



Bibliographie2

But de ce document :2

Installation de LTSpice (swcadIII).2

Nodal Analysis, calcul point de fonctionnement (nodal_analysis.asc)3

 Remarque :4

 Etude des fichiers générés par LTSpice.....5

DC Sweep , directive .DC (dc_sweep.asc)6

Transient analysis, analyse temporelle(transient_analysis.asc).....9

 PULSE : génération d'un signal carré.....9

 SIN : génération d'un signal sinusoïdal11

AC analysis : analyse en fréquence (Ac_analysis.asc).....11

Transformée de fourrier et taux de distorsion (fourrier.asc).....14

Directives .measure , mesures RMS,MAX,MIN,AVG,PP (measure.asc).....16

Transformée de Laplace : laplace.asc16

Paramétrage Directive .STEP (step.asc).....17

Transient Analysis :directive PWL (pwl.asc).....20

lecture fichiers wav.....23

Bibliographie

Vous trouverez un cours très intéressants à l'adresse suivante :

<http://www.ibiblio.org/obp/electricCircuits/> → site en anglais traitant des lois de l'électricité de base jusqu'aux fondements de l'électronique. Très intéressant pour une révision.

Des infos plus précises sur SPICE :

<http://www.comelec.enst.fr/oceane/doc/documents/envsimu/spice/>

<http://www.ecircuitcenter.com/Circuits.htm>

<http://www.ecircuitcenter.com/SPICEtopics.htm>

But de ce document :

Le but de ce document est la prise en main de LtSpice, logiciel gratuit de simulation mixte (numérique et analogique). Comme tous les logiciels de simulation celui-ci utilise le moteur de simulation spice dont les sources sont libres.

Nous allons dans ce document voir les principales fonctionnalités de LTspice (et donc de Spice).

- *Nodal analysis (ou analyse du point de fonctionnement).*
- *Transient analysis (ou analyse temporelle) et transformées de fourrier.*
- *AC analysis (ou analyse fréquentielle) permettant le tracé dans bode.*
- *Calculs sur tensions et courants et calculs d'erreurs.*

Installation de LTSpice (swcadIII).

Linear Technology , fabricant de circuits intégrés, met à disposition un logiciel assez complet ,sans limitation et avec possibilité de simuler les applications de Linear (notamment les alimentations à découpage) mais aussi tout autre type de circuit. Par rapport aux simulateurs payants du marché (ORCAD, EWB, eagle, PSPICE, ...), Linear ne fournit que très peu de modèles de simulations autres que pour ses propres composants (Ref LTxxx). Le fichier **lib_swcad_sept_2007.zip** permettra d'ajouter un certain nombre de composants.

L'installation de LTSpice est simple. Aller sur le site <http://www.linear.com/software> et récupérer le

logiciel d'installation **swcadiii.exe**.  . Ensuite dézipper le document lib_swcad_sept_2007.zip et copier le contenu du répertoire lib (ou se trouvent les symboles et les modèles des composants à ajoutés) dans le répertoire lib sous le répertoire d'installation de swcad (c:\program files\LTC par défaut).

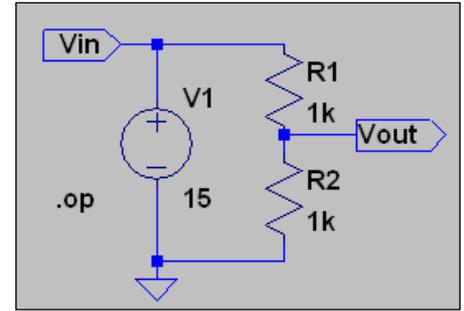
LTSpice possède un groupe de discussion sous yahoo <http://tech.groups.yahoo.com/group/LTspice/>.

Pour avoir accès à tous les fichiers et les outils développés par les membres du groupe. envoyer un mail à LTspice-subscribe@yahoogroups.com.

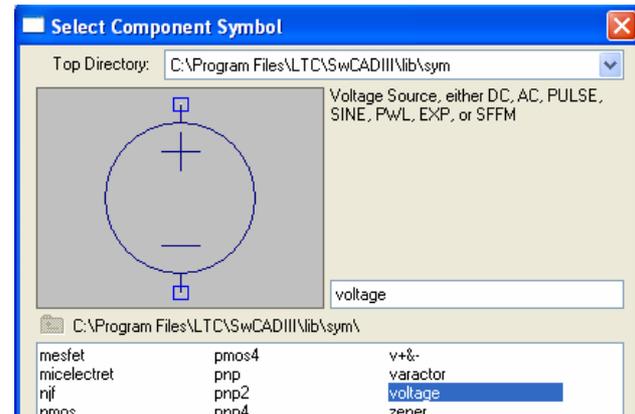
Spice (Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis) a été développé dans les années 70 à l'université de Berkley. Ce simulateur électrique a été développé et distribué gratuitement et est utilisé par tous les simulateurs du commerce : PSPICE ,Orcad (CADENCE) , Electronic Workbench (National Instrument),Accusim (Mentor) ...

Nodal Analysis, calcul point de fonctionnement (nodal_analysis.asc)

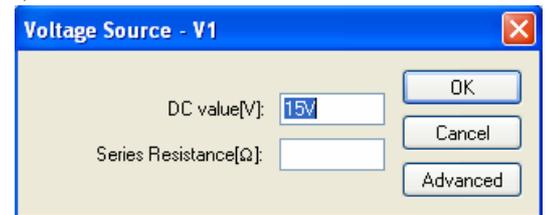
Dans cet exemple nous allons calculer le point de fonctionnement d'un montage très simple : le pont diviseur.



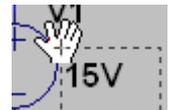
- Lancer SWCAD III, puis créer un nouveau schéma .
- Sauver le schéma, save as **nodal_analysis.asc**.
- Placer une source de tension, pour cela cliquer sur l'icône add component , et choisir voltage.



- Cliquer sur OK (insérer la source de tension sur la page vide).
- Clic droit sur le composant : la source de tension est une source de tension 15V



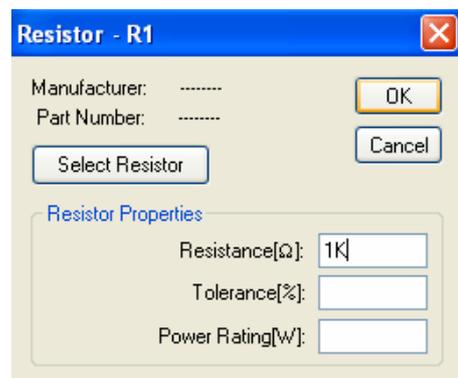
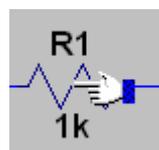
Pour déplacer la source de tension ou bien la valeur 15V, cliquer sur move component 



- Cliquer sur add Resistor  pour insérer une résistance. Appuyer sur CTR+R pour faire tourner le composant, puis insérer une deuxième résistance.

Une fois le composant inséré, il est aussi possible de le faire pivoter en utilisant la main , en sélectionnant le composant et en appuyant sur CTR+R.

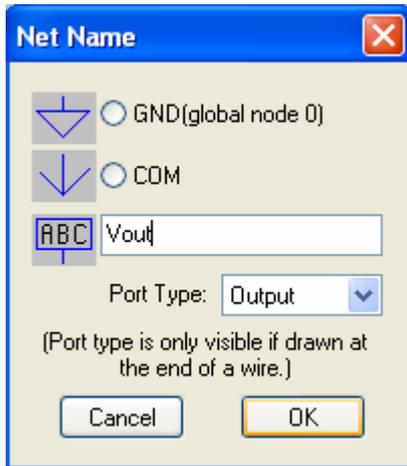
- Insérer la référence de masse : clic sur add ground 
- Puis clic sur add wire  pour connecter les différents éléments du circuit.
- Puis donner une valeur de 1k à chaque résistance, clic droit sur chaque résistance,



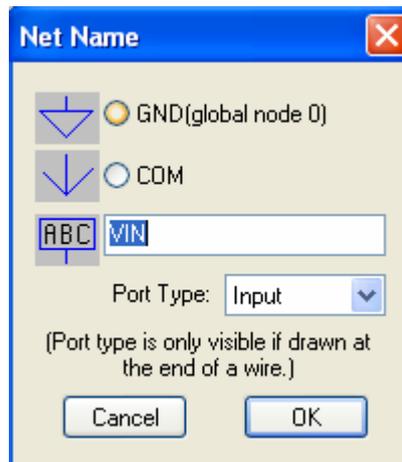
Les différentes unités possibles sont :
F (10^{-15}), **P** (10^{-12}), **N** (10^{-9}), **U** (10^{-6}), **M** (10^{-3}),
K (10^3), **MEG** (10^6), **G** (10^9), **T** (10^{12})
 Exemple : R=1Meg, C=1u (ou C=1uF), L=1m(ou L=1mH).

- Ajouter un label  afin de donner un nom aux nets (plus lisible à la simulation).

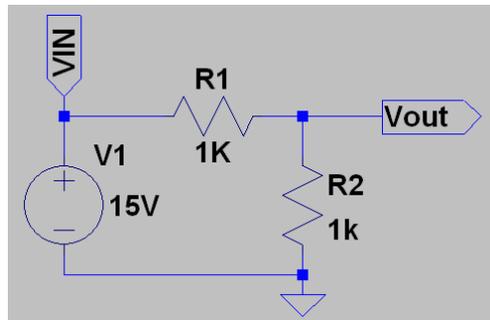
label Vout de sortie



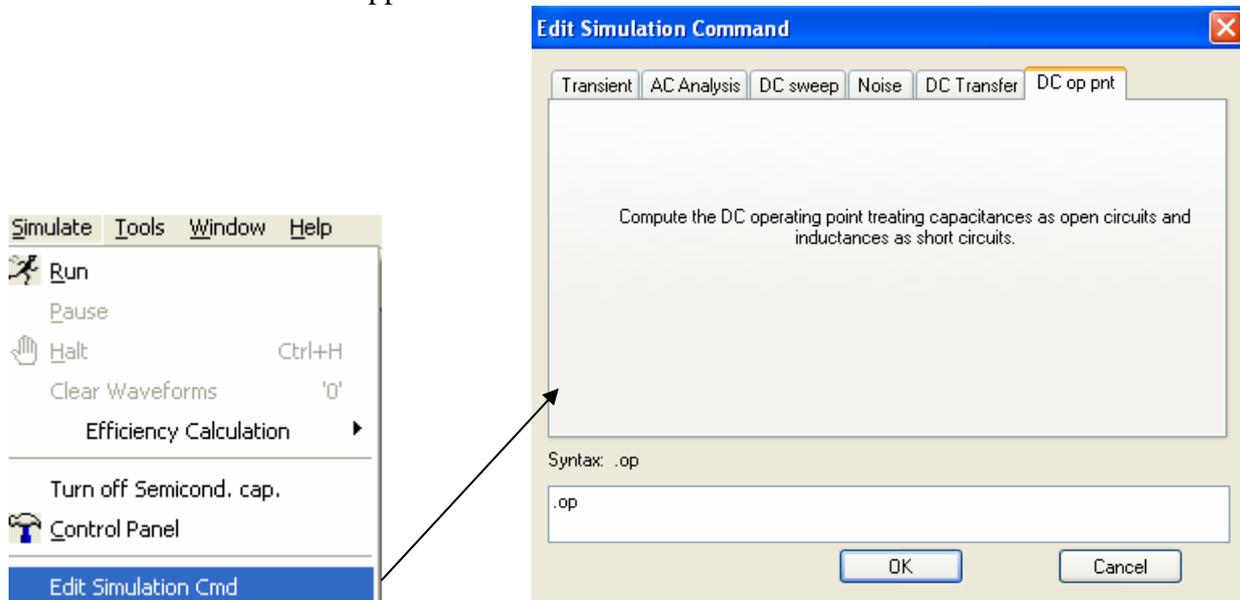
label VIN d'entrée



- Connecter les 2 labels.



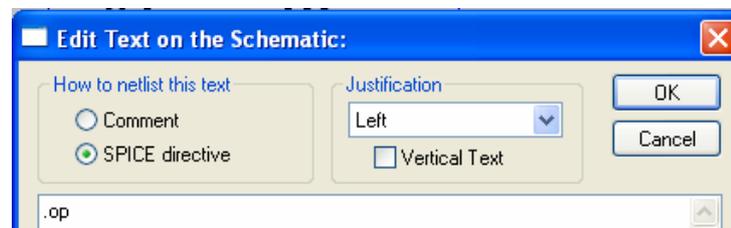
Il faut maintenant définir les directives de simulation spice permettant de choisir le type de simulation. La directive de simulation apparaît sur le schéma de simulation.



Remarque :

Une autre solution aurait été d'écrire nous-même cette directive :

Clic sur  pour insérer une directive spice .



