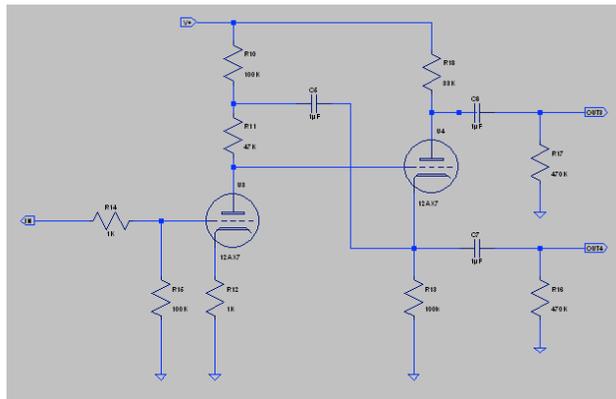


Simulation SPICE pour RadioFil

par Claude Goeuriot RFL-6183

1 Introduction

Vous avez trouvé dans un livre ou sur internet un schéma de circuit électronique qui semble répondre à votre besoin. Comment être sûr de son fonctionnement correct ?



- Solution 1 : Vous approvisionnez les composants, vous construisez un prototype basé sur le schéma ainsi que son alimentation et enfin vous le testez et modifiez jusqu'à ce qu'il marche: long, coûteux et plus ou moins risqué suivant votre compétence en électronique,
- Solution 2 : vous simulez le circuit : rapide et gratuit. Cette solution vous permet de valider la conception du circuit et de passer à la réalisation avec une grande probabilité que votre montage sera un succès.

Un bémol : la prise en main d'un logiciel de simulation électronique n'est pas simple et demande un investissement en temps important au début de l'utilisation.

Pour ce cours, nous allons utiliser un logiciel de simulation gratuit et performant, disponible sur PC et MAC : LTspice.

Avant de commencer, il existe sur internet des tutoriels en français qui expliquent le fonctionnement du logiciel LTspice et que je vous engage à consulter, entre autres:

- <http://siyh.byethost11.com/LTSpice>
- <http://poujouly.net/files/ltspice/doc/tutorialscad3.pdf>

LTspice est un logiciel de simulation gratuit de circuits électroniques. Il est basé sur le moteur informatique Spice développé dans les années 70 à l'université de Californie (Berkeley) par l'équipe de Ron Rohrer.

Il est disponible gratuitement sur le site anglais de la société Linear Technology :

<http://www.linear.com/designtools/software/>

Le programme LTspice permet d'effectuer des simulations de circuits électroniques contenant des :

- Résistances, Condensateurs, Selfs, inductances Mutuelles, lignes de transmission
- Sources de tension et courant indépendantes ou contrôlées
- Diodes, Transistors bipolaires, transistors FET et MOS.
- Composants électroniques complexes : amplificateurs opérationnels, circuits logiques
- Et des **Tubes**...

Les simulations permettent de faire au choix :

- L'Analyse du fonctionnement en continu du montage (point de repos)
- L'analyse temporelle (réponse temporelle à une excitation)
- L'analyse fréquentielle (réponse en fréquence du montage)
- L'analyse du bruit

Linear Technology améliore de manière régulière le logiciel LTspice, ce qui en fait un outil fiable et à jour.

Le logiciel est en anglais. Ce problème est atténué par le fait que les représentations sont la plupart du temps graphiques.

2 Installation

Télécharger la version qui vous intéresse (Windows ou Mac) sur le site Linear Technology et installez-la sur votre ordinateur suivant l'installation standard (généralement c:\Program Files\LTSPICE). Le programme rajoute un icône sur votre bureau correspondant à LTspice qui vous permet de lancer l'application qui s'appelle en réalité « scad3.exe ».



3 Les différentes étapes d'utilisation du logiciel LTSpice

L'utilisation du logiciel se fait en quatre étapes :

1. Saisie du schéma
2. Simulation
 - 2.1. Choix et paramétrage de la simulation
 - 2.2. Exploitation des résultats

Après ces étapes, l'utilisateur rentre dans un mode itératif de modification du schéma ou du paramétrage de la simulation jusqu'à obtention d'un résultat satisfaisant

4 Exemple : réponse temporelle et fréquentielle d'un circuit RC

Pour illustrer la démarche, nous allons simuler un circuit très simple : un réseau RC (résistance, capacité) et allons faire une analyse temporelle (réponse à un signal carré) et fréquentielle (mesure de la bande passante et de la phase)

