

# Chapitre 1

## Analyse de circuits électriques et électroniques avec PSPICE

---

---

### Objectifs pédagogiques

A la fin de cette expérience, vous devriez être capable de simuler un circuit électrique ou électronique avec le logiciel PSPICE.

### Contenu

Description de 4 exemples dans le but de se familiariser avec le logiciel PSPICE.

- Analyse temporelle (transitoire) d'un filtre passif (circuit RC).
- Mesure du courant continu (CC) d'un circuit purement résistif avec une source de tension à courant continu.
- Analyse temporelle d'un amplificateur opérationnel (circuit inverseur) à une entrée sinusoïdale.
- Analyse fréquentielle d'un filtre actif du 3<sup>ième</sup> degré.

## 1.1 Introduction

Le langage Spice (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) est un outil important à l'heure actuelle en matière de simulation de circuits analogiques et numériques. Créé au début des années 1970, il constitue encore aujourd'hui l'outil de simulation en génie électrique. L'interface Schematics de OrCAD (la compagnie originale MicroSim inventeur du produit Spice a été acheté par OrCAD Incorporation) rend possible le dessin de circuits dans l'environnement Windows. Par contre, pour être en mesure de tirer le maximum de cet outil, il est primordial de bien maîtriser toutes les déclarations et les notions de ce produit de OrCAD.

En fait, la compagnie OrCAD Incorporation fournit un ensemble d'outils appelé **PSPICE** qui permet de faire l'analyse des circuits électriques à l'aide d'un ordinateur personnel (finalement le nom PSPICE, venant de Pc Spice). PSPICE comprend le préprocesseur SCHEMATICS, le simulateur SPICE et le postprocesseur PROB.

Vous pouvez télécharger la version limitée de PSPICE gratuitement sur le site de la compagnie OrCAD, <http://www.orcadpcb.com>. Cette version gratuite de PSPICE est capable de répondre aux besoins nécessaires dans le cadre du cours ELE1600. La version professionnelle est aussi disponible au laboratoire et au centre de calcul informatique.

## 1.2 Démarche de l'analyse, de la simulation et de l'affichage graphique des résultats d'un circuit électrique donné

Le préprocesseur Schematics remplit en général deux rôles. En premier lieu, il affiche à l'écran le dessin du circuit à simuler et analyse en second lieu le circuit pour produire une liste (*netlist*) de tous ses éléments permettant de connaître leurs relations topologiques par rapport au circuit.

La liste générée par le préprocesseur agit comme entrée du simulateur PSPICE qui résout les équations mathématiques décrivant le circuit.

Finalement, le postprocesseur Probe produit des représentations graphiques de la simulation à des fins d'observation. Nous utilisons la version étudiante 9.1 de PSPICE afin d'analyser les exemples présentés dans le reste de ce chapitre.

### 1.2.1 Filtre passif du premier degré.

Le circuit de la figure 1.1 contient une résistance  $R_1$  de  $1\text{ k}\Omega$ , un condensateur  $C_1$  de  $100\text{ nF}$  et une source de forme carrée ayant une valeur d'amplitude maximale de  $5\text{ V}$ , une valeur d'amplitude minimale de  $-5\text{ V}$  et une valeur de fréquence de  $1\text{ kHz}$ .

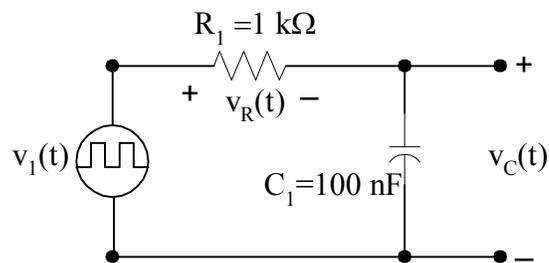


Figure 1.1 : Filtre passe-bas passif RC.

- **Dessin du schéma**

- Ouvrir PSPICE Schematics en double-cliquant sur son icône  ou en le sélectionnant du menu **Start**.

La page d'accueil type de Schematics est représentée à la figure 1.2 :

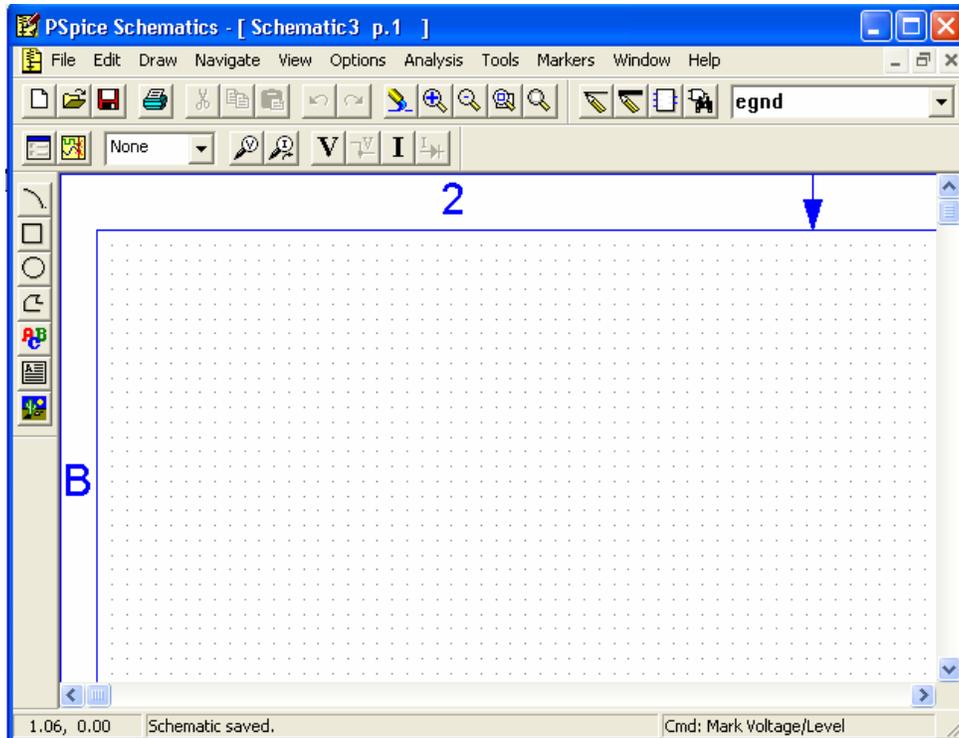


Figure 1.2: Page de dessin type de PSPICE Schematics

Note: La page d'accueil peut être modifiée par les options contenues dans le menu :  
'Options/Display Options'.

- Créer un nouveau dossier et enregistrer votre design dans ce dernier.
- Pour placer les composants, aller dans le menu *Draw* et choisir *Place Part*.
- Taper la lettre **r** (pour une résistance) dans l'espace activé (*Get Recent Part*) et appuyer sur *Enter*.
- Le curseur, ramené sur la feuille de dessin affiche le symbole d'une résistance à son extrémité. Placer cette résistance n'importe où sur la feuille.
- Répéter les deux dernières étapes en tapant la lettre **c** (pour un condensateur) au lieu de **r**.

Note : On peut également placer les composants en les sélectionnant du répertoire des composants '*Get New Part*' qu'on obtient par *CTRL+G*.

*CTRL+R*: permet une rotation de la composante.

- Placer le générateur de fonctions VPULSE et le point commun EGND (la terre).
- Pour relier les composantes, utiliser CTRL+W et le curseur prend la forme d'un crayon. Positionner le curseur au point de départ, puis cliquer une fois. Ensuite déplacer le curseur au point d'arrivée désiré et cliquer une seconde fois pour relier les deux points.
- Pour changer les valeurs des composantes, double-cliquer sur la valeur de la composante et attribuer la valeur voulue dans la fenêtre de dialogue.
- Pour générer l'onde carrée, double-cliquer sur le générateur de fonctions (VPULSE) et attribuer les valeurs selon le tableau suivant :

Paramètres et leurs valeurs.	Description
$V_1 = -5 \text{ V}$	Valeur crête négative
$V_2 = +5 \text{ V}$	Valeur crête positive
$TD = 0$	Retard
$TR = 0.000001 \text{ sec.}$	Temps de montée
$TF = 0.000001 \text{ sec.}$	Temps de descente
$PW = 0.0005 \text{ sec.}$	Largueur de pulse
$PER = 0.001 \text{ sec.}$	Période du signal

*Tableau 1.1: Tableau des valeurs des paramètres du générateur de fonctions.*

- Finalement, ajouter des marqueurs aux nœuds où on désire visualiser la variation des tensions. Dans les menus *Markers*, choisir *Mark Voltage/Level*, et placer les marqueurs aux endroits désirés.
- En cliquant sur un bout de ligne du dessin, un nom doit être attribué à ce point de circuit (voir *vc* sur le dessin présenté à la figure 1.3).
- Cliquer deux fois sur chaque composante afin de lui attribuer une valeur donnée.

