



**TP1. LOI DES NŒUDS, DES MAILLES EN REGIME CONTINU  
RESEAUX RC ET CR EN REGIME ALTERNATIF**

Logiciel de simulation LTSpice à télécharger et installer via l'adresse :  
<https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html#>

### Objectifs de ce TP :

- Vérification par des mesures de courants et de tension des lois des nœuds, des mailles et le théorème de superposition dans un environnement de simulation
- Réalisation du montage sous un logiciel de simulation électrique.
- Simulation du courant et de la tension.

### **Prise en main de LTSpice**

Avant de lancer l'application, il est indispensable de créer un dossier à vos noms sur le bureau dans lequel vous placerez l'ensemble des fichiers nécessaires à la simulation du circuit. Pour cela, aller sur le bureau, faire un clic droit, choisir nouveau dossier et taper vos noms.



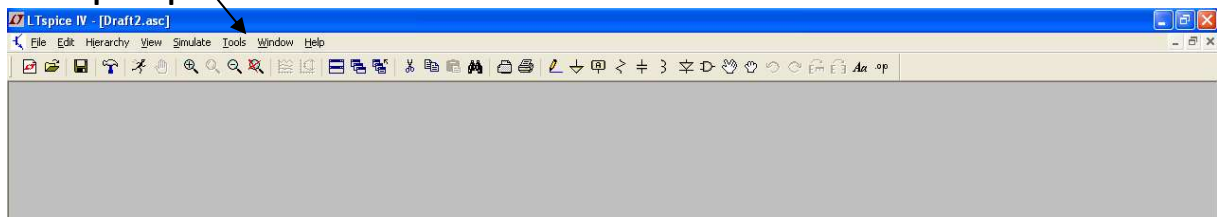
Cliquer sur le raccourci LTSpice présent sur le bureau

Une fois le lancement effectué, on débute la session de travail en créant un nouveau schéma:

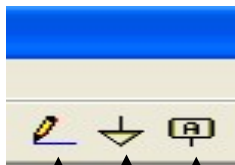
**Dans le menu : → « File » → « New » → « Schematic » .**

Il apparaît alors la fenêtre ci-dessous comportant une grille de travail sur laquelle, on peut saisir le schéma de notre simulation.

### **Menu principal**



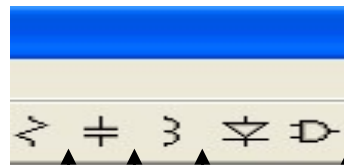
### **Edition du schéma**



Pour tracer un fil

Pour placer une masse

Pour placer une étiquette (donner un nom à un fil)



Pour ajouter une résistance sur le schéma

Pour ajouter un condensateur sur le schéma

Pour ajouter une bobine sur le schéma

Pour placer d'autres composants sur le schéma

De plus vous pouvez accéder à d'autres fonctions en cliquant sur « **Edit** »

Menu Item	Shortcut	Description
Undo	F9	Pour annuler l'action précédente
Redo	Shift-F9	
Text	'T'	Pour ajouter du texte sur le schéma comme des commentaires par ex.
SPICE Directive	'S'	Pour ajouter une directive spice sur le schéma : Il s'agit d'instructions données au moteur de simulation spice pour effectuer l'analyse de votre circuit.
SPICE Analysis		
Resistor	'R'	Pour ajouter des composants
Capacitor	'C'	
Inductor	'L'	
Diode	'D'	
Component	F2	
Rotate	^R	Permet d'effectuer une rotation de 90° du composant sélectionné sur la grille de travail. Très utile pour une disposition horizontale ou verticale d'un élément
Mirror	^E	Permet d'effectuer un effet de miroir du composant sélectionné sur la grille de travail.
Draw Wire	F3	Pour relier les composants par des fils
Label Net	F4	Pour donner un nom (plus parlant) aux potentiels du circuit. Exemple : Ve, Vs
Place GND	'G'	
Delete	F5	Pour effacer un élément du schéma
Duplicate	F6	Pour copier et coller un élément
Move	F7	Pour déplacer des éléments
Paste	^V	
Drag	F8	Pour déplacer un composant et ses connexions
Draw		Commande de dessin pour illustrer votre schéma : Attention ces commandes ne peuvent pas être utilisées pour effectuer les connexions électriques entre composants (seule la commande Draw Wire permet cela)

Afin de compléter l'édition du schéma, il est indispensable de donner les valeurs ou références des composants choisis ou de configurer les générateurs.

Un simple clic droit de souris sur le composant fait apparaître le menu de configuration propre à ce composant.

Exemple pour une résistance :

C'est ici que vous saisissez la valeur de la résistance

Exemple pour un condensateur

C'est ici que vous saisissez la valeur du condensateur

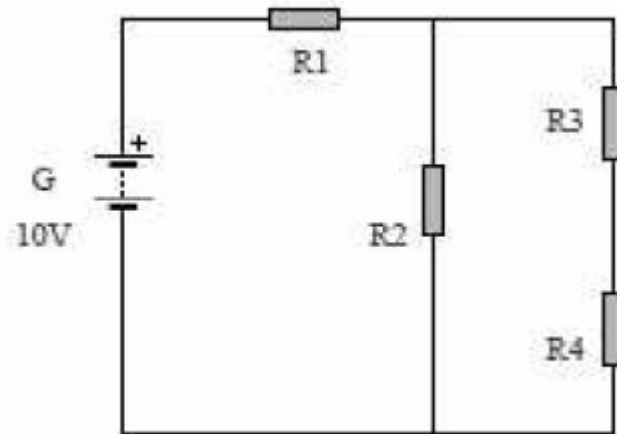
Valeurs du modèle prenant en compte les défauts d'un condensateur

A propos des multiples et sous-multiples : **f : femto / p : pico / n : nano / u ou  $\mu$  : micro / m : milli / k : kilo / meg : mega**

**Mesures de tension: loi des mailles**

**A) Étude théorique :**

Schéma du circuit à étudier:

