

# Cours 1

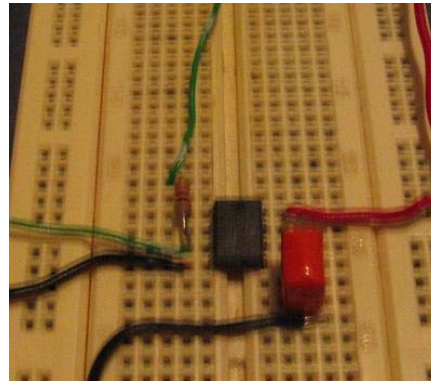
## Introduction

# Electronique 2: c'est quoi?

- Le cours AU COMPLET parle des amplificateurs
- Le cours est axe sur 3 aspects:
  - Specification
  - Conception
  - Verification
- Laboratoires servent a concretiser les notions du cours

# Electronique 2: c'est quoi?

- Laboratoire:
  - Prototypes et usage d'instruments de mesure
  - Logiciels pour la simulation de circuits



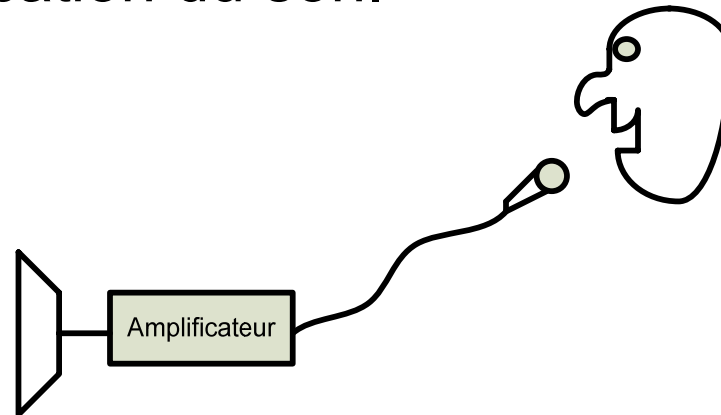
- A la fin, vous serez confortables avec les amplificateurs operationnels

# Pourquoi amplificateurs?

- Amplificateurs sont bons pour amplifier...
  - Pis?
- Sert dans beaucoup d'applications
- Servent principalement a amplifier:
  - Signal trop faible: rendre plus fort
- Servent aussi pour faire des maths:
  - Vous avez vu ca en signaux et systemes
- Allons voir des exemples...

# Applications: amplification

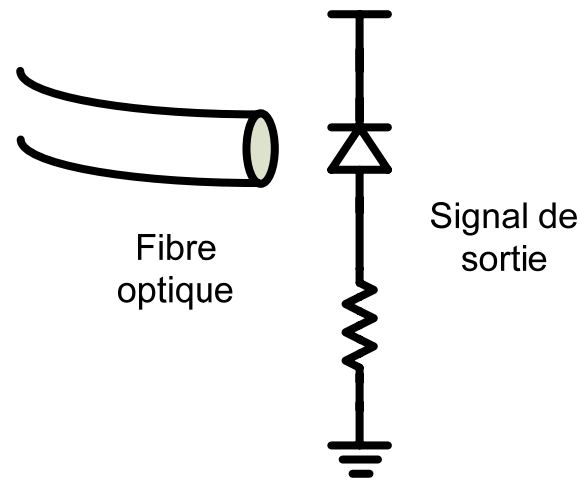
- Une des applications les plus évidentes:
  - Amplification du son.



- Un bonhomme parle dans un microphone.
  - Signal: microvolts
- Amplifier pour commander les speakers

# Applications: amplification

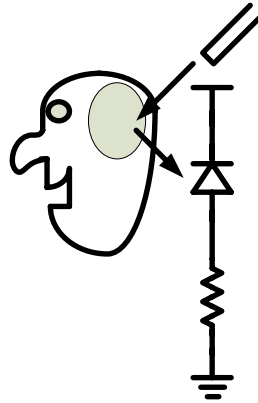
- Plus a jour: communication fibre optique



- Signal de photodiode est petit
- Il faut l'amplifier et le faire rapidement

# Applications: amplification

- Bientot: applications biomédicales
  - Ex: Détection de l'épilepsie



- Le cerveau réfléchit le “quasi infra-rouge”.
  - En regardant les signaux, on peut détecter l'épilepsie des heures à l'avance.

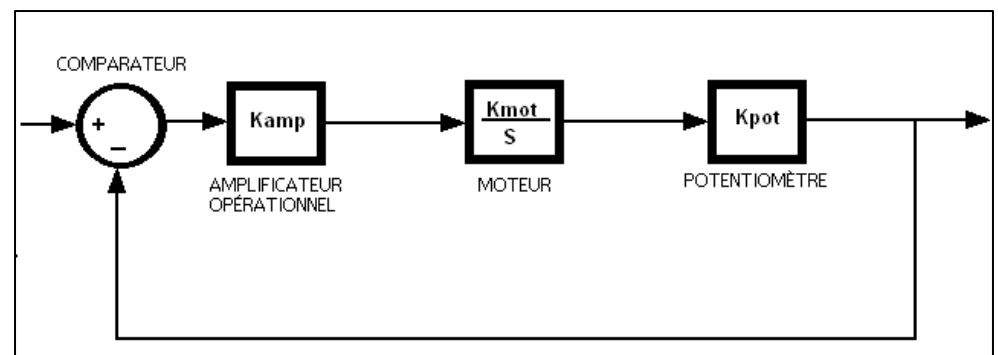
# Applications: Mathematiques

- On peut aussi faire des operations mathematiques:
  - Amplification (multiplication/division)
  - Addition/Soustraction
  - Derivee/Integrale
  - Diverses fonctions de transfert
- Mais, c'est quoi le but de faire des maths?!
  - Allons voir un exemple concret...



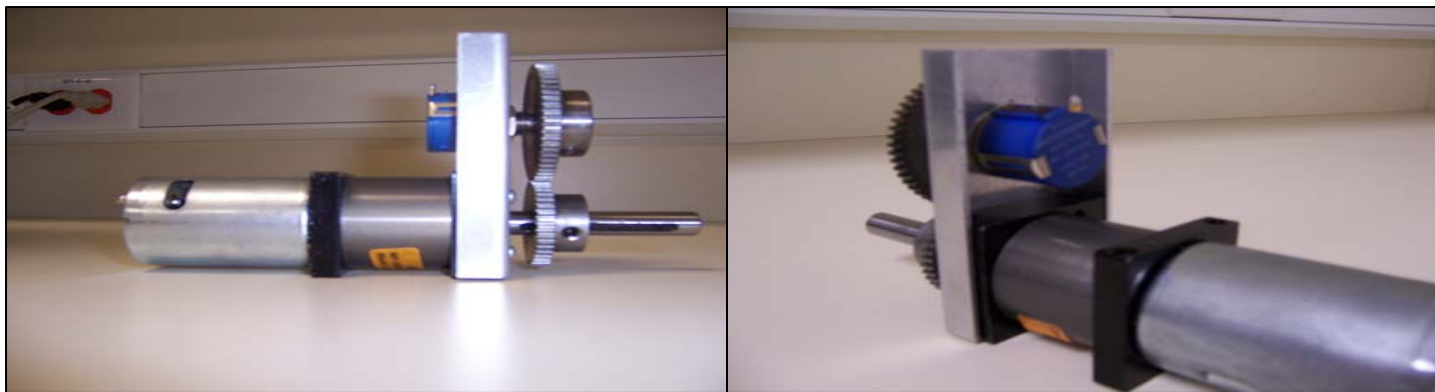
# Application

- Projet étudiant (Desmeules – Noel):
  - Asservissement de changeur de vitesse
- **But:** Faire tourner un moteur pour obtenir la bonne position



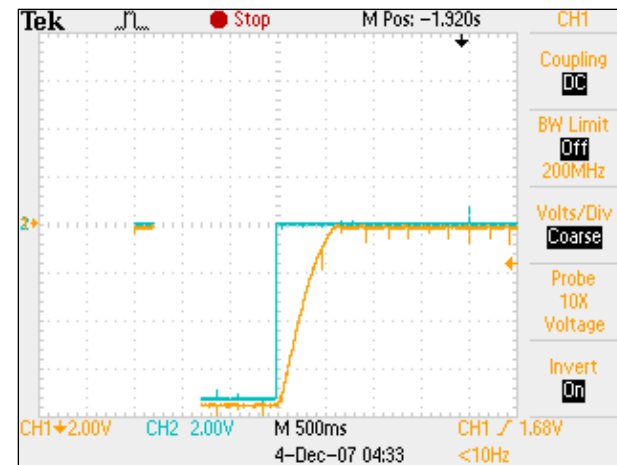
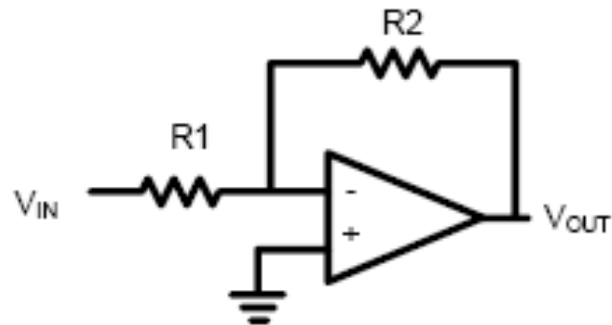
# Application

- Pour changer de vitesse:
  - On fait tourner le moteur
  - Quand le moteur arrive a la bonne place, on arrete
  - On utilise un potentiometre rotatif pour mesurer la position: position  $\rightarrow$  voltage



