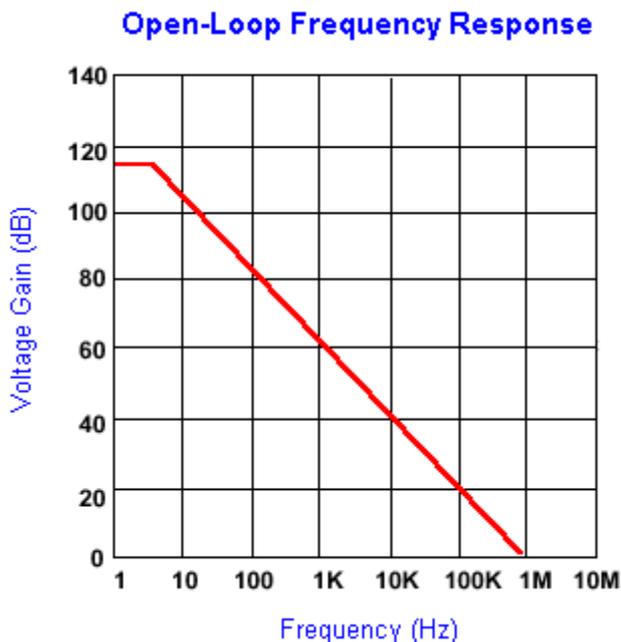
Nous avons déjà parlé du courant de sortie (*output current*), sa valeur typique est ici de 20 mA.

Les deux autres paramètres, contrairement à ceux que nous avons vus jusqu'à présent, se rapportent non pas au mode continu, mais au mode alternatif.

[Menu](#)

Fréquence à gain unitaire (*unity gain bandwidth*)

La **fréquence à gain unitaire** (*unity gain bandwidth*) est la fréquence à laquelle l'AOP n'amplifie plus (ou, si l'on préfère, amplifie par un facteur 1). En effet, le gain de l'AOP chute quand la fréquence augmente: ce phénomène caractérise sa **réponse en fréquence** (*frequency response*, en anglais).



Réponse en fréquence en boucle ouverte (sans contre-réaction, voir ci-après).

Plus la fréquence augmente, plus le gain en tension diminue, jusqu'au moment où il devient unitaire (égal à 1, donc 0 dB).

Sur le graphique ci-contre, on voit que le gain reste voisin de 120 dB jusqu'à une fréquence un peu inférieure à 10 Hz, puis il commence de chuter d'environ 20 dB chaque fois que la fréquence est multipliée par 10.

[Menu](#)

Pente de la tension maximale de sortie (*slew rate*)

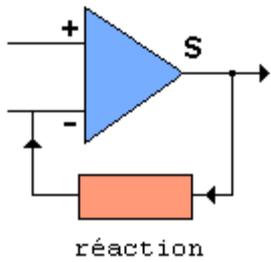
Le paramètre SR (*slew rate*) est la **pente de la tension maximale de sortie** (on parle aussi, parfois, de "temps de réponse"), autrement dit la vitesse de variation maximum du signal. On l'exprime en volt/microseconde (V/ μ s). Le SR indique la fréquence maximale d'utilisation de l'AOP sans distorsion du signal.

On notera que ces deux paramètres sont liés. Ainsi, le GBW du LM324 est de 1 MHz et son SR de 0,3 V/ μ V; pour le LF353, on a des valeurs de 4 MHz et 13 V/ μ V respectivement.

[Menu](#)

La contre-réaction

On vient de le voir, le gain de l'AOP diminue quand la fréquence augmente. Si on désire augmenter la bande passante, il faut donc (hélas) réduire le gain. C'est donnant-donnant...



On y parvient grâce à la technique de la **contre-réaction**, qui consiste à réinjecter une fraction de la tension de sortie V_{out} sur l'entrée inverseuse e^- , comme le montre la figure ci-contre.

On a alors un retour du signal en opposition de phase par rapport au signal d'entrée. Le signal de sortie viendra se soustraire au signal d'entrée de manière à faire travailler l'amplificateur dans sa partie linéaire.