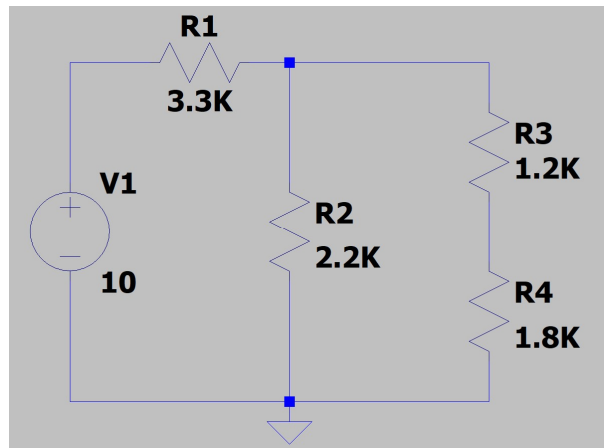


Avec  $R_1 = 3.3\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 2.2\text{k}\Omega$ ,  $R_3 = 1.2\text{k}\Omega$ ,  $R_4 = 1.8\text{k}\Omega$

- 1) Sur ce schéma, indiquer par des flèches le sens conventionnel du courant dans chaque maille ( $I_1$  sera le courant qui sort du générateur,  $I_2$  le courant qui traverse  $R_2$ ,  $I_3$  le courant qui traverse  $R_3$ ).
- 2) Le courant qui traverse  $R_4$  est-il le même que le courant qui traverse  $R_3$ ?
- 3) Donner  $I_1$  en fonction de  $I_2$  et  $I_3$
- 4) Calculer  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$

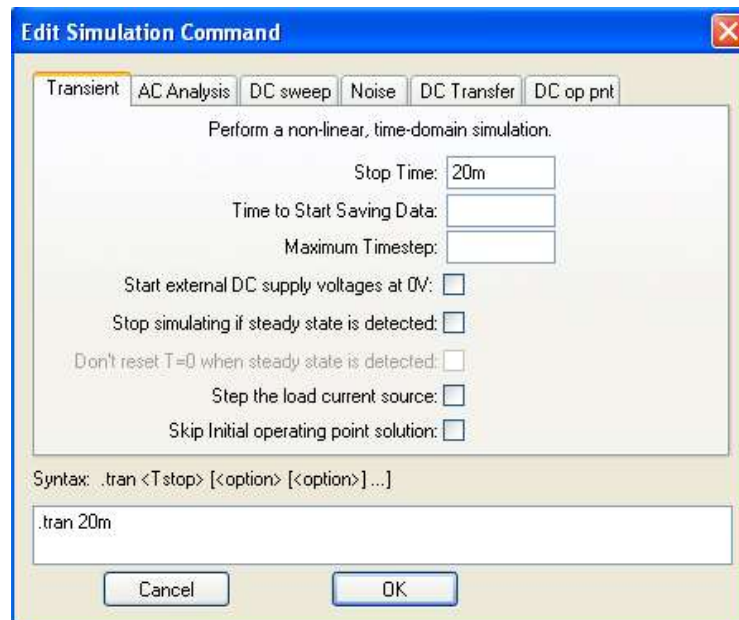
**B) Simulation :**

Réaliser le schéma suivant sous LTSpice



Une fois tous les éléments placés sur le schéma (n'oubliez pas les étiquettes : nom du fil ou label).

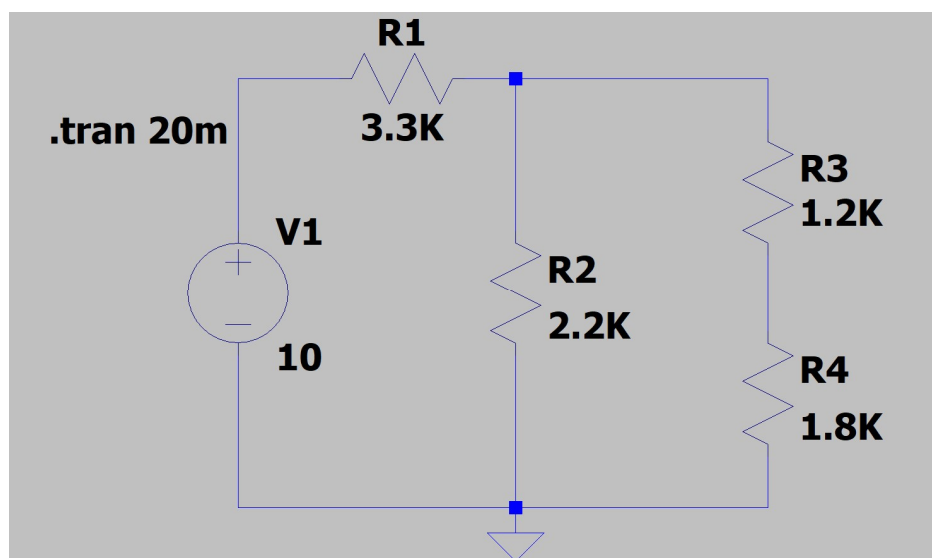
Aller dans le menu principal « **simulate** » → « **edit simulation cmd** » et fixer le « **stop time** » à 20ms.



**Attention, lorsque vous cliquerez sur « OK », un texte apparaîtra, il faut le coller dans le schéma (peu importe la place).**

Cliquer sur « **OK** » puis retourner dans « **simulate** » et cliquer sur « **run** ».

**Nota :** Sur le menu principal, vous disposez d'outils pour zoomer dans le graphique afin d'affiner les relevés.

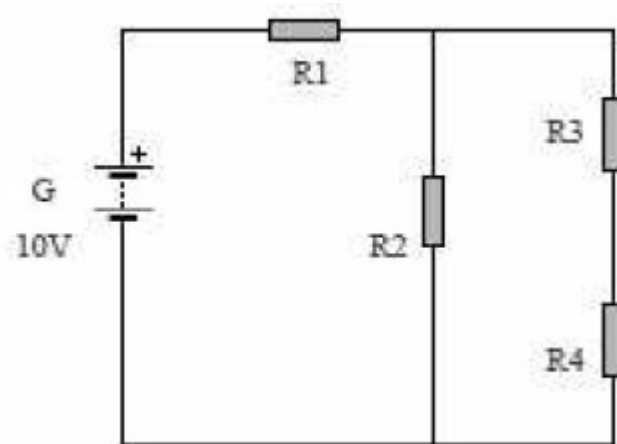


- 1) Relever les courants  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  en posant le curseur sur les résistances (un petit symbole représentant un ampèremètre apparaît) et en cliquant, le courant apparaît sur le graphique.
- 2) Comparer les courants simulés avec les courants théoriques
- 3) Est ce que la loi des nœuds est bien confirmée

