



ELEN0075: *Électronique Analogique*

Introduction à LTspice IV

Sommaire

1) *Introduction*

2) *Fonctionnement du module Schematics (ex: circuit RC)*

2.1) *Ajout d'éléments passifs: R, L et C*

2.2) *Ajout d'éléments actifs*

2.3) *Connections électriques entre les différents éléments*

2.4) *Potentiel de référence*

2.5) *Label*

3) *Visualisation des résultats*

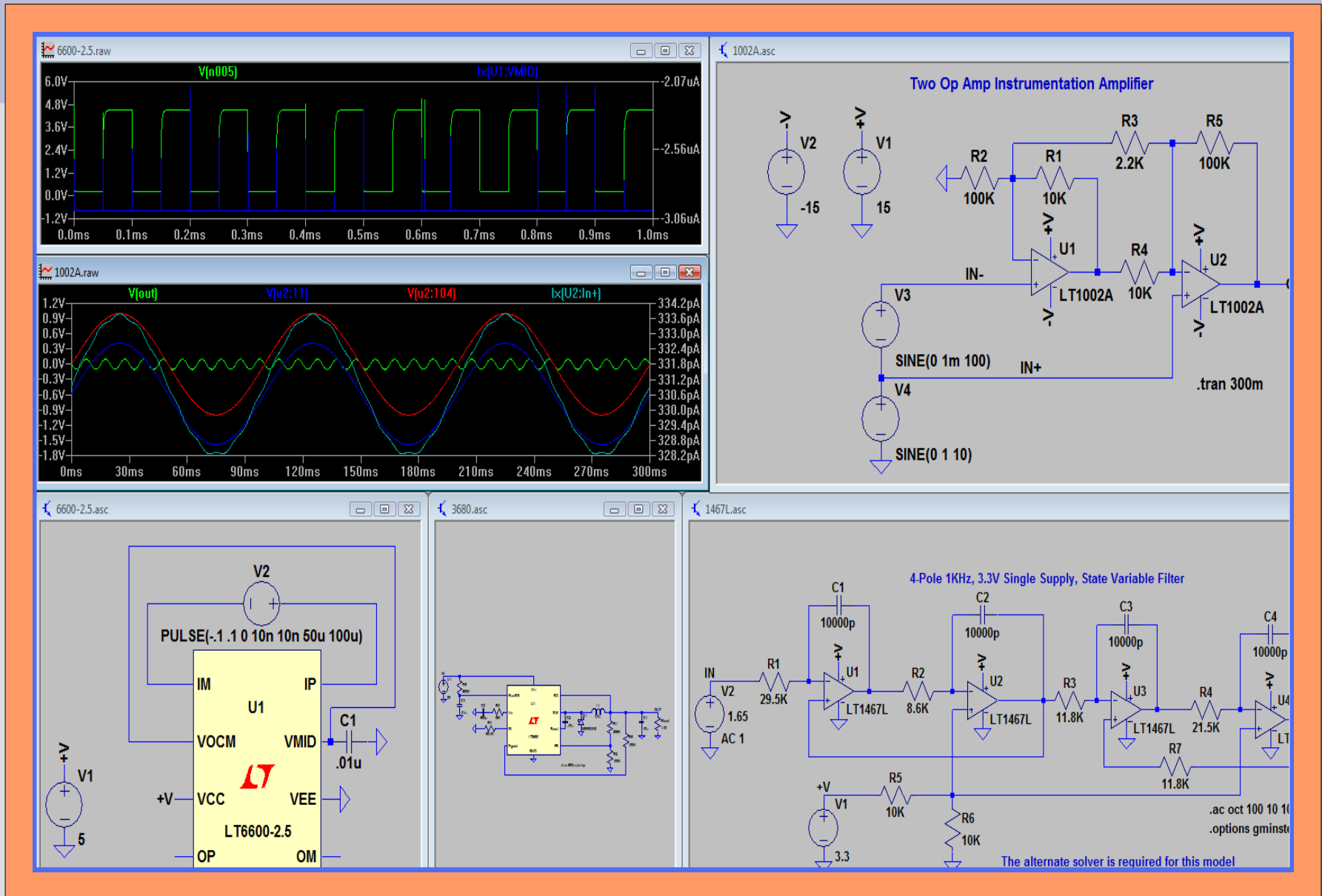
4) *Netlist*

4.1) *Introduction*

4.2) *Netlist pour un circuit RC passe-bas*

4.3) *Exemples*

1) Introduction





*LTspice est basé sur un software standard créé pour simuler des circuits électroniques appelé **SPICE** (**S**imulated **p**rogram **w**ith **I**ntegrated **C**ircuit **E**mphasis).*