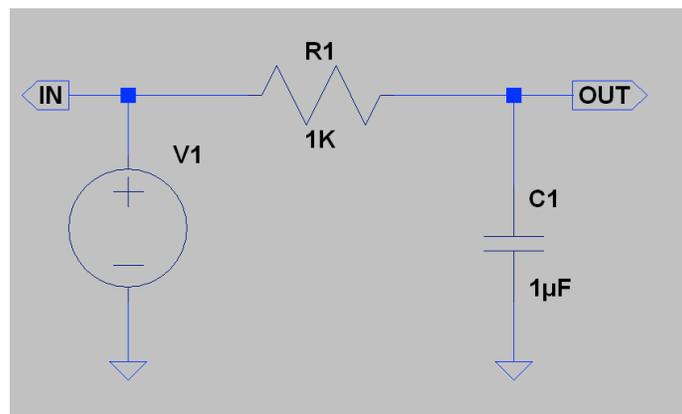


Figure 1 : Le réseau RC à simuler

5 Saisie de schémas

5.1 Les fichiers associés à un composant électronique

On peut classer les composants électroniques en quatre types pour LTspice :

5.1.1 Les composants passifs

Le modèle des composants passifs est intégré dans LTspice : résistance, condensateur, inductance, etc. Ces composants ont une ou plusieurs représentations graphiques et un seul modèle électrique qui est intégré à LTspice

- Exemple : résistance

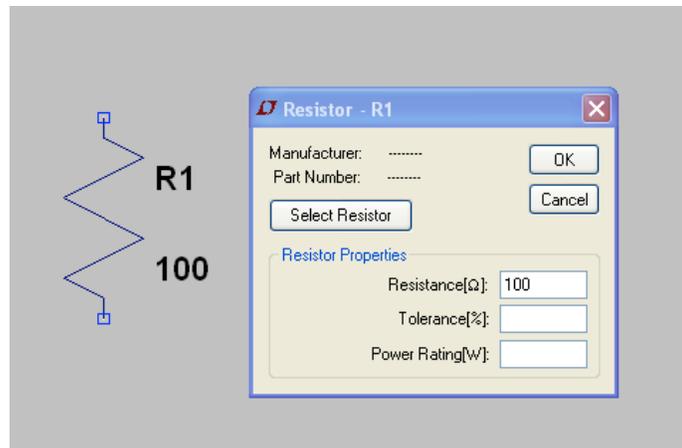


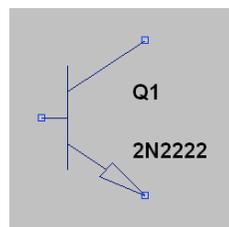
Figure 2 : Saisie et placement d'une résistance

Vous avez la possibilité, évidemment de modifier la valeur de la résistance, en faisant un clic droit sur le composant (ainsi que d'autres caractéristiques qui sont dépendantes du composant).

5.1.2 Les composants actifs

Les composants actifs du type diode, transistor, Thyristor qui ont une représentation graphique et dont le modèle dépend des caractéristiques du composant. La représentation graphique est associée à un nom de composant que vous choisissez (ex : transistor 2N2222) qui est un point d'entrée dans un fichier « LTSPICE\lib\cmp \standard.bjt » qui liste les caractéristiques de nombreux transistors, dont le 2N2222

- Exemple de représentation graphique du transistor 2N2222 :

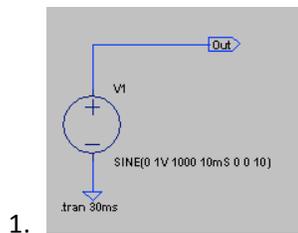


- Exemple de modèle du 2n2222 dans le fichier standard.bjt

```
.model 2N2222 NPN(IS=1E-14 VAF=100 BF=200 IKF=0.3 XTB=1.5 BR=3 CJC=8E-12 CJE=25E-12 TR=100E-9 TF=400E-12 ITF=1 VTF=2 XTF=3 RB=10 RC=.3 RE=.2 Vceo=30 Icrating=800m mfg=Philips)
```

5.1.3 Les sources

Les diverses sources de courant, tension, etc. qui permettent de stimuler le circuit. Ces « composants » sont configurables . Prenons l'exemple d'une source de tension alternative (1 volt crête, 1000Hz),



on peut la paramétrer pour démarrer après 10 mS et durer 10 cycles.