- Lancer la simulation , clic sur RUN 

SWCAD III va alors lancer la simulation spice et calculer le point de fonctionnement du montage. Le résultat est affiché dans un fichier.

```

* C:\Program Files\LTC\SwCADIII\tutorial\exercice1.asc
--- Operating Point ---
V(vin) :      15          voltage
V(vout) :     7.5        voltage
I(R2) :      0.0075     device_current
I(R1) :     -0.0075     device_current
I(V1) :     -0.0075     device_current
    
```

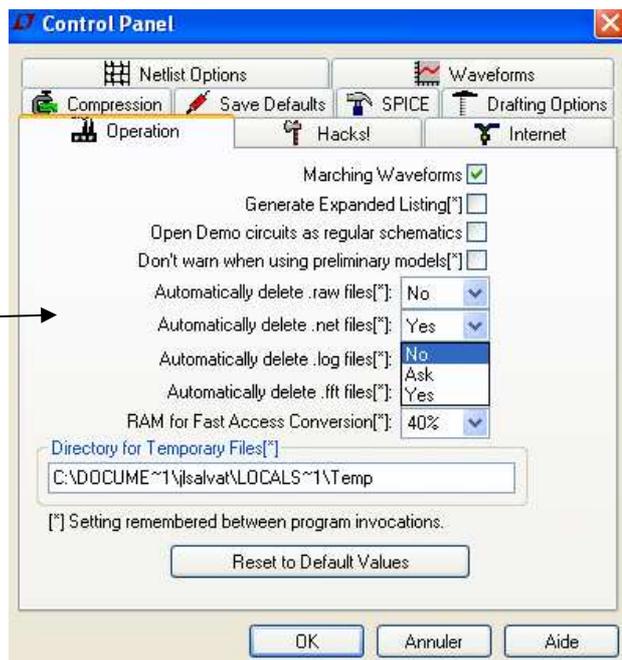
Conclusion : La tension de sortie est bien divisée par 2 et les courants dans R1 et R2 conforment aux calculs.

Etude des fichiers générés par LTSpice.

SWCAD III lors de la simulation a génère à partir du fichier nodal_analysis.asc qui est le fichier dessin de LTSpice, un fichier nodal_analysis.net, fichier directement utilisable par le simulateur spice.

Comme tout logiciel il est possible de configurer un certain nombre d'options : pour cela

- Cliquer sur Control Panel.



- Puis choisir l'onglet Operations.

Dans l'onglet opération, il est possible de choisir d'effacer ou nom un certain nombre de fichiers intermédiaires que nous allons détailler.

Nous allons tout d'abord nous intéresser à l'extension .net fichier d'entrée du simulateur Spice.

- Choisir " ne pas effacer le fichier .net".
- Relancer la simulation (Menu, Simuler, Run) puis ouvrir à partir de swcad le fichier nodal_analysis.net .

```

exercice1.net - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
* C:\Program Files\LTC\SwCADIII\tutorial\exercice1.asc
V1 VIN 0 15V
R1 vout VIN 1k
R2 vout 0 1k
.op
.backanno
.end
    
```

L'explication de ce fichier est assez simple. Chaque composant (R pour résistance, V pour source de tension, C pour condensateur, L pour inductance, ...) est suivi par le nom des 2 nets (fils de connexion) puis de sa valeur. Pour connaître tous les circuits de base de Spice taper F1 (accès à l'aide), puis LtPspice, Introduction, General Structure and Convention.

Le net 0 correspond à la masse qui est obligatoire pour le simulateur. Toute ligne qui commence par un point virgule (ou une astérisque) est un commentaire et toute ligne qui commence par un point est une directive spice. La directive .op permet de lancer une simulation de calcul du point de fonctionnement. Tout fichier spice se termine par la directive .end. Pour connaître toutes les directives Spice il suffit de taper F1, puis choisir LTSpice, Dot Command (Dot = point).

Remarque : le fichier nodal_analysis.net est le fichier généré par l'interface graphique de SWCADIII. ce fichier (fichier de nets) qui s'appelle xxx.cir pour ORCAD peut être exécuté par n'importe quel simulateur spice (ORCAD, EWB,...).

- Créer le fichier test.cir dont le contenu est donné ci-dessous avec le bloc note et le simuler.

```

test pont div ← première ligne jamais interprétée (commentaire)
v1 1 0 dc 15      V1 : la source de tension V1 est entre les nœuds (nets) 1 et 0
r1 1 0 2.2k
r2 1 2 3.3k
r3 2 0 150
;calcul du point de fonctionnement (operating point)
.op
.end
    
```

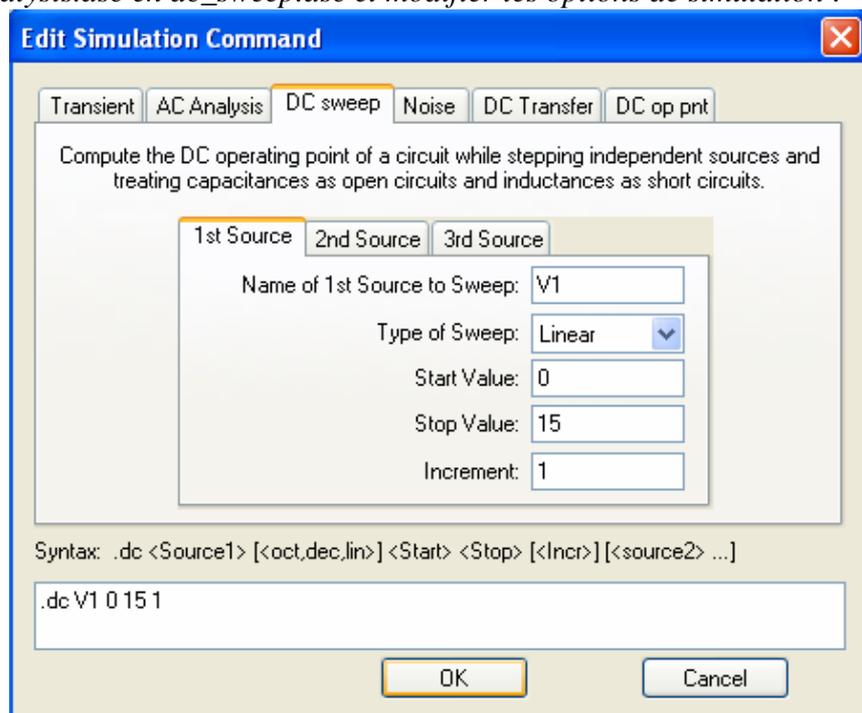
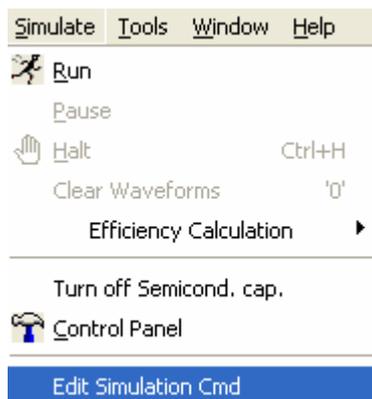
1. Dessiner le schéma électrique associé et vérifier par le calcul le résultat de la simulation.

Le fichier .raw est le fichier utilisé pour l'affichage des courbes.

DC Sweep , directive .DC (dc_sweep.asc)

Dans cet exercice, nous allons tracer la fonction de transfert $V(out) = f(V(in))$ en faisant varier $v(vin)$ de 0 à 15V.

- Sauver le fichier nodal_analysis.asc en dc_sweep.asc et modifier les options de simulation :



La directive spice apparaît alors sur le schéma de simulation.

```

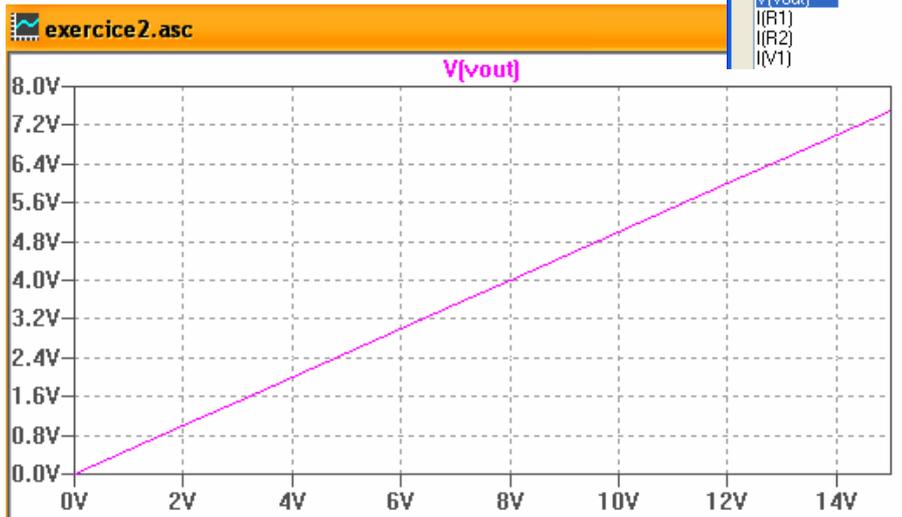
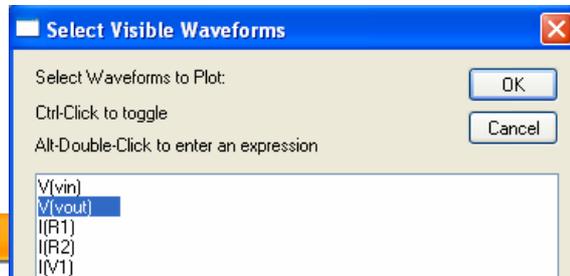
;op
.dc V1 0 15 1
    
```

L'ancienne directive .op est automatiquement mise en commentaire .

- Puis lancer la simulation 

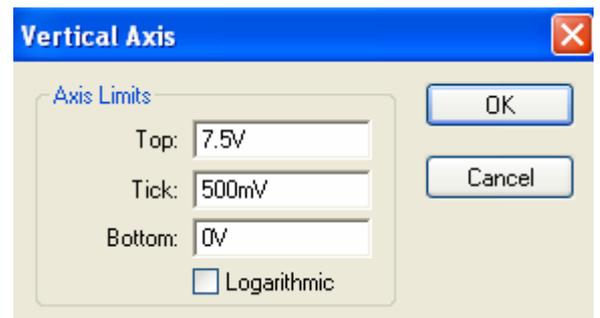
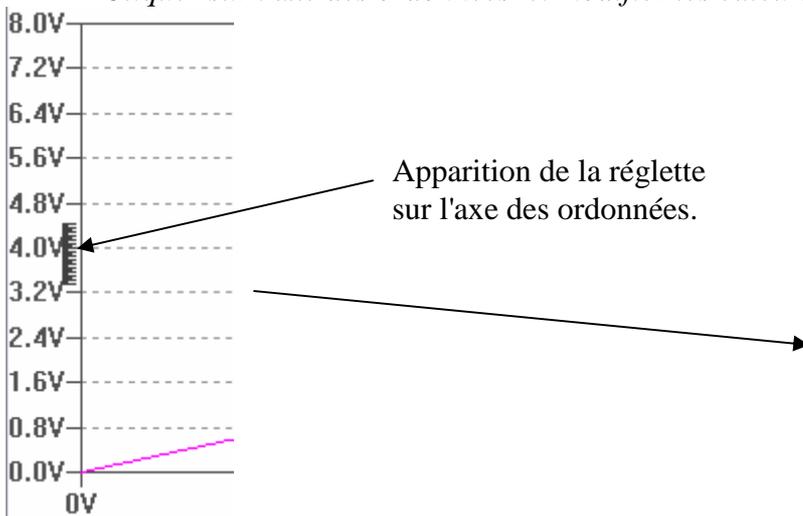
Le logiciel demande quelle valeur doit être affichée.

- Sélectionner V(out).