Une fois que toutes ces étapes sont complétées, votre schéma final doit ressembler à la figure 1.3 :

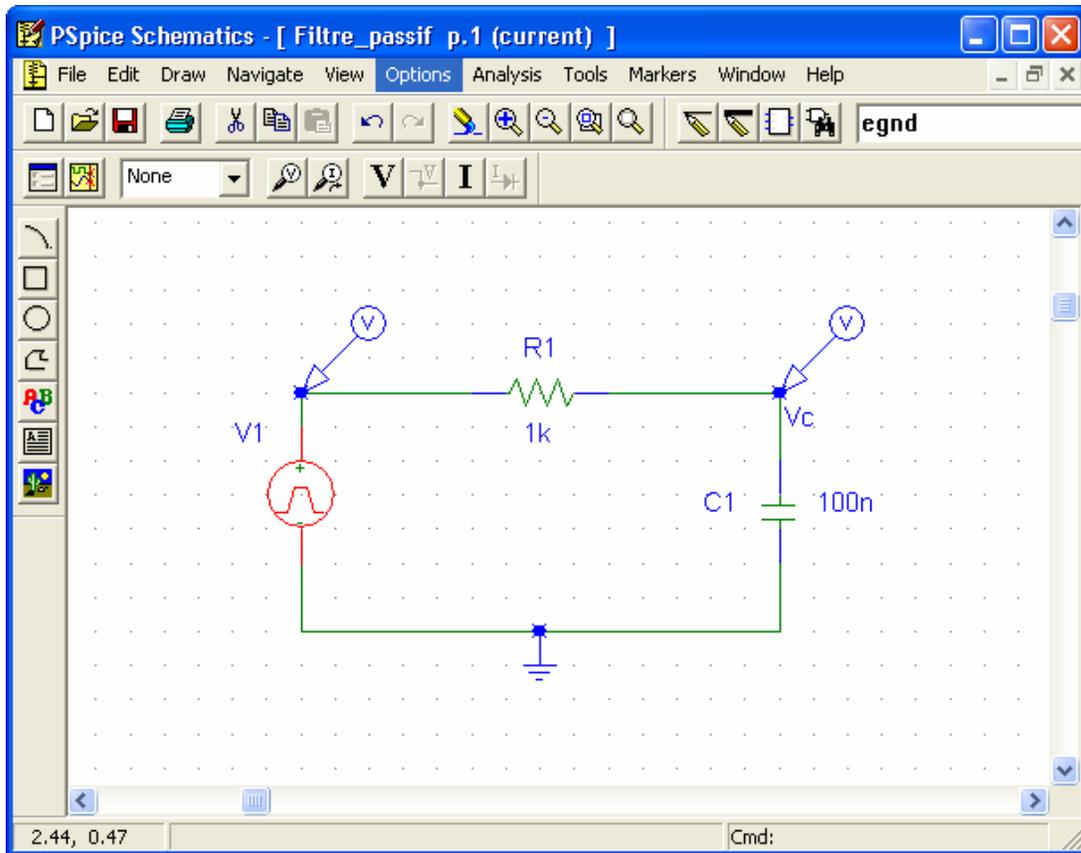


Figure 1.3 : Schéma d'un circuit RC avec PSpice Schematics.

- **Configuration**

On désire effectuer une analyse temporelle (ou transitoire), ce qui signifie qu'on veut observer la variation des tensions en fonction du temps aux nœuds marqués.

- Dans le menu *Analysis*, choisir l'option *Setup*. La fenêtre de dialogue obtenue est représentée à la figure 1.4 :

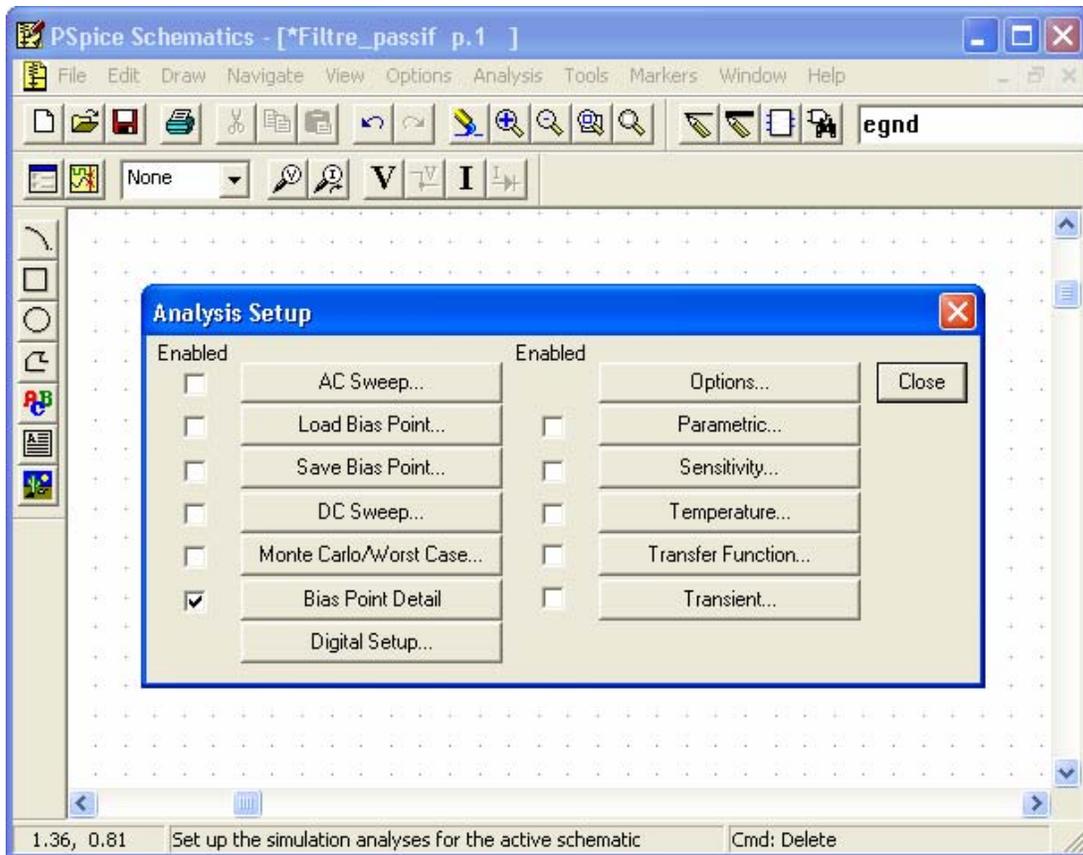


Figure 1.4 : Boite de dialogue de l'option Setup du menu d'Analysis

- Désactiver l'option *Bias Point Detail* et activer l'option *Transient*.
- Cliquer sur le bouton 'Transient' et attribuer les valeurs selon le tableau 1.2 :

Paramètres et leurs valeurs	Description
Print Step = 0 sec.	Début de simulation
Final time = 0.005 sec.	Fin de simulation (pour visualiser 5 périodes de résultat)
Step ceiling = 0.00001 sec.	Pas de simulation

Tableau 1.2 : Tableau donnant les valeurs des paramètres de simulation de l'option 'transient'.

Afin de faire une analyse de Fourier dans le but de vérifier la distorsion du signal de sortie, il faut remplir l'encadré au bas de la boîte de dialogue de Transition (figure 1.5). Il s'agit simplement de cocher la case *Enable Fourier* et de remplir les champs appropriés : 1000 pour la fréquence centrale, 10 pour le nombre d'harmonique, V1 (tension de la source), Vc (tension aux bornes du condensateur) pour les variables de sortie.

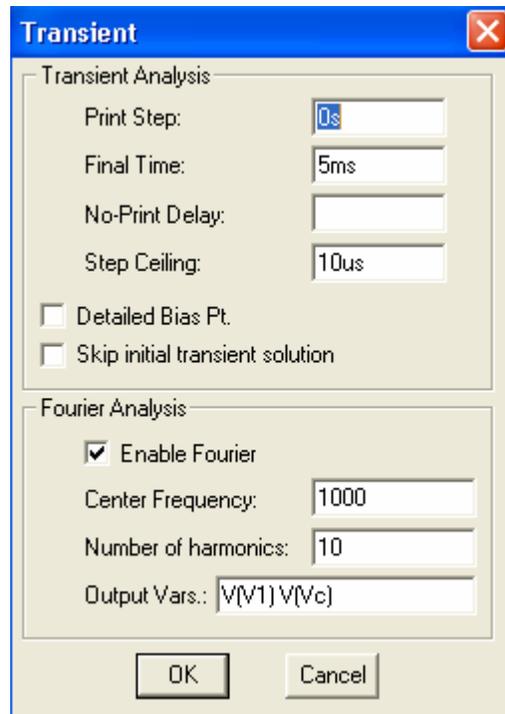


Figure 1.5 : Boîte de dialogue de l'option Transition.

- **Simulation**

Le circuit est alors prêt à être simulé.

- Cliquer sur le bouton '**simulate**'  ou sélectionner *Simulate* dans le menu *Analysis*.

Après quelques secondes de compilation, la fenêtre des résultats s'ouvre et donne le graphique de la figure 1.6.