***Spice** fut conçu dans les années 70 à l'université de Californie (Berkeley) puis a été amélioré au fil des années.*

***LTspice IV** est un simulateur **gratuit** haute performance basé sur **SPICE III**, qui possède un module Schématique, pour éditer des schémas électroniques ainsi qu'un module de visualisation des résultats.*

***LTSpice** contient plus de 100 modèles d'amplificateurs opérationnels, des modèles de transistors, des portes logiques etc...*

Il est très utile pour réaliser une première ébauche d'un circuit électronique et pour comprendre son fonctionnement.

Les avantages de LTSPICE:

- ◆ *Un nombre illimité de nœuds*
- ◆ *Un éditeur **Schematics** pour dessiner des circuits*
- ◆ *Un éditeur de visualisation des résultats*
- ◆ *Une importante librairie de composants*
- ◆ *Gratuit*

LTspice est disponible à l'adresse suivante:

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

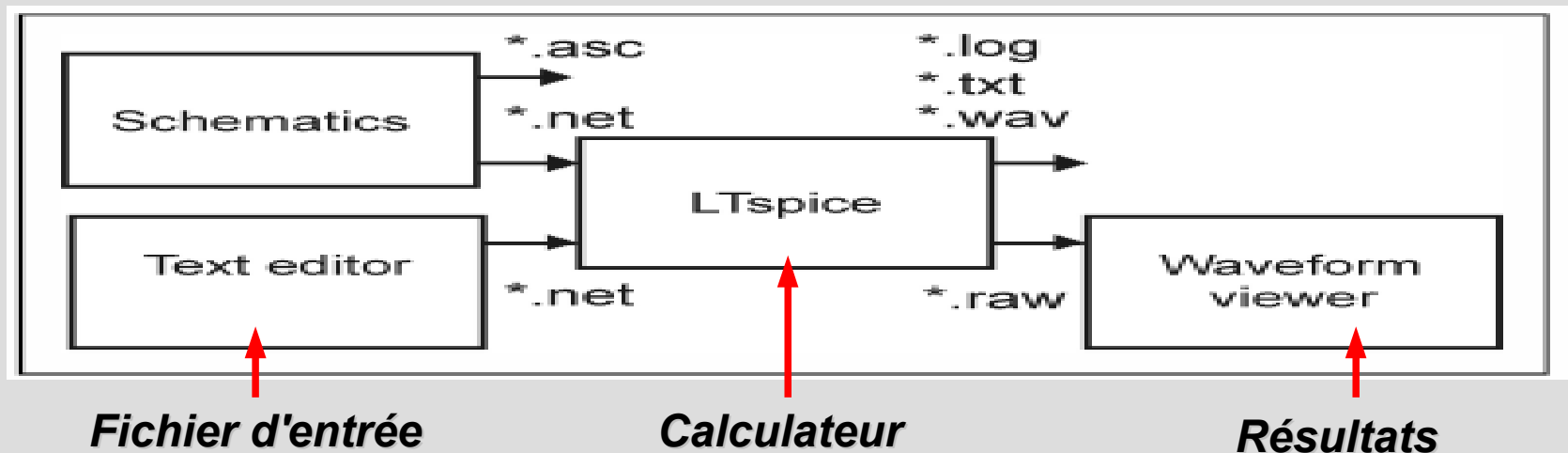
Tutorial supplémentaire:

<http://denethor.wlu.ca/ltpice/>

Comment LTspice fonctionne-t-il?

LTspice produit un fichier d'entrée qui contient la description du circuit ainsi que les commandes du type d'analyse souhaitée. Le fichier d'entrée peut être de **deux formes**:

- ◆ Soit on utilise l'éditeur de schémas électriques **Schematics** de LTspice qui va créer automatiquement un fichier d'entrée **.asc**
- ◆ Soit on décrit directement le circuit à l'aide de lignes de code dans un fichier texte appelé **Netlist**, d'extension **.net**