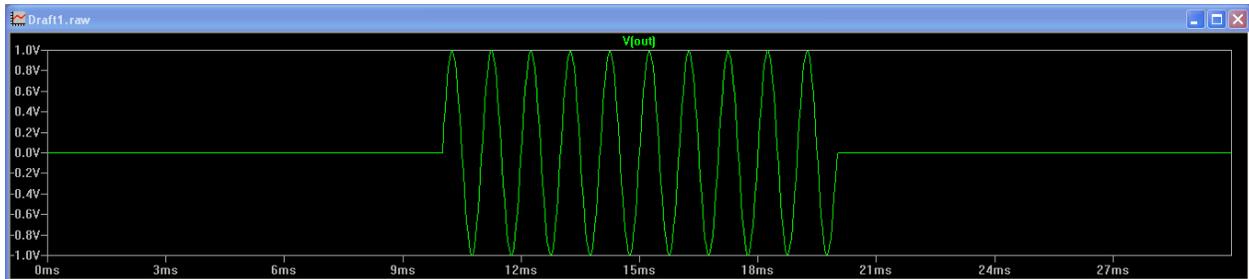
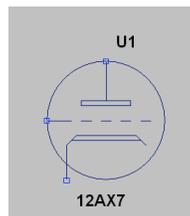


Figure 3 : exemple de signal d'entrée

5.1.4 Les composants électroniques complexes

Ces composants, tel un amplificateur électronique ou un tube à vide sont des composants qui ont une représentation graphique et un modèle qui est une sorte de programme interprétable par LTspice qui est un mélange des trois types au-dessus associés dans un schéma à des formules mathématiques. Pour l'instant nous allons l'assimiler à une boîte noire.

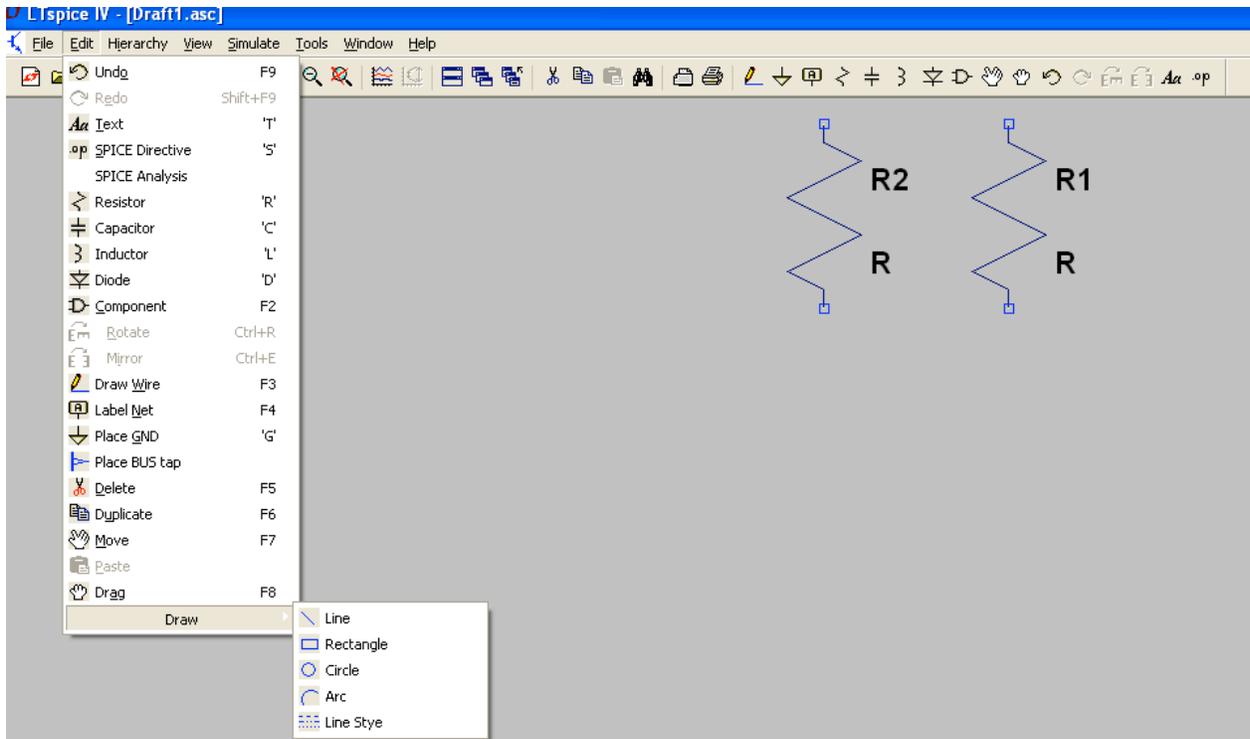


```
.SUBCKT 12AX7 1 2 3 ; P G C; NEW MODEL
+ PARAMS: MU=100 EX=1.4 KG1=1060 KP=600 KVB=300 RGI=2000
+ CCG=2.3P CGP=2.4P CCP=.9P ; ADD .7PF TO ADJACENT PINS; .5 TO OTHERS.
E1 7 0 VALUE=
+{V(1,3)/KP*LOG(1+EXP(KP*(1/MU+V(2,3)/SQRT(KVB+V(1,3)*V(1,3)))))}
REL 7 0 1G
G1 1 3 VALUE={ (PWR(V(7),EX)+PWR(S(V(7),EX)))/KG1}
RCP 1 3 1G ; TO AVOID FLOATING NODES IN MU-FOLLOWER
C1 2 3 {CCG} ; CATHODE-GRID
C2 2 1 {CGP} ; GRID=PLATE
C3 1 3 {CCP} ; CATHODE-PLATE
D3 5 3 DX ; FOR GRID CURRENT
R1 2 5 {RGI} ; FOR GRID CURRENT
.MODEL DX D(IS=1N RS=1 CJO=10PF TT=1N)
.ENDS
```