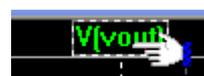


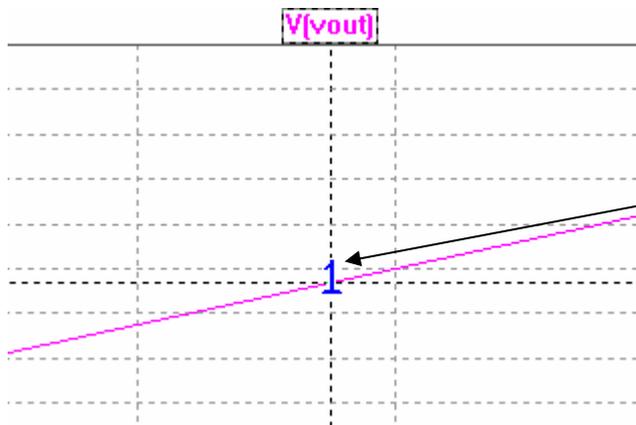
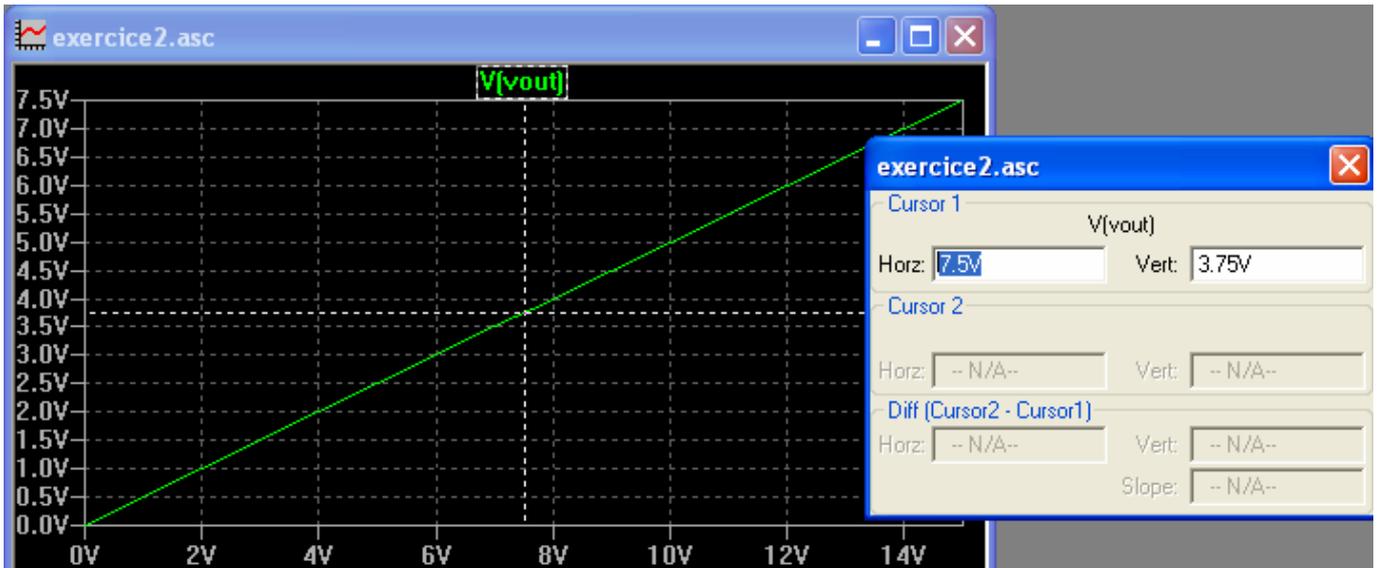
Nous allons modifier l'affichage :

- Cliquer sur l'axe des ordonnées et modifier les valeurs d'affichage.



- Faire de même pour l'axe des abscisses (pour avoir une valeur allant de 0 à 15 par pas de 1).
- Puis cliquer sur v(vout), et placer vous sur le point d'intersection entre les 2 courbes en pointillé qui se sont affichés. Pour pouvez alors déplacer le point de mesure, celui-ci s'affiche dans une fenêtre.





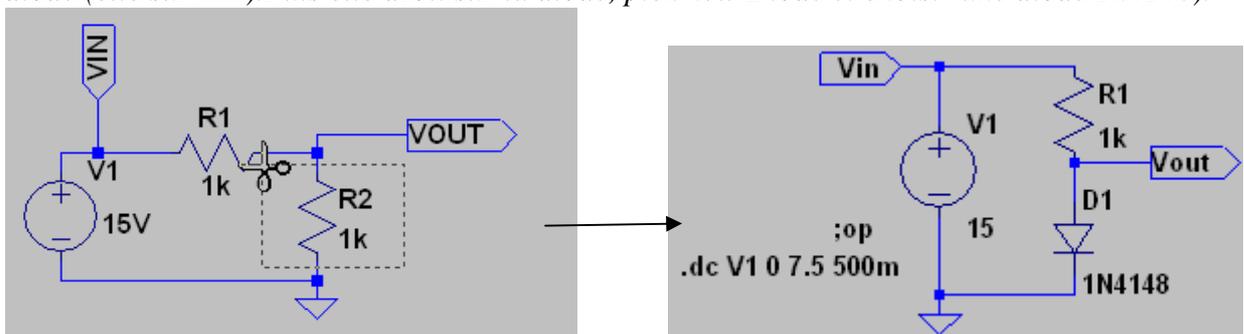
Pour déplacer le point de mesure, cliquer sur le point d'intersection des 2 droites en pointillé, et déplacer ce point.

L'affichage est sauvé dans le fichier dc_sweep.raw.

Pour sauver les paramètres de l'affichage : **Plot Setting, save plot setting** dans **dc_sweep.plt**. Fermer la fenêtre d'affichage, relancer la simulation. Pour retrouver les paramètres d'affichage précédemment sauvés, il suffit d'ouvrir, **plot settings, open Plot Settings File**, le fichier **dc_sweep.plt**.

L'outil DC sweep est intéressant pour faire le tracé de courbes de composants actifs comme les diodes , transistors,...

- *Supprimer R2 (touche supp , des ciseaux apparaissent, puis clic sur R2) et la remplacer par une diode (clic sur ). Puis clic droit sur la diode, pick new Diode et choisir une diode 1n4148).*



2. *Lancer la simulation et tracer la courbe du courant $I(D1)$ en fonction de $V(vout)$. Rappeler l'équation de I en fonction V_f de la diode. Conclure.*

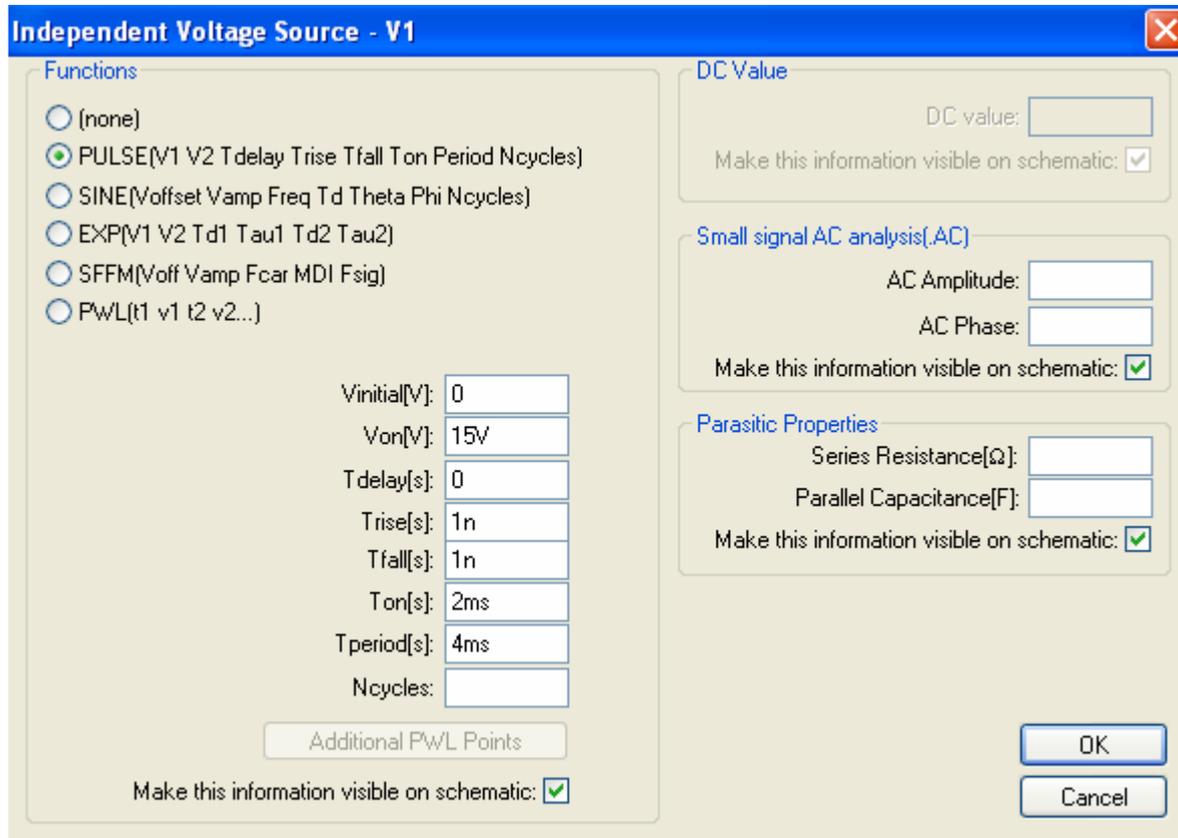
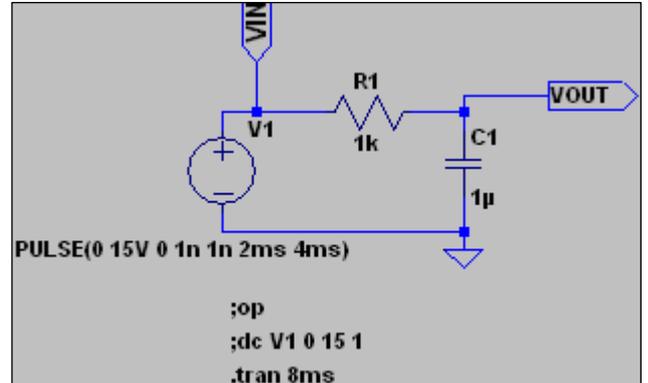
Transient analysis, analyse temporelle(transient_analysis.asc)

Nous allons maintenant visualiser la réponse d'un circuit RC à un signal carré(pulse) et à un signal sinusoidal (sin) .

L'algorithme utilisé permet de résoudre l'équation différentielle $v(vout) = v(vin) + R.C.d(v(vin))/dt$.

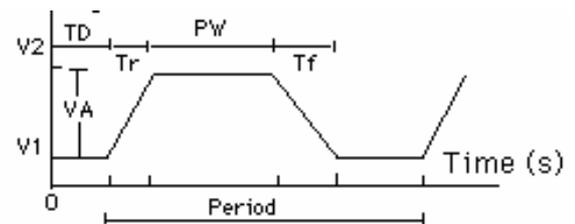
PULSE : génération d'un signal carré.

- Sauver le fichier dc_sweep.asc dans transient_analysis.asc.
- Supprimer D1 puis insérer un condensateur. 
- Clic droit sur le condensateur, donner la valeur 1uF (ou 1 u).
- Clic droit sur V1, modifier les paramètres de simulation (Simulate,File Simulation Cmd), choisir PULSE et modifier les valeurs comme ci-dessous.



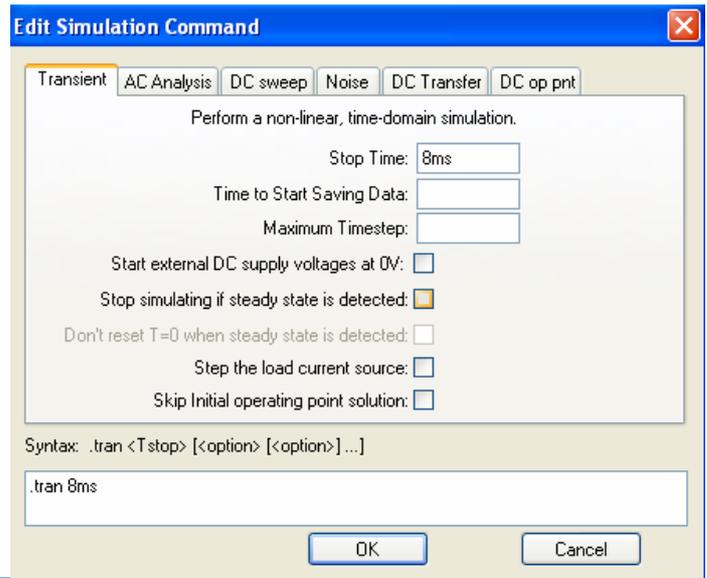
La directive .PULSE pour la source de tension V1 permet de générer un signal carré, et est composé de plusieurs paramètres :
 .PULSE(V1 V2 TD Tr Tf PW Period)

V1 - initial voltage; V2 - peak voltage; TD - initial delay time; Tr - rise time; Tf - fall time; pwf - pulse-wise; and Period - period.