# Application

- Premiere solution

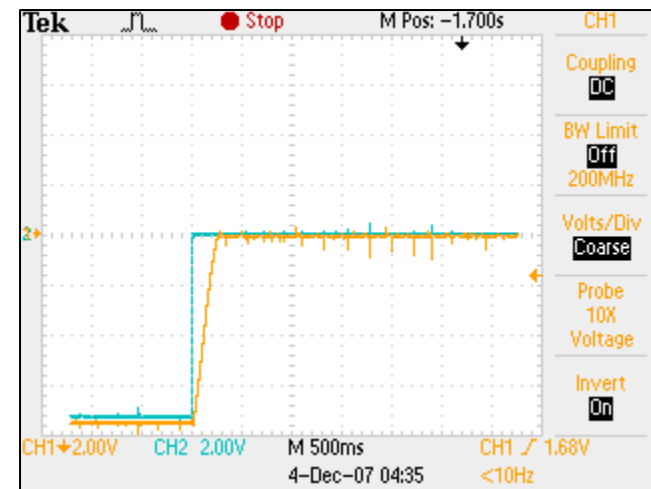
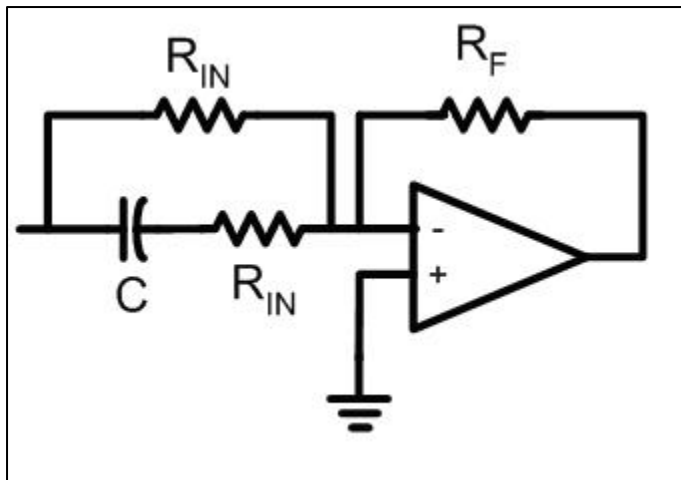


- Temps de reponse trop lent
  - Solution: on ajoute un zero...

“Ajouter un zero” = “derivee” ou “passe haut”

# Application

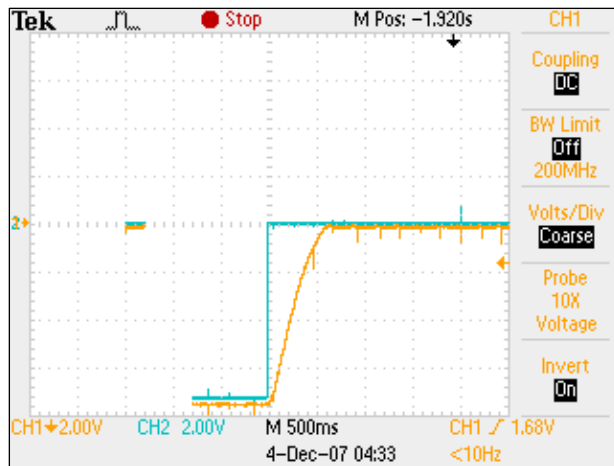
- Nouvelle solution



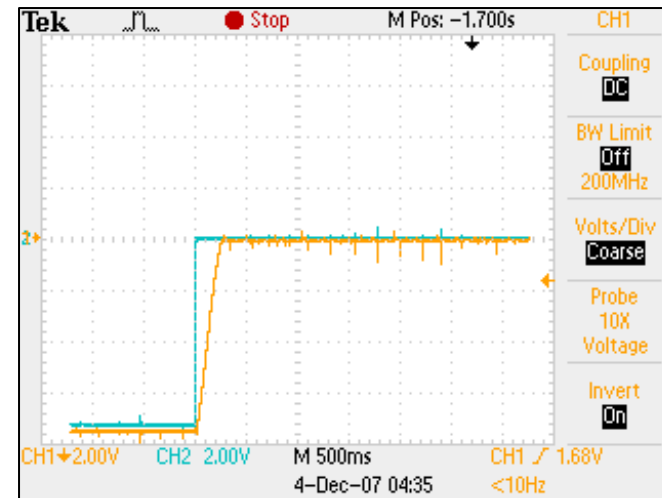
- On a utilise ampli pour creer une fonction de transfert pour optimiser un systeme

# Application

- Comparaison



Avant optimisation



Après optimisation

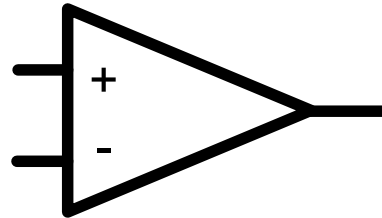
Ca complete les exemples...

# Amplificateur operationnel

- Eventuellement, on apprendra a concevoir les amplificateurs.
  - Pour l'instant on fait semblant qu'on en a deja un.
  - “Qu'est-ce que je peux faire avec un ampli?”
- Pour repondre a ca, il faut savoir comment un ampli ideal se comporte.
  - On commence avec un rappel et on poussera les choses plus loin...

# Amplificateur operationnel

- Le symbole d'un amplificateur est celui-ci

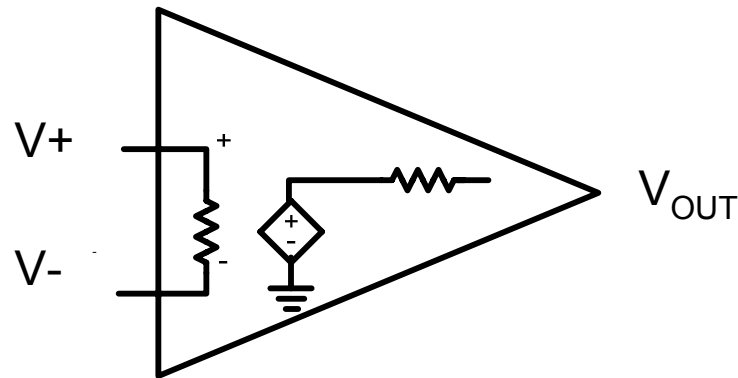


- Il y a 3 pattes:
  - 2 Entrees  $V+$  et  $V-$
  - 1 Sortie...
- Ca amplifie la difference entre  $V+$  et  $V-$
- Voyons les choses un peu plus en details

On commence avec un modele

# Amplificateur operationnel

- Le modele classique ressemble a ca:



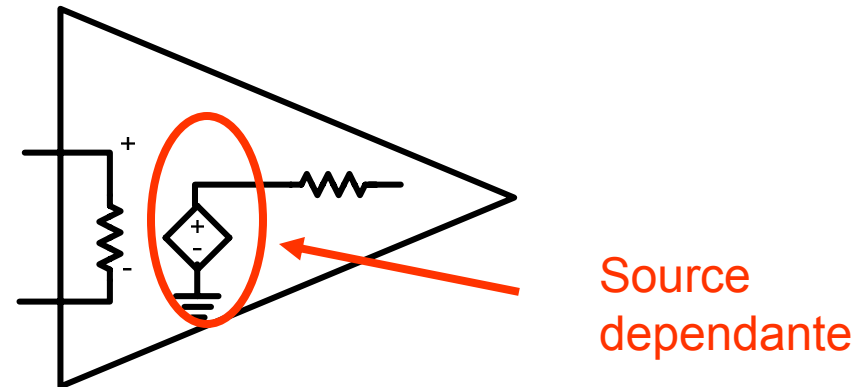
- On observe ceci:
  - Une resistance a l'entrée et une a la sortie.
  - Il y a une source de tension dependante.

Allons voir pourquoi ces composantes sont presentes dans le modele



# Source dependante

- La source dependante modelise le gain de l'amplificateur



- Sa tension depend de la tension en entrée
- Elle determine le gain de l'amplificateur

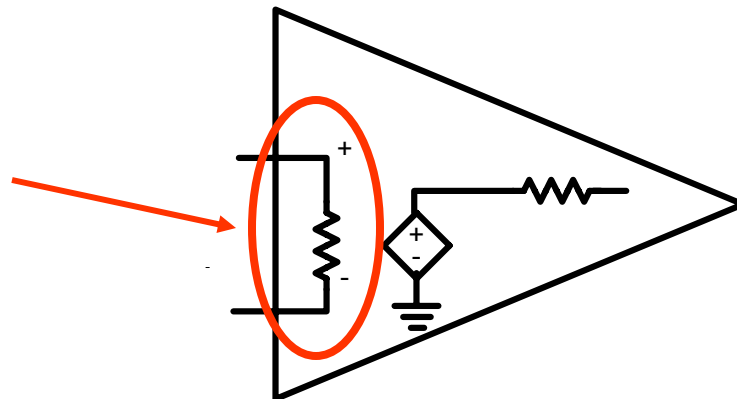
$$V_{DEPENDANTE} = A(V_+ - V_-)$$

A: Gain de l'amplificateur

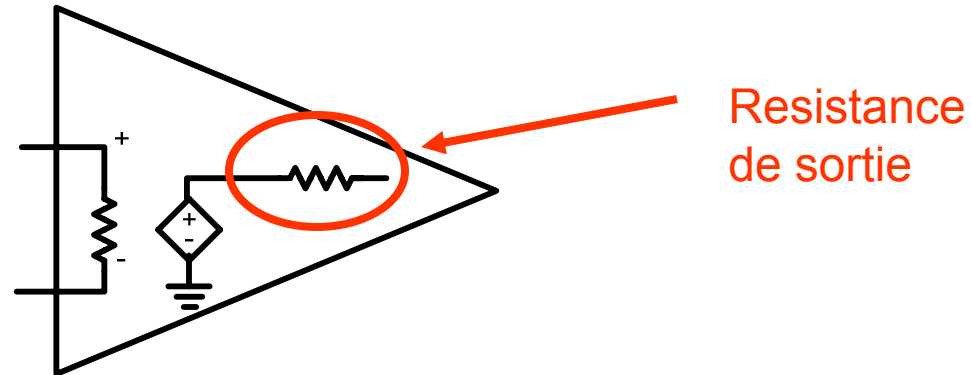
# Resistance a l'entree

- Quand on connecte une tension a l'entrée, l'amplificateur "tire" un courant.
- La valeur du courant depend du circuit de l'amplificateur.
  - Tension donne courant: on modelise comme resistance
  - Ce n'est pas NECESSAIREMENT une resistance