### Mesures de tension: loi des mailles

#### A) Étude théorique :

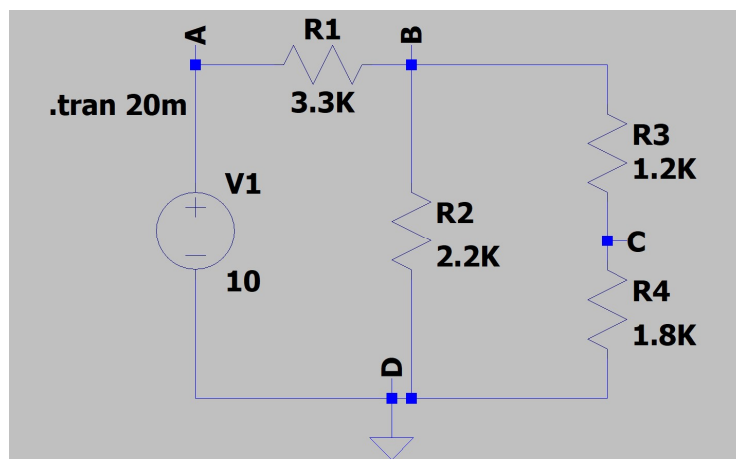
Schéma du circuit à étudier:



- 1) Sur ce schéma, indiquer par des flèches les différences de potentiel dans chaque maille ( $U_G$  aux bornes du générateur,  $U_1$  aux bornes de  $R_1$ ,  $U_2$  aux bornes de  $R_2$ ,  $U_3$  aux bornes de  $R_3$  et  $U_4$  aux bornes de  $R_4$ ).
- 2) En s'appuyant sur l'étude théorique de la loi des nœuds, donner  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  et  $U_4$ .

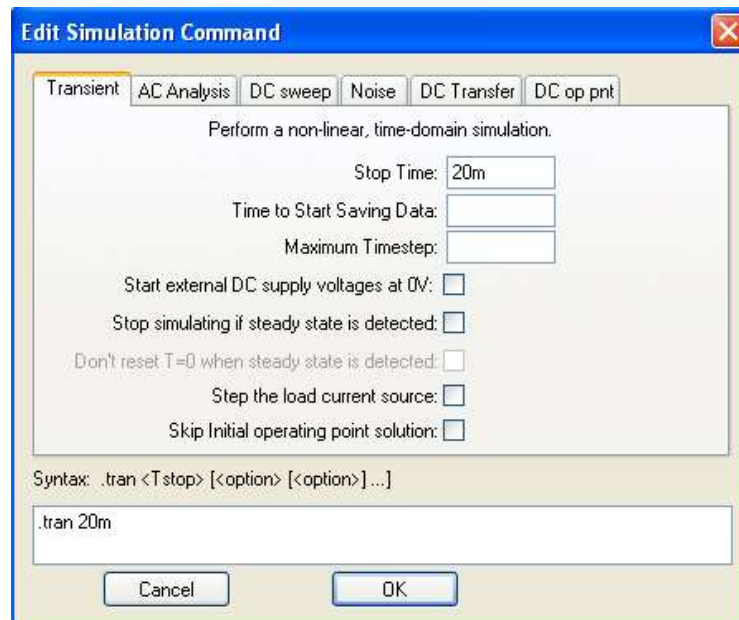
#### B) Simulation :

Réaliser le schéma suivant sous LTSpice



Une fois tous les éléments placés sur le schéma (n'oubliez pas les étiquettes : nom du fil ou label).

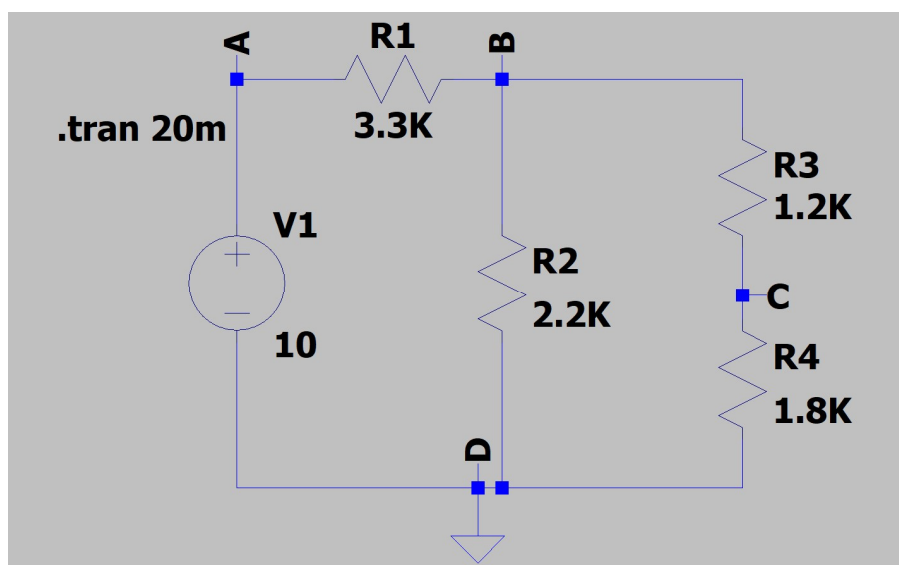
Aller dans le menu principal « **simulate** » → « **edit simulation cmd** » et fixer le « **stop time** » à 20ms.



**Attention, lorsque vous cliquerez sur « OK », un texte apparaîtra, il faut le coller dans le schéma (peu importe la place).**

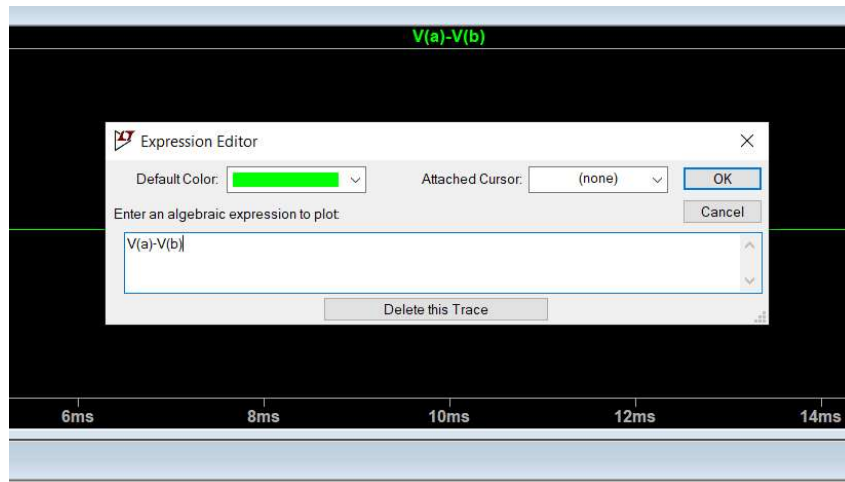
Cliquer sur « **OK** » puis retourner dans « **simulate** » et cliquer sur « **run** ».