Il y a de nombreuses sources de modèles pour les composants les plus divers. Les fabricants, comme Liner Technology, fournissent les modèles des composants qu'ils fabriquent, mais la très large

communauté d'utilisateurs met à disposition des autres utilisateurs le fruit de leur travail. Il est fort probable que vous trouviez sur internet votre bonheur (sans garantie d'exactitude du modèle).

5.2 La saisie du schéma électronique



Soit sur la barre d'outils soit dans le menu Edit, l'utilisateur a un grand nombre de possibilités pour tracer son circuit

Undo: annuler la dernière action

Redo: refaire la dernière action

Text: placer un texte sur le schéma. Ceci permet de commenter le schéma et n'a aucune influence sur le comportement de ce dernier.

SPICE Directive: Placer sur le schéma une directive spice qui aura un impact sur le comportement du circuit. Nous reviendrons là-dessus plus tard.

SPICE Analysis: Entrer/modifier une commande de simulation

Resistor: placer une nouvelle résistance sur le schéma

Capacitor (Condensateur) : placer un nouveau condensateur sur le schéma

Inductor (Inductance) : placer une nouvelle inductance sur le schéma

Diode : placer une nouvelle diode sur le schéma

Component (Composant) : Placer un nouveau composant sur le schéma. Cette commande appelle une boîte de dialogue qui vous permet de parcourir et pré-visualiser la base de données de symboles.

Rotate (Tourner) : Faire tourner le composant sélectionné.

Mirror (Miroir) : Dessiner en miroir le composant sélectionné

Draw Wire (Tracer un fil) : après avoir positionné la souris, cliquer sur le bouton gauche de la souris pour commencer un fil. Faites défiler la souris en X ou en Y. Chaque clic de souris définit un segment supplémentaire. Cliquer deux fois pour terminer le fil.

Label Net (Nom d'équipotentielle) : spécifie le nom d'un nœud ou d'une équipotentielle sur le schéma. Sinon le système générera les noms automatiquement

Place GND (Placer une masse) : Placer une masse sur le circuit (le nœud N° 0)

Delete (supprimer) : Supprimer les objets (composant, groupe de composants, fils, etc.) en les cliquant ou en les entourant par une boîte dessinée à la souris.

Duplicate (Dupliquer) : Dupliquer les objets (composant, groupe de composants, fils, etc.) en les cliquant ou en les entourant par une boîte dessinée à la souris.

Move (Bouger) : sélectionner les objets (composant, groupe de composants, fils, etc.) en les cliquant ou en les entourant par une boîte dessinée à la souris ; puis déplacer la sélection avec la souris

Drag (Tirer) : sélectionner les objets (composant, groupe de composants, fils, etc.) en les cliquant ou en les entourant

par une boîte dessinée à la souris ; puis déplacer la sélection avec la souris. Les liaisons sont conservées. Cela ne marche bien que pour des mouvements latéraux

Draw=>Line (Tracer =>ligne): Trace une ligne sur le schéma. Ce trait n'a aucun impact électrique, mais sert pour la clarté du schéma par exemple en séparant deux parties de celui-ci

Draw=>Rectangle (Tracer =>Rectangle): Trace un rectangle sur le schéma. Ce rectangle n'a aucun impact électrique, mais sert pour la clarté du schéma par exemple en encadrant une partie de celui-ci

Draw=>Circle Tracer =>cercle): Trace un cercle sur le schéma. Ce cercle n'a aucun impact électrique, mais sert pour la clarté du schéma par exemple en entourant une partie de celui-ci

Draw=>Arc Tracer =>arc): Trace un arc sur le schéma. Cet arc n'a aucun impact électrique, mais sert pour la clarté du schéma par exemple en encadrant une partie de celui-ci.