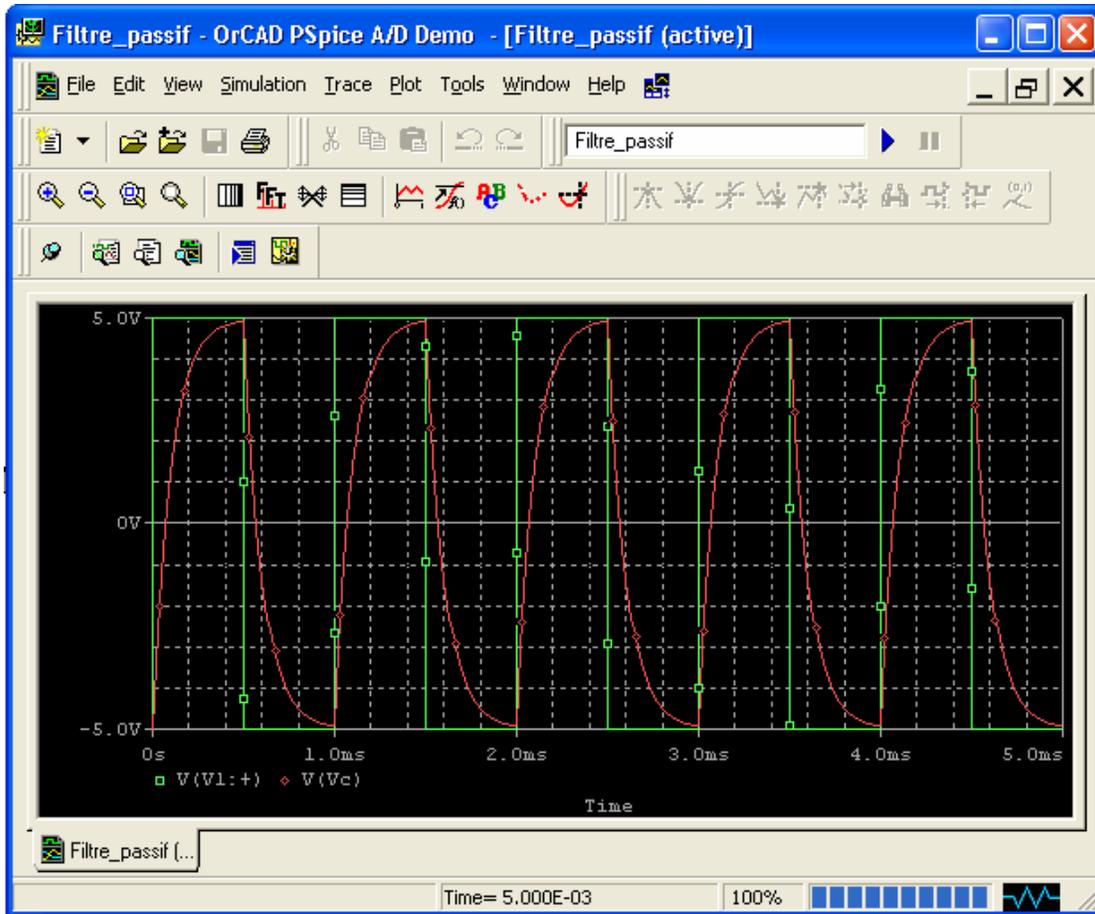


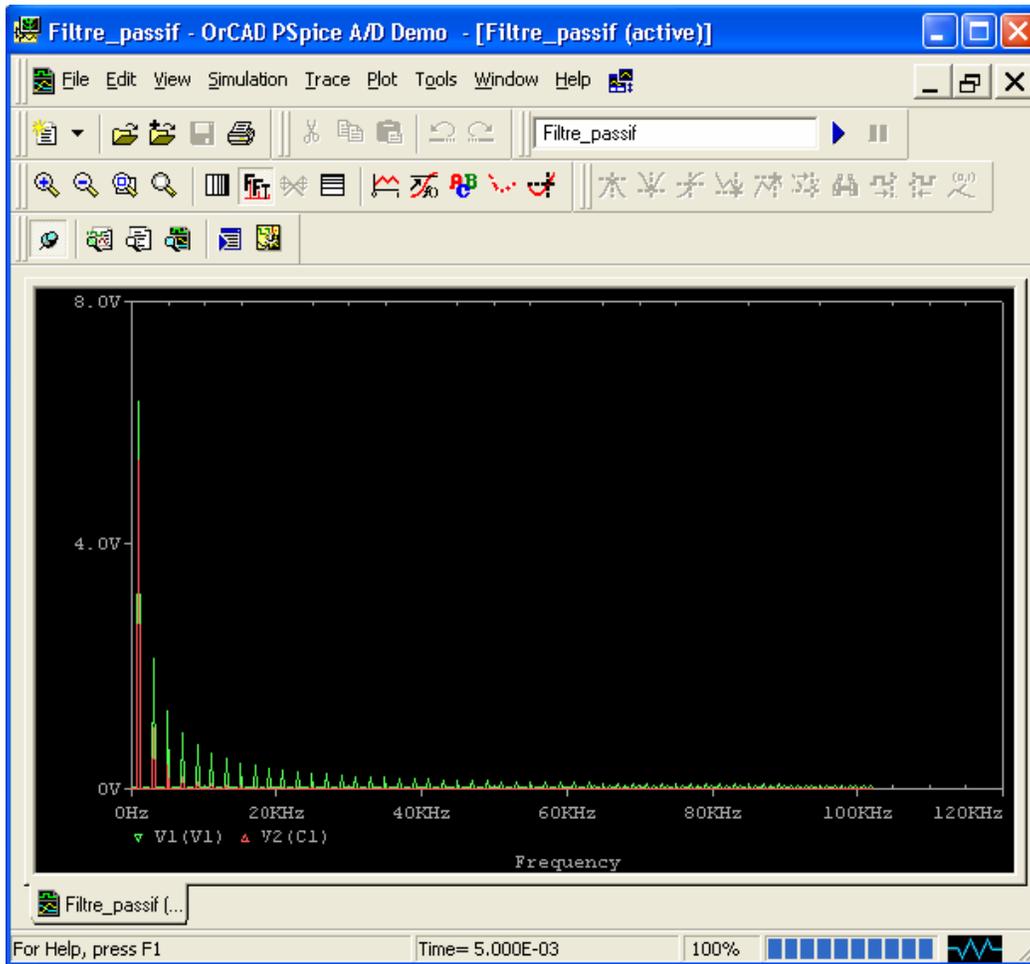
Figure 1.6 : Fenêtre de résultat de simulation avec PSPICE.

Afin de visualiser le résultat de l'analyse de Fourier, dans le menu principal de PROBE, il faut sélectionner *Trace/Fourier* (figure 1.7).

Quand PSPICE termine la simulation, il met automatiquement PROBE en marche; ce dernier affiche les résultats de la simulation.

La fenêtre PROBE contient une barre de menus parmi lesquels les menus *Plot* et *Trace* comportent plusieurs options intéressantes (*Plot/Label*, *Trace/Cursor*, etc.).

*Note: Si le design comporte des erreurs, un message d'erreurs apparaît lors de la compilation. Lire attentivement le message, corriger les erreurs et puis simuler le circuit de nouveau.*



*Figure1.7 : Spectre de Fourier des signaux de sortie.*

### **Résumé des opérations pour la simulation du circuit RC :**

- Choisir chaque composante requise dans les bibliothèques de composants disponibles et le placer dans l'espace de travail de l'écran. Dans le menu principal, choisissez l'option *Draw*, et par la suite *Get New part ...*, déplacer la composante désirée sur l'écran.
- Donner un attribut ou une valeur à chaque composante choisie. Pour se faire, Cliquer deux fois sur la composante considérée.

- Une fois que toutes les composantes apparaissent à l'écran, établir la connexion des composantes à l'aide des conducteurs. Parmi les icônes apparues sur la page principale, choisir le crayon.
- Une fois le circuit connecté, ajouter la masse tirée de la librairie. Cette masse servira comme nœud de référence. La masse se trouve dans l'option *Get New part*.
- Choisir le type d'analyse souhaité et décrire les détails de l'analyse à l'aide des menus appropriés. Choisir l'option *Analysis* dans le menu principal et par la suite l'option *Setup*.
- Afin d'afficher les paramètres désirés (tension, courant, ...), il faut brancher les appareils de mesures appropriés. Ces marqueurs se trouvent dans l'option *Markers* dans le menu principal.

### 1.2.2 Atténuateur passif

L'atténuateur passif représenté à la figure 1.8 requiert deux résistances, une source de tension et une masse servant de nœud de référence.

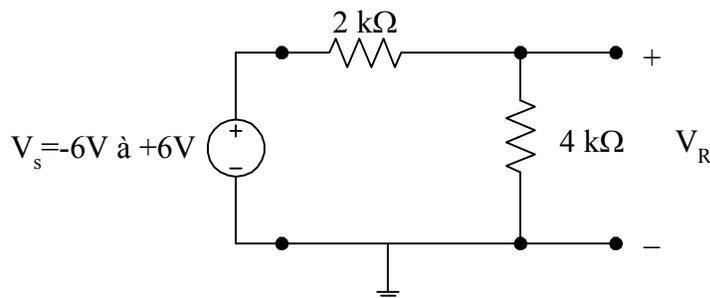


Figure 1.8: Atténuateur passif.

- **Dessin du schéma**

Le circuit atténuateur contient deux tensions de nœud par rapport au nœud de référence. Pour donner une étiquette ou un numéro à ces deux nœuds, on doit passer par le menu *Markers/Mark Voltage/Level*. Lorsque le marqueur est affiché, il faut se déplacer à l'aide de la souris au nœud pour lequel on veut déterminer la tension et il faut lui donner un attribut (un numéro).

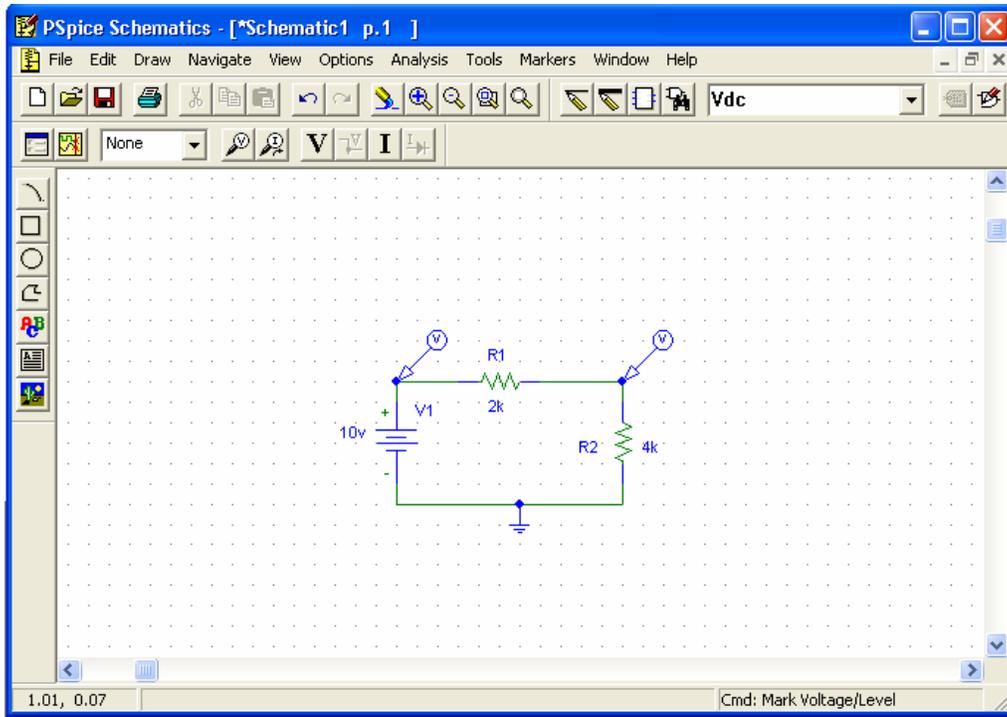


Figure 1.9 : Circuit atténuateur avec nœuds d'entrée et de sortie.