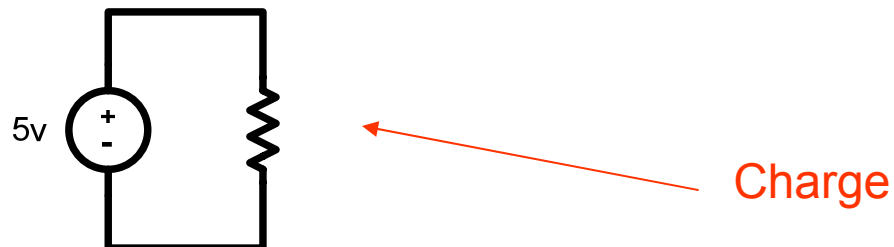
Resistance  
a l'entree



# Resistance de sortie

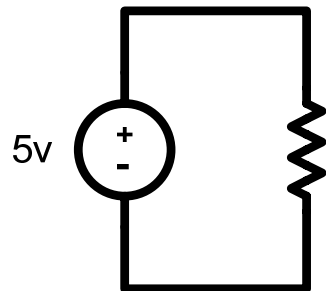


- Pour expliquer, retournons voir les sources ideales
- Si la source fournissait 5v (exemple), elle devrait fournir 5v quelle que soit la charge.



# Resistance de sortie

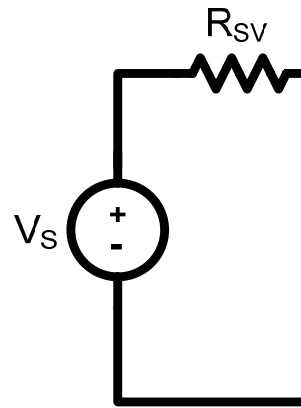
- On sait que:
  - Si  $R$  est  $1\Omega$ , le courant fourni sera  $5A$
  - Si  $R$  est  $100\Omega$ , le courant sera  $0.05A$
  - Et ainsi de suite.
- Qu'est-ce qui se passe quand  $R \rightarrow 0$ ?
  - $I \rightarrow \infty$
- En realite,  $I \rightarrow \infty$  est impossible...



Le modele ne reflete pas la realite...

# Resistance de sortie

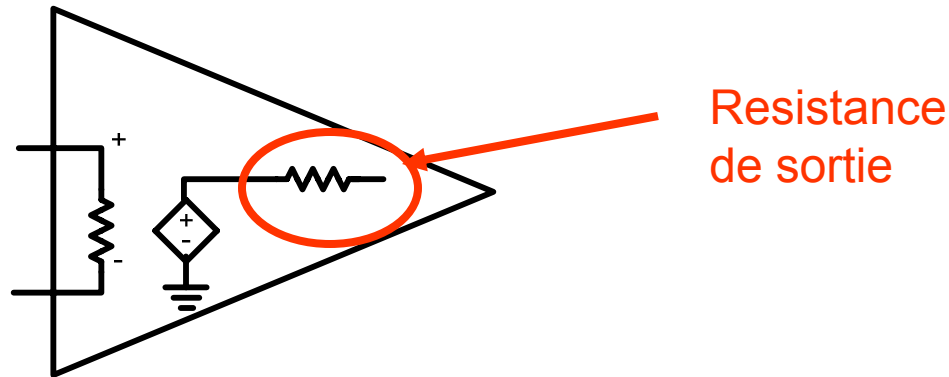
- Pour remédier a ce probleme, on modelise une resistance interne.



- Meme si  $R=0$ ,  $I$  n'est pas  $\infty$ 
  - Ca represente mieux la realite

# Resistance de sortie

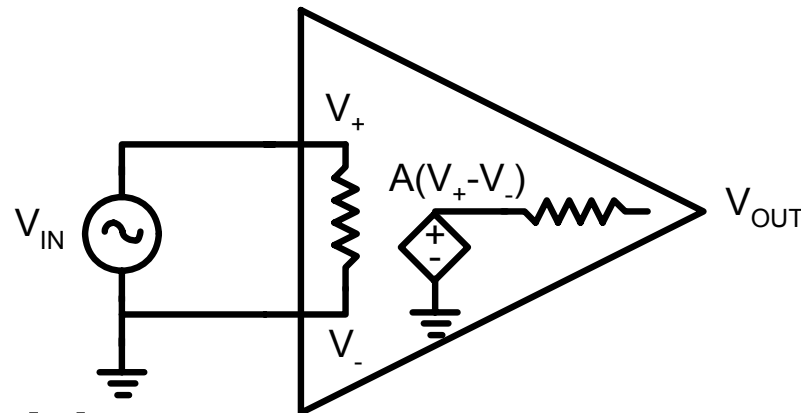
- Resistance interne aussi connu comme: **resistance de sortie.**
- TOUTES les sources ont une resistance de sortie:
  - Alimentation dans le lab
  - Generateur de fonction
  - Batterie
  - etc.



Ca complete l'explication du modele

# Dans un circuit “ideal”

- On connecte l'amplificateur a une source

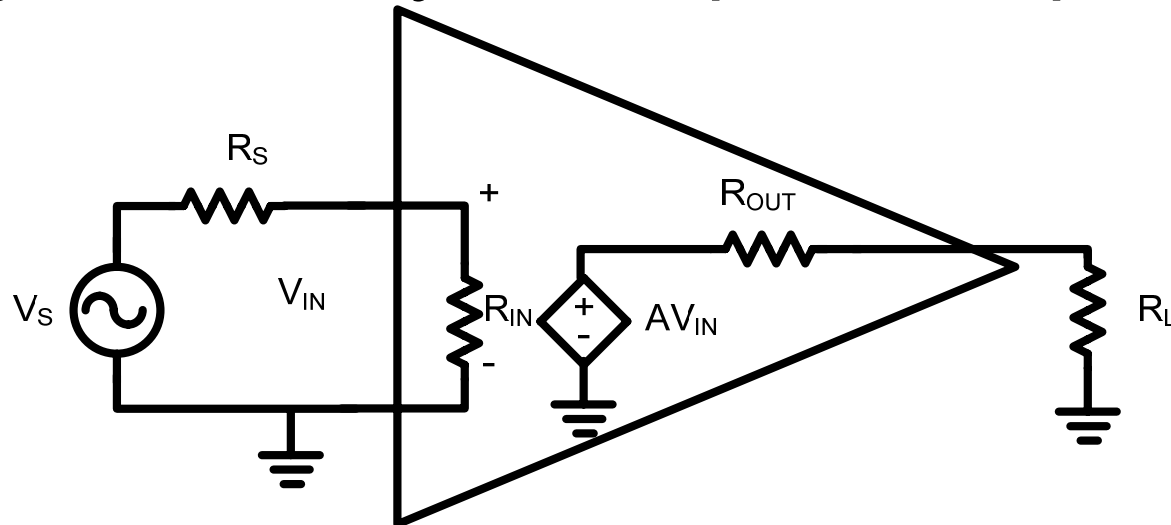


- La sortie  $V_{OUT}$  est connectee a rien
  - $V_{OUT} = V_{DEPENDANTE}$
- La source dependante est egale a  $AV_{IN}$ 
  - Donc la sortie est A fois plus grande que l'entree

Ca montre que ca fonctionne, mais ce n'est pas tres interessant...

# Amplificateur Ideal

- Imaginons un systeme plus complet:



- La source  $V_S$  pourrait etre micro
  - Elle a une resistance interne  $R_S$
- La charge  $R_L$  pourrait etre un speaker

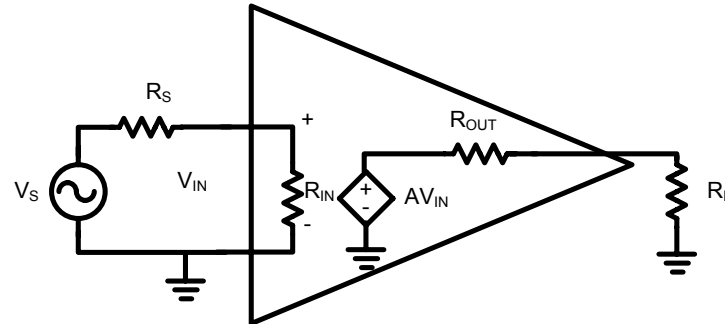


# Amplificateur Ideal

- Avec source  $V_S$  et un gain de  $A$ , on aimerait que la sortie soit egale a  $AV_S$ .
- Exemple:
  - Mon micro sort  $1\mu\text{V}$  et le gain est 1000
  - Le speaker devrait IDEALEMENT avoir  $1\text{mV}$
- A cause de  $R_S$ ,  $R_{IN}$ ,  $R_{OUT}$  et  $R_L$ , ce n'est pas toujours possible.

Allons voir pourquoi...