En faisant varier le ratio de la tension réinjectée par rapport à la tension de sortie, on peut aisément contrôler le gain de l'AOP.

Lorsqu'on utilise un AOP avec une contre-réaction, on dit qu'il fonctionne en **boucle fermée**.

Récapitulatif

Ce qu'il faut retenir, en bref:

- un AOP amplifie la différence des tensions appliquées sur ses deux entrées, l'une étant dite "non inverseuse" et l'autre, "inverseuse"
- l'alimentation est en principe symétrique, mais une alimentation positive est souvent possible
- le gain (facteur d'amplification) en boucle ouverte est faramineux: souvent supérieur à 100.000
- l'[impédance](#) d'entrée est très grande, l'impédance de sortie très petite
- le gain diminue à mesure que la fréquence augmente; la bande passante va en général du continu à 1 ou 2 MHz pour les AOP en technologie bipolaire
- le courant maximal disponible atteint environ de 25 mA
- les AOP modernes sont désormais très proches de l'AOP "parfait"

[Menu](#)

Les montages de l'AOP en amplificateur

L'AOP est sans conteste l'un des éléments les plus importants de l'électronique moderne. On le retrouve un peu partout, et pas seulement dans le domaine "audio". On ne s'étonnera donc pas du très grand nombre de modèles disponibles et de la variété des montages possibles. L'AOP est en effet très versatile!

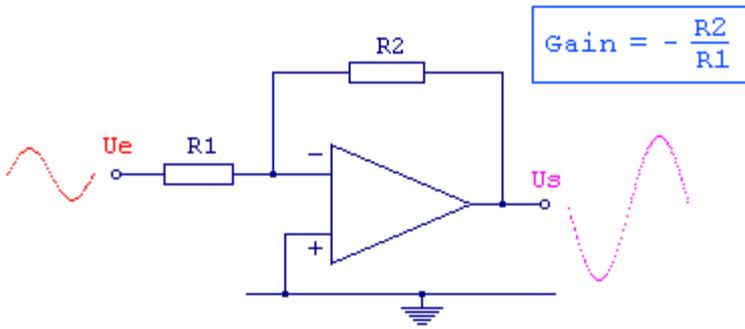
Pour commencer, nous allons passer en revue quelques montages "de base" lorsque l'AOP fonctionne en **amplificateur linéaire**.

[Menu](#)

Le montage amplificateur inverseur

C'est **le** montage de base à amplificateur opérationnel...

Le signal d'entrée (celui qu'on désire amplifier) est relié à l'entrée inverseuse e^- par une résistance R_1 , et la sortie est reliée à cette même entrée e^- par une résistance R_2 . Quant à l'entrée non inverseuse e^+ , elle est reliée à la masse. Le signal en sortie est déphasé de 180° ("inversé") par rapport au signal d'entrée.



Le gain en tension du montage inverseur est donné par la formule ci-contre. Il est **négatif**, et sa valeur ne dépend que des deux résistances R1 et R2. Le gain négatif se traduit en sortie par un déphasage à 180° (ou inversion) du signal d'entrée.

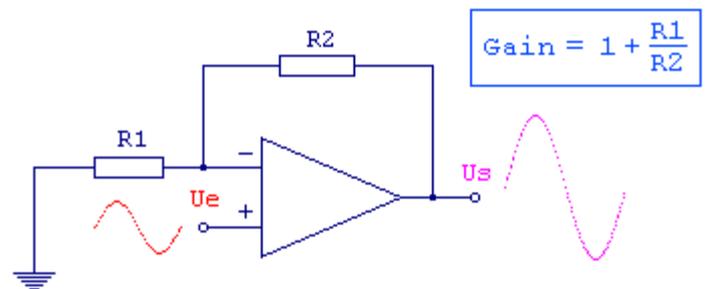
On voit bien les limites de ce montage: pour obtenir un fort gain en tension, il faut augmenter R2 et diminuer R1. Ce faisant, on diminue l'impédance d'entrée, qui doit rester aussi grande que possible. D'autre part, on ne peut augmenter R2 au delà de quelques MΩ. Le gain obtenu, en pratique, ne dépassera guère quelques centaines, une valeur déjà très honorable.