La figure 1.9 représente le circuit atténuateur dessiné à l'aide de Schematics avec l'entrée et la sortie étiquetées.

- **Configuration**

On désire effectuer une analyse CC, ce qui signifie qu'on veut observer la variation de la tension  $V_{R2}$  en fonction de la tension d'entrée aux nœuds marqués.

- Dans le menu *Analysis*, choisir l'option *Setup*. La fenêtre de dialogue obtenue est représentée à la figure 1.10 :

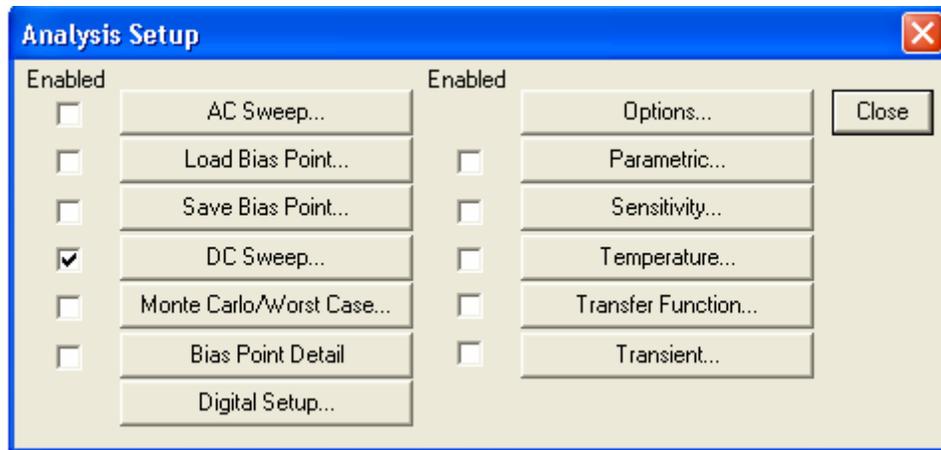


Figure 1.10: Boîte de dialogue de l'option Setup du menu d'Analysis.

- Désactiver l'option *Bias Point Detail* et activer l'option *DC Sweep*.
- Cliquer sur le bouton *DC Sweep* et attribuer les valeurs selon la figure 1.11 :

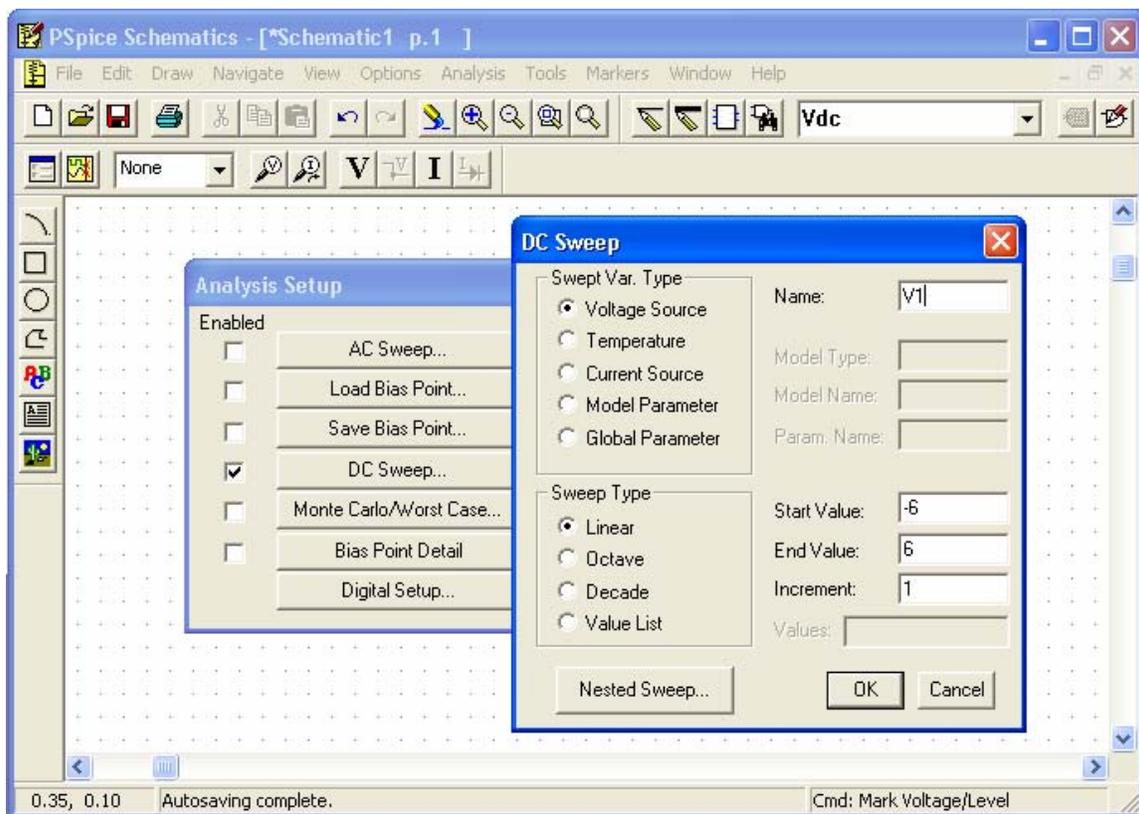


Figure 1.11: Boîte de dialogue DC Sweep pour spécifier la variation de la tension de la source.

Note : Il faut cependant donner un nom à la tension de la source qu'on doit varier. Le symbole  $V_1$  sera employé dans l'exemple présent.

- **Simulation**

Le circuit est alors prêt à être simulé.

- Cliquer sur le bouton 'simulate'  ou sélectionner *Simulate* dans le menu *Analysis*.

Après quelques secondes de compilation, la fenêtre des résultats s'ouvre et donne le graphique de la figure 1.12.

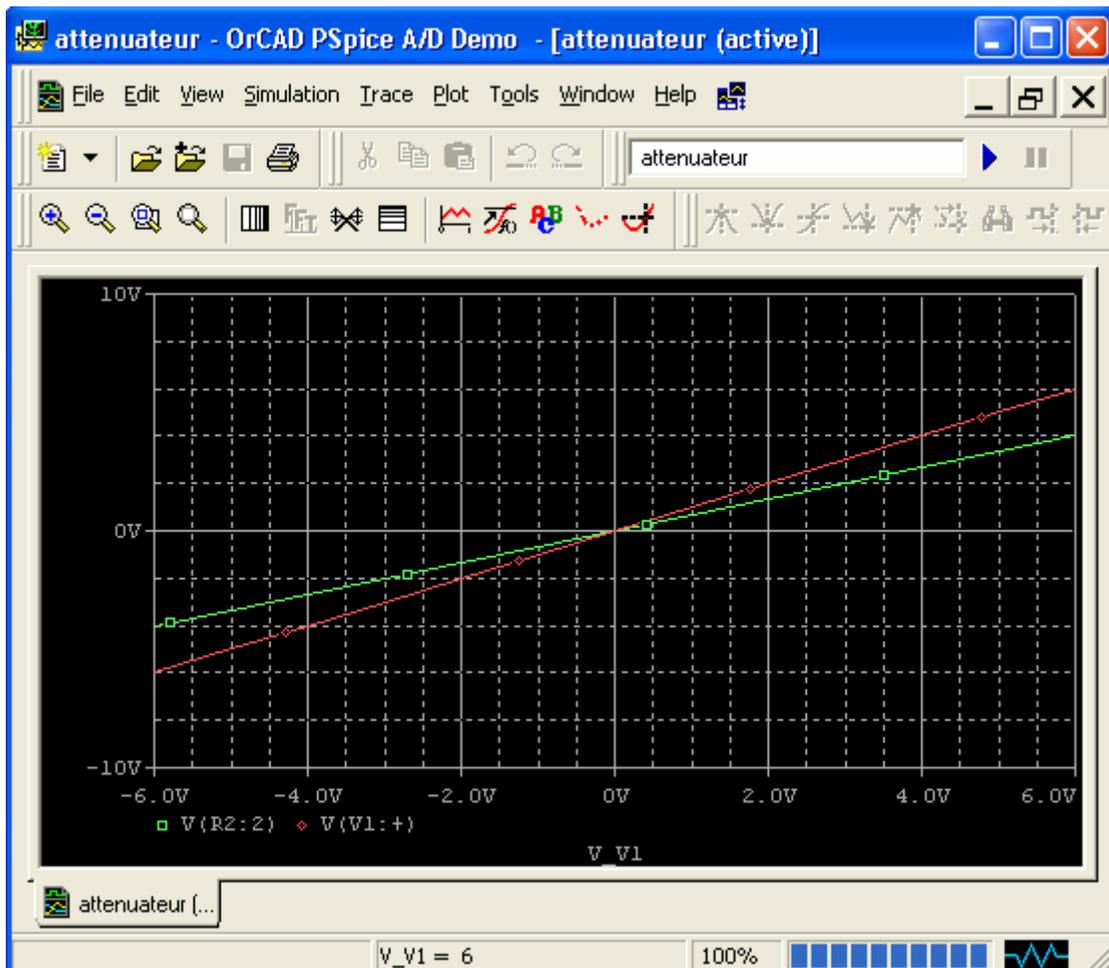


Figure 1.12 : Fenêtre du résultat de simulation avec PSpICE.

### 1.2.3 Étage d'amplification à base d'un amplificateur opérationnel

Le circuit de la figure 1.13 contient trois résistances et un amplificateur opérationnel. Pour que le gain de l'étage soit égal à quatre, on choisit les valeurs des résistances  $R_1$  et  $R_2$  comme 1 k $\Omega$  et 3 k $\Omega$  respectivement. La résistance  $R_3$  de 1 k $\Omega$  représente la résistance de la charge qui sert à mesurer la tension de sortie et dont la valeur est indépendante du gain de l'étage. La tension d'entrée est sinusoïdale avec une valeur d'amplitude maximale de 1 V et une valeur de fréquence de 1 kHz.