# Amplificateur Ideal



- On veut la sortie.. on écrit l'équation:

$$V_L = V_{DEP} \left( \frac{R_L}{R_L + R_{OUT}} \right)$$

- On sait que cette tension est:

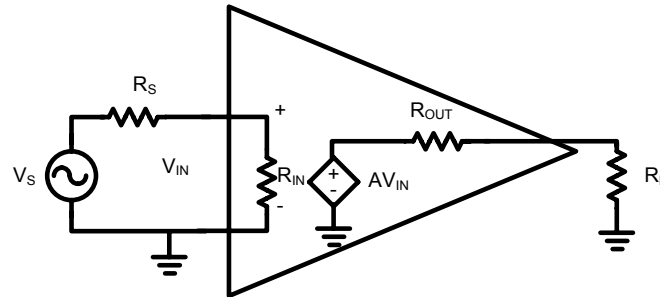
$$V_{DEP} = AV_{IN}$$

- On substitue:

$$V_L = AV_{IN} \left( \frac{R_L}{R_L + R_{OUT}} \right)$$

Il faut maintenant trouver  $V_{IN}$

# Amplificateur Ideal



- C'est un diviseur de tension:

$$V_{IN} = V_S \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_S}$$

- On substitue dans l'equation precedente

$$V_L = AV_S \left( \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_S} \right) \left( \frac{R_L}{R_L + R_{OUT}} \right)$$

Gain intrinseque  
maximal

Considere la perte  
dans  $R_S$

Considere la perte  
dans  $R_{OUT}$

# Amplificateur Ideal

- Idealement, on voudrait que le speaker recevoir  $AV_S$
- En realite, ca donne:

$$V_L = AV_S \left( \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_S} \right) \left( \frac{R_L}{R_L + R_{OUT}} \right)$$

- Comment faire pour que le gain soit  $AV_S$ ?
  - On peut changer 4 choses:  $R_S$ ,  $R_L$ ,  $R_{IN}$  et  $R_{OUT}$
- $R_L$  et  $R_S$  sont hors de notre controle:
  - Seulement  $R_{IN}$  et  $R_{OUT}$  font parti de l'ampli

Allons voir comment ajuster  $R_{IN}$  et  $R_{OUT}$ ...

# Amplificateur Ideal

- Revenons a l'equation:

$$V_L = AV_S \left( \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_S} \right) \left( \frac{R_L}{R_L + R_{OUT}} \right)$$

- $V_L$  sera  $AV_S$  si les 2 parentheses sont 1
- Parenthese #1:
  - Si  $R_{IN} \rightarrow \infty$ , sa valeur sera 1
- Parenthese #2:
  - $R_{OUT} = 0$ , sa valeur sera 1

Sinon, tension  $V_L$  sera moins que  $AV_S$

# Caracteristiques Ideales

- Donc, je veux que  $R_{IN} \rightarrow \infty$  et  $R_{OUT}=0$
- Dans un amplificateur, il y a aussi le gain
  - Qu'est-ce qui est ideal pour le gain A?
- Premiere reponse:
  - Ca depend de l'application: si j'avais besoin d'un gain de 10, je voudrais que  $A=0$ .
- Voyez-vous des problemes?

# Caracteristiques Ideales

- Probleme: le gain d'un amplificateur operationnel n'est pas stable ni precis
- Comment le rendre stable/precis?
  - On pourrait asservir le gain
- Notions de systemes asservis:
  - En boucle fermee, on a un meilleur controle sur les caracteristiques (bande passante, gain, etc.)
  - Pour ca, on veut un gain (boucle ouverte) eleve
  - Idealement,  $A \rightarrow \infty$

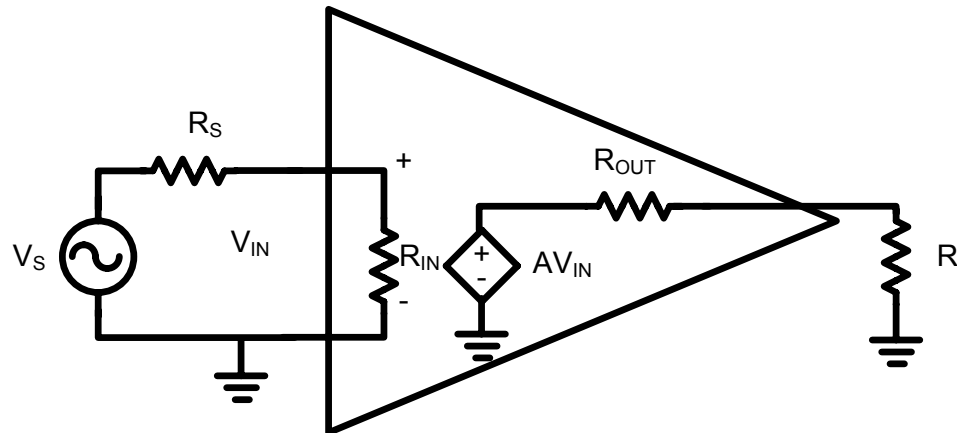
$$R_{IN} \rightarrow \infty$$

$$R_{OUT} = 0$$

$$A \rightarrow \infty$$

# Caracteristiques Ideales

- Caracteristiques d'un ampli-op ideal:
  - $R_{IN} \rightarrow \infty$ :  $V_S$  se retrouve entierement a  $V_{IN}$
  - $R_{OUT} = 0$ :  $AV_{IN}$  se retrouve entierement a  $R_L$
  - $A \rightarrow \infty$ : Nous permet de "mieux" s'en servir en boucle fermee (sera clair bientot)



Donc, quand on concoit un ampli, on voudrait avoir ces caracteristiques



# Caractéristique non-evidente

- Probleme: “si le gain etait  $\infty$ , la sortie serait **toujours**  $\infty$ !”
  - Si  $V_+ = 2\text{v}$  et  $V_- = 1\text{v}$ , sortie  $\rightarrow \infty$
  - Si  $V_+ = 2\text{v}$  et  $V_- = 3.2\text{v}$ , sortie  $\rightarrow -\infty$
- Ce n'est pas tres interessant!
- Note: On dit  $\infty$ , mais ca va saturer avant.
  - Ex: Si l'alimentation de l'ampli etait de 0v et 5v, la sortie sera 0v ( $-\infty$ ) ou a 5v ( $\infty$ )

Ca va ESSAYER de se rendre a  $\infty$ , mais va bloquer bien avant...

On pourrait s'en servir comme comparateur...

# Exemple d'application



- Application: Comparateur
  - Circuit qui dit si un signal est plus gros qu'un autre:
    - Si "oui", sortie 5v ('1' logique)
    - Si "non", sortie 0v ('0' logique)
- } Sortie "numerique"

Cependant, ce n'est pas tres utile pour l'amplication

# Amplificateur: Caracteristiques

- Avec  $A \rightarrow \infty$ , sortie sera toujours  $-\infty$  ou  $\infty$

$$V = A(V_+ - V_-)$$

- Exception: quand  $(V_+ - V_-) = 0$ .
  - Produit de 0 et  $\infty$  est indetermine.
- Donc:
  - Entrees differentes: sortie  $-\infty$  ou  $\infty$
  - Entrees PAREILLES: sortie indeterminee
- Oui, c'est encore tres abstrait...

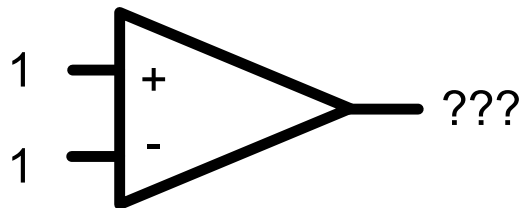
C'est bon d'etre indetermine, puisque ca PEUT etre non-infini

# Amplificateur: Caracteristiques

- Resumons:
  - J'aimerais avoir un gain infini
  - Un gain infini me donnerait une sortie infinie, ce qui n'est pas bon
  - Pour contrer ca, je vais m'assurer que ma tension a l'entrée soit 0
- Ok, mais c'est quoi le but?
- Allons voir un exemple pour concretiser les choses...

# Exemple

- Considerons cet exemple:

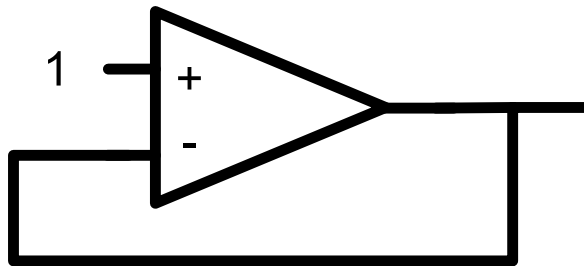


- Avec gain infini, quel serait la sortie?
- C'est indetermine (peut-etre pas infini)
- Mais, plus important, quel serait le but?
  - Reponse: Il n'y a pas de but...

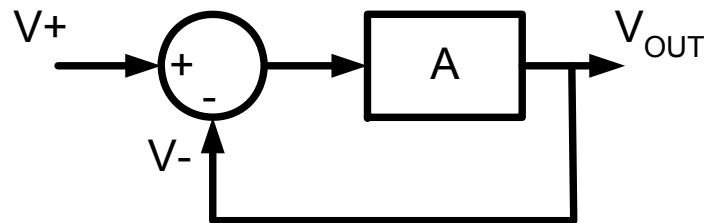
Voyons des choses un peu plus utiles...

# Exemples

- Imaginez maintenant une autre situation:



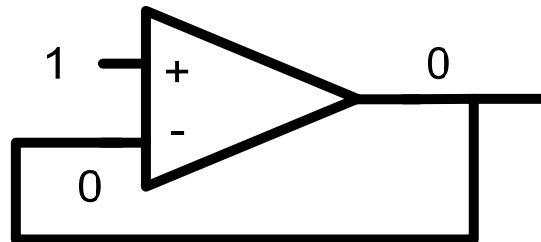
- La sortie est connectée à l'entrée négative
  - C'est l'asservissement dont on parlait



Examinons ca plus en detail...