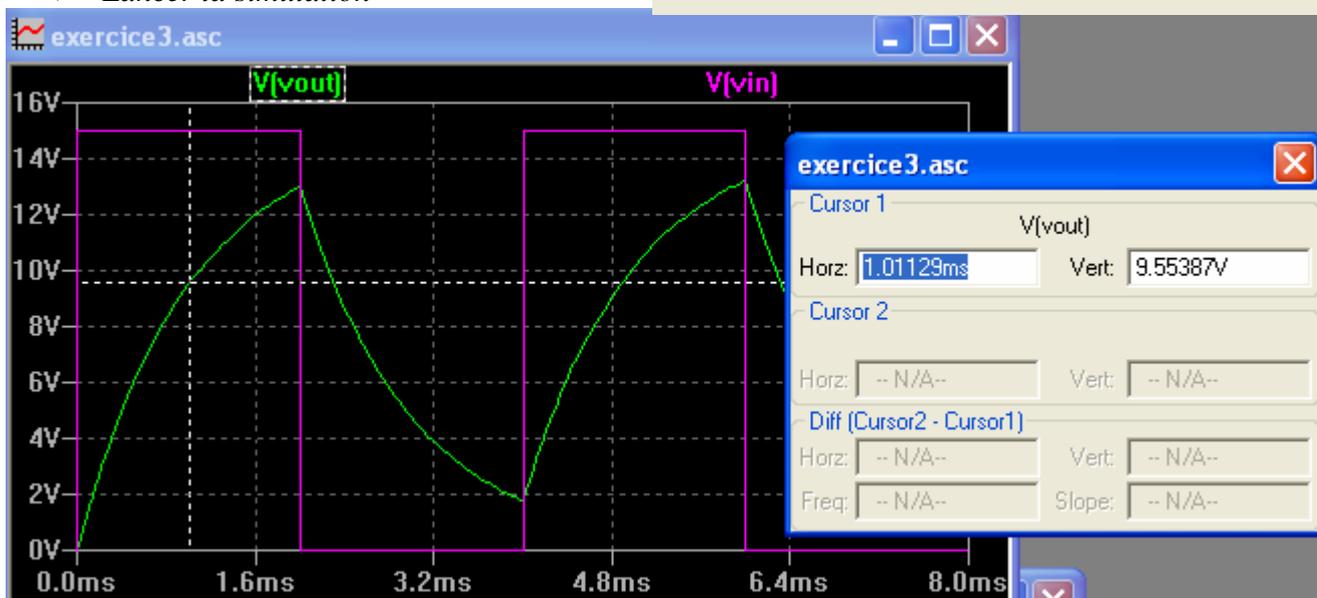


3. En déduire l'allure du signal qui va être généré.

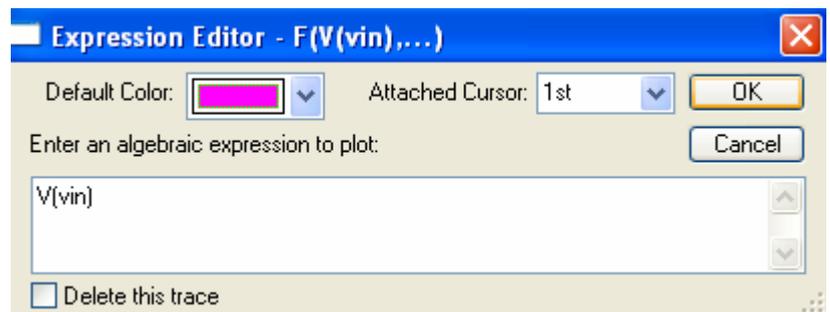
- Cliquer sur *Simulate Edit Simulation Cmd, Transient (simulation temporelle)*
- Choisir un temps de simulation de 8ms.



- Lancer la simulation

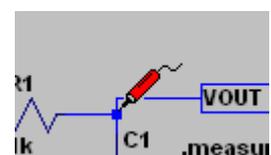


- Cliquer sur *V(VIN)*, clic droit et modifier la couleur.



4. Donner la valeur de la constante de temps et écrire l'équation de $V(vout)$ en fonction du temps. Vérifier.

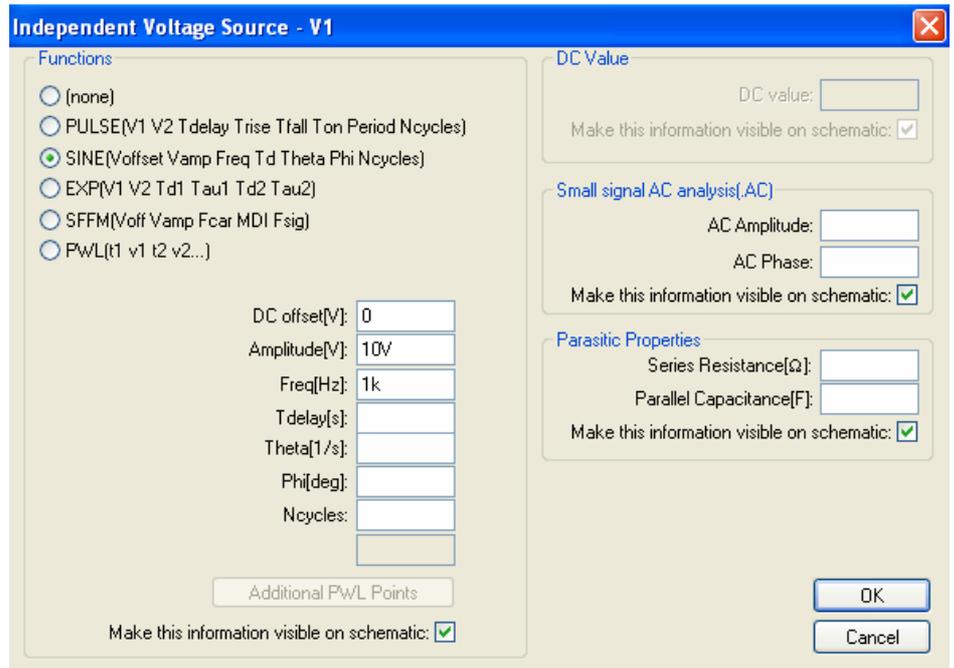
Remarque : pour ajouter l'affichage d'une tension, il suffit de cliquer sur la fenêtre de dessin et sur le net à afficher (une pointe rouge apparaît).



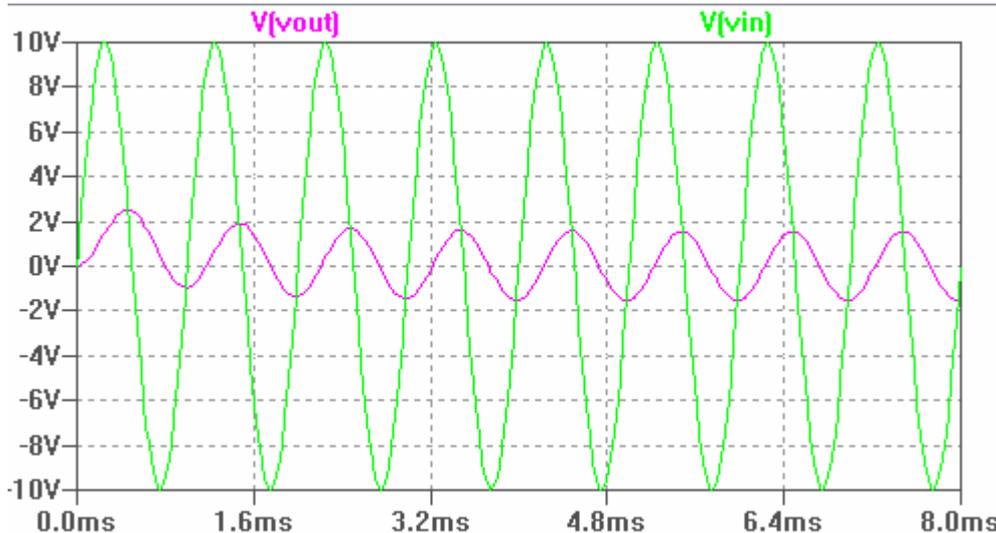
SIN : génération d'un signal sinusoïdal

- Modifier le stimulus d'entrée V1 et passer le PULSE en SIN.

Clic droit sur V1.



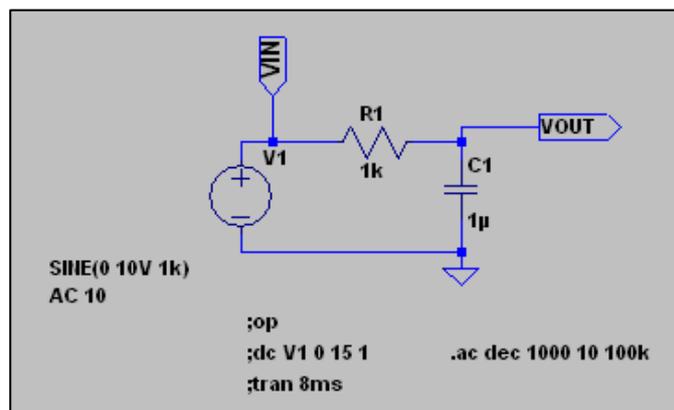
- lancer la simulation.

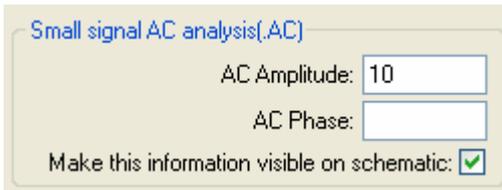


5. En Utilisant les complexes (ou Laplace), donner l'équation de $V(Vout)$ en fonction de $V(Vin)$.
6. En déduire la valeur du déphasage et de l'amplitude de $V(Vout)$ pour $f=1kHz$. Vérifier.

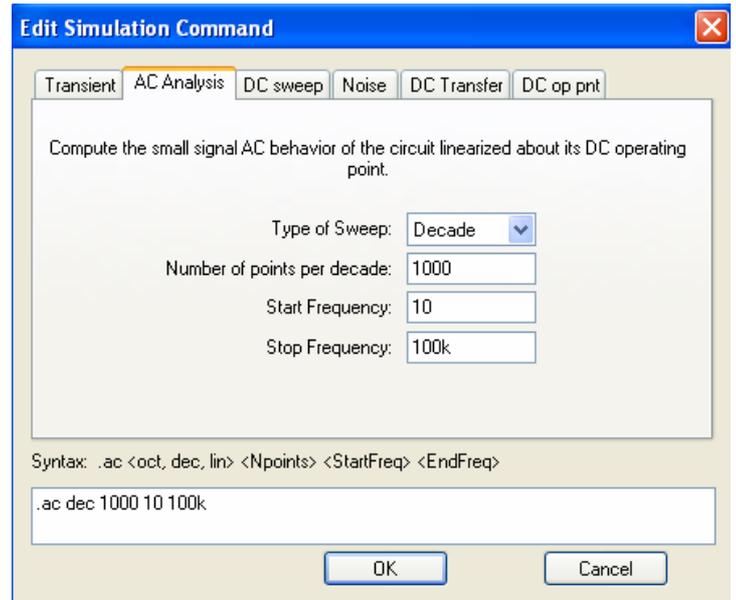
AC analysis : analyse en fréquence (Ac_analysis.asc).

- Sauver le fichier transient_analysis.asc sous ac_analysis.asc
- Cliquer sur V1, et modifier la zone de droite (AC analysis) pour avoir un signal d'entrée de 10V.





- *Puis modifier les options de simulation (analyse de 10 Hz à 100 kHz).*



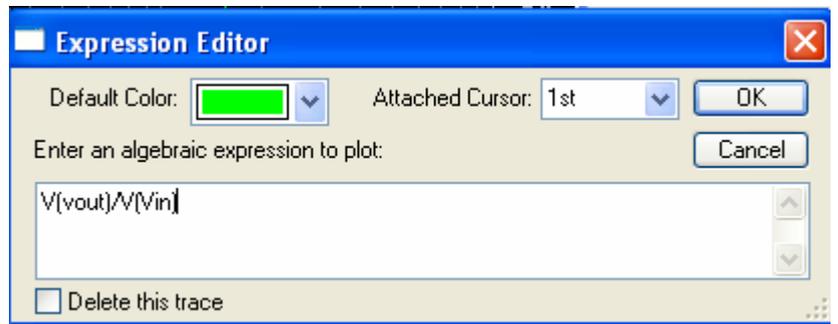
Spice n'utilise plus le même algorithme de calcul. Il remplace les circuits par leur impédance complexe et fait une analyse autour du point de fonctionnement.

L'équation à résoudre devient $10 = R + 1/(j.2.PI.F.C)$ avec F comprise entre 10Hz et 100kHz.