- Dessin du schéma

Dessiner le circuit à l'aide de Schematics.

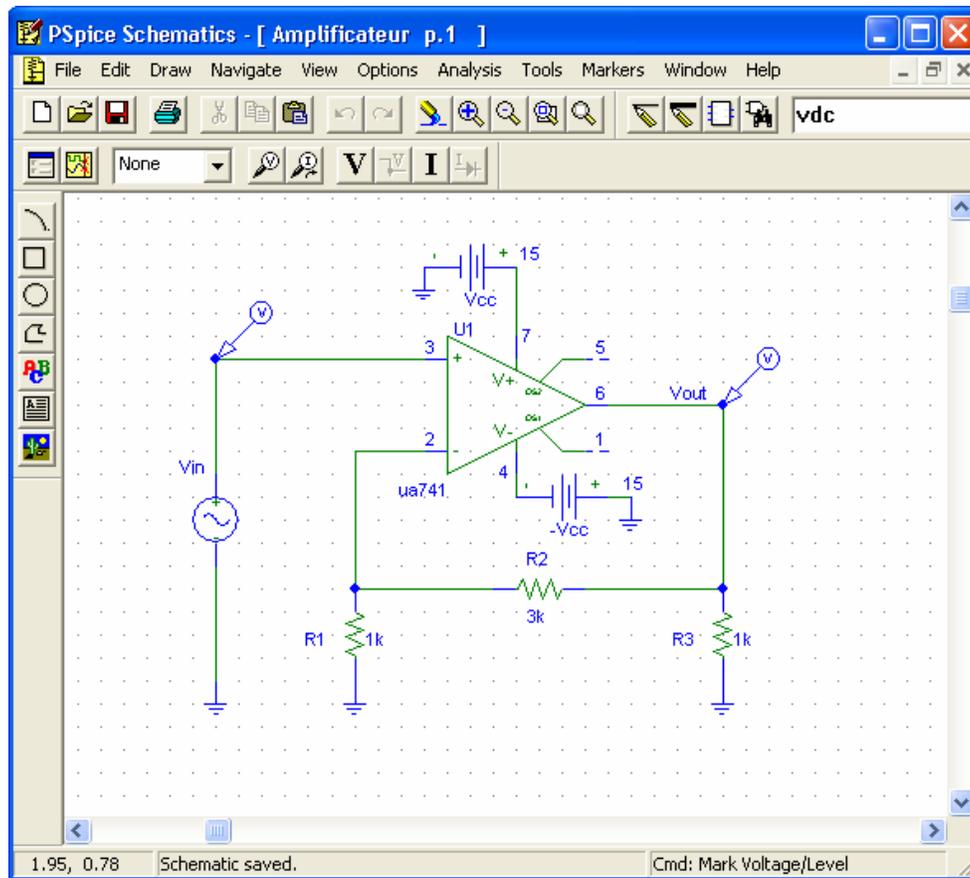


Figure 1.13 : Circuit d'amplificateur non inverseur ayant un gain de quatre.

- Le modèle de l'amplificateur opérationnel  $\mu A741$  (modèle à 8 terminaux) se trouve dans la librairie des composants. Toutefois, il faut le polariser à l'aide de deux sources continues de  $VDC+ = 15\text{ V}$  et de  $VDC- = -15\text{ V}$ .
- Pour placer la source sinusoïdale d'entrée, aller dans le menu *Draw* et choisir *Place Part* dans laquelle se trouve *VSIN*.
- Double-cliquer sur le générateur de fonctions (*VSIN*) et attribuer les valeurs selon le tableau 1.3 :

Paramètres et leurs valeurs.	Description
$V_{OFF} = 0$	Composante continue du signal.
$V_{AMPL} = 1\text{ V}$	Valeur crête positive
$FREQ = 1\text{ kHz}$	Fréquence

Tableau 1.3: Tableau des valeurs de paramètres du générateur de fonctions *VSIN*.

- De même, Il faut spécifier des attributs pour les sources continues de polarisation et les résistances du circuit.

- **Configuration**

On désire effectuer une analyse temporelle (ou transitoire), ce qui signifie qu'on veut observer la variation des tensions en fonction du temps aux nœuds marqués.

- Dans le menu *Analysis*, choisir l'option *Setup* et ensuite cocher la case correspondant à l'analyse transitoire, *Transient*.
- Cliquer sur le bouton de l'analyse transitoire et définir les paramètres comme indiqué à la figure 1.14 :

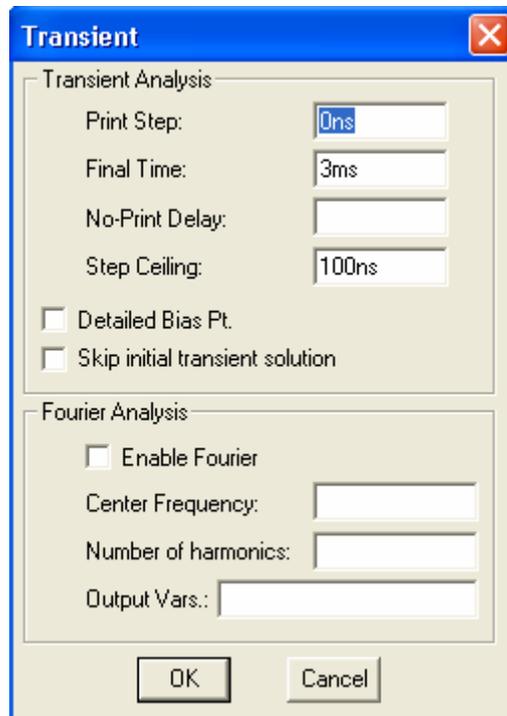


Figure 1.14 : Boîte de dialogue de l'analyse transitoire.

- **Simulation**

Après avoir sauvegardé le circuit, il est prêt à être simulé.

La figure 1.15 montre la fenêtre PROBE, qui représente la réponse temporelle des signaux d'entrée et de sortie.

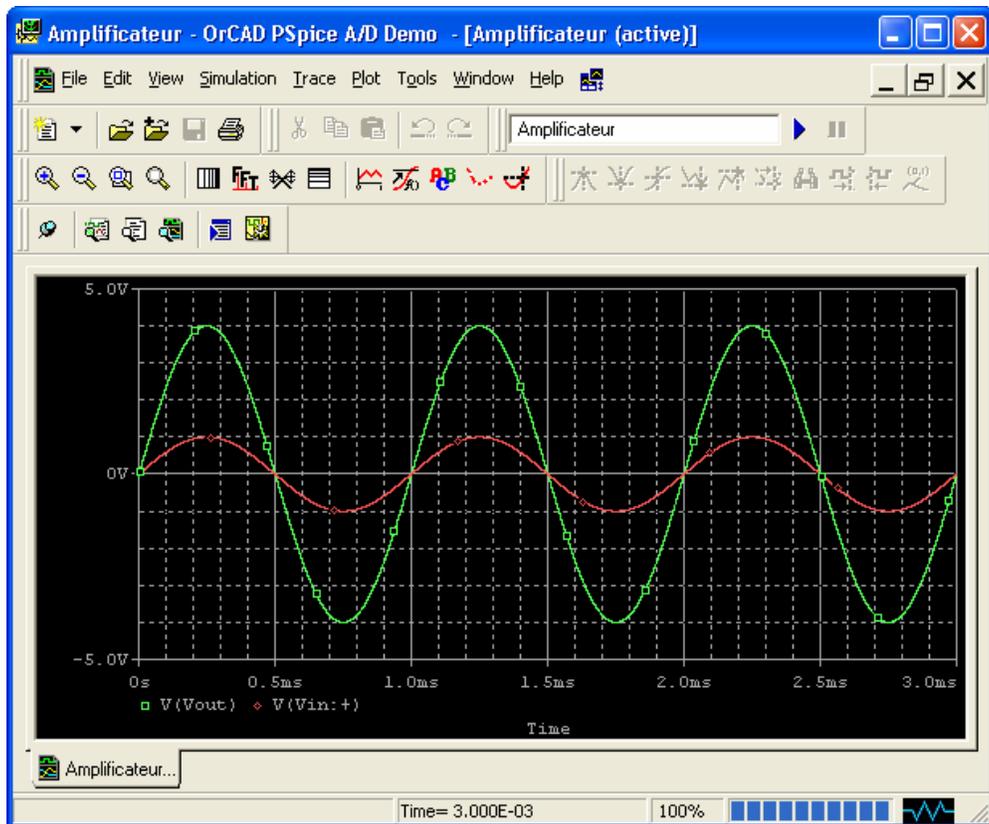


Figure 1.15 : Réponse temporelle des signaux d'entrée et de sortie.

## Étude de sensibilité

Pour procéder à une étude de sensibilité face aux variations des paramètres (par exemple la modification du gain due à la variation de la résistance  $R_2$  située dans la chaîne de réaction), on doit supprimer la résistance du circuit et la remplacer par une résistance ayant un attribut *RBREAK* dont PSPICE peut faire varier la valeur d'une façon automatique.

- Choisir le menu *Analysis/Setup* et cocher la case correspondant à l'analyse transitoire et l'analyse paramétrique (*Parametric*).
- Cliquer sur le bouton *Parametric* et attribuer les valeurs selon le tableau 1.4 :

Paramètres et leurs valeurs.	Description
Model Type : Res	Le type de la composante est une résistance (Res).
Model Name: RBREAK	Le type de la composante considérée (une résistance variable).
Param. Name: R	Le paramètre considéré est une résistance.
Start Value: 3 K $\Omega$	La valeur du départ de la résistance <i>RBREAK</i> .
End Value: 10 K $\Omega$	La valeur d'arrivée de la résistance <i>RBREAK</i> .
Increment: 1 K $\Omega$	La valeur d'incrément de la résistance <i>RBREAK</i> .

Tableau 1.4: Tableau des valeurs des paramètres de la boîte de dialogue Parametric.

Il faut remplir la boîte de dialogue *Parametric* présentée à la figure 1.16 avec les données présentées dans le tableau 1.4.