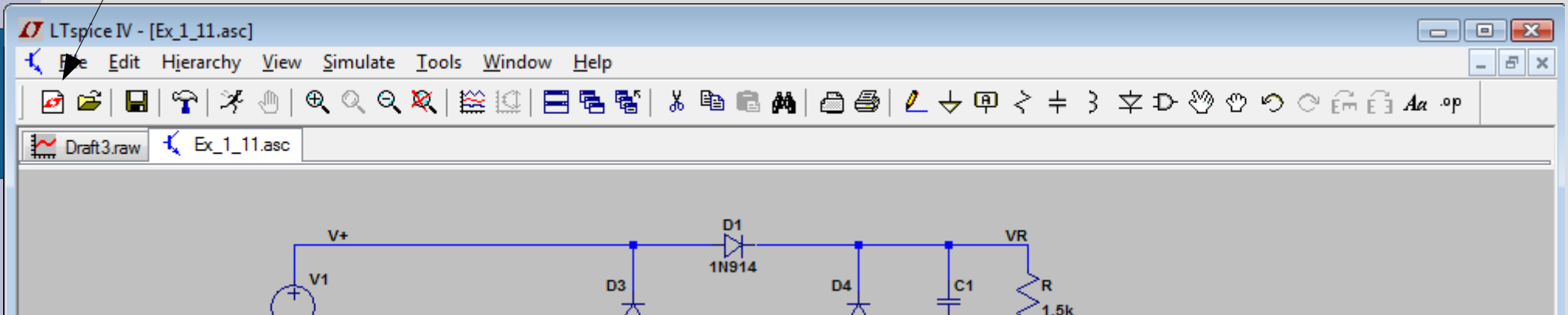


2) Le module **Schematic**:

Exemple: Création d'un circuit RC

2) Module Schematic:

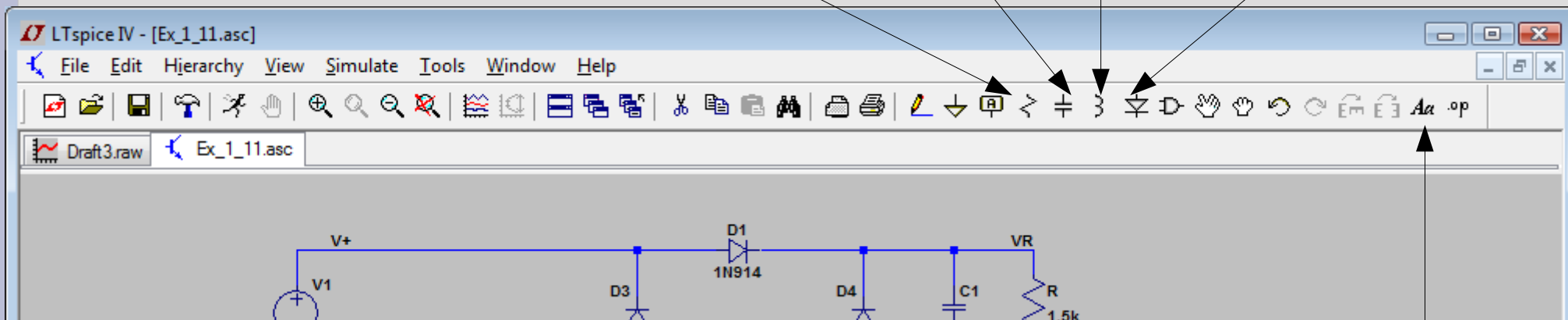
Commencez en ouvrant un nouveau module Schematic



- ◆ Cliquez gauche sur le symbole **New Schematic** de la barre d'édition

2.2) Ajouter d'éléments passifs au circuit:

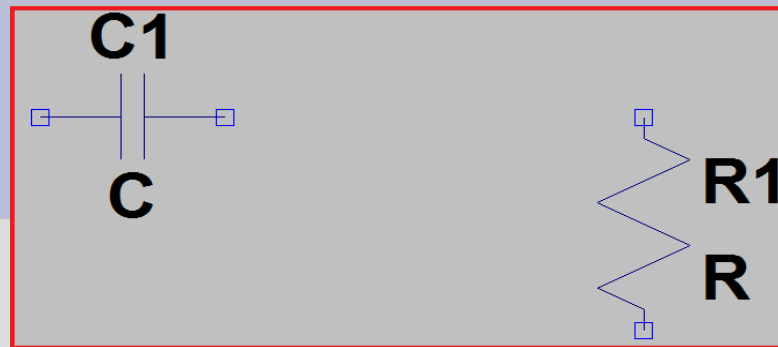
Résistance Condensateur Solénoïde Diode



Laisser un commentaire

- ◆ Cliquez gauche sur le symbole **désiré** de la barre d'édition Schematic
- ◆ Ctrl-R and Ctrl-M pour le faire tourner ou pour obtenir son symétrique (miroir)
- ◆ Bougez la souris à l'endroit où vous souhaitez positionner l'élément
- ◆ Cliquez gauche pour « fixer » l'élément