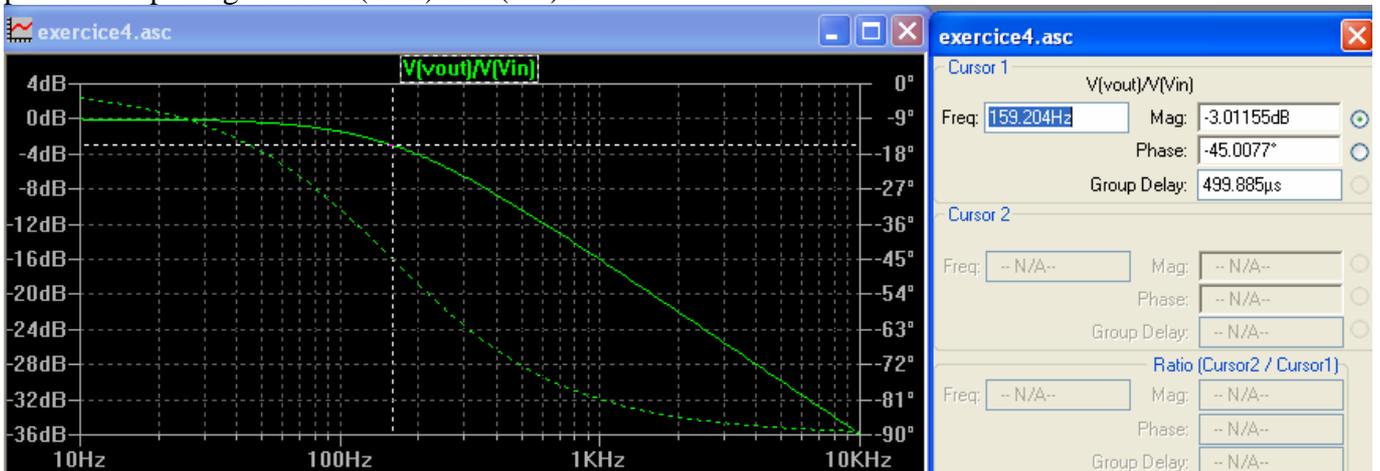
- *Lancer la simulation.*

Pour tracer le plan de bode, nous allons nous intéresser au Gain du circuit. Nous allons donc afficher $V(Vout)/V(VIN)$.

- *sélectionner V(vout) et clic droit modifier l'affichage.*
- *Puis placer le curseur à l'intersection au centre de la croix, et déplacer la pour avoir un gain de -3dB.*

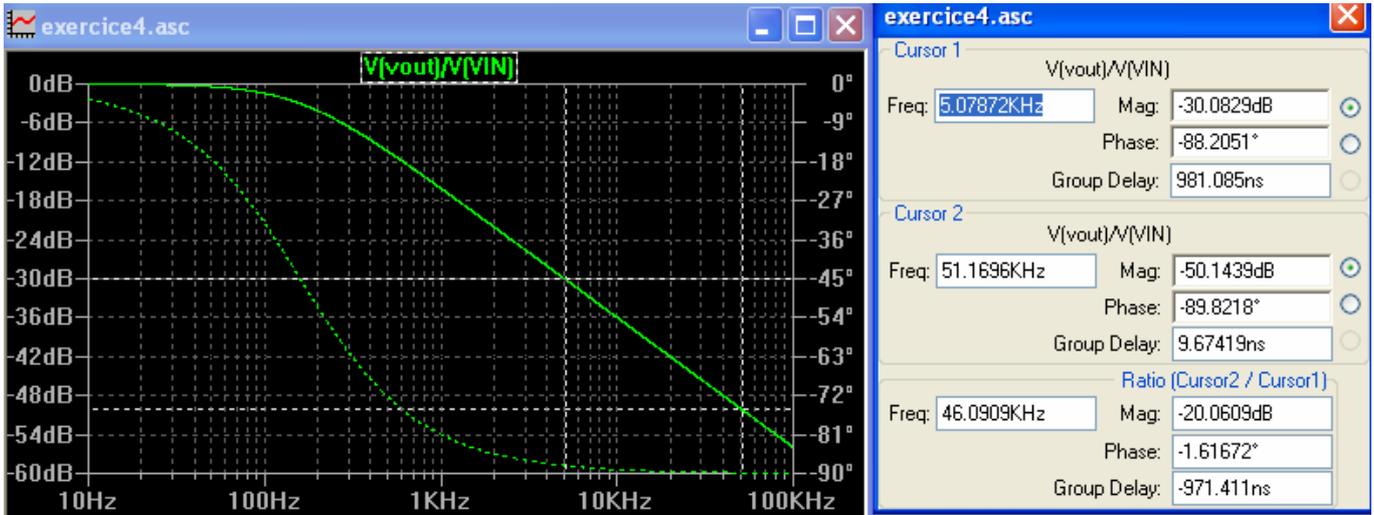


LTspice affiche 2 courbes : la première en trait plein $20 \cdot \log(V(vout)/V(vin))$ et la deuxième en trait pointillé déphasage entre $V(vout)$ et $V(vin)$.



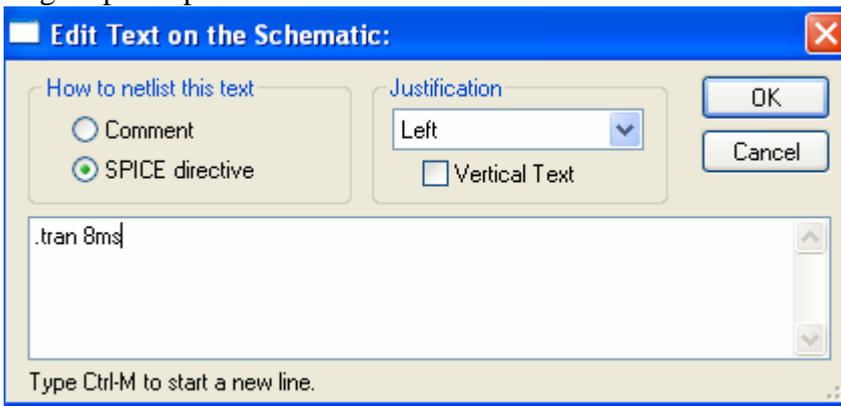
➤ cliquer sur $V(Vout)/V(Vin)$, et sélectionner 1 & 2 cursors

Attached Cursor: 1st & 2nd



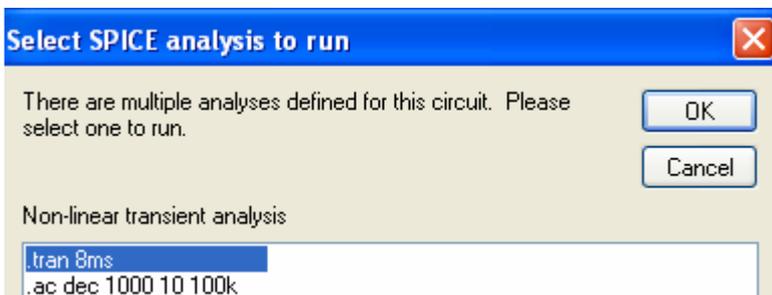
Ce qui permet de vérifier que l'on a une décroissance de -20dB/dec.

Pour revenir à la simulation temporelle, il suffit de cliquer sur ;tran 8ms, clic droit et remplacer le point virgule par le point.



➤ Relancer la simulation et choisir .tran 8ms.

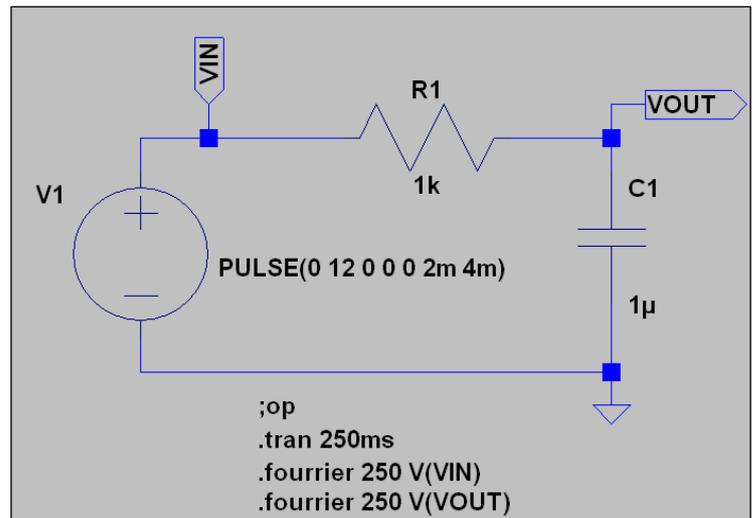
LTSpice propose alors 2 types de simulation (temporelle ou fréquentielle).



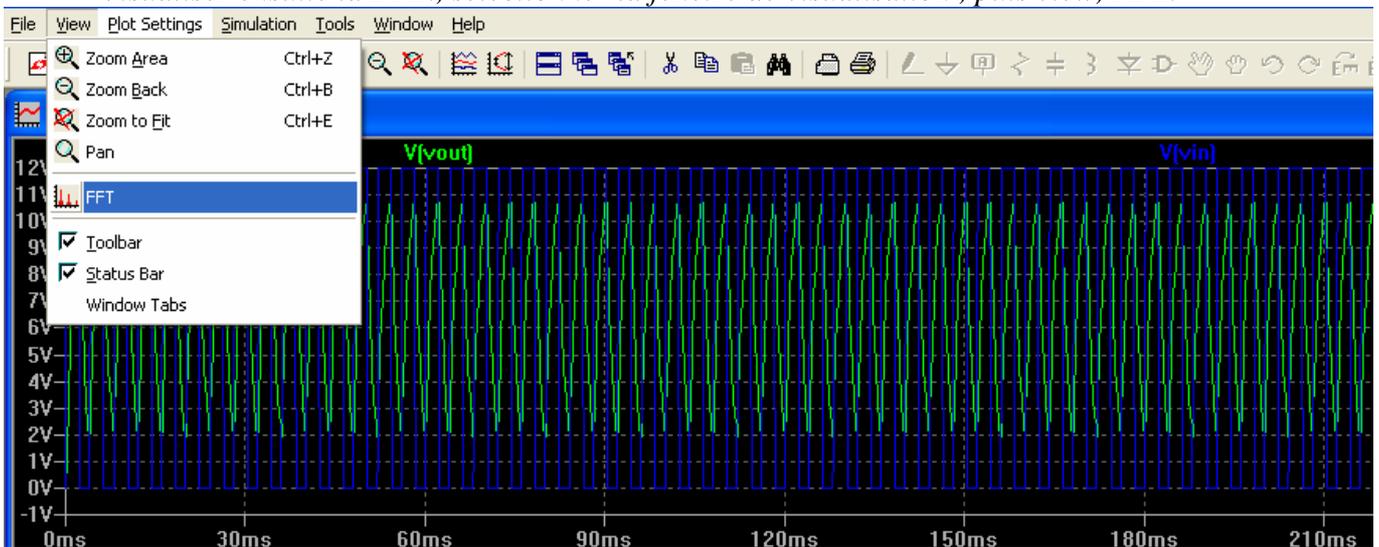
7. Simuler un circuit passe-haut de fréquence de coupure 100 Hz en temporel et en fréquentiel.

Transformée de fourrier et taux de distorsion (fourrier.asc)

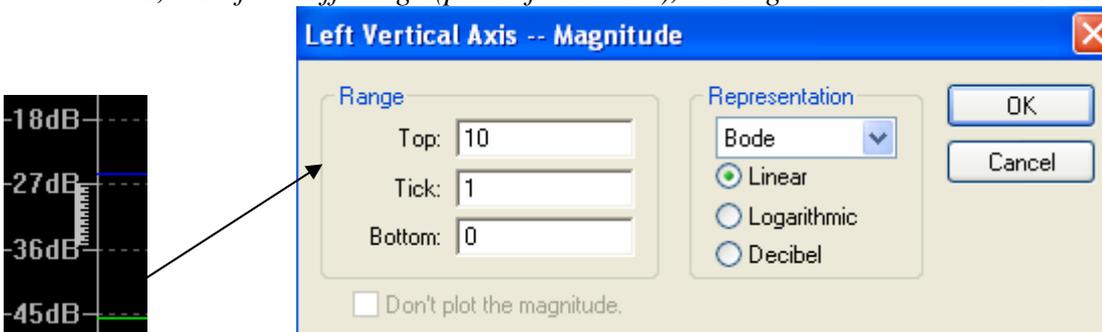
- Ouvrir le fichier `transient_analysis.asc` et le sauver dans `fourrier.asc`. Modifier `V1` pour avoir un signal carré 0-12V de fréquence 250 Hz.