[Menu](#)

Le montage amplificateur non inverseur

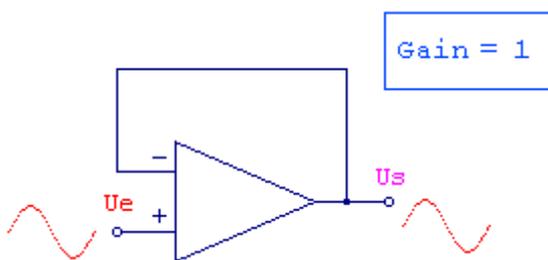
C'est le deuxième amplificateur de base.

Le gain, donné par la formule ci-contre, est toujours supérieur à 1. Il peut être ajusté finement à l'aide d'un potentiomètre. La sortie est en phase avec l'entrée. L'impédance d'entrée est très élevée et l'impédance de sortie quasi nulle. On a donc ici un ampli qui présente des caractéristiques idéales! Seul le comportement en fréquence pourra poser problème.



[Menu](#)

Le montage suiveur ou "tampon à gain unitaire"



C'est une extrapolation du montage précédent, avec R1 de valeur infinie et R2 égal à zéro (ce qui revient à supprimer R1 et R2).

Le montage suiveur procure un gain unitaire, autrement dit, pas d'amplification. Sa fonction est l'adaptation d'impédance. On le placera donc en tampon entre deux portions d'un circuit, de façon à les isoler l'une de l'autre pour prévenir toute interaction parasite.

Ce circuit est utilisé en amont et en aval d'un montage pour bénéficier d'une impédance d'entrée très grande, et en sortie d'une impédance de sortie très basse.

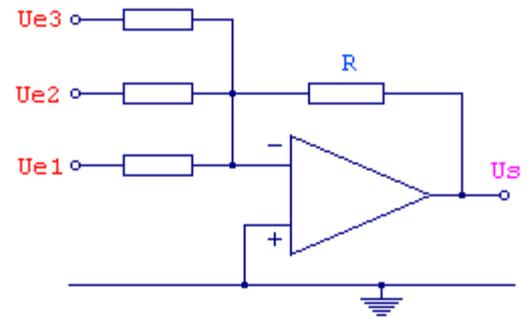
[Menu](#)

Le montage additionneur inverseur

On aborde ici le premier montage "opérationnel", c'est-à-dire capable de réaliser une opération arithmétique sur un ou plusieurs signaux d'entrée. Il s'agit en l'occurrence de l'addition.

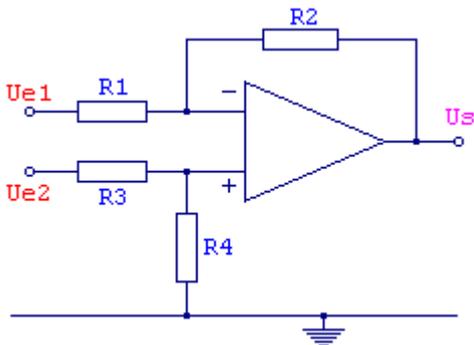
L'amplificateur sommateur inverseur permet, notamment, de mélanger plusieurs signaux ensemble ou encore d'écouter plusieurs récepteurs sur un seul amplificateur.

On notera la similitude avec le montage inverseur vu précédemment. On peut ajuster le gain globalement en jouant sur R, et le gain de chaque entrée séparément en jouant sur les résistances Re (au détriment, il est vrai, de l'impédance d'entrée de la voie concernée). Quant à l'impédance de sortie, elle est voisine de 0.



[Menu](#)

Le montage soustracteur



Ce montage permet d'amplifier la différence de deux signaux. C'est un montage très important dans le domaine de la mesure.

On pose en général comme condition: $R1 = R3$ et $R2 = R4$. On a alors en sortie la différence des deux signaux d'entrée ($Ue2 - Ue1$) multipliée par le gain, qui vaut $R4/R3$ ou $R2/R1$.