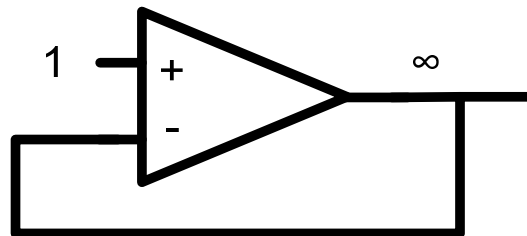
# Exemples

- Faisons une analyse dans le temps...
- Au debut, on a 0 un peu partout



$$V = A(V_+ - V_-)$$

- La difference entre  $V_+$  et  $V_-$  est de 1.
  - Avec gain infini, la sortie veut devenir infinie:



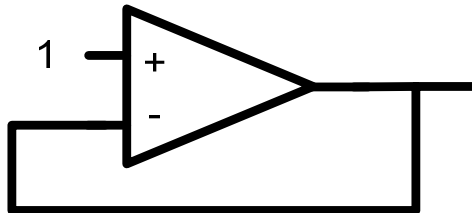
$$V = \infty(1 - 0) \rightarrow \infty$$

La sortie commence donc a augmenter peu a peu...

# Exemples

- La sortie augmente, donc  $V_-$  augmente
- La sortie augmente jusqu'à ce que  $V_- = 1$ .
  - Quand  $V_- = 1$ ,  $(V_+ - V_-) = 0$ .
  - Sortie est devenu 1 (n'est pas infinie)
- Est-ce que ca continue de monter?
  - Si ca dépassait 1, la sortie voudrait devenir  $-\infty$
  - Ca voudrait donc descendre et se stabiliser a 1

En passant, on note que  $V_+$  et  $V_-$  sont égaux

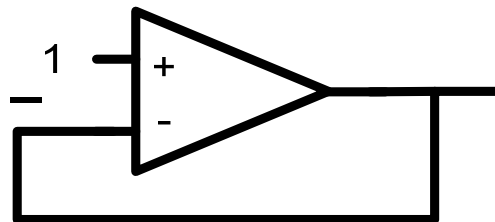


Faisons un autre exemple avec une autre entrée..



# Exemples

- Si la tension a  $V_+$  etait negative. Ex:  $V_+ = -1$ 
  - $V_-$ , initialement, serait 0.
  - La sortie voudrait etre  $-\infty$ .
- Ca ferait baisser la tension a  $V_-$ .
- La sortie (et  $V_-$ ) va continuer a baisser jusqu'a ce que  $V_+ = V_-$ .

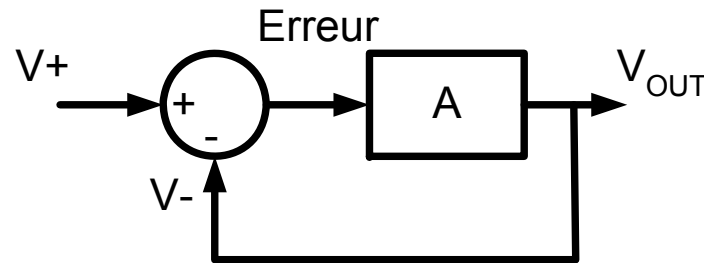


Encore une fois,  $V_+ = V_-$

# Conclusions

- La connexion entre la **sortie et  $V_-$**  semble faire que  $V_+ = V_-$ .

- Autrement dit: Un “feedback negatif” semble faire que  $V_+ = V_-$



$$A(V_+ - V_-) = V_{OUT}$$

- Est-ce que c'est vrai?

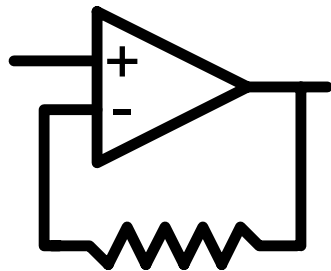
- On isole  $V_+ - V_- \dots$

$$(V_+ - V_-) = \frac{V_{OUT}}{A} \rightarrow 0$$

Seulement vrai quand A est infini...

# Conclusions

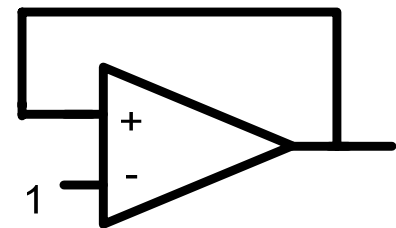
- Donc, en feedback negatif, la relation entre  $V_+$  et  $V_-$  depend du gain:
  - Gain infini:  $V_+$  et  $V_-$  sont egaux
  - Plus le gain est faible, plus  $V_+$  et  $V_-$  sont differents
- Cette relation est vrai meme si il y avait des elements en feedback



Si  $A \rightarrow \infty$ ,  $V_+ = V_-$

# Feedback positif

- Feedback negatif fait que la sortie ne soit pas  $\infty$  et que  $V_+$  et  $V_-$  soient semblables
- Le feedback positif fait quoi?
  - Si  $V_+$  (initial)  $< 1$ , sortie  $\rightarrow -\infty$
  - Si  $V_+$  (initial)  $> 1$ , sortie  $\rightarrow \infty$
- Sortie tend a s'eloigner de l'entrée.
- **Conclusion:** en feedback positif,  $V_+$  n'est pas egal a  $V_-$ .



Oui, il y a une application et on en parlera dans votre lab#1

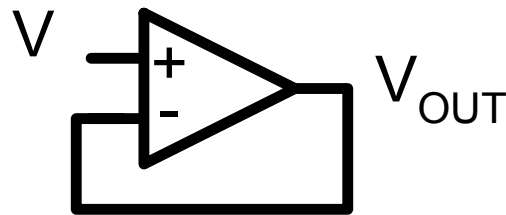
# Resume de l'ampli ideal

- Les caracteristiques de l'ampli op:
  - Gain  $A \rightarrow \infty$
  - $R_{IN} \rightarrow \infty$  (aucun courant a l'entrée)
  - $R_{OUT} = 0$
  - On note: En feedback negatif, on a  $V+ = V-$ .
- C'est bien amusant, mais qu'est-ce qu'on peut faire avec tout ca?

Allons voir des applications

# Configurations

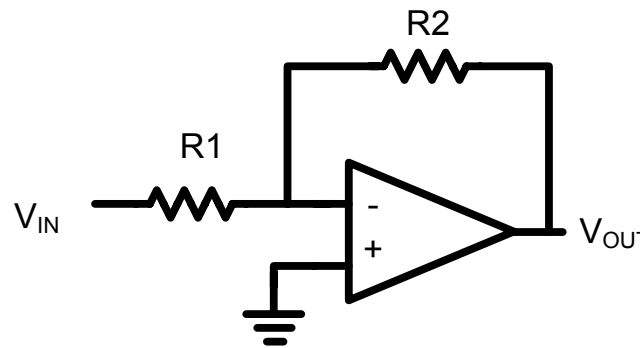
- On a vu une configuration ou la sortie est connectée  $V_-$



- Dans ce cas,  $V$  et  $V_{OUT}$  sont égaux
- On va voir d'autres configurations
  - Differentes onfigurations donnent des operations differentes qu'on peut faire avec les ampli op.

# Configuration: Gain negatif

- Examinons cette configuration

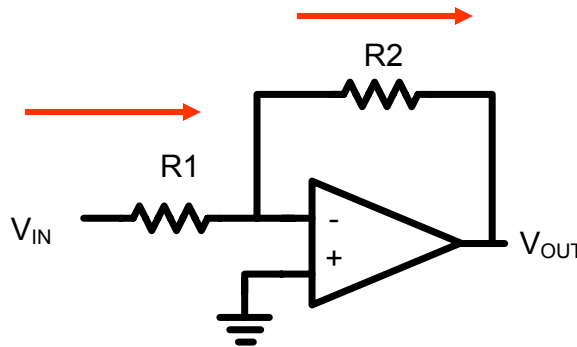


- Quelle est la sortie?
- On remarque premierement le feedback negatif:  $V_+ = V_-$ 
  - Les 2 tensions seront 0

Allons maintenant ecrire des equations de noeuds

# Configuration: Gain negatif

- La resistance a l'entrée est infinie.
  - Aucun courant n'entre dans l'ampli
  - Donc, courant dans R1 et courant dans R2 est le meme.



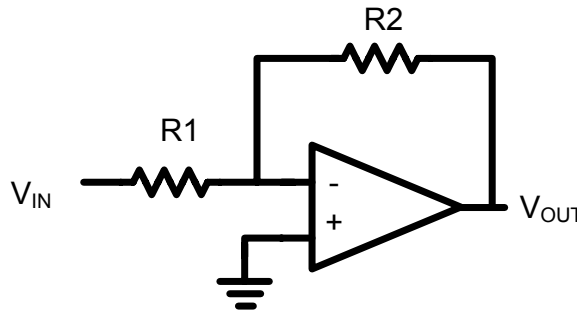
$$\frac{V_{IN} - 0}{R1} = \frac{0 - V_{OUT}}{R2}$$



# Configuration: Gain negatif

- On manipule un peu et on obtient:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\left(\frac{R2}{R1}\right)$$



- Gain determine seulement avec des composantes externes:  $R1$  et  $R2$ .