Pour démarrer, nous allons créer un nouveau circuit que nous pourrions sauvegarder par la suite

File=>new Schematic

Cliquez sur le symbole résistance et déplacez-le sur la partie de l'écran dédiée au schéma avec la souris. Faites pivoter la résistance (Ctrl+R) pour la mettre horizontale. Positionnez-la définitivement. Cliquez droit sur la résistance pour faire apparaître le menu contextuel et rentrez la valeur de la résistance, par exemple 1000 ou 1K (1K est interprété comme 1000 par LTspice), puis OK. Sortez du mode en tapant Echap

Cliquez sur le symbole Condensateur et placez-le à droite de la résistance. Cliquez droit et saisissez une valeur, par exemple 1u (comme 1 microfarad).

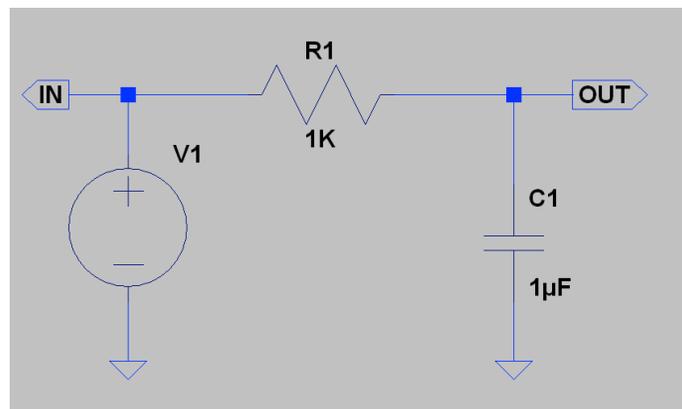
Cliquez sur le bandeau pour chercher le symbole . Cela vous ouvre un menu contextuel qui vous propose un certain nombre de composants. Sélectionnez *Voltage*, correspondant à une source de tension et placez là sur le schéma à gauche de la résistance

Cliquez sur le symbole (Draw Wire)  sur le bandeau. Une croix apparaît sur l'écran. Amenez cette croix sur l'extrémité droite de la résistance, cliquez, déplacez-vous jusqu'au droit du condensateur, cliquez, déplacez-vous vers le haut du condensateur, cliquez, appuyez sur Echap. Vous venez de relier électriquement les deux composants.

Allez chercher le symbole de masse  et placez-le sous le symbole voltage et le condensateur. Reliez les composants à la masse en utilisant la fonction Draw Wire

Cliquez sur le bandeau pour chercher le symbole . Placez en un à la sortie de la résistance, cliquez droit, donnez-lui un nom, par exemple Out et un sens, par exemple Output. Faites de même à la sortie de la source de tension et appelez la In.

Après pas mal de tâtonnement, vous devriez obtenir quelque chose comme ça :



Cliquer droit sur la source de tension et rentrez les données suivantes :