**Nota :** Sur le menu principal, vous disposez d'outils pour zoomer dans le graphique afin d'affiner les relevés.





- 1) Relever la tension  $V_A - V_B$  en posant le curseur sur l'étiquette A puis sur le graphique, cliquer (droit) sur le titre de la courbe et écrire  $V(a) - V(b)$ .



- 2) Faire de même pour  $V_B - V_D$
- 3) Idem pour  $V_A - V_D$
- 4) Idem pour  $V_B - V_C$
- 5) Idem pour  $V_C - V_D$
- 6) Vérifier qu'avec les courants (simulés), tensions (simulés) et résistances que la loi des mailles s'applique bien

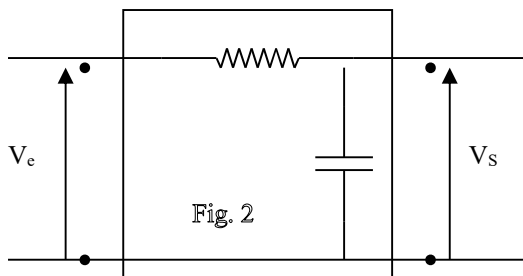
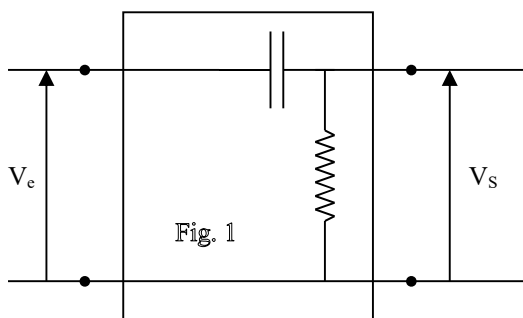
Lorsqu'on intercale, dans un circuit parcouru par un courant alternatif, des résistances et des condensateurs, il faut s'attendre à deux effets :

- 1- on ne retrouve pas à la sortie la tension alternative d'entrée ce qui correspond à un gain  $< 1$ .
- 2- la tension alternative à la sortie est déphasée par rapport à celle à l'entrée.

Le travail consiste ici à déterminer, avec l'aide d'un oscilloscope, ces effets dans des cas simples.

### Théorie et exploitation

#### Quadripôle. Circuits passe-haut et passe-bas

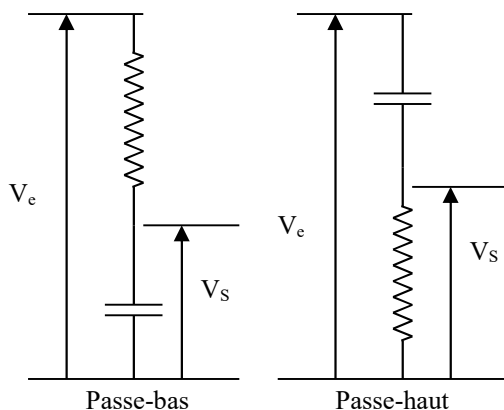


Un quadripôle comporte deux bornes d'entrée et deux bornes de sortie. Le circuit passe-haut comporte un condensateur série entre l'entrée et la sortie, et une résistance en parallèle à la sortie (Fig.1). Le circuit passe-bas comporte une résistance série et un condensateur parallèle (Fig.2). Qualitativement, dans le premier, l'impédance du condensateur diminuant avec la fréquence, les hautes fréquences passent mieux que les basses, dans le second, pour la même raison, elles sont plus facilement court-circuitées par le condensateur que les basses, et passent moins bien. Quantitativement, posons :

$$\tau = RC \quad \text{et} \quad 2\pi f_c = 1/RC$$

Ces quantités :  $\tau$ , constante de temps, et  $f_c$ , fréquence de coupure, caractérisent le circuit. Le gain complexe est le rapport entre la tension à la sortie, et la tension à l'entrée :

$$G = V_s / V_e$$



Il égale le rapport des impédances vues du côté de l'entrée, et du côté de la sortie :