Autres montages opérationnels

Il existe bien d'autres montages opérationnels, plus sophistiqués, qui sortent du cadre d'une simple initiation: si vous êtes curieux, [cliquez ici...](#)

Les montages de l'AOP en commutateur

Voici maintenant des montages dans lesquels les deux entrées sont forcées à des valeurs différentes. L'AOP ne fonctionne plus ici en mode linéaire, mais en **commutation**. Conséquence: on aura en sortie soit un **état haut** ("presque Vcc", ou plus exactement V_{sat+}), soit un **état bas** ("presque 0 V", ou V_{sat-}).

[Menu](#)

Le montage comparateur de tensions

C'est sans doute l'une des utilisations les plus "populaires" de l'AOP et il existe de nombreuses et astucieuses variantes de ce montage.

L'idée est la suivante: on fixe une tension de référence (donc connue précisément) sur une entrée de l'AOP et on compare le signal (dont on ne connaît pas, *a priori*, la tension), présenté sur l'autre entrée, à cette référence. De deux choses l'une: la tension du signal est supérieure ou inférieure à la tension de référence. Selon la configuration du montage, on aura en sortie de l'AOP un état haut ou un état bas.

Si le signal est présenté sur l'entrée e+ (la référence étant fixé sur e-), on dit que le comparateur est non inverseur. Si le signal est présenté sur l'entrée e- (la référence étant fixé sur e+), on dit que le comparateur est inverseur. En supposant une référence fixée à 5 V, on aura en sortie d'un comparateur non inverseur un état haut quand le signal sera supérieur à 5 V et un état bas lorsque le signal sera inférieur à 5 V. Pour un comparateur inverseur, on inverse!

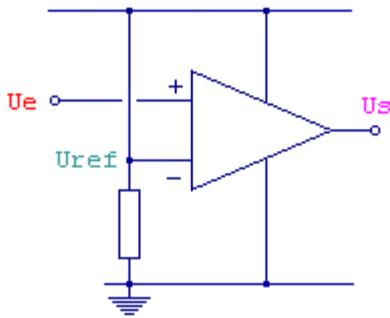


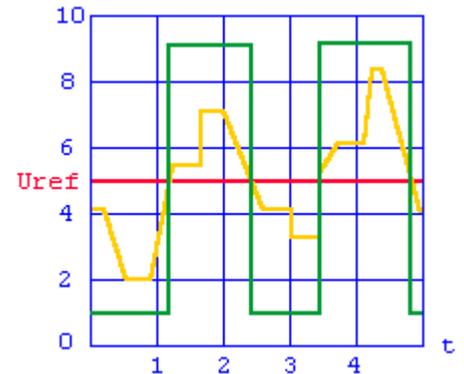
Schéma de principe du montage comparateur de tension. On a retenu ici un montage non inverseur: le signal est présenté sur l'entrée e+ et la tension de référence est fixée sur l'entrée e-. L'alimentation est non symétrique.

Si $U_e > U_{ref}$, U_s sera à l'état haut. Si $U_e < U_{ref}$, U_s sera à l'état bas.

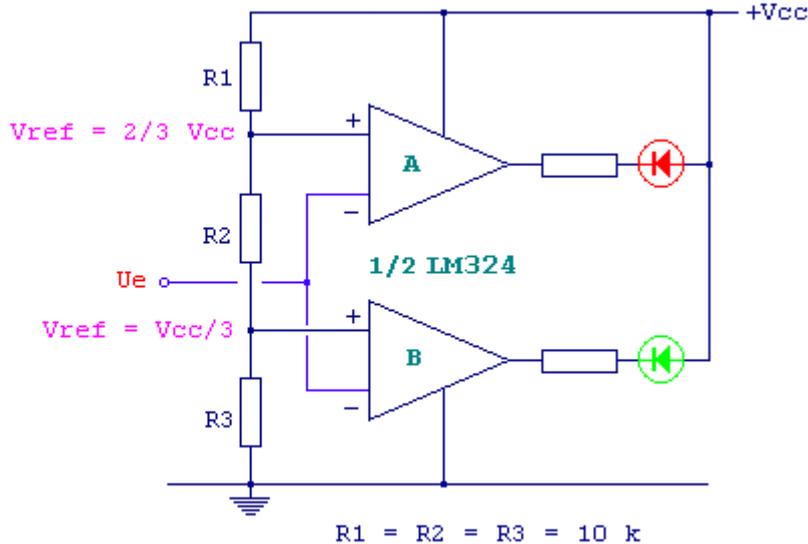
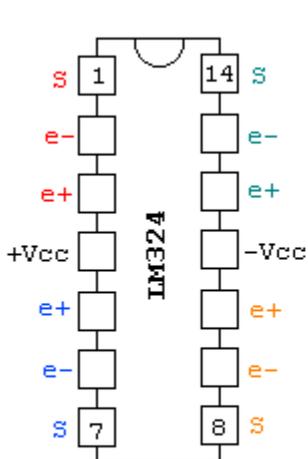
Ce montage est souvent associé, par exemple, à des systèmes de détection (franchissement d'un seuil, d'une valeur de consigne...).