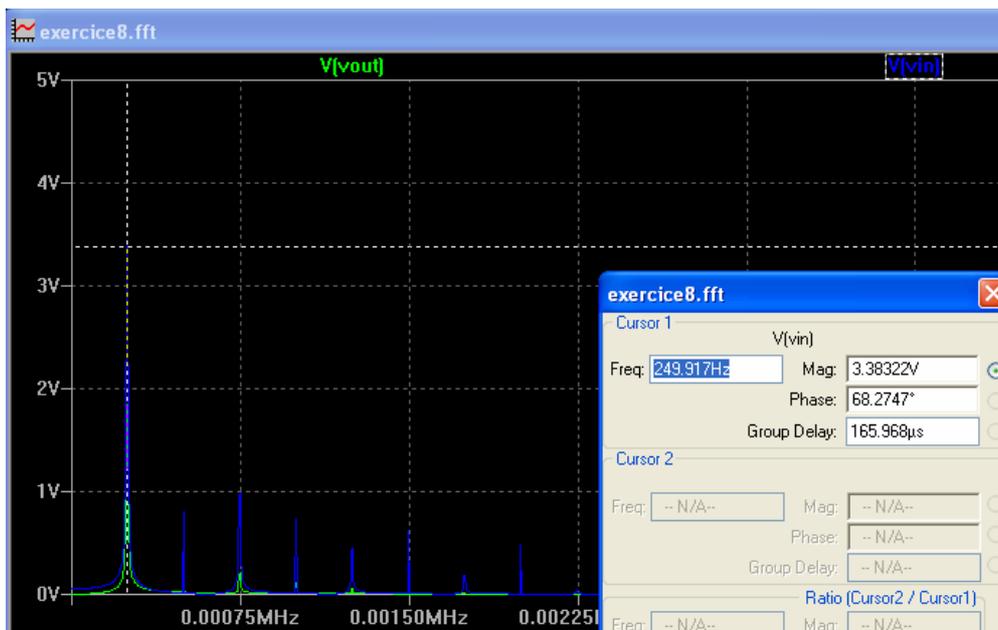
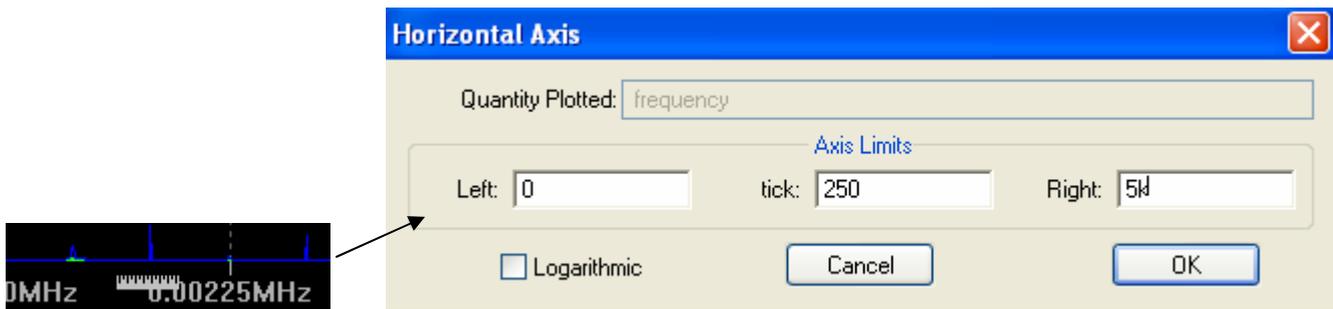
- Lancer la simulation.
- Visualiser ensuite la FFT., sélectionner la fenêtre de visualisation, puis view, FFT.



- Puis, modifier l'affichage (par défaut en dB), clic à gauche sur l'axe des ordonnées.



- Modifier l'affichage en bas sur l'axe des abscisses.



➤ Rajouter les directives `.op`

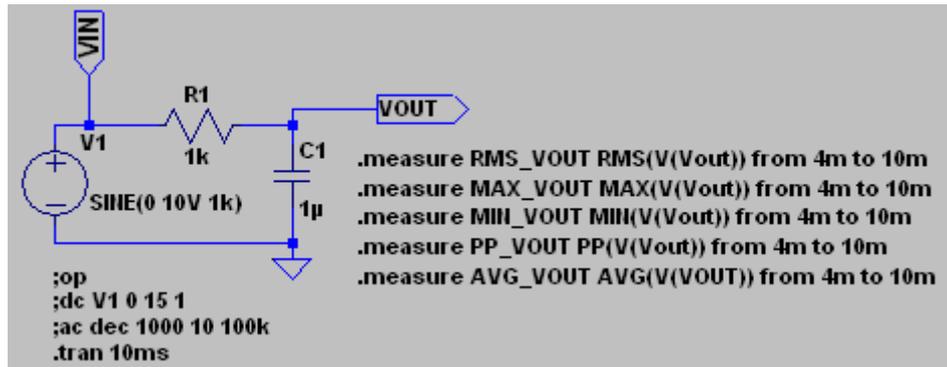
.fourrier 250 V(Vin)
.fourrier 250 V(Vin)

Ces directives permettent de calculer les taux de distorsion pour les 10 premières fréquences avec le fondamental $f_1=250$ Hz. Le résultat du calcul se trouve dans `fourrier.log`.

8. Expliquer les résultats obtenus. Rappeler la notion de série de Fourier pour un signal périodique. Donner la formule permettant le calcul des n premiers termes et calculer la valeur du premier élément (fréquence du fondamental).

➤ Relancer la simulation et lire le fichier **fourrier.log**. Vérifier le calcul fait pour l'amplitude du fondamental.

Directives .measure , mesures RMS,MAX,MIN,AVG,PP (measure.asc)



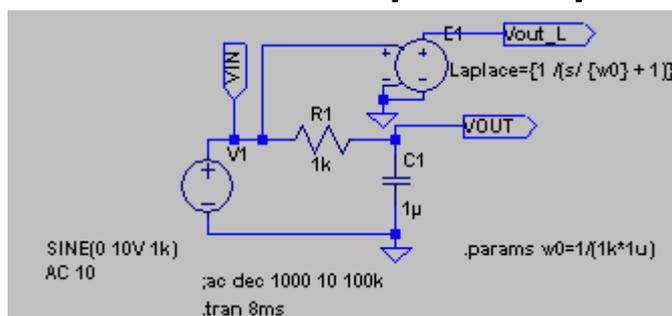
LtSpice est capable de faire des mesures qui seront affichées dans un fichier de log.

- *Modifier la source de tension en sinus 10V, 1kHz et rajouter les directives:*
- .measure RMS_VOUT RMS(V(Vout)) from 4m to 10m**
- .measure MAX_VOUT MAX(V(Vout)) from 4m to 10m**
- .measure MIN_VOUT MIN(V(Vout)) from 4m to 10m**
- .measure PP_VOUT PP(V(Vout)) from 4m to 10m**
- .measure AVG_VOUT AVG(V(VOUT)) from 4m to 10m**

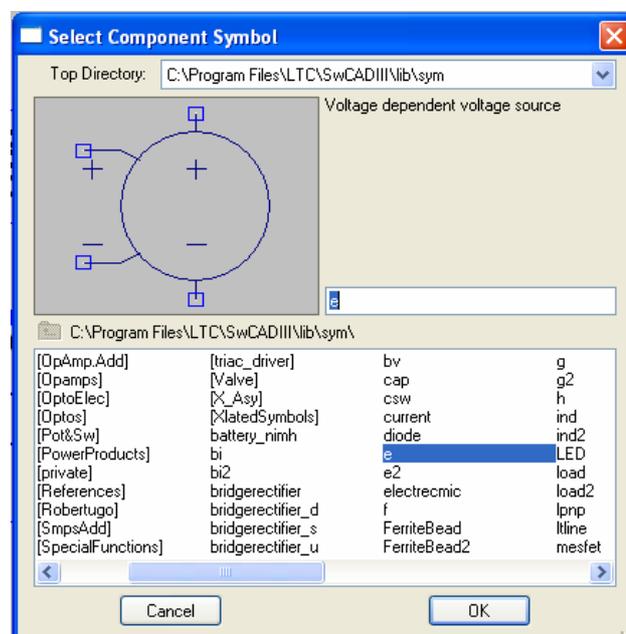
Explications : pour t compris entre 4ms et 10 ms calcul des valeur efficace de V(Vout) , valeur max de V(Vout) , valeur min de V(Vout) , valeur "peak to peak" de V(Vout) , valeur moyenne de V(Vout) .

- *Lancer la simulation, le résultat des mesures se trouve dans le fichier measure.log*
- 9. *Donner les valeurs obtenues et retrouver par le calcul chacune de ces valeurs. Rajouter une mesure de valeur moyenne et valeur efficace V(Vin).Lancer la simulation et donner ces 2 valeurs.*

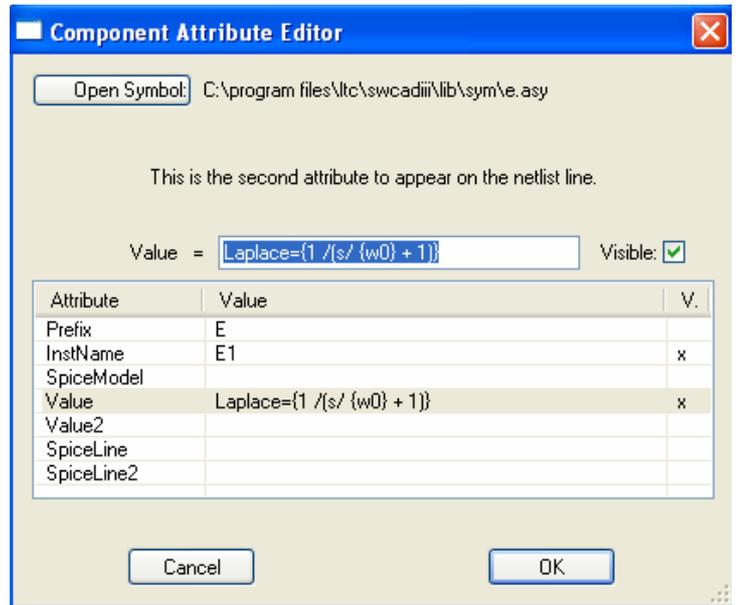
Transformée de Laplace : laplace.asc



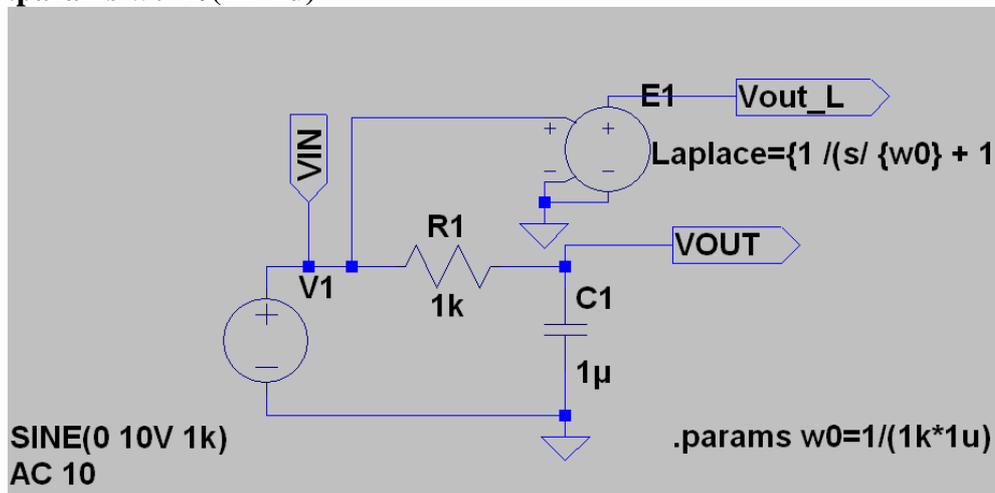
- *Copier measure.asc dans laplace.asc.*
- *Insérer le symbole e (source de tension dépendante).*



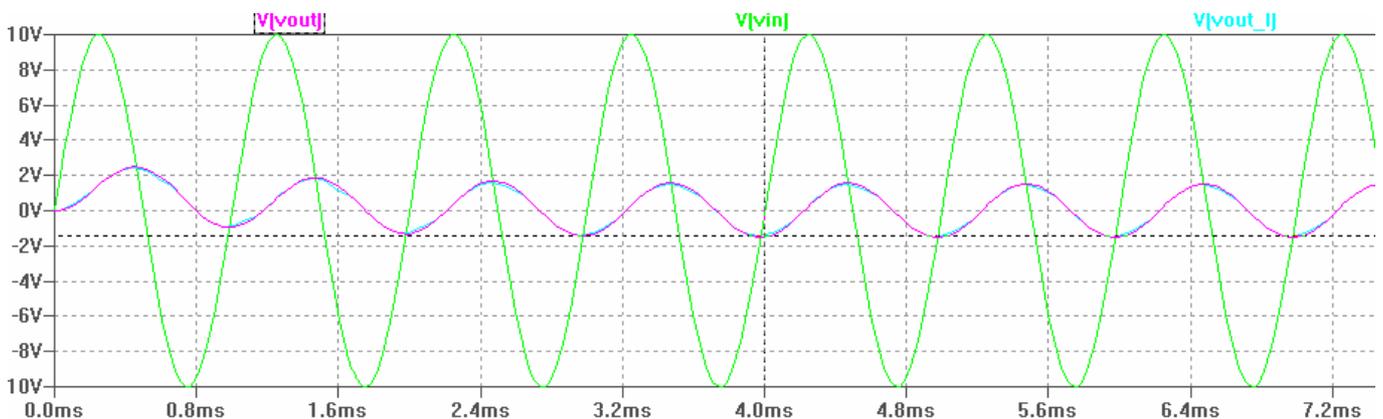
➤ *Clic droit sur le symbole et taper dans le paramètre value: $Laplace=\{1 / (s/ \{w0\} + 1)\}$*
 $w0$ est la pulsation de coupure du filtre passe-bas.
 Nous allons utiliser la directive .param pour donner une valeur à $w0$.