$$G = Z_c / (Z_r + Z_c), \text{ pour le passe-bas}$$

$$= Z_r / (Z_c + Z_r), \text{ pour le passe-haut, soit, avec :}$$

$$Z_r = R, \quad Z_c = 1 / j\omega C$$

$$1 / (j\omega C(R + 1/j\omega C)) = 1 / (jRC\omega + 1) \text{ (passe-bas)}$$

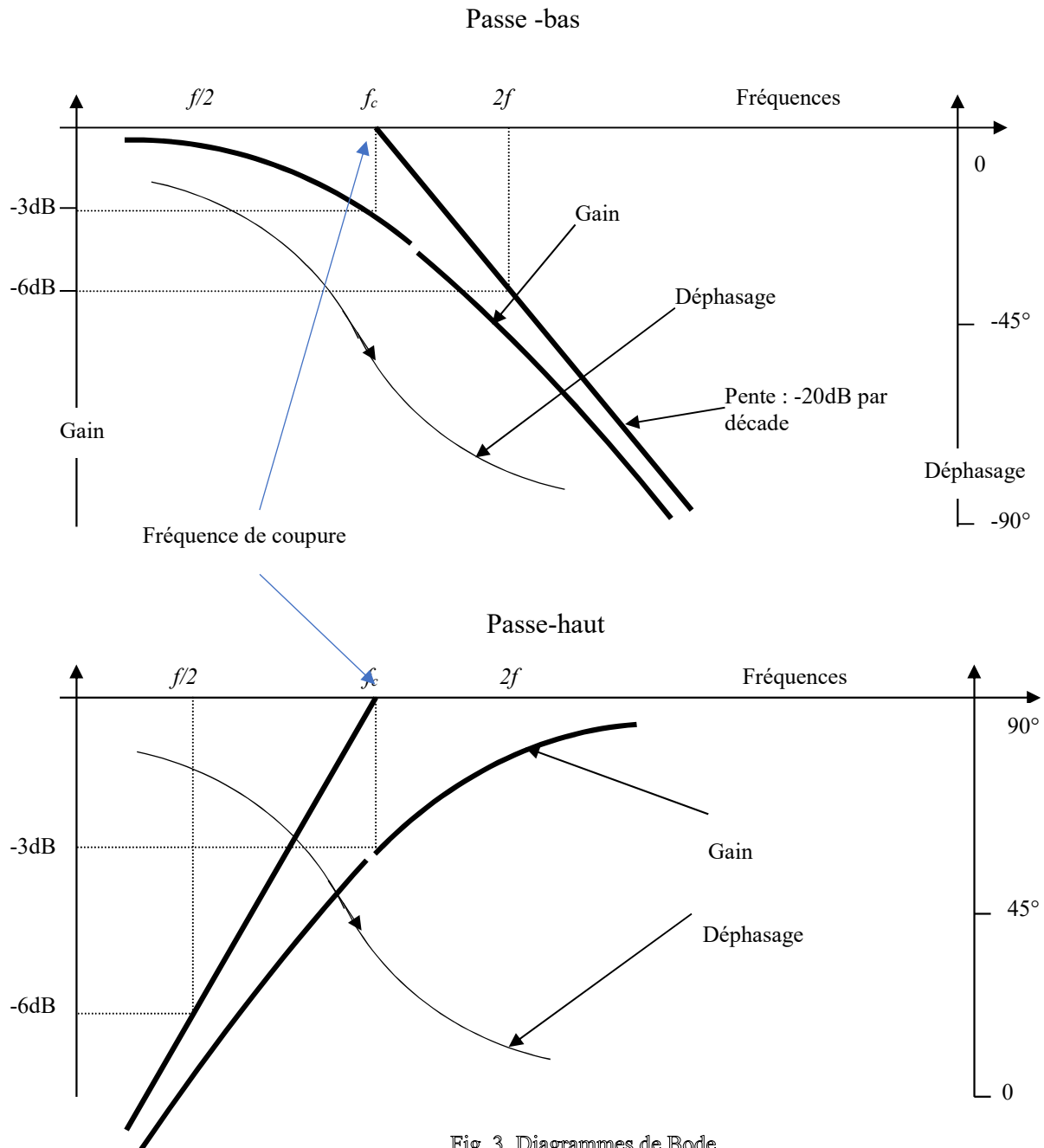
$$R / (R + 1/j\omega C) = jRC\omega / (jRC\omega + 1) \text{ (passe-haut)}$$

Ce gain complexe, a un module, et un argument que l'on retrouvera par le calcul, sans difficulté :

Passe-bas : module  $G = 1/\sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + 1}$   
 argument  $\phi : \operatorname{tg} \phi = -RC\omega$

Passe-haut : module  $G = RC\omega / \sqrt{R^2 C^2 \omega^2 + 1}$   
 argument  $\phi : \operatorname{tg} \phi = +1/RC\omega$

Les courbes représentatives du gain  $G$  et déphasage  $\phi$  en fonction de la fréquence  $f$  ont les allures ci-dessous (Fig.3) en coordonnées logarithmiques.



La tradition est d'exprimer le gain en tension, en dB (décibels) :

$$G (dB) = 20 \log G$$

Par exemple, un gain de  $\times 100$  vaut  $40dB$  ; de  $\times 2$ ,  $6dB$  ; de  $\frac{1}{2}$ ,  $-6dB$ , etc..

Les quadripôles étant cascadables, on a le gain d'une suite de quadripôles en multipliant leurs gains (ou en ajoutant leurs gains exprimés en dB).

Ces courbes ont une asymptote ; il est d'usage de les schématiser par les diagrammes de BODE (traits gras) le point anguleux étant situé sur l'axe des fréquences à la fréquence de coupure  $f_c$  définie par :

$$\omega = 2 \pi f_c = 1/\tau = 1/RC$$

On vérifiera que, pour cette fréquence, le module du gain est  $1/\sqrt{2}$ , ou  $-3dB$ . La pente de l'asymptote caractérise l'atténuation en dB par octave ; un bon filtre actif B.F. a, par exemple, une atténuation de  $40dB$  par octave.

### Travail préparatoire

- Exercez-vous au brouillon à refaire les calculs complexes précédents.

- On constitue un filtre passe-haut avec une résistance de  $1000\Omega$  et un condensateur de  $1 \mu F$  ; quelle est la fréquence de coupure ? Dresser un tableau de valeurs numériques de gain exprimé en dB et du déphasage, en fonction des fréquences suivantes :

250Hz      500Hz      1Khz      2Khz      4Khz      8Khz

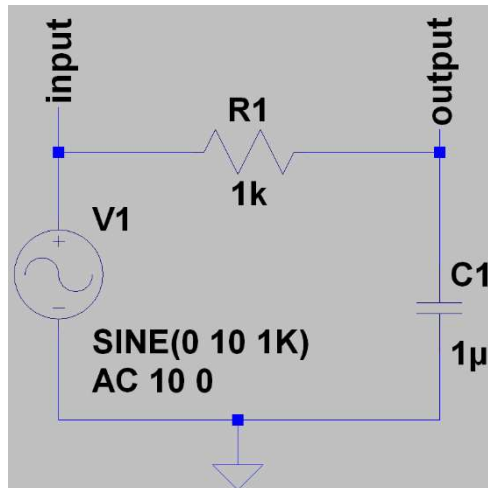
A partir de ce tableau, tracer en coordonnées log. les courbes représentatives du gain, et du déphasage. Démontrer à partir de l'étude de la fonction  $G_{(dB)}$  de  $f$  que la pente de l'asymptote est de  $20dB$  par décade (intervalle entre  $f$  et  $10f$ ) ou  $6dB$  par octave (intervalle entre  $f$  et  $2f$ ).