On voit sur ce chronographe l'évolution de la tension de sortie (en vert) de l'AOP en fonction de la variation du signal d'entrée (en jaune).

Tant que la valeur de la tension du signal jaune reste sous la valeur de la tension de référence U_{ref} (rouge), la sortie est basse. Dès que la tension du signal jaune passe au-dessus de la valeur de U_{ref} , la sortie bascule immédiatement à l'état haut.



Voici une application pratique du comparateur de tensions; il s'agit d'un **double comparateur** construit autour d'un LM324, un quadruple AOP qui se prête à merveille à ce type de montage et qui peut sans problème être alimenté sous tension non symétrique. A noter qu'il s'agit d'un montage en comparateur inverseur. A l'état bas, la tension de sortie de l'AOP est de zéro.



La tension d'entrée U_e , qui est variable, est comparée à deux tensions de référence, fixée à $1/3$ et $2/3$ de V_{cc} respectivement.

Si $U_e < 1/3 V_{cc}$, les DEL sont éteintes.

Si $U_e > 1/3$ de V_{cc} , la DEL verte s'allume, la rouge reste éteinte.

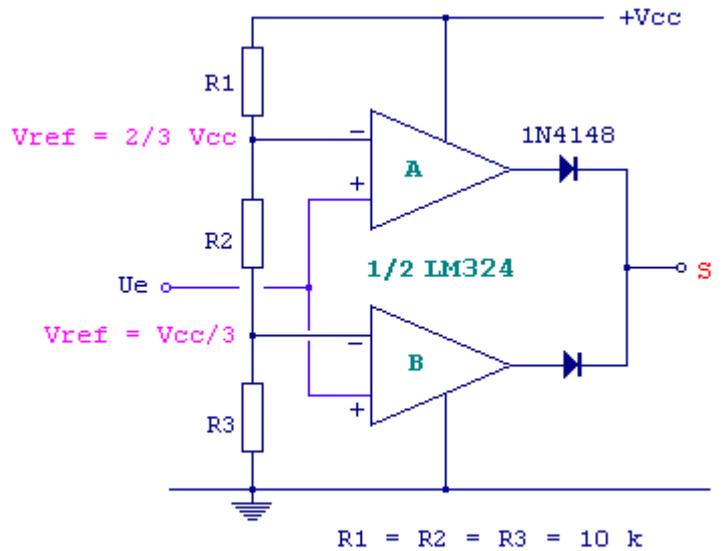
Si $U_e > 2/3 V_{cc}$, les deux DEL sont allumées.

Le montage en **comparateur à fenêtre** est une variante très souvent exploitée dans les circuits de détection, notamment. On détermine une "fenêtre", avec un seuil mini et un seuil maxi: le signal en entrée sera donc "dans" la fenêtre ou "en dehors".

On a choisi de donner la même valeur à R1, R2 et R3, de manière à former un pont diviseur par tiers. On détermine ainsi les seuils "mini" et "maxi" de la fenêtre. Les sorties des AOP sont reliées entre elles via des diodes petites signaux (fonction anti-retour). On a donc en définitive une seule sortie (notée S).

En prenant $V_{cc} = 9\text{ V}$, la sortie sera haute à la double condition que $U_e > 3\text{ V}$ et $U_e < 6\text{ V}$.