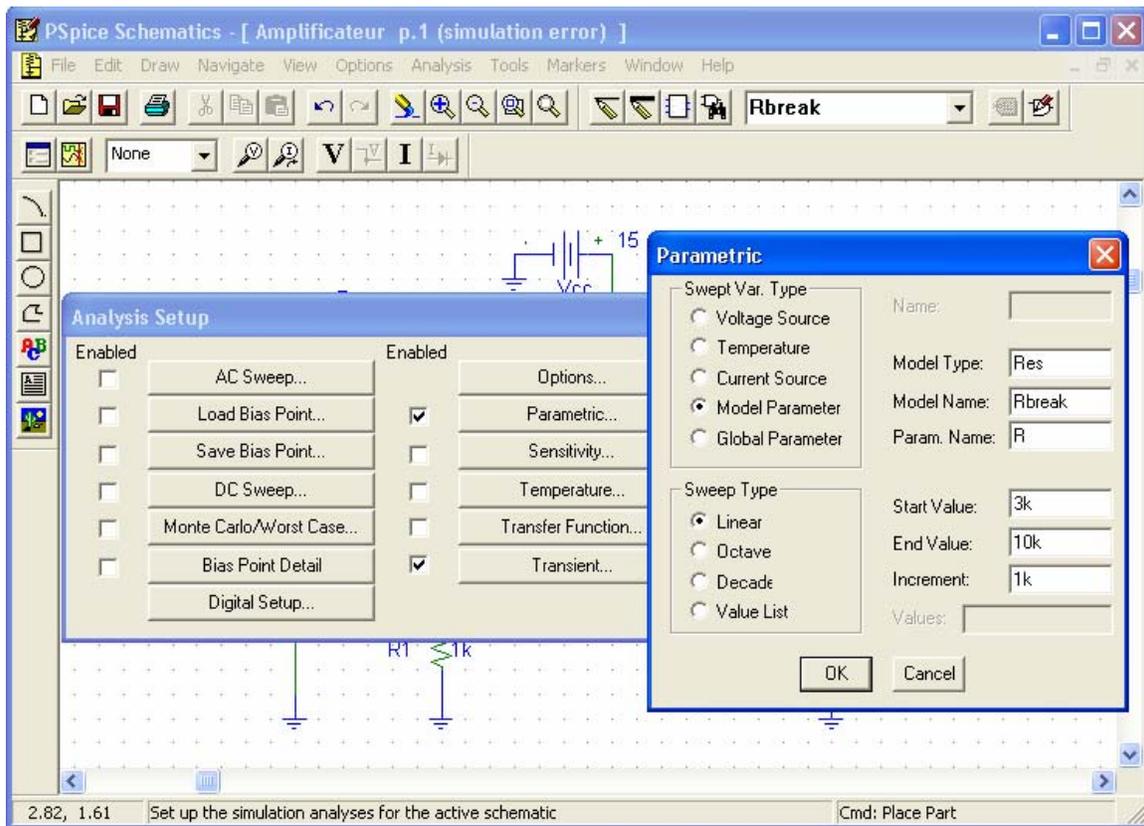


Figure 1.16 : Boîte de dialogue *Parametric* pour déterminer la variation de la résistance  $R_2$ .

- **Simulation**

Après avoir sauvegardé le circuit, il est prêt à être simulé.

- Si on souhaite examiner l'effet de la tolérance des résistances sur le gain de l'amplificateur (par exemple une tolérance de 10% pour toutes les résistances du circuit), il est nécessaire de remplacer les deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  par des résistances variables *RBREAK*. Il faut donc changer la définition de *RBREAK* en passant par le menu *Edit/Model* et en cliquant sur le bouton *Edit Instance Model (Text)* de la boîte de dialogue *Edit Model*.
- Modifier la boîte de dialogue *Edit Model Text* afin d'ajouter la tolérance désirée comme montré à la figure 1.17:

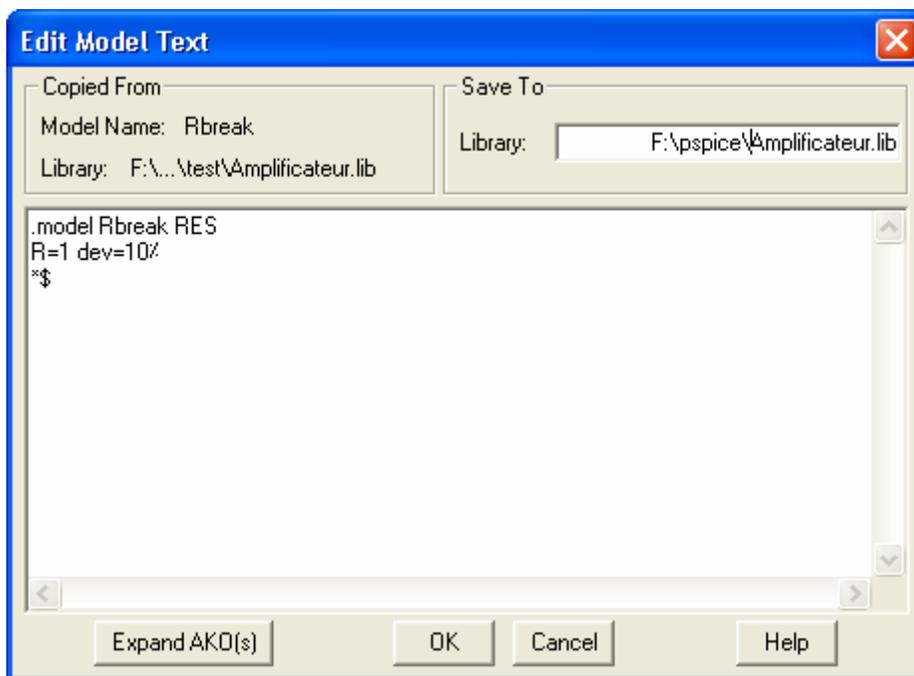


Figure 1.17 : Boîte de dialogue *Edit Model Text* pour la spécification de la nouvelle définition du modèle *RBREAK*.

Les résultats des modifications sont donnés à la figure 1.18 :

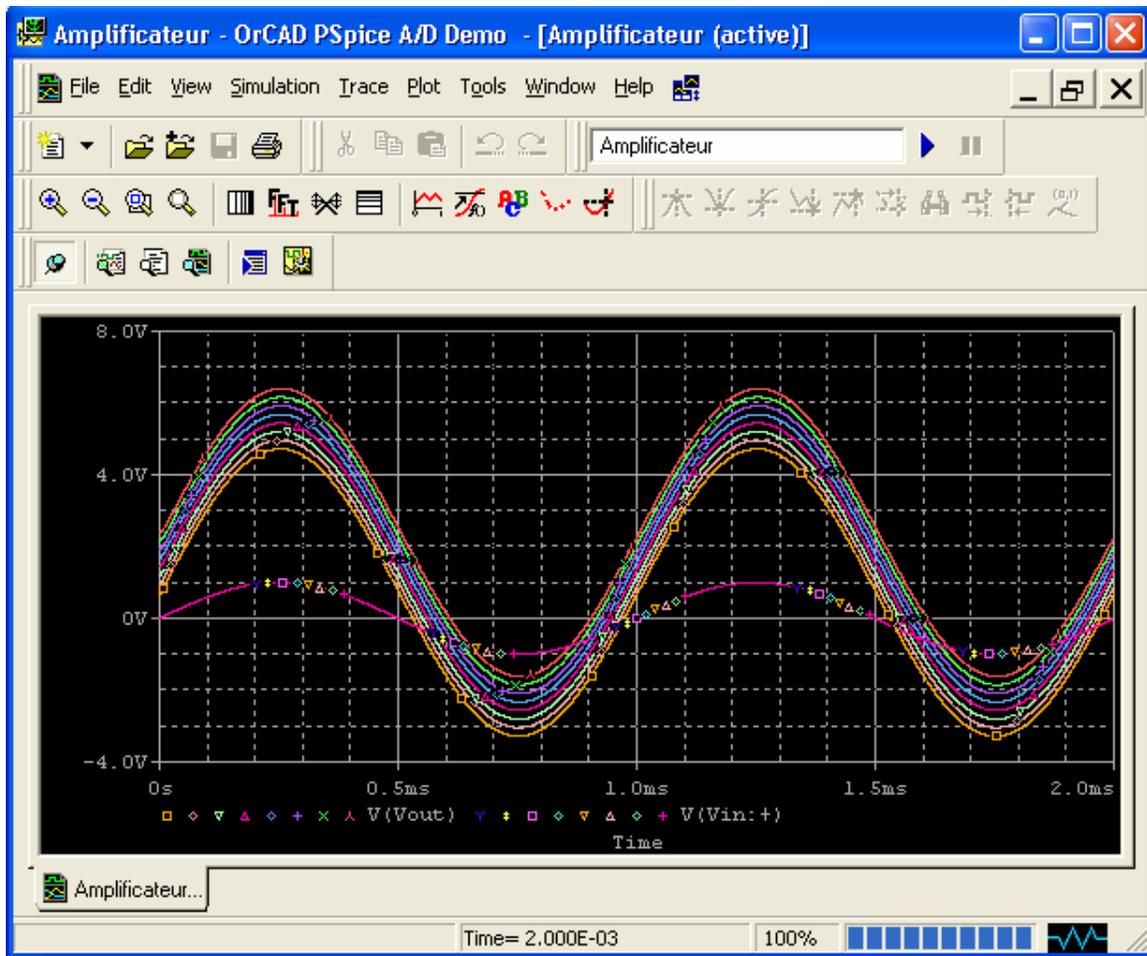


Figure 1.18 : Réponse temporelle des signaux d'entrée et de sortie en considérant une tolérance de 10% pour les résistances  $R_1$  et  $R_2$ .

- Pour mettre en marche l'analyse de sensibilité, sélectionner dans le menu *Analyse/Setup* la case correspondant à l'analyse *Monte Carlo/Worst Case*.
- Cette opération fait ouvrir la boîte de dialogue *Monte Carlo or Worst Case* (figure 1.19).