## 1 Simulation sous LTSPICE de circuits passifs RC

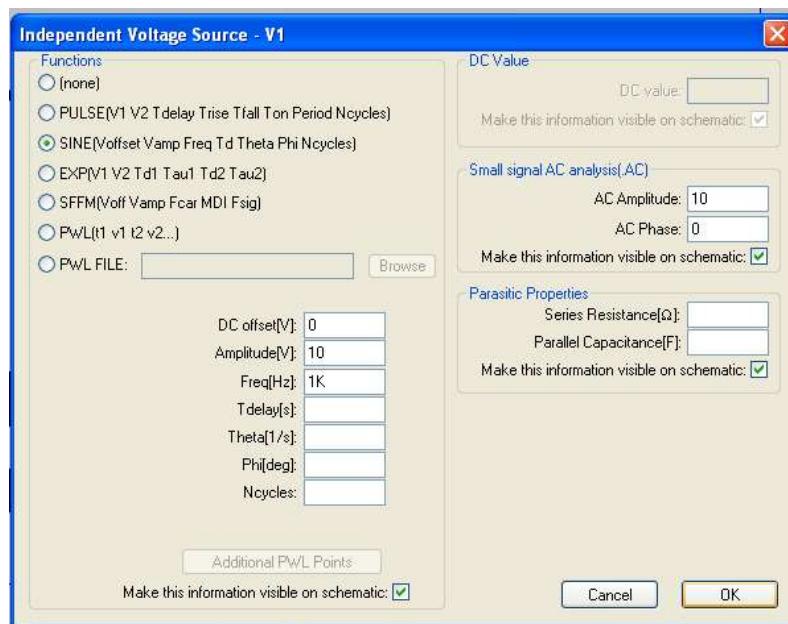
Le but de ce TP est de visualiser les circuits du TP Circuit RC, à l'aide du logiciel de simulation électronique LTSpice.

### 1) Simulation du circuit RC

Il faut commencer par tracer le schéma du premier circuit pour obtenir ceci :



Pour la source, allez dans « **Edit** » : « **Component** » : rechercher **signal**. Une fois le symbole placé sur le schéma, faire un clic droit sur le symbole et rentrez la configuration suivante :

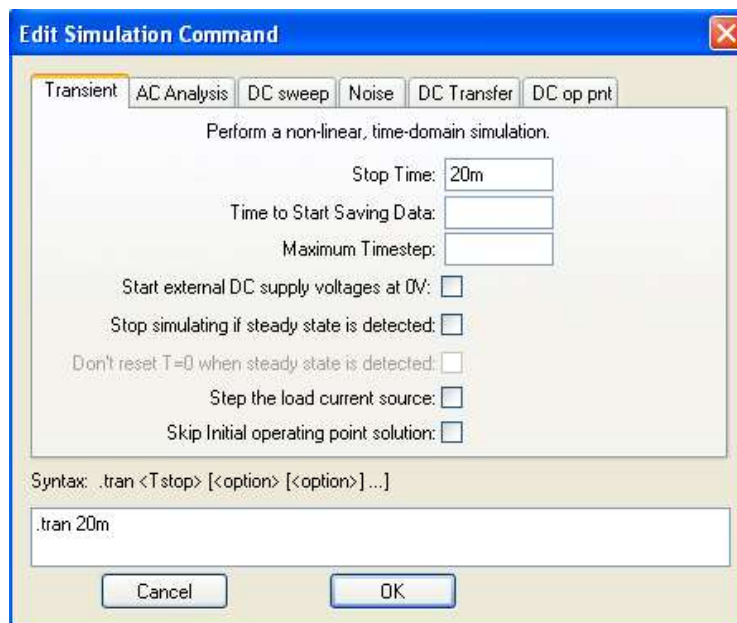


Attention, dans la suite, on demandera de faire varier la fréquence, il faudra changer **Freq[Hz]**

### a) Simulation en temporelle

Une fois tous les éléments placés sur le schéma (n'oubliez pas les étiquettes : nom du fil ou label), il faut simuler pour chaque fréquence (100, 500, 1K, 10K 100K) les différents signaux de sortie.

Aller dans le menu principal « **simulate** » → « **edit simulation cmd** » et fixer le « **stop time** » à 20ms.



**Attention, lorsque vous cliquerez sur « OK », un texte apparaîtra, il faut le coller dans le schéma (peu importe la place).**

Cliquer sur « **OK** » puis retourner dans « **simulate** » et cliquer sur « **run** ».

Un graphique apparaît. Descendre sur le schéma et placer le curseur sur le fil « **input** », puis faire de même sur le fil « **output** ».

Les deux signaux Input et Output apparaîtront sur le graphique.

Dans ces conditions, relever les amplitudes en volt des signaux Input et Output et le déphasage entre ces deux mêmes signaux en radians, puis changer la fréquence de la source et recommencer.

**Nota : Sur le menu principal, vous disposez d'outils pour zoomer dans le graphique afin d'affiner les relevés.**

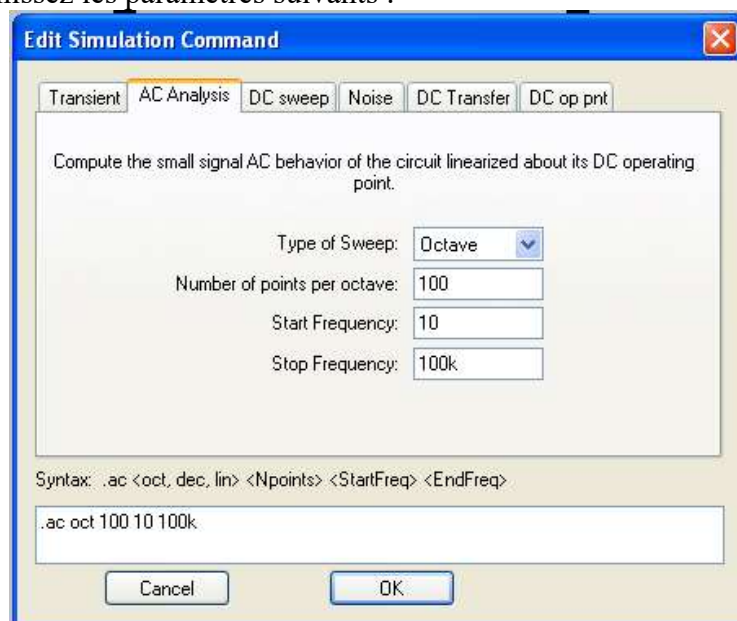
**Remplir le tableau suivant :**

Fréquence	100Hz	500Hz	1KHz	10KHz	100KHz
Gain= $20 \cdot \log(\text{output}/\text{input})$					
Phase en radians					