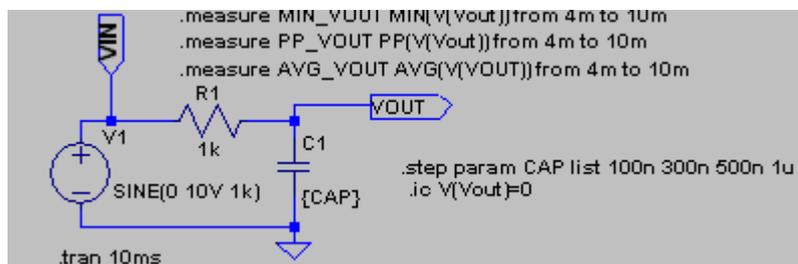
Puis placer la directive : `.op`
`.params w0=1/(1k*1u)`



➤ *Simuler et vérifier que vous obtenez le même résultat pour la sortie Vout et Vout_L*

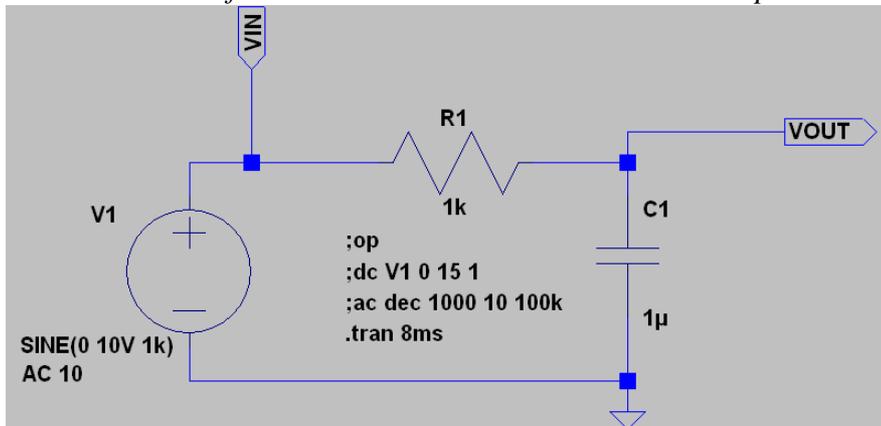


Paramétrage Directive .STEP (step.asc)

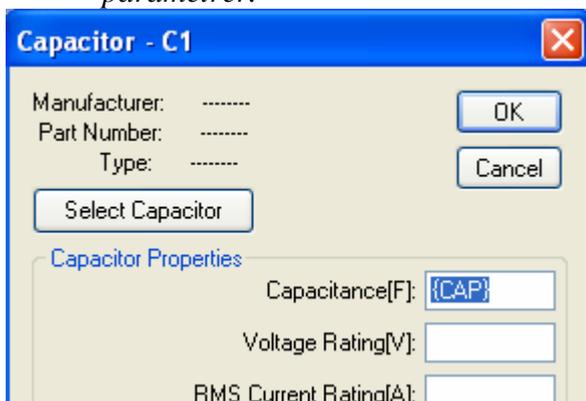


Dans cet exercice nous allons faire varier les valeurs du condensateur et visualiser les différentes courbes résultats.

- Ouvrir le fichier transient.asc et le sauver dans step.asc



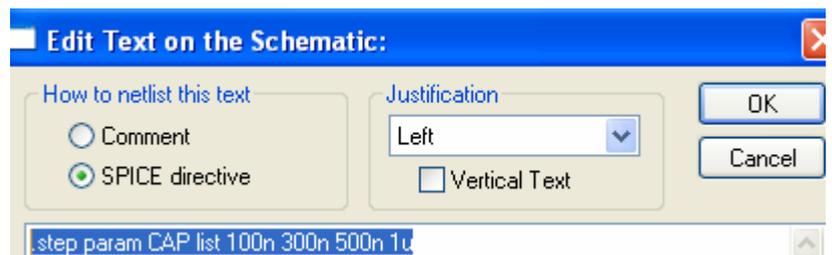
- cliquer sur C1, clic droit et modifier la valeur 1u par {CAP}. C'est cette valeur qui va être paramétrer.



Le paramétrage spice ne peut être fait que par une directive spice.

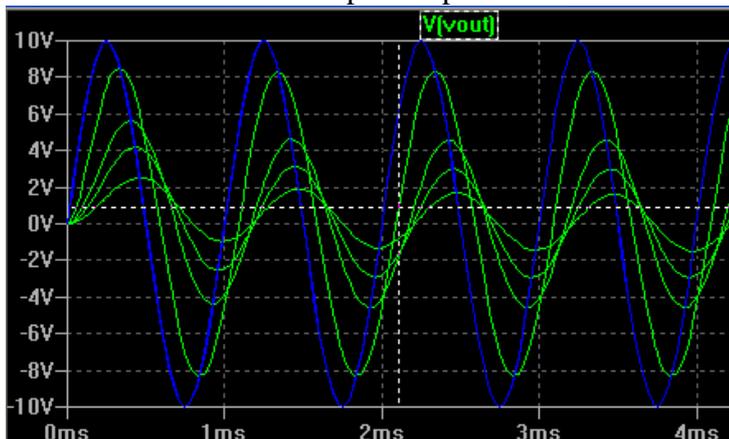
- Clic sur Directive spice `.op`

`.step param CAP list 100n 300n 500n 1u`



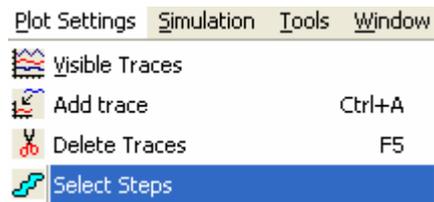
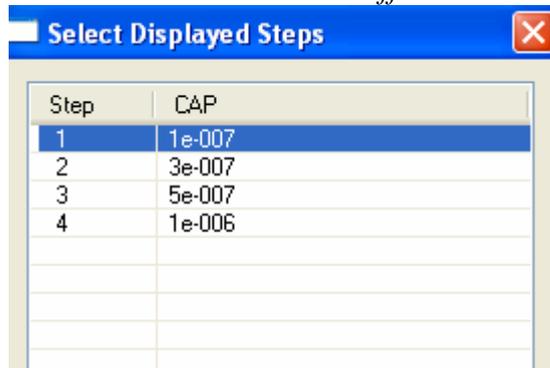
- Lancer la simulation.

Sont alors affichés les 4 réponses pour les 4 valeurs de C1.



il est possible de ne visualiser qu'une réponse.

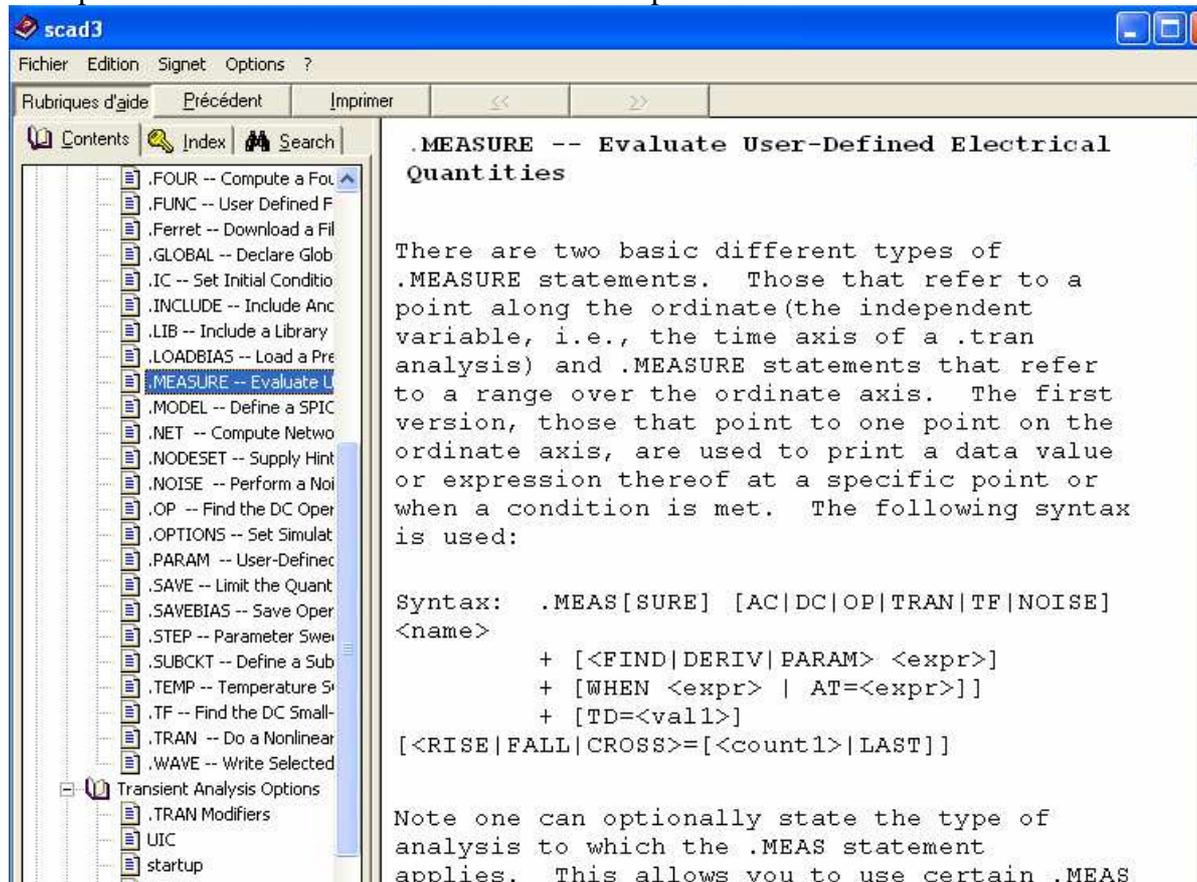
➤ Choisir la courbe à afficher



Rajouter un commentaire en cliquant sur **Aa** pour expliquer le but du montage. Les commentaires apparaissent en bleu.

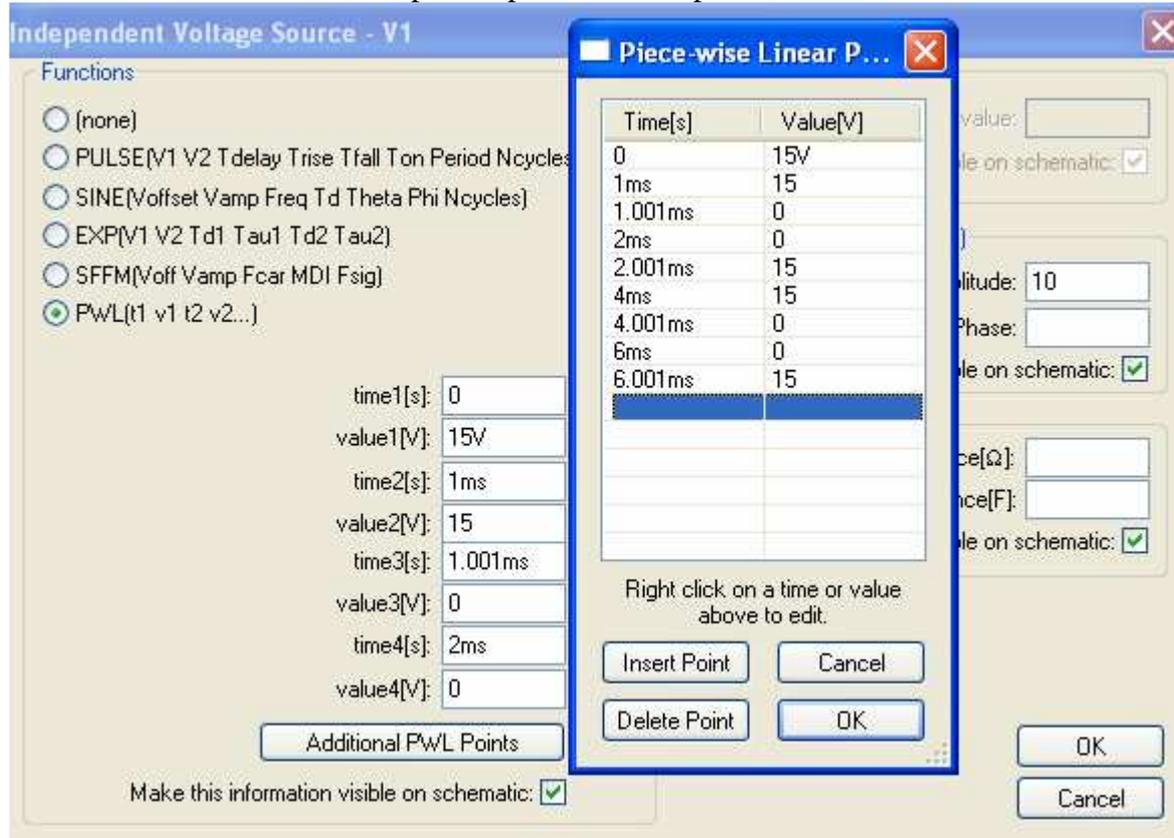
Mise en oeuvre des directives .step et .measure

Vous pouvez visualiser les résultats des mesures
 Pour plus de détail sur les différentes directives taper sur F1.