A noter qu'il s'agit ici d'un montage en comparateur non inverseur, le signal à comparer étant présenté sur les entrées e+.



Rien n'empêche d'imaginer d'autres variantes, comme par exemple une fenêtre "ajustable", qui pourrait être redimensionnée, au besoin, à l'aide de potentiomètre(s)...

Autres montages en commutateur

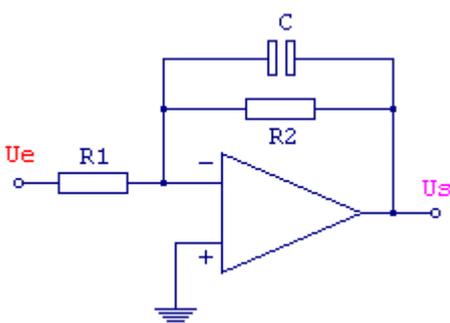
L'AOP se prête à bien d'autres montages (trigger, multivibrateur...), mais d'une part l'étude de ces montages sortirait du cadre de notre propos et, d'autre part, des circuits plus adaptés feraient mieux l'affaire...

[Menu](#)

L'AOP et la fonction de filtrage

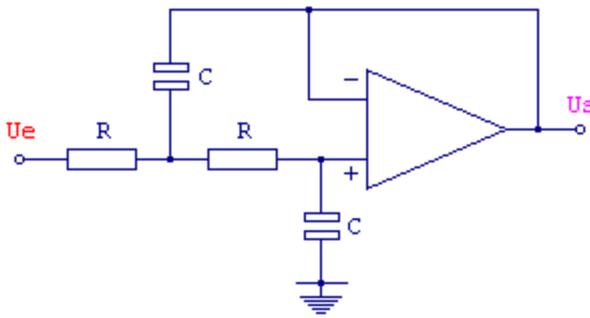
L'AOP permet aussi de réaliser ce qu'on appelle des **filtres actifs**, destinés à amplifier certaines fréquences et à en atténuer d'autres.

Voici le principe de fonctionnement d'un filtre de ce type, en l'occurrence un passe-bas:

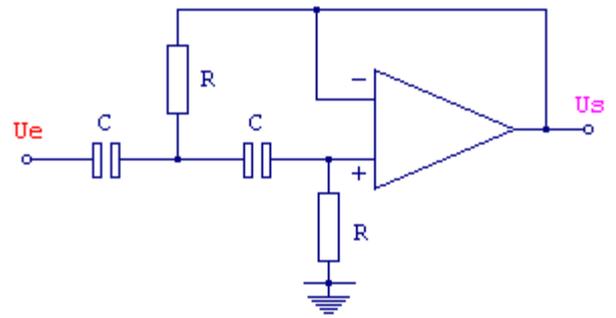


Le gain de cet AOP est fonction du rapport entre la résistance d'entrée R1 et la résistance de contre-réaction R2. On observe toutefois que le condensateur C est placé en parallèle avec R2. L'impédance de C est très grande aux basses fréquences, donc la présence de C ne modifie que très peu le gain. Plus la fréquence augmente, plus l'impédance de C diminue, d'où un gain de moins en moins élevé. En définitive, on amplifie les basses fréquences, et pas les hautes, ce qui est bien l'effet recherché avec un filtre passe-bas. Si on désire réaliser un filtre passe-haut (atténuer les basses fréquences, amplifier les hautes fréquences), le montage est identique, sauf que C est mis en parallèle avec la résistance d'entrée R1.

Le filtrage est un domaine tellement vaste (et assez complexe) qu'il constitue presque une branche autonome de l'électronique moderne! Voici, à titre documentaire, comment l'AOP peut être utilisé pour réaliser des filtres plus élaborés.