- ◆ Apparition dans le **Schematic** de la résistance et du condensateur



- ◆ Cliquez droit sur le **symbole** du composant pour modifier sa valeur

Resistor - R6 [Close]

Manufacturer: [OK]
Part Number: [Cancel]

[Select Resistor]

Resistor Properties

Resistance[Ω]: 10K
Tolerance[%]:
Power Rating[W]:

Inductor - L1 [Close]

Manufacturer: Coilcraft [OK]
Part Number: DO1608P-222 [Cancel]

[Select Inductor] Show Phase Dot

Inductor Properties

Inductance[H]: 2.2u
Peak Current[A]: 2.3
Series Resistance[Ω]: 0.06
Parallel Resistance[Ω]: 55000
Parallel Capacitance[F]: 1.8p
(Series resistance defaults to 1mΩ)

Capacitor - Cp1 [Close]

Manufacturer: [OK]
Part Number: [Cancel]
Type:

[Select Capacitor]

Capacitor Properties

Capacitance[F]: 22p
Voltage Rating[V]:
RMS Current Rating[A]:
Equiv. Series Resistance[Ω]:
Equiv. Series Inductance[H]:
Equiv. Parallel Resistance[Ω]:
Equiv. Parallel Capacitance[F]:
Mean Time Between Failures[hr]:
Parts Per Package:

Unités sous SPICE

- ◆ $K = k = \text{kilo} = 10^3$
- ◆ $MEG = \text{meg} = 10^6$
- ◆ $G = g = \text{giga} = 10^9$
- ◆ $T = t = \text{terra} = 10^{12}$
- ◆ $M = m = \text{milli} = 10^{-3}$
- ◆ $U = u = \text{micro} = 10^{-6}$
- ◆ $N = n = \text{nano} = 10^{-9}$
- ◆ $P = p = \text{pico} = 10^{-12}$
- ◆ $F = f = \text{femto} = 10^{-15}$

Unités « naturelles » utilisées

Ohm pour les résistances

Farads pour les capacités

Henry pour les inductances

Volt pour les tensions

Ampère pour les courants

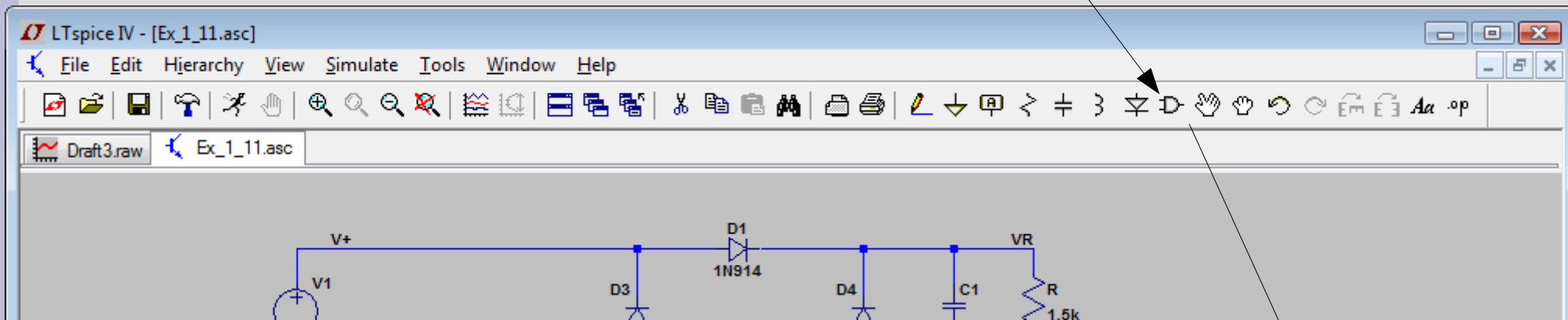
!!Attention!!