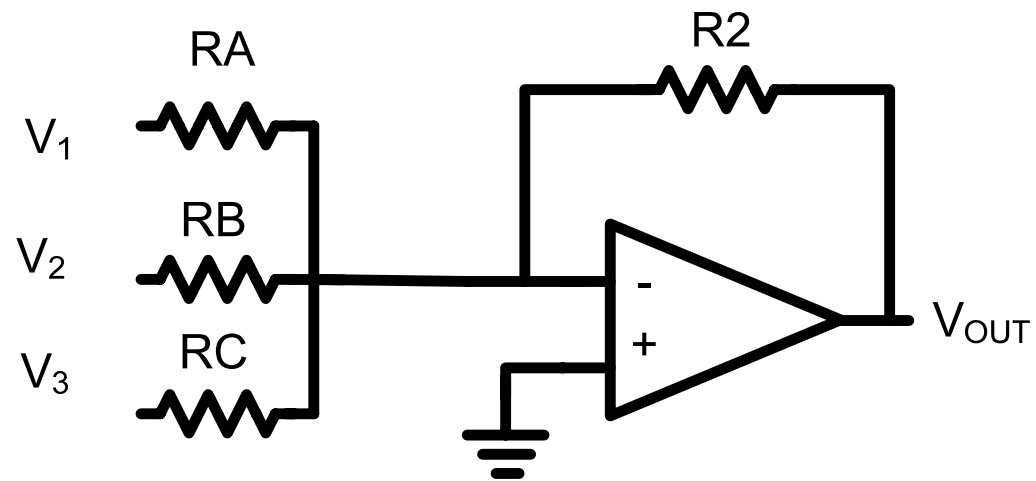
# Configuration: Gain negatif

- Meme avec un ampli qui a un gain infini, on peut avoir un gain bien determine.
- Le gain ne “depend pas” du gain de l’ampli op:
  - Cette independance est due au gain infini de l’ampli op
- Si le gain n’etait pas infini, sa valeur devra etre consideree.
  - Plus complique... on en parlera tantot

Passons a un autre exemple...

# Configuration: ???

- Que fait ce circuit?



# Configuration: ???

- Feedback negatif:  $V_+ = V_-$
- $R_{IN}$  infini: courant en entree passe directement a la sortie:

$$\frac{V_A - 0}{R_A} + \frac{V_B - 0}{R_B} + \frac{V_C - 0}{R_C} = \frac{0 - V_{OUT}}{R_2}$$

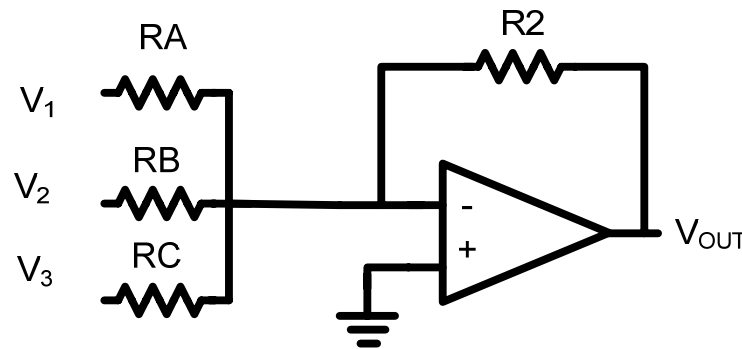
- Avec manipulations:

$$-R_2 \left( \frac{V_A}{R_A} + \frac{V_B}{R_B} + \frac{V_C}{R_C} \right) = V_{OUT}$$

# Configuration: Additionneur

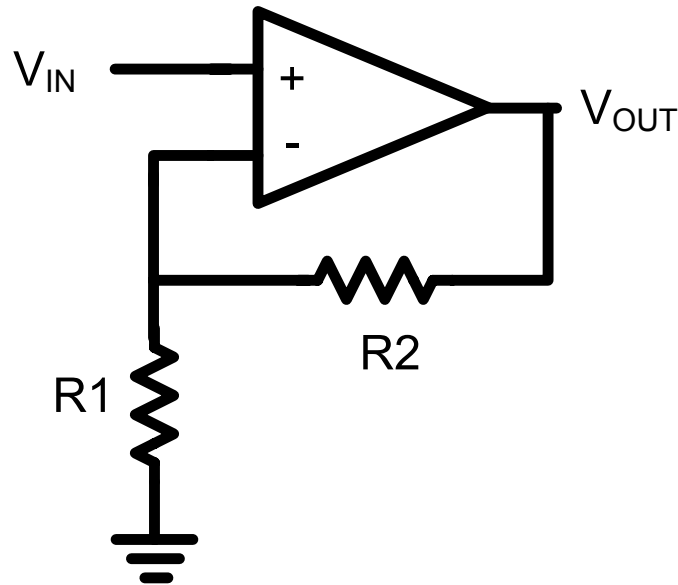
- Ca ne veut pas dire grand chose pour l'instant...
- Mettons  $R_A=R_B=R_C=R_2$  pour rendre les choses évidentes
  - La sortie serait  $V_1+V_2+V_3$ .
- C'est un additionneur de tension.

$$-R_2 \left( \frac{V_A}{R_2} + \frac{V_B}{R_2} + \frac{V_C}{R_2} \right) = V_{OUT}$$



# Exemple (seul)

- Calculez le gain  $V_{OUT}/V_{IN}$



# Exemple (seul)

- On est en feedback negatif:  $V_+ = V_-$
- Ecrivons nos equations:
  - Au noeud a l'entrée negative.

$$\frac{V_{OUT} - V_{IN}}{R2} = \frac{V_{IN}}{R1}$$

- On met les "VIN" a droite:

$$\frac{V_{OUT}}{R2} = V_{IN} \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right)$$

# Exemple (seul)

- Finalement, on isole le gain:

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \left( \frac{R2}{R1} + 1 \right)$$

- Remarquez que c'est la première fois qu'on a un gain positif.
  - C'est aussi la première fois que  $V_{IN}$  est connecté à  $V+$ .

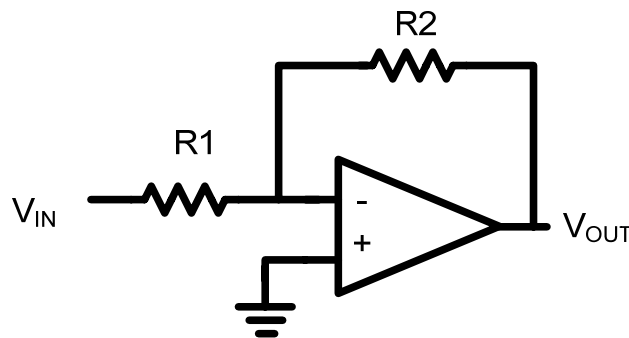


# Recette magique

- Recette pour résoudre les problèmes d'ampli op idéal:
  - Est-ce qu'il y a feedback négatif?
    - Si oui,  $V_+ = V_-$ .
    - Sinon, c'est probablement  $V_{OUT} \rightarrow \pm \infty$
  - Ecrire équation de courant aux nœuds
  - Se rappeler qu'il n'y a aucun courant qui entre
  - Se rappeler que le courant à la sortie d'un ampli op est inconnu. On n'écrit donc PAS d'équations de courant à la sortie.

# Ampli non-ideal (gain)

- Quand un ampli est non-ideal, son gain  $A$  n'est pas infini.
  - $V_+$  n'est plus exactement egal a  $V_-$ .
  - Considerons notre ampli a gain inverse



$$\frac{v_{in} - v_-}{R1} = \frac{v_- - v_{out}}{R2}$$

- $v_-$  n'est pas egal a 0 parce que gain est non-infini

Comment trouver  $V_-$ ?

# Ampli non-ideal (gain)

- On sait que la sortie est donnée par:

$$A(v_+ - v_-) = v_{out}$$

- En isolant  $V_+$ , j'obtiendrais

$$v_+ = \frac{v_{out}}{A} + v_-$$

Note: Si  $A$  infini, on aurait  $V_+ = V_-$  de nouveau

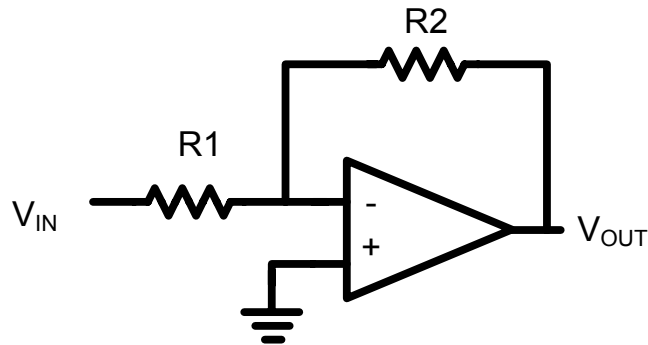
- En isolant  $V_-$ , j'obtiendrais

$$v_- = v_+ - \frac{v_{out}}{A}$$

On a une relation entre  $V_+$  et  $V_-$ ...

# Ampli non-ideal (gain)

- Retournons a notre ampli a gain inverse



$$\frac{v_{IN} - v_-}{R1} = \frac{v_- - v_{out}}{R2}$$

- On substitue le  $v_-$  avec l'equation qu'on vient de trouver...

$$v_- = v_+ - \frac{v_{out}}{A} \qquad \frac{v_{IN} - \left( v_+ - \frac{v_{out}}{A} \right)}{R1} = \frac{\left( v_+ - \frac{v_{out}}{A} \right) - v_{out}}{R2}$$

Rappel:  $V_+ = 0$

# Ampli non-ideal (gain)

- On met tous les  $V_{OUT}$  d'un bord:

$$v_{IN} = \frac{-R1 \left( \frac{v_{out}}{A} + \frac{Av_{out}}{A} \right)}{R2} - \left( \frac{v_{out}}{A} \right)$$

- On isole  $V_{OUT}/V_{IN}$ :

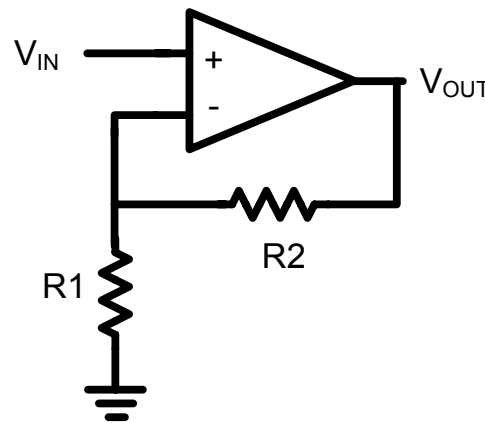
$$\frac{v_{out}}{v_{IN}} = - \frac{1}{\left( \frac{R1}{AR2} + \frac{R1}{R2} + \frac{1}{A} \right)}$$

- Verification:  $A \rightarrow \infty$ ,  $V_{OUT}/V_{IN}$ :  $-R2/R1$

Ca concorde avec nos resultats precedents

# Exemple (seul)

- Trouvez  $V_{OUT}/V_{IN}$  quand  $A$  n'est pas infini.