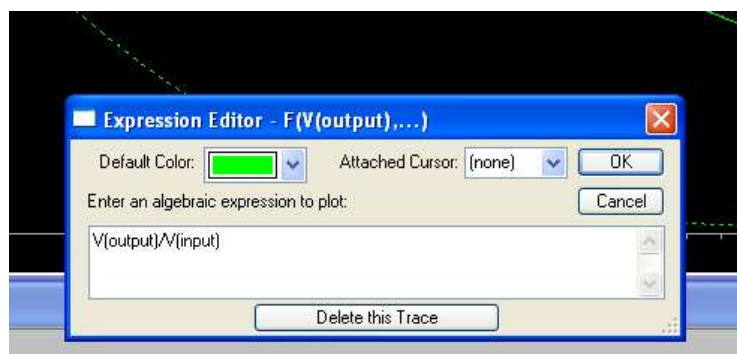
Puis tracer la courbe du gain (output/input) en fonction de la fréquence.

### b) Simulation du diagramme de Bode (gain / fréquence)

Une fois l'étude temporelle faite, penchons-nous sur la simulation fréquentielle. Cette étude est facilitée par une représentation sur un diagramme appelé de Bode, qui permet de représenter le gain (output/input) et le Déphasage en fonction de la fréquence. Pour cela, cliquer sur « **simulate** » → « **edit simulation cmd** », et cliquer sur l'onglet « **AC analysis** » et définissez les paramètres suivants :



Cliquer sur « **Run** » : le graphique apparaît, descendez sur le schéma et cliquez sur le fil **output**. Ensuite remonter sur le graphique faire un clic droit sur le texte **output** et tapez le texte suivant :



Puis « **Ok** »

Le signal se trace, faire clic gauche sur le titre V(output)/V(input) et le curseur apparaît, utiliser ce curseur pour définir la fréquence de coupure  $f_c$  à -3Db.

Représenter ce graphique sur votre compte rendu.

Pour vous aider, n'oubliez pas de faire apparaitre la grille du graphique en cliquant droit dessus puis « **grid** ».

Montrer le lien entre les éléments du circuit et la fréquence de coupure  $f_c$ , que peut-on dire de la phase ??

## 2) Conclusion

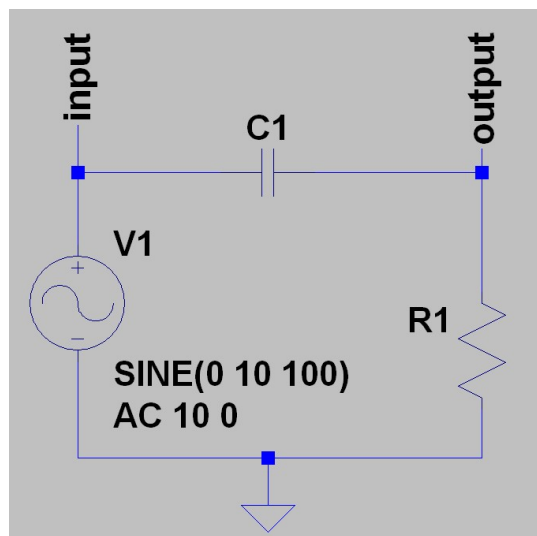
Conclure en précisant l'effet de chaque circuit, leurs intérêts, et leurs applications, en comparant le signal d'entrée et de sortie.

## 2 Simulation sous LTSPICE de circuits passifs CR

Le but de ce TP est de visualiser les circuits du TP Circuit CR, à l'aide du logiciel de simulation électronique LTSpice.

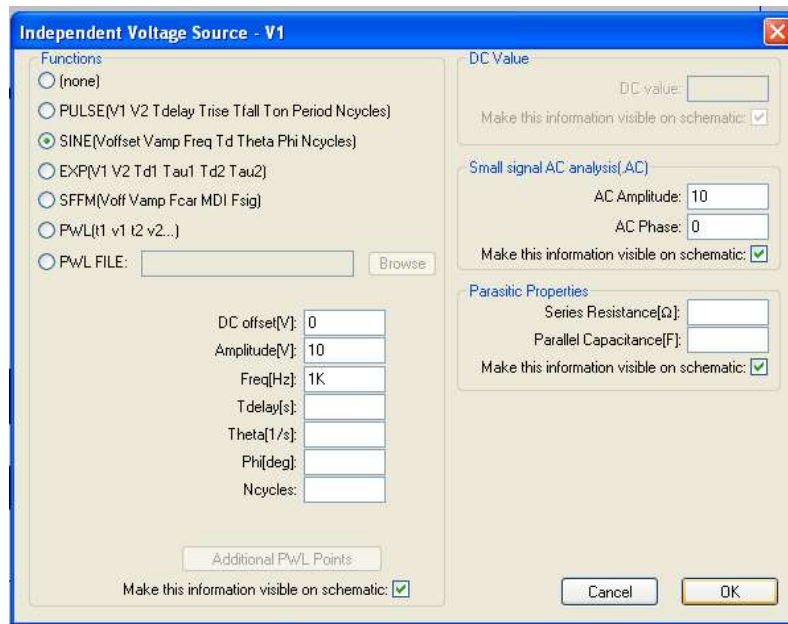
### 1) Simulation du circuit CR

Il faut commencer par tracer le schéma du premier circuit pour obtenir ceci :



Pour la source, allez dans « **Edit** » : « **Component** » : rechercher **signal**. Une fois le symbole placé sur le schéma, faire un clic droit sur le symbole et rentrez la configuration suivante :