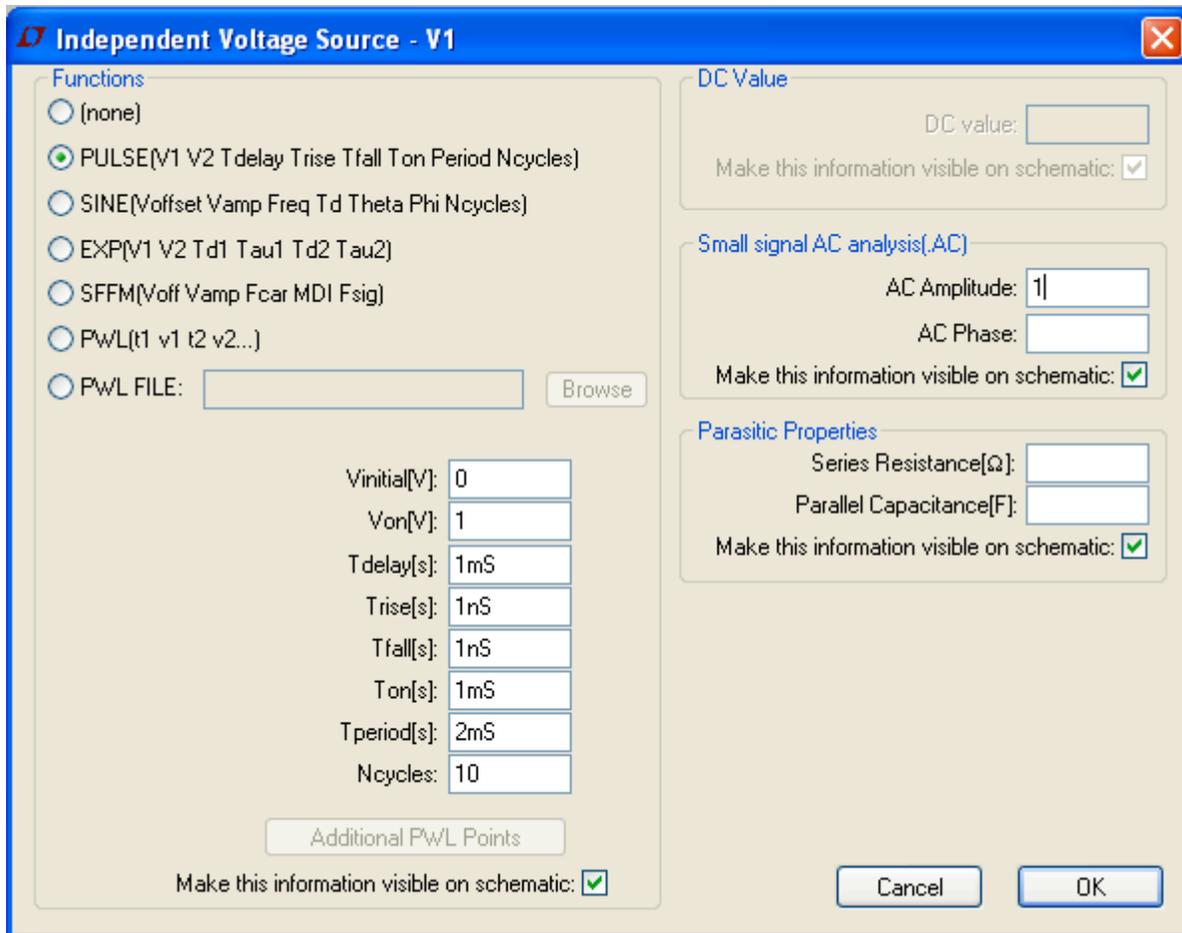


Figure 4 : configuration d'une source de tension

Ceci correspond à un signal carré variant de zéro à un volts de Fréquence 500Hz Apres avoir fait OK, les paramètres se transforment en directive Spice qui peut être placée sur le schéma, en général près de la source. Notez dans la case Small signal AC analysis (.AC) l'amplitude de 1 Volt qui nous servira pour l'analyse fréquentielle

Nous avons fini la partie saisie de schéma.

Nota :

Symbôle	Valeur	exemple
p ou P	pico	22pF : 22 pico Farad
n ou N	nano	22nF : 22 nano Farad
u ou U	micro	22uF : 22 nano Farad

m ou M	milli	22mF : 22 mili Fard
k ou K	Kilo	22K : 22 Kilo Ohms
Meg ou MEG	Mega	22MEG : 22 MEG Ohms

6 Simulation

6.1 Paramétrage de la simulation

Nous allons nous concentrer sur deux simulations : La réponse temporelle à un signal carré et la réponse fréquentielle (bande passante).

Allez sur le bandeau et cochez *Simulate=>Edit Simulation Cmd*. Une fenêtre s'ouvre

6.1.1 Réponse temporelle

6.1.1.1 Configuration de la simulation

La réponse à un signal carré : choisissez l'onglet *Transient* et rentrez 10mS comme stop time. Cliquez *OK* et placez la directive sur le schéma.