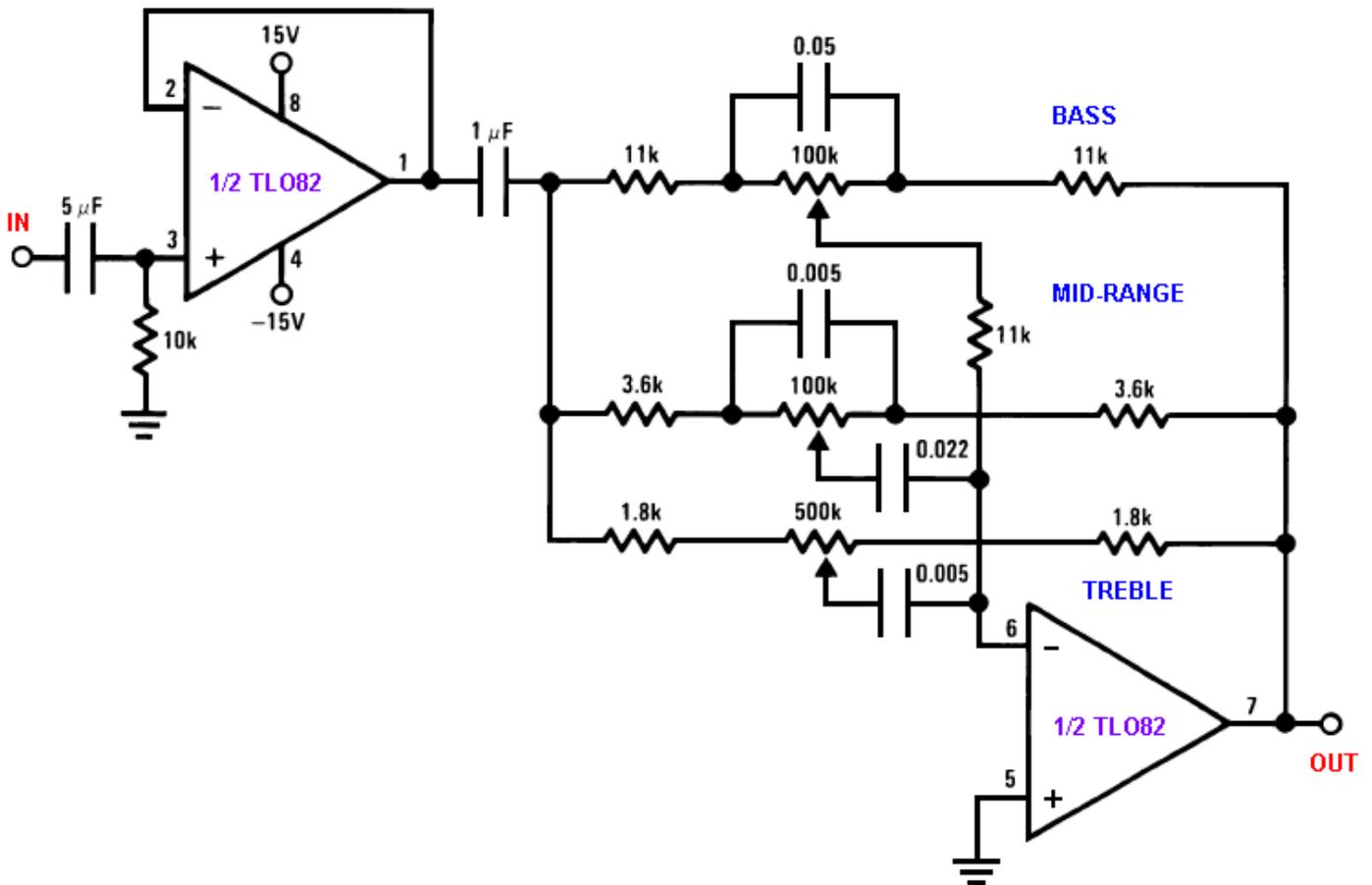


A gauche, un filtre passe-bas du 2ème ordre.



A droite, un filtre passe-haut du 2ème ordre.

Et voici, pour finir, un petit montage qui réjouira les audiophiles: un triple contrôle de la tonalité, à l'aide d'un seul TL082. Ce schéma est directement issu de la *data sheet*, qu'on se le dise!



[Menu](#)

http://stiperret.free.fr/bts/BTS%20AEA/Cours/Electronique/AOP%20E-lectronik_fichiers/C8.html