# Exemple (seul)

- On écrit l'équation au noeud  $v_-$ :

$$\frac{v_{out} - v_-}{R2} = \frac{v_-}{R1}$$

- Sachant que  $v_-$  est donné par:

$$v_- = v_{IN} - \frac{v_{out}}{A}$$

- Substitution:

$$\frac{v_{out} - \left( v_{IN} - \frac{v_{out}}{A} \right)}{R2} = \frac{\left( v_{IN} - \frac{v_{out}}{A} \right)}{R1}$$

# Exemple (seul)

- On developpe l'equation:

$$\frac{v_{out}}{R2} - \frac{v_{IN}}{R2} + \frac{v_{out}}{AR2} = \frac{v_{IN}}{R1} - \frac{v_{out}}{AR1}$$

- $v_{in}$  d'un bord et  $v_{out}$  de l'autre:

$$v_{out} \left( \frac{1}{R2} + \frac{1}{AR2} + \frac{1}{AR1} \right) = v_{IN} \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right)$$

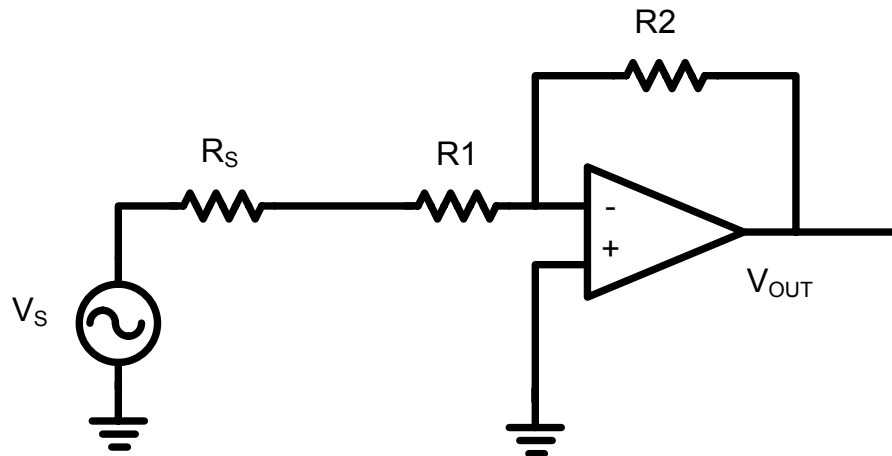
- On peut isoler  $v_{out}/v_{in}$ :

$$\frac{v_{out}}{v_{IN}} = \frac{\left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right)}{\left( \frac{1}{R2} + \frac{1}{AR2} + \frac{1}{AR1} \right)}$$



# Application d'un ampli a gain 1

- Considerons un systeme plus complet avec une source "reelle"
- Connectons a un amplificateur feedback negatif a sortie inversee:

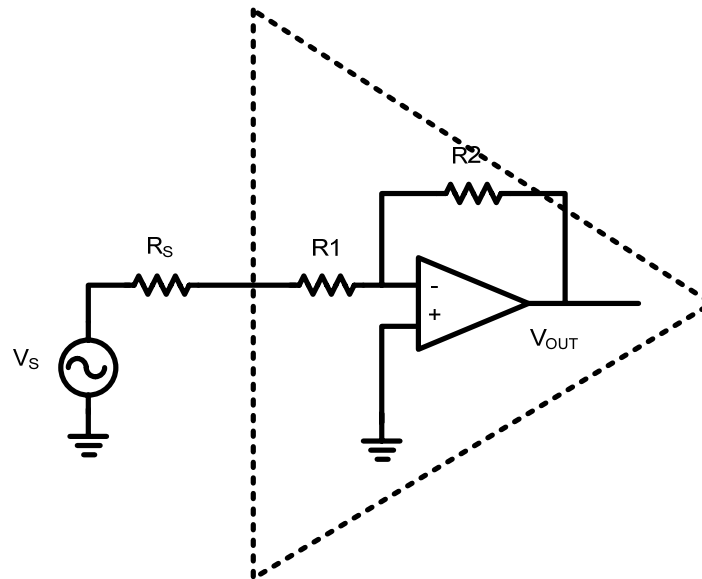


# Application d'un ampli a gain 1

- En concevant l'ampli, on s'attendrait a avoir un gain de  $-R_2/R_1$
- Avec la presence de  $R_S$ , ce n'est pas le cas.
- On se retrouve avec gain de  $-R_2/(R_1+R_S)$

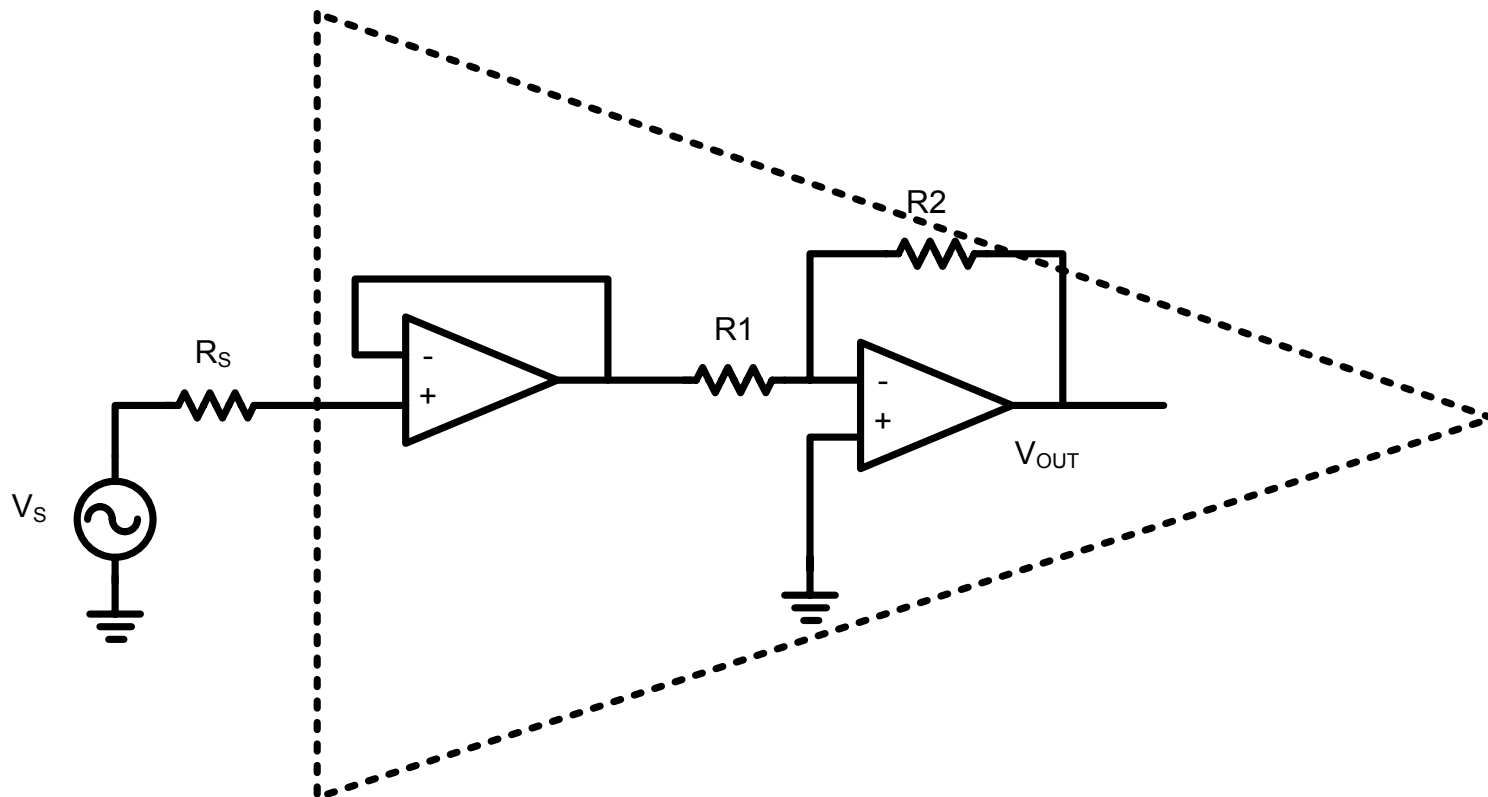
# Application d'un ampli a gain 1

- Raison: resistance a l'entrée n'est pas infinie.
  - C'est egal a  $R1$ .
- Comment resoudre le probleme?



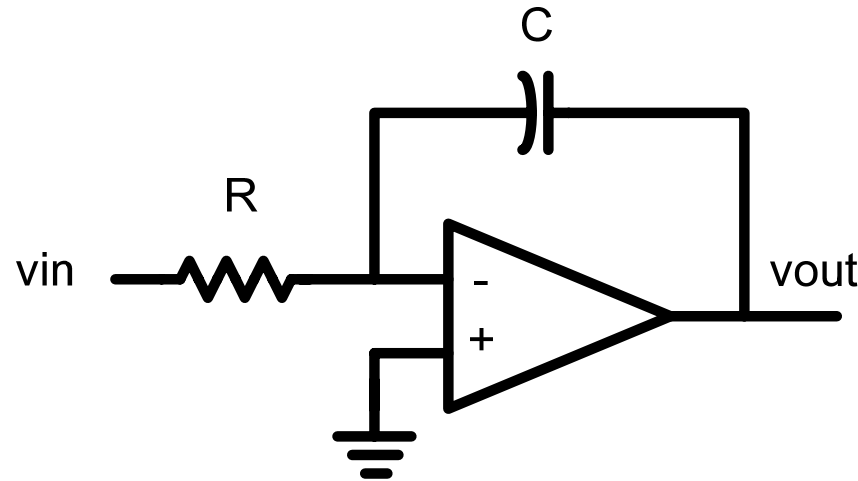
# Application d'un ampli a gain 1

- Solution: Introduire "buffer"
- Resistance a l'entrée: infinie



# Ajoutons un condensateur

- Remplaçons la resistance de feedback par un condensateur



- Que fait ce circuit?