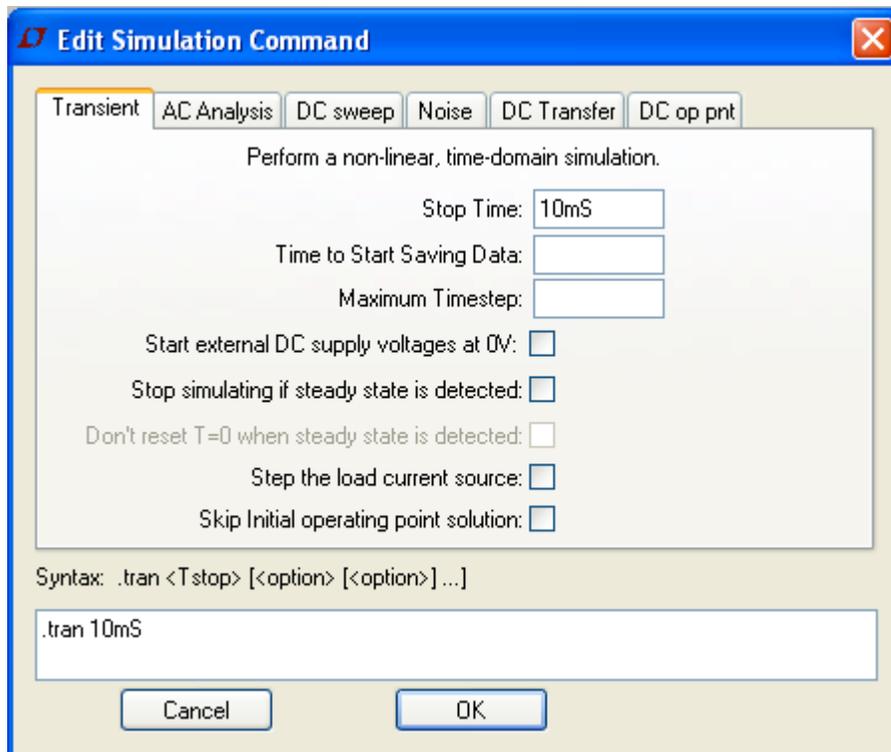
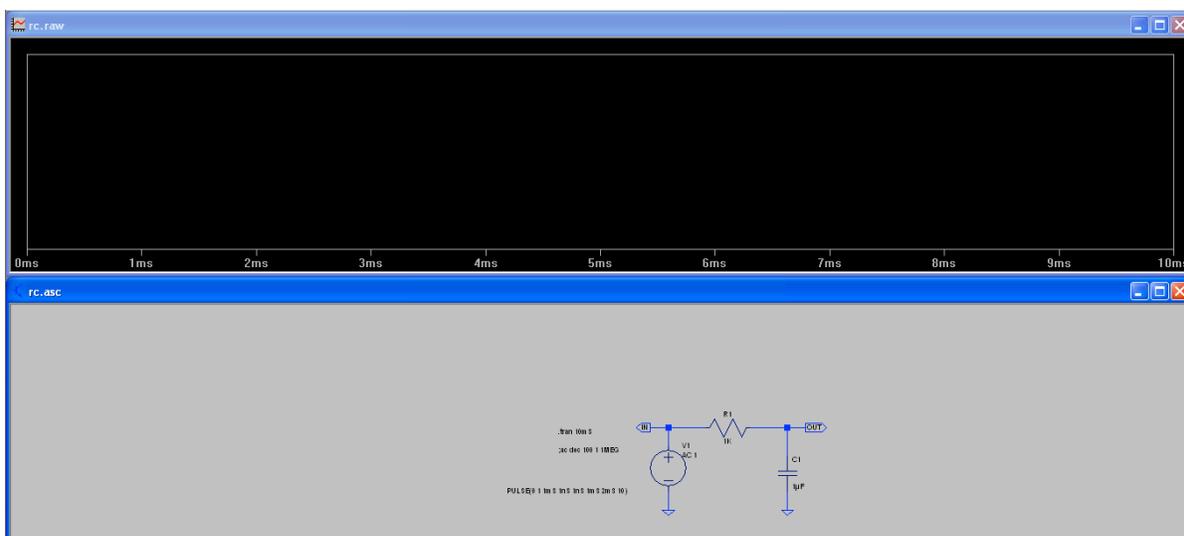


Figure 5 : configuration d'une simulation temporelle

6.1.1.2 Exploitation des résultats de la réponse temporelle

Cliquez sur *Simulate* => *Run*. LTSpice calcule la simulation et coupe l'écran en deux : un espace pour le schéma et un espace pour les graphes :



Avec la souris, promenez vous sur le schéma. Quand vous passez sur une équipotentielle, un symbole de sonde rouge apparaît. Cliquez sur ce point et la réponse temporelle apparaît dans la zone de graphe :

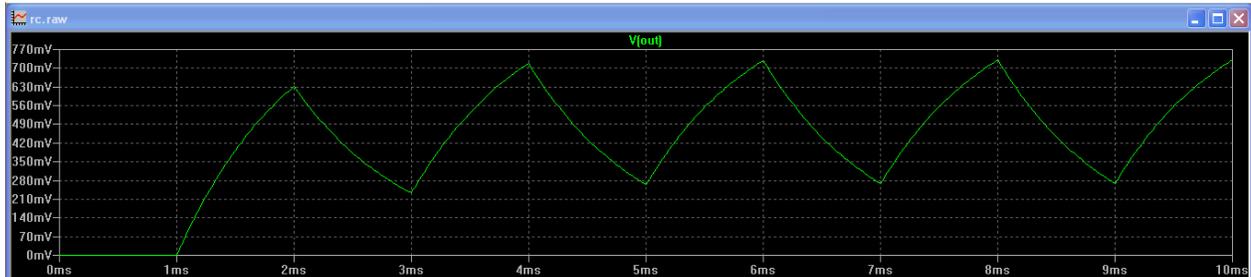


Figure 6 : réponse du réseau RC à un signal carré

En cliquant droit sur la souris dans la zone du graphe, vous avez tout un tas d'options pour modifier le graphe (changer d'échelle par exemple) ou supprimer des tracés. A vous de jouer.