Transient Analysis :directive PWL (pwl.asc)

clic sur V1 . Choisir PWL, remplir les premiere case puis clic sur Additional PWL POINTS



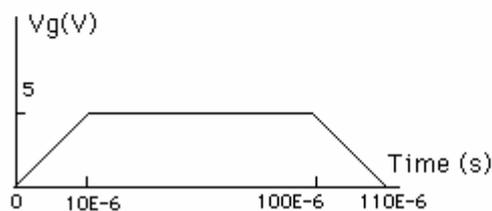
Explication sur PWL : pwl permet de générer un signal quelconque. il suffit de préciser les couples de points de la courbe(Vi Ti)

```
Vname N1 N2 PWL(T1 V1 T2 V2 T3 V3 ...)
```

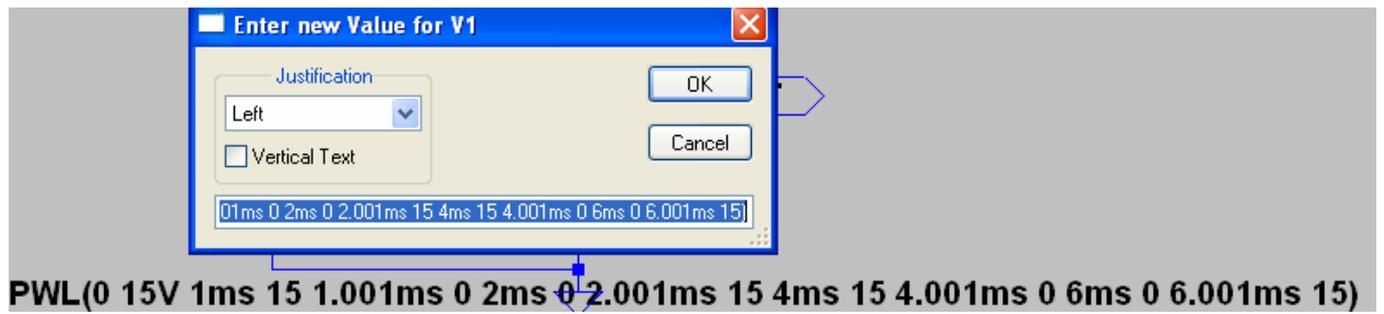
in which (Ti Vi) specifies the value Vi of the source at time Ti

Example:

```
Vgppw1 1 2 PWL(0 0 10U 5 100U 5 110U 0)
```



En cas d'erreur de saisie, il est possible de modifier directement les paramètres en cliquant sur la ligne PWL sur le schéma.

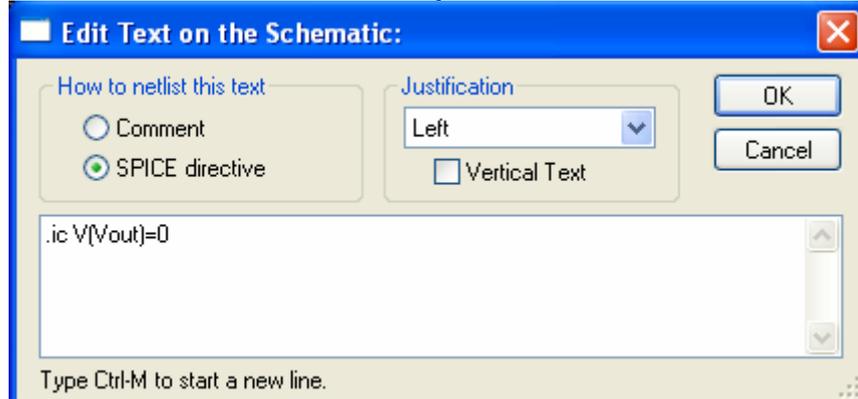


Modifier les paramètres de simulation pour que la sortie parte condensateur non chargé. Simulate, Cmd Simulation Cmd, Transient.



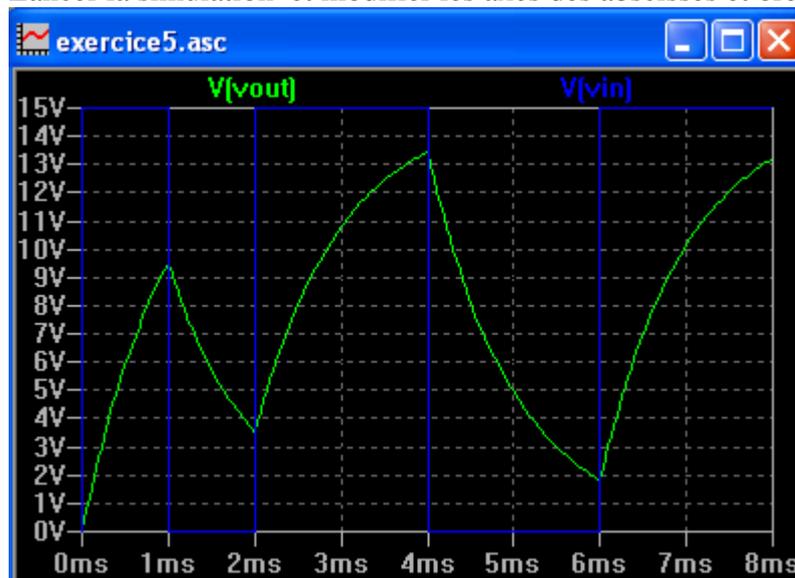
Si cette option n'est pas cochée, la simulation commence condensateur chargé. En effet avant de commencer la simulation, Spice calcule le point de fonctionnement (condensateur équivalent à un circuit ouvert, donc $V(Vout)=V(Vin)$) et démarre à partir de ce point de fonctionnement.

une autre solution aurait été de rajouter la directive `.IC V(Vout)=0`



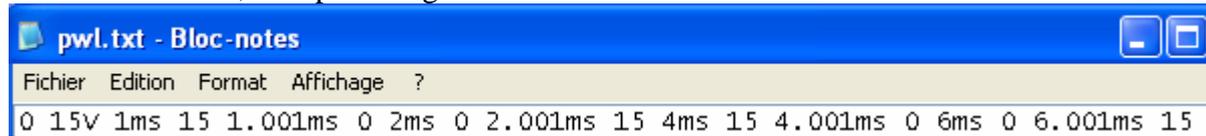
La directive `.Ic` permet de spécifier les tensions ou courant de démarrage.

Lancer la simulation et modifier les axes des abscisses et ordonnées pour obtenir le résultat suivant :

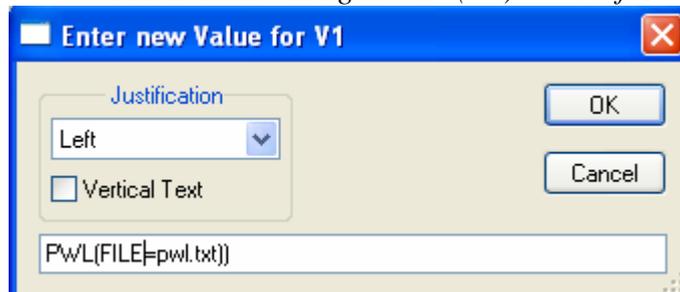


Utiliser un fichier comme source d'entrée :

Lancer bloc notes, et copier la ligne PWL.



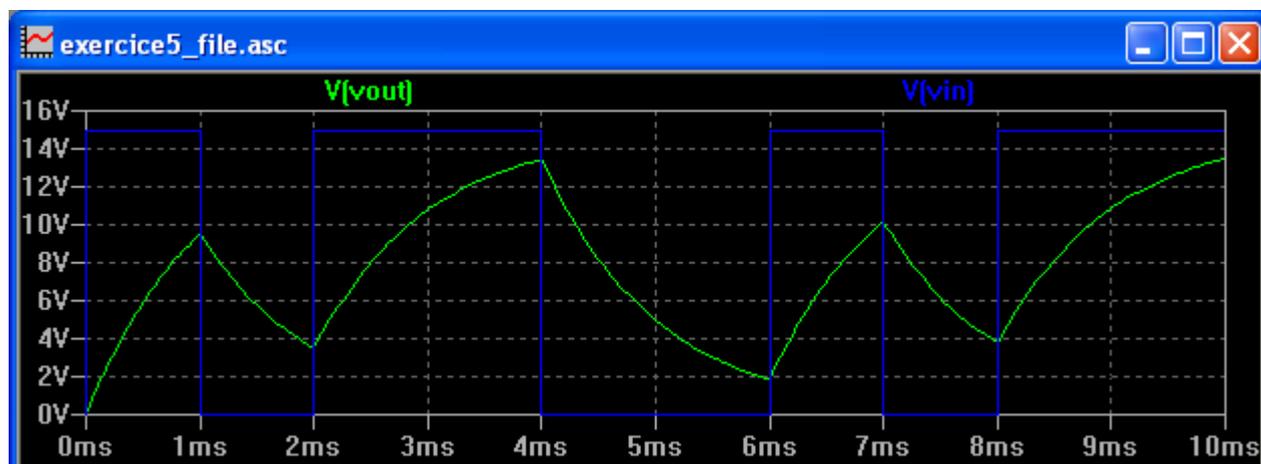
- Enregistrer le fichier dans le fichier pwl.txt sous le rép tutoriel.
- Clic droit sur la ligne PWL(...) et modifier la ligne



- Lancer la simulation et vérifier que l'on arrive au même résultat.
- Modifier la directive pour que le signal d'entrée soit répété indéfiniment.

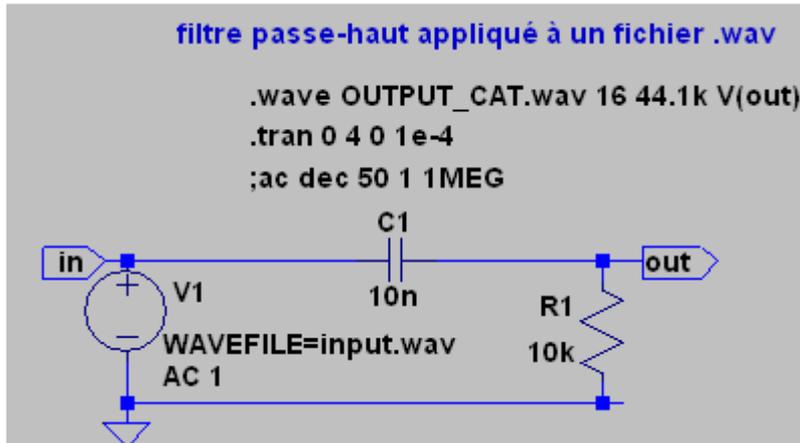
PWL(repeat forever (FILE=pwl.txt) endrepeat)

- Modifier le temps de simulation .tran 10 ms.
- Le motif d'entrée se répète .



Pour répéter 5 fois seulement le motif défini dans le fichier pwl.txt, il suffit de taper la ligne :
PWL(repeat for 5 (File=pwl.txt) endrepeat)

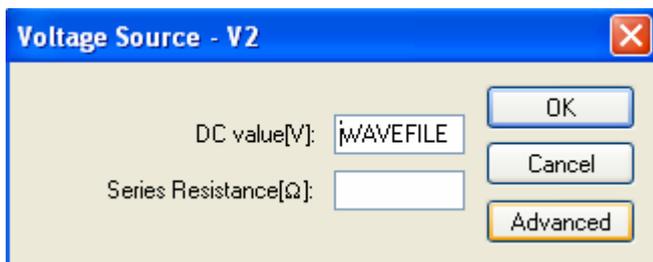
lecture fichiers wav



Il est possible de prendre pour stimulus d'entrée un fichier son au format wav. Nous allons appliquer un fichier input.wav à un filtre passe-haut RC.

- Créer le fichier wav.asc .
- Récupérer un fichier wav et le placer dans le répertoire wav.
- Insérer une source de tension qui va lire le fichier wav.
- Pour cela insérer dans DC value

WAVEFILE=nom_fichier_wav.wav



➤ Pour sauver le résultat de la simulation dans un fichier wav ,ajouter la directive spice.
.wave OUTPUT_CAT.wav 16 44.1k V(out)

- Lancer la simulation en temporel.

10. Lire le fichier OUTPUT_CAT généré. Conclure sur l'effet du filtre passe-haut.