# Rappel: Impedance

- Les condensateurs et les inductances n'ont pas de resistance.
- A la place, ils ont une resistance qui change avec la frequence: impedance ( $Z$ )
  - Impedance de C:  $(1/sC)$
  - Impedance de L:  $sL$
- On les traite "comme des resistances"

# Ampli op avec C en feedback

- Ecrivons l'équation de noeud a l'entrée:

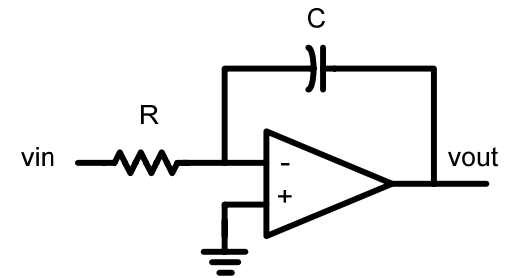
$$\frac{v_{in} - 0}{R} = \frac{(0 - v_{out})}{\left(\frac{1}{sC}\right)}$$

- On isole  $v_{out}/v_{in}$ :

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{-sCR}$$

- On embellit l'équation:

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\left(\frac{1}{CR}\right)\left(\frac{1}{s}\right)$$



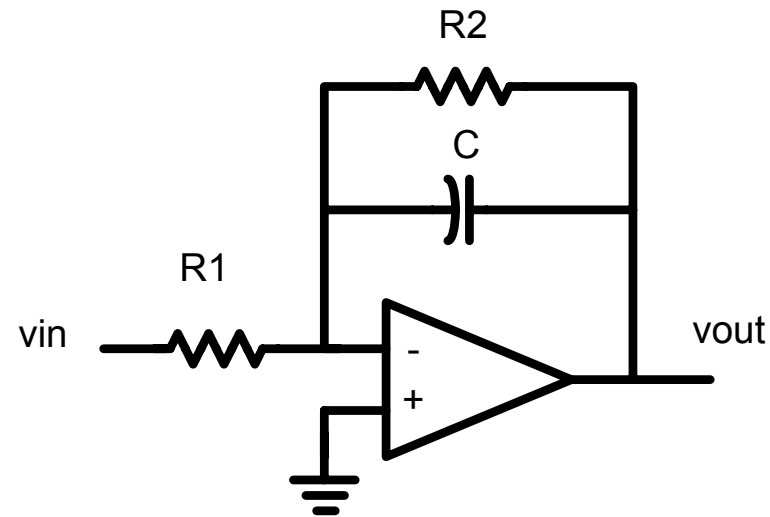
# Ampli op avec C en feedback

- On peut remarquer 3 choses:
  - Le gain est negatif
  - Le  $1/s$  veut dire que c'est un integrateur
  - Il y a un facteur multiplicatif de  $1/RC$
- Donc, c'est un integrateur negatif avec un facteur de  $1/RC$ .
- Avec d'autres combinaisons de R et C, on peut faire d'autres operations



# Exemple (seul)

- Trouvez la fonction de transfert de ce circuit



A: infini

# Exemple (seul)

- Une façon de résoudre est de combiner R2 et C (parallèle)

$$\frac{R2}{1 + sCR2}$$

- On écrit l'équation de noeud à l'entrée:

$$\frac{v_{in} - 0}{R1} = \frac{(0 - v_{out})}{\frac{R2}{1 + sCR2}}$$

On veut maintenant isoler  $v_{out}/v_{in}$ ...

# Exemple (seul)

- On manipule un peu:

$$\frac{v_{in}}{R1} = \frac{-v_{out}(1 + sCR2)}{sC}$$

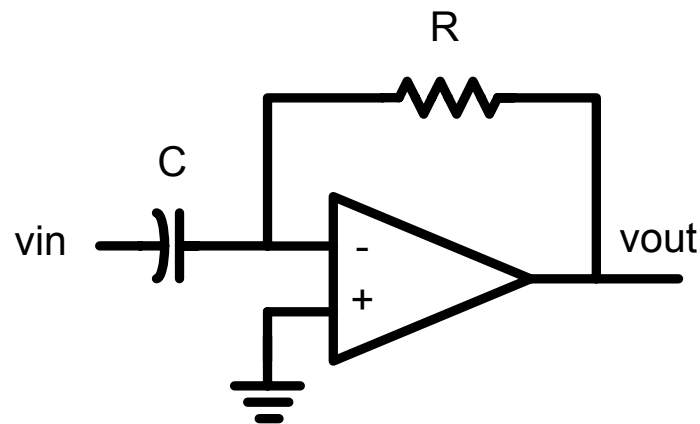
- On isole  $v_{out}/v_{in}$ :

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{R2}{R1} \frac{1}{(1 + sCR2)}$$

- C'est un filtre passe-bas avec gain negatif de  $R2/R1$

# Ampli op avec C en entree

- Reprenons l'integrateur mais inversons le R et le C



- On pourrait deviner ce que ca fait, mais allons voir ca mathematiquement...

# Ampli op avec C en entree

- On écrit l'équation des courants à l'entrée:

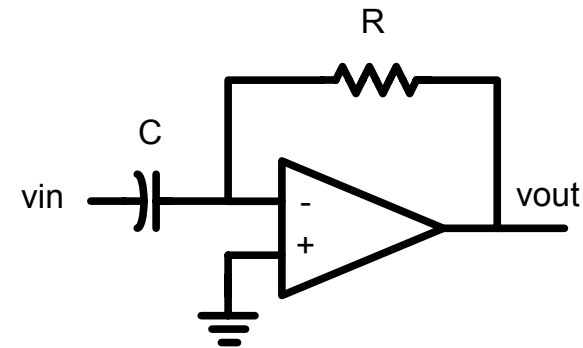
$$\frac{v_{in} - 0}{\frac{1}{sC}} = \frac{0 - v_{out}}{R}$$

- On arrange l'équation:

$$v_{in} = -\frac{v_{out}}{sCR}$$

- On isole  $v_{out}/v_{in}$ :

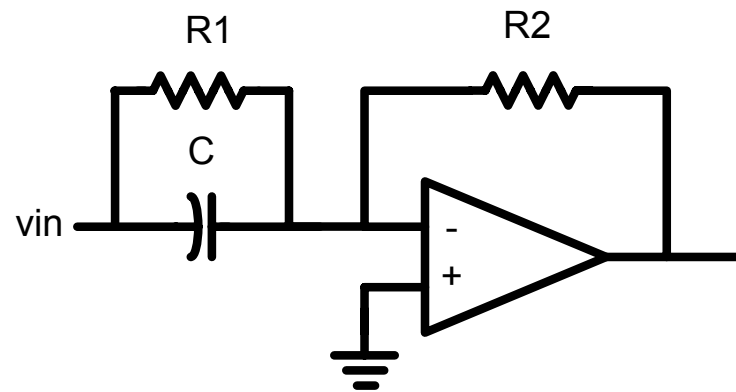
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -(CR)s$$



Ca donne une dérivée..

# Exemple (seul)

- Trouvez la fonction de transfert de ce circuit



# Exemple (seul)

- Impedance equivalente a l'entrée:

$$\frac{1}{sC + \frac{1}{R1}} = \frac{1}{\left(\frac{sCR1}{R1}\right) + \frac{1}{R1}}$$

- Ca se simplifie:

$$\frac{R1}{sCR1 + 1}$$

- Avec ca, on écrit l'équation de noeud:

$$\frac{vin - 0}{R1} = \frac{0 - vout}{R2}$$
$$\frac{1}{sCR1 + 1}$$

# Exemple (seul)

- On simplifie:

$$\frac{v_{in}(sCR1 + 1)}{R1} = \frac{-v_{out}}{R2}$$

- Finalement, on obtient ceci:

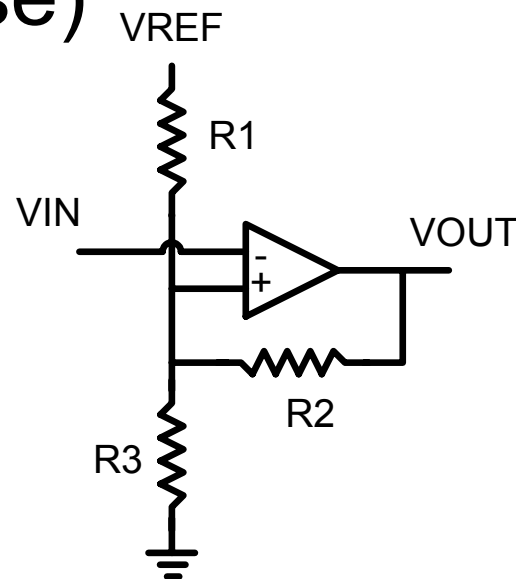
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\left(\frac{R2}{R1}\right)(sCR1 + 1)$$

- C'est un filtre passe haut.



# Preparation pour Lab#1

- 1) Allez voir sur internet ce qu'est un "schmitt trigger"
- 2) Trouvez une expression pour  $V+$
- 3) Dites pourquoi ce circuit est un "schmitt trigger" (qui inverse)



# Resume du cours

- On a presente l'amplificateur operationnel
- Caracteristiques des amplificateurs
- Comportement quand le gain est non-infini
- Analyse de circuits avec amplificateurs
- Configurations de base
- Configuration pour filtres