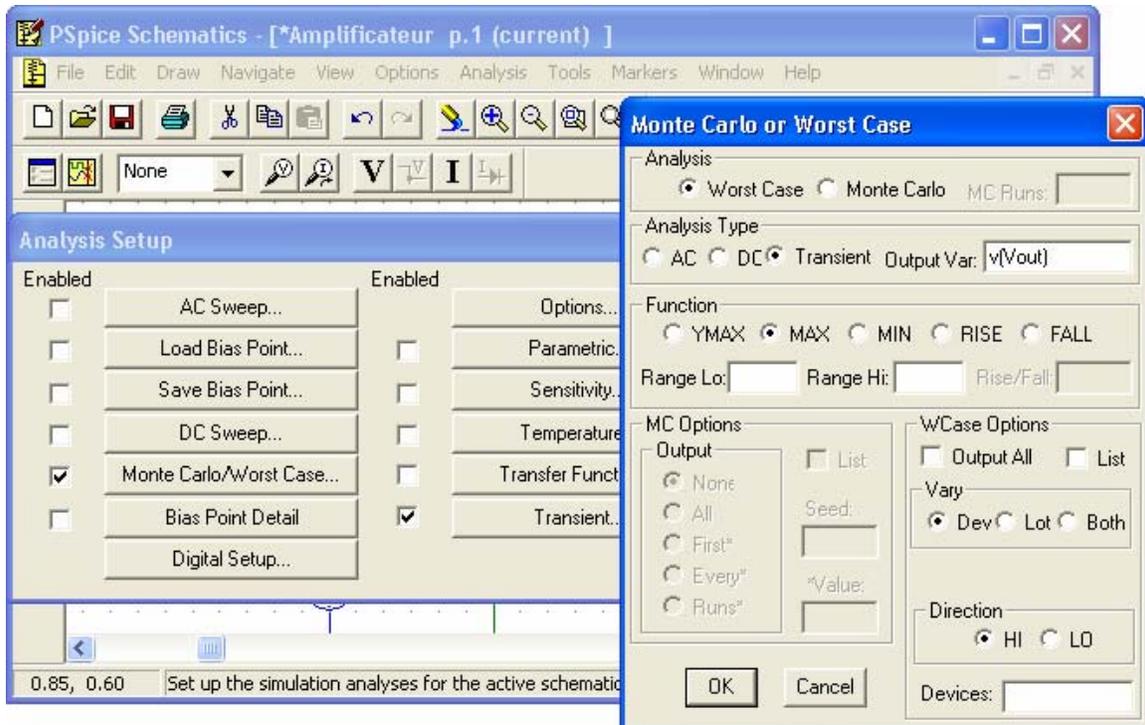


Figure 1.19 : Boîte de dialogue Monte Carlo or Worst Case pour la définition des paramètres de l'analyse Worst Case.

Il faut alors sélectionner les boutons suivants de la boîte de dialogue considérée :

- *Analysis* : *Worst Case*
- *Analysis type*: *Transient* en spécifiant la variable de sortie, soit  $V(Vout)$  dans notre cas.
- *Function* : *MAX*
- *Direction* : *HI* ou *LO*, selon le choix précédent (*MAX* et *HI* pour une analyse de  $RBREAK + 5\%$ ; *MIN* et *LO* pour une analyse de  $RBREAK - 5\%$ ).

Finalement, pour simuler le circuit, il faut le sauvegarder et puis sélectionner le menu *Analysis/Simulate*.

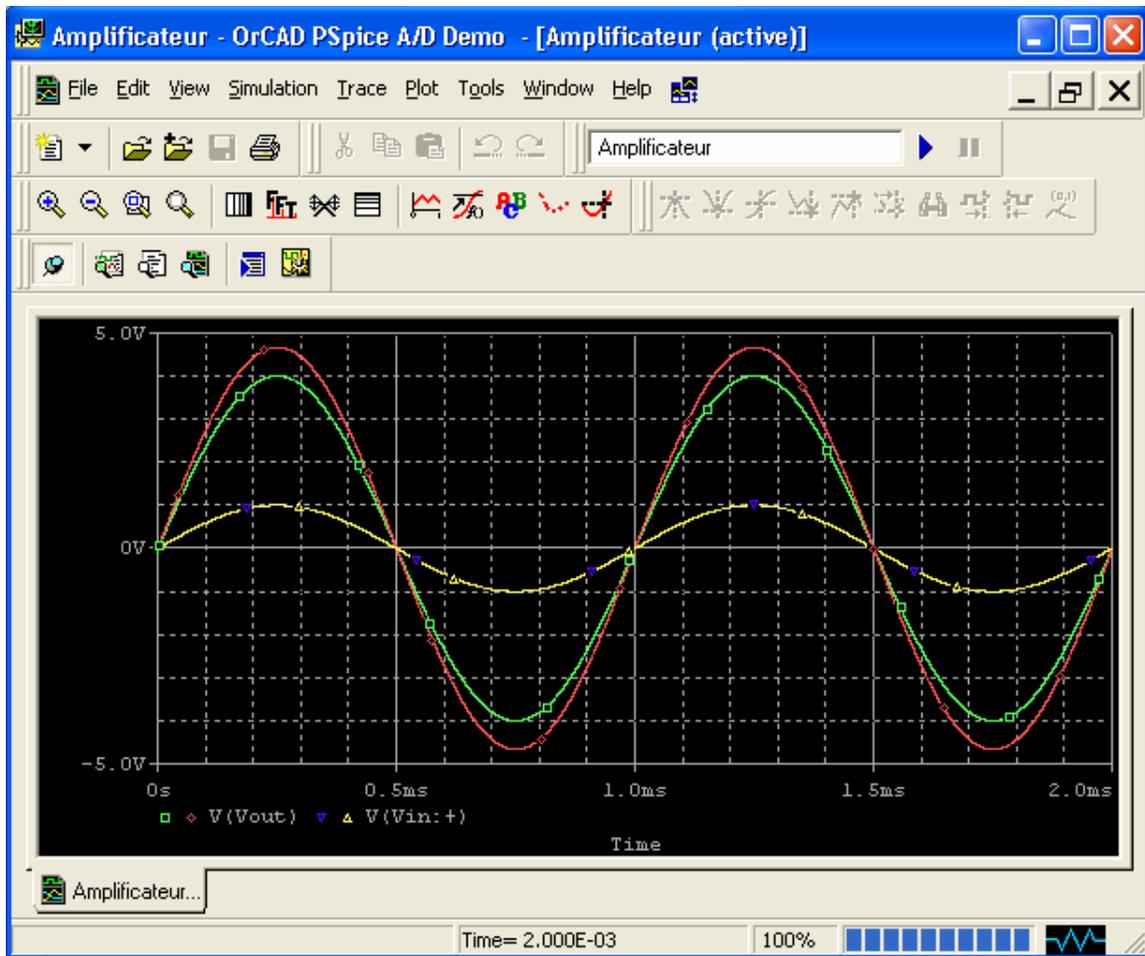


Figure 1.20 : Réponse temporelle des signaux de l'analyse Worst Case.

### 1.2.4 Filtre passe-bas actif du troisième degré

Le circuit de la figure 1.21 représente un filtre passe-bas actif du troisième degré contenant trois résistances, trois condensateurs et un amplificateur opérationnel.

On cherche à obtenir le tracé de la réponse en fréquence (diagramme de Bode, amplitude et phase).

- Dessin du schéma

On choisit comme source d'entrée une source alternative  $VAC$ . Si on détermine adéquatement les paramètres d'analyse, PSPICE fera le balayage en fréquence de cette source d'une façon interne pendant la simulation.

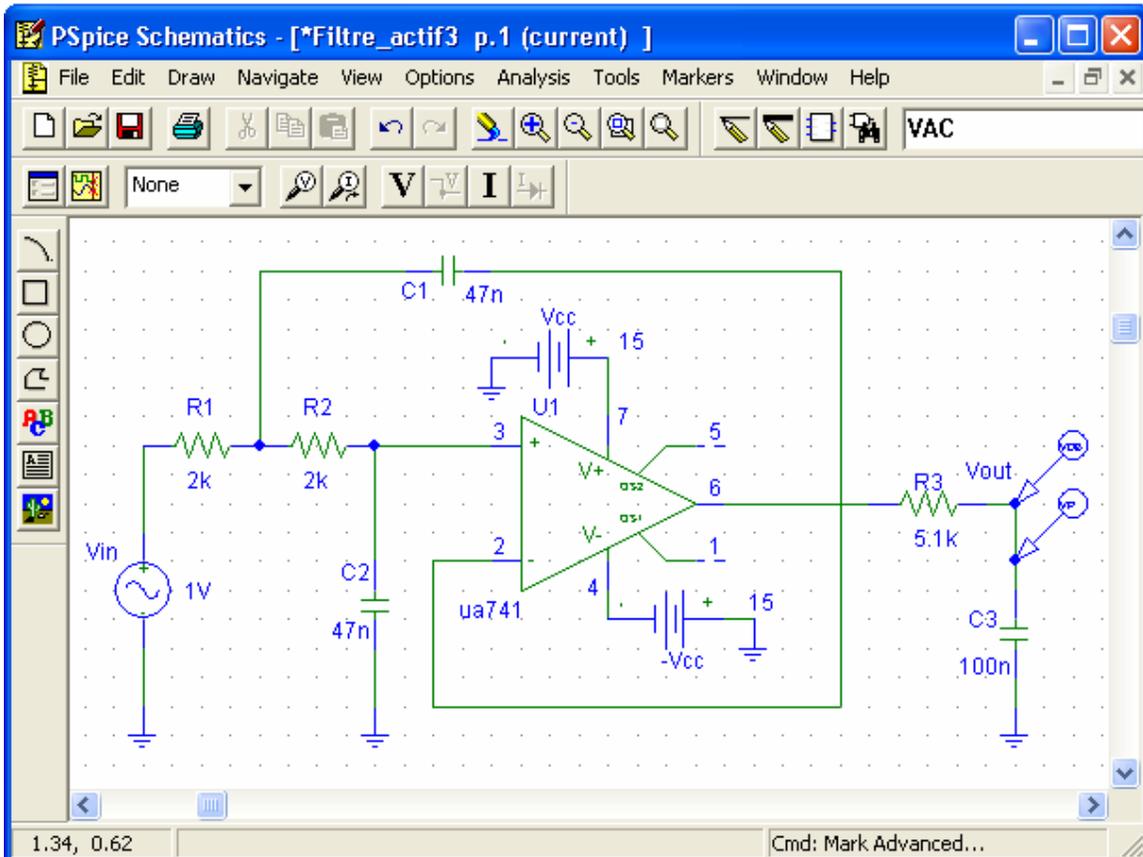


Figure 1.21 : Filtre passe-bas Chebychev du troisième degré avec une pulsation de coupure de 1000 rad/s et un ronflement de 1 dB dans la bande passante.