6.1.2 Réponse fréquentielle

6.1.2.1 Configuration de la simulation

La réponse fréquentielle : choisissez l'onglet *Transient* et rentrez les données ci-dessous. Cliquez *OK* et placez la directive sur le schéma :

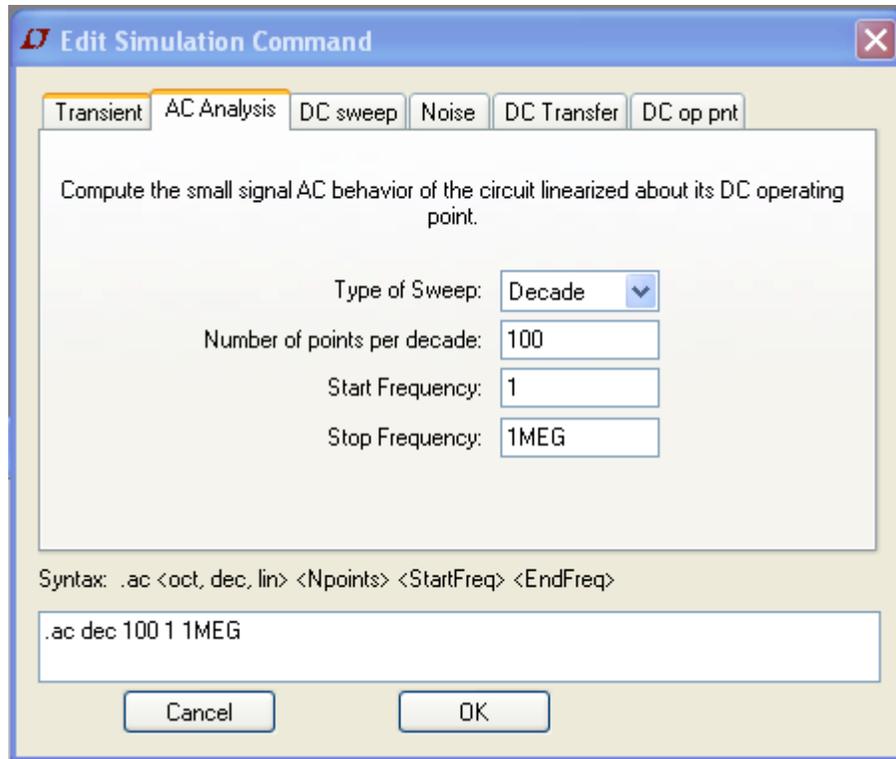


Figure 7 : Configuration d'une réponse fréquentielle

6.1.2.2 Exploitation de la simulation

Cliquez sur *Simulate* => *Run*. LTSpice calcule la simulation qui correspond au dernier onglet ouvert dans la fenêtre de configuration de la simulation (AC Analysis dans notre cas) et coupe l'écran en deux : un espace pour le schéma et un espace pour les graphes .Comme pour la réponse temporelle, promenez la souris sur le schéma et sélectionner l'équipotentielle *Out*.

Vous obtenez la réponse en fréquence d'un réseau RC :

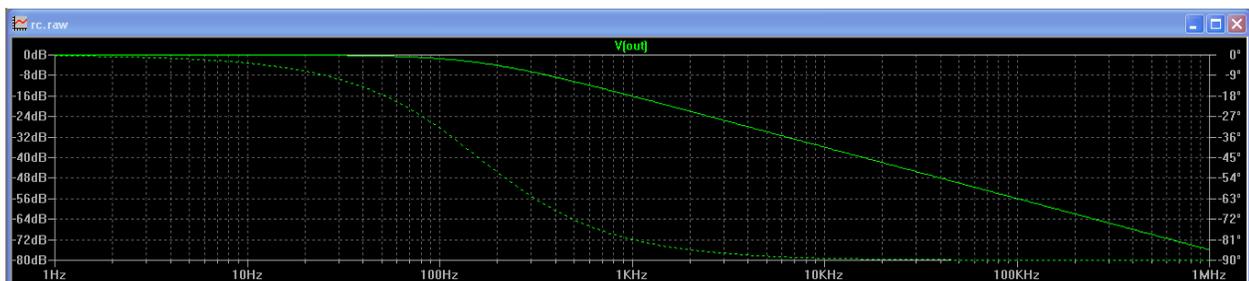


Figure 8 : Réponse en fréquence d'un réseau RC

Là aussi, si vous cliquez droit sur la fenêtre de graphe, tout un tas d'options s'offrent à vous. Essayez, vous ne risquez pas de faire fumer le montage 😊.

Exercez-vous en construisant des réseaux passifs à base de R, L et C et en analysant les réponses temporelles et fréquentielles.

Fin de la première partie