- ◆ Utiliser **MEG** pour spécifier 10^6 et pas **M** (10^{-3})
- ◆ Entrer **1** pour avoir 1 Farad et pas **1F=1e-15**

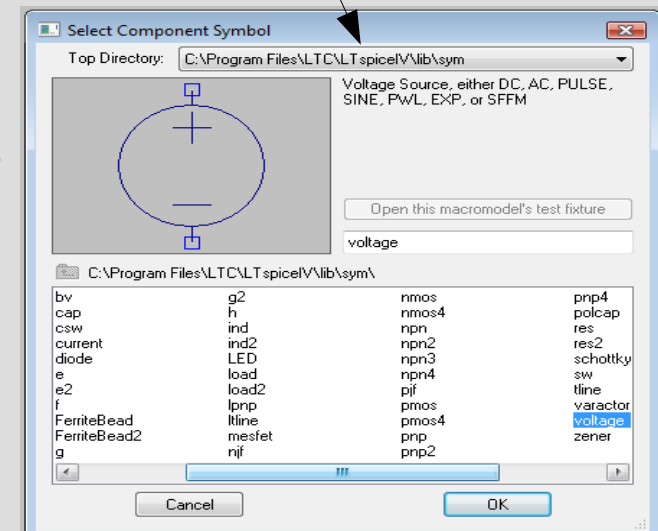
2.3) Ajout d'éléments actifs:

Exemple d'une source de tension

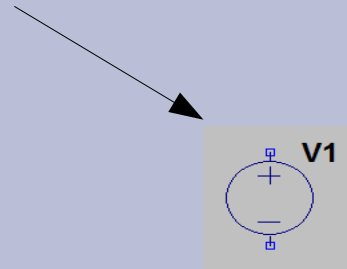
Composants



- Cliquez gauche sur le symbole **Component** de la barre d'édition **Schematic**
- Sélectionnez **Voltage**
- Cliquez gauche sur **OK**



On obtient le symbole suivant dans **Schematic** pour une source de tension



◆ Cliquez droit sur ce symbole puis cliquez sur **Advanced** :

Independent Voltage Source - V1

Functions

(none)

PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)

SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)

EXP(V1 V2 Td1 Tau1 Td2 Tau2)

SFFM(Voff Vamp Fcar MDI Fsig)

PWL(t1 v1 t2 v2...)

PWL FILE:

DC Value

DC value:

Make this information visible on schematic:

Small signal AC analysis(.AC)

AC Amplitude:

AC Phase:

Make this information visible on schematic:

Parasitic Properties

Series Resistance[Ω]:

Parallel Capacitance[F]:

Make this information visible on schematic:

Additional PWL Points

Make this information visible on schematic:

Choix entre les différents types de sources de tension:

- ◆ Pulsée
- ◆ Sinusoïdale amortie
- ◆ Courbe périodique
- ◆ Piecewise linear waveform (PLW)
- ◆ ...

Nous allons ici prendre une source de tension sinusoïdale avec:

- ◆ $f=50\text{Hz}$
- ◆ $V_{\text{offset}}=3\text{V}$
- ◆ $V_{\text{amp}}=10\text{V}$

Independent Voltage Source - V1

Functions

- (none)
- PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)
- SINE(Voffset Vamp Freq Td Theta Phi Ncycles)
- EXP(V1 V2 Td1 Tau1 Td2 Tau2)
- SFFM(Voff Vamp Fcar MDI Fsig)
- PWL(t1 v1 t2 v2...)
- PWL FILE:

DC offset[V]:
Amplitude[V]:
Freq[Hz]:
Tdelay[s]:
Theta[1/s]:
Phi[deg]:
Ncycles:

Make this information visible on schematic:

DC Value

DC value:
Make this information visible on schematic:

Small signal AC analysis[.AC]

AC Amplitude:
AC Phase:
Make this information visible on schematic:

Parasitic Properties

Series Resistance[Ω]:
Parallel Capacitance[F]:
Make this information visible on schematic:

Détails des courbes Spice

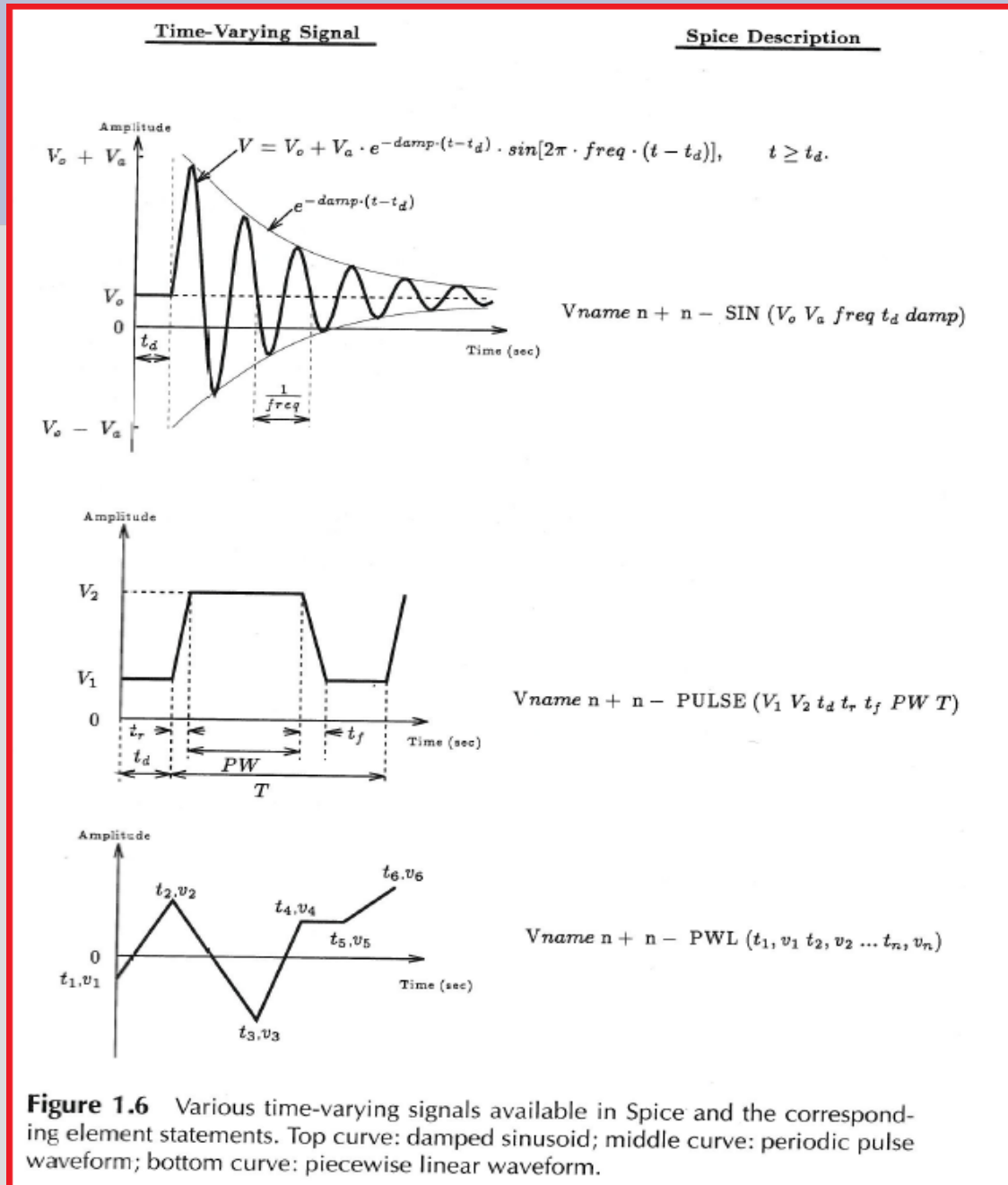


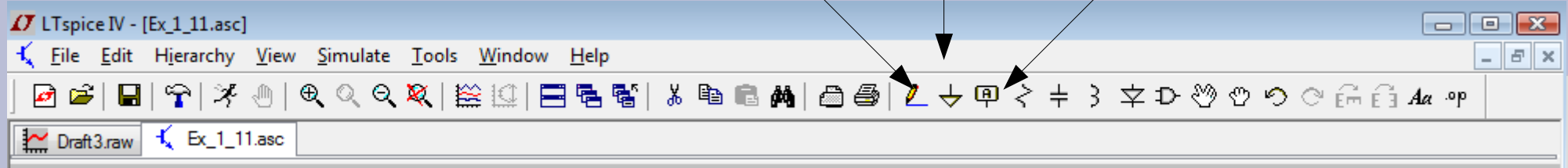
Figure 1.6 Various time-varying signals available in Spice and the corresponding element statements. Top curve: damped sinusoid; middle curve: periodic pulse waveform; bottom curve: piecewise linear waveform.

1.3) Connexions électriques entre les différents éléments:


Connexion électrique
« Draw wire »