Si l'amplitude du signal sinusoïdale d'entrée est égale à 1 V, l'amplitude du signal de sortie correspondra au gain du filtre, soit le rapport entre la tension de sortie et la tension d'entrée.

- **Configuration**

- Dans le menu *Analysis/Setup* (figure 1.22), sélectionner l'option *AC Sweep*, qui commande le balayage fréquentiel du signal sinusoïdal.
- Dans l'encadré *AC Sweep Type*, sélectionner *Decade* et dans l'encadré *Sweep Parameters* spécifier les valeurs des champs appropriés : *101* pour *Pts/Decade* (le nombre de points entre le début et la fin du balayage), *100* pour *Start Freq.* (fréquence de début du balayage) et *100K* pour *End Freq.* (fréquence de fin du balayage).

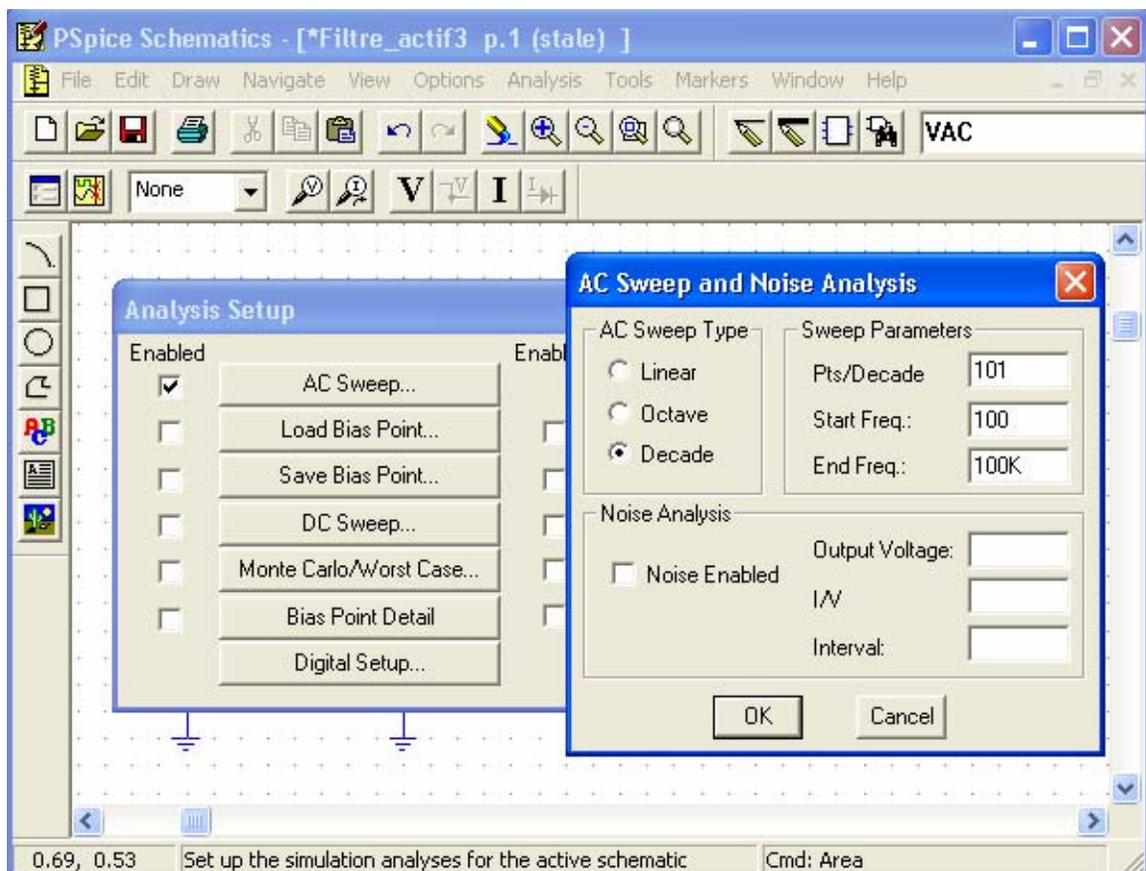


Figure 1.22 : Boîte de dialogue *AC Sweep and Noise Analysis* pour déterminer des paramètres nécessaires.

- **Simulation**

- Afin d'ajouter des marqueurs aux nœuds où on désire obtenir le diagramme de Bode, choisir *Mark advanced* dans les menus *Markers* et placer les marqueurs aux endroits désirés. Sélectionner *vdb* pour l'amplitude et *vphase* pour la phase.
- Sauvegarder le circuit et mettre la simulation en marche en passant par le menu *Analysis/Simulation*.
- Pour présenter chacun des graphiques séparément, dans la page principale de PROBE ajouter un autre repère en sélectionnant le *Plot/Add Plot to Window* dans le menu *Plot*. Puis cliquer sur la légende d'un des graphiques et faire une copie et coller, enfin transférer un des graphiques sur le nouveau repère (figure 1.23).

## **Conclusion**

Nous tenons à préciser que le présent chapitre ne donne qu'un aperçu et non une démonstration exhaustive de l'utilisation de PSPICE dans l'environnement Windows avec le préprocesseur Schematics.

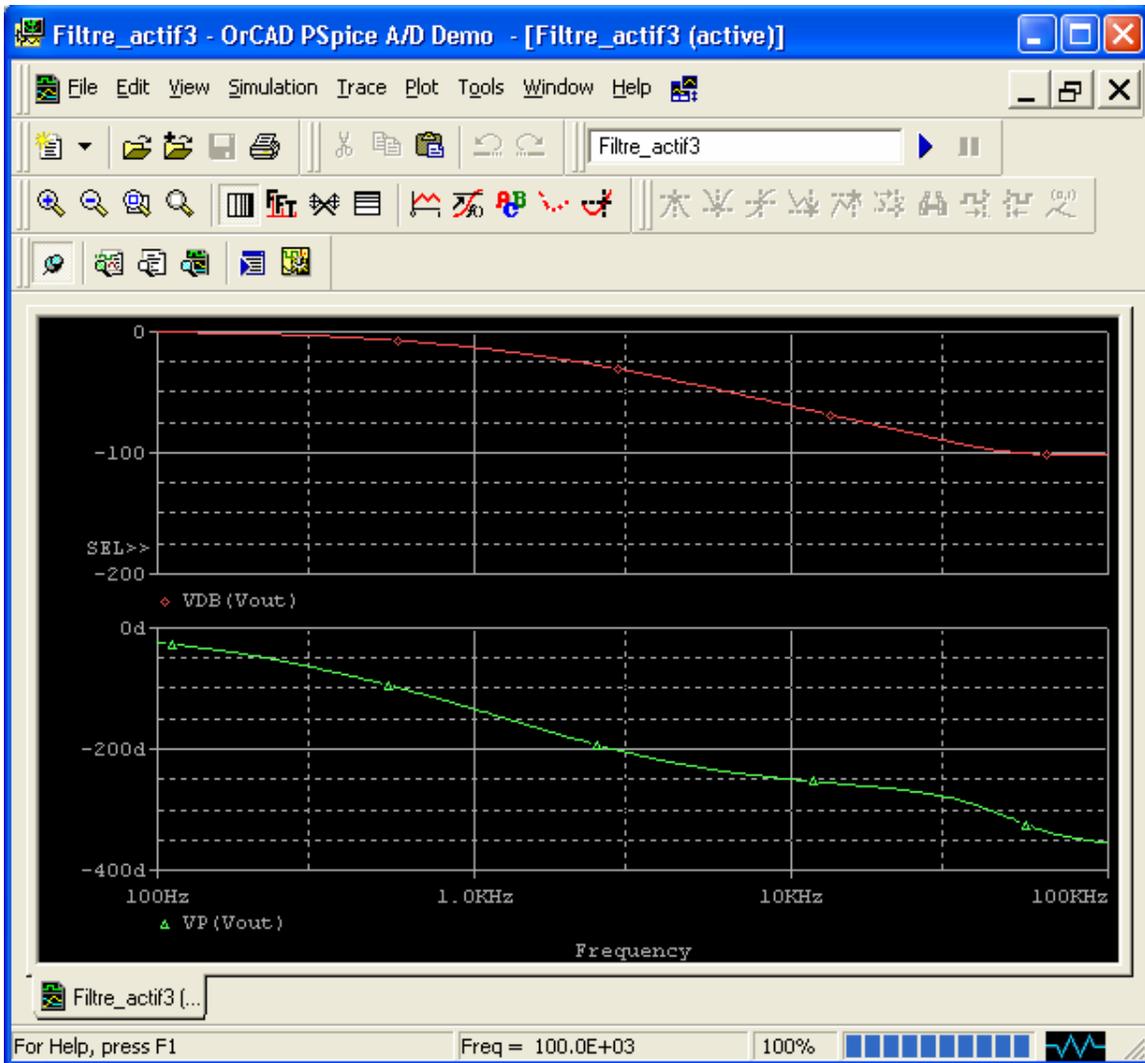


Figure 1.23 : Réponse en fréquence du filtre passe-bas du troisième degré.