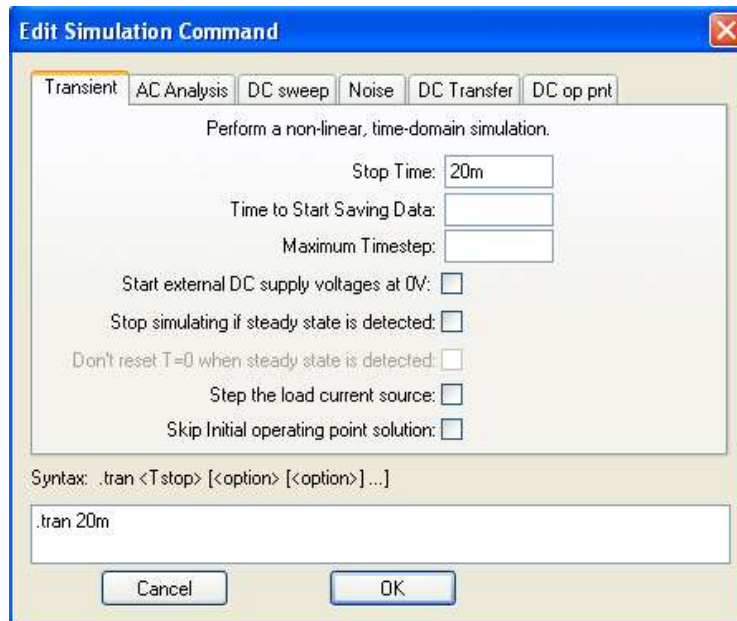


Attention, dans la suite, on demandera de faire varier la fréquence, il faudra changer **Freq[Hz]**

### a) Simulation en temporelle

Une fois tous les éléments placés sur le schéma (n'oubliez pas les étiquettes : nom du fil ou label), il faut simuler pour chaque fréquence (100, 500, 1K, 10K 100K) les différents signaux de sortie.

Aller dans le menu principal « **simulate** » → « **edit simulation cmd** » et fixer le « **stop time** » à **20ms**.



**Attention, lorsque vous cliquerez sur « OK », un texte apparaîtra, il faut le coller dans le schéma (peu importe la place).**

Cliquer sur « OK » puis retourner dans « **simulate** » et cliquer sur « **run** ».

Un graphique apparaît. Descendre sur le schéma et placer le curseur sur le fil « **input** », puis faire de même sur le fil « **output** ».

Les deux signaux Input et Output apparaîtront sur le graphique.

Dans ces conditions, relever les amplitudes en volt des signaux Input et Output et le déphasage entre ces deux mêmes signaux en radians, puis changer la fréquence de la source et recommencer.

**Nota : Sur le menu principal, vous disposez d'outils pour zoomer dans le graphique afin d'affiner les relevés.**

**Remplir le tableau suivant :**

Fréquence	100Hz	500Hz	1KHz	10KHz	100KHz
Gain= $20 \cdot \log(\text{output}/\text{input})$					
Phase en radians					

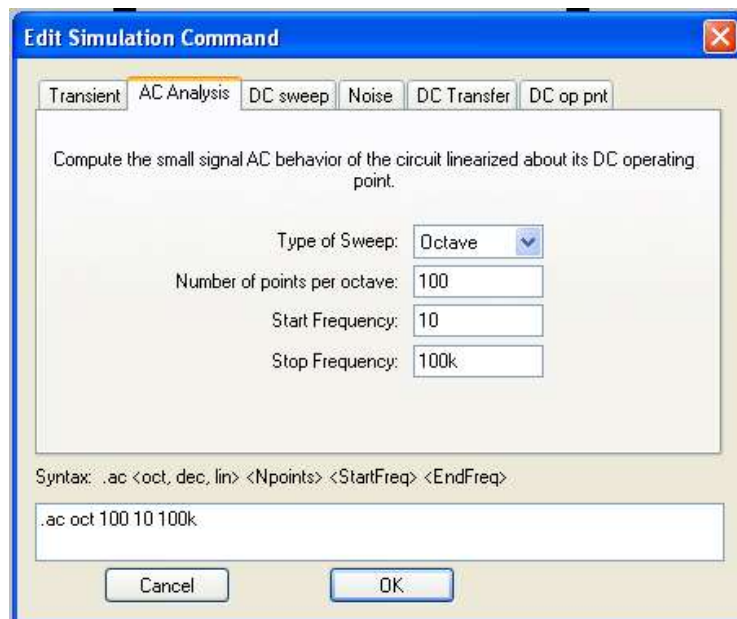
Puis tracer la courbe du gain (output/input) en fonction de la fréquence.

## **b) Simulation du diagramme de Bode (gain / fréquence)**

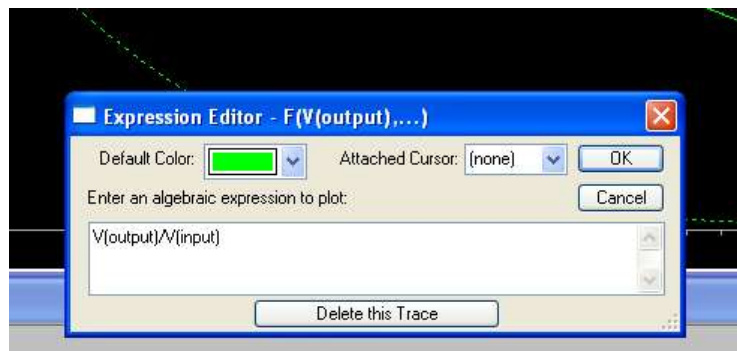
Une fois l'étude temporelle faite, penchons-nous sur la simulation fréquentielle.

Cette étude est facilitée par une représentation sur un diagramme appelé de Bode, qui permet de représenter le gain (output/input) et le Déphasage en fonction de la fréquence.

Pour cela, cliquer sur « **simulate** » → « **edit simulation cmd** », et cliquer sur l'onglet « **AC analysis** » et définissez les paramètres suivants :



Cliquer sur « **Run** » : le graphique apparaît, descendez sur le schéma et cliquez sur le fil **output**. Ensuite remonter sur le graphique faire un clic droit sur le texte **output** et tapez le texte suivant :



Puis « **Ok** »

Le signal se trace, faire clic gauche sur le titre  $V(\text{output})/V(\text{input})$  et le curseur apparaît, utiliser ce curseur pour définir la fréquence de coupure  $f_c$  à -3Db.

Représenter ce graphique sur votre compte rendu.

Pour vous aider, n'oubliez pas de faire apparaître la grille du graphique en cliquant droit dessus puis « **grid** ».

Montrer le lien entre les éléments du circuit et la fréquence de coupure  $f_c$ , que peut-on dire de la phase ??

## 2) Conclusion

Conclure en précisant l'effet de chaque circuit, leurs intérêts, et leurs applications, en comparant le signal d'entrée et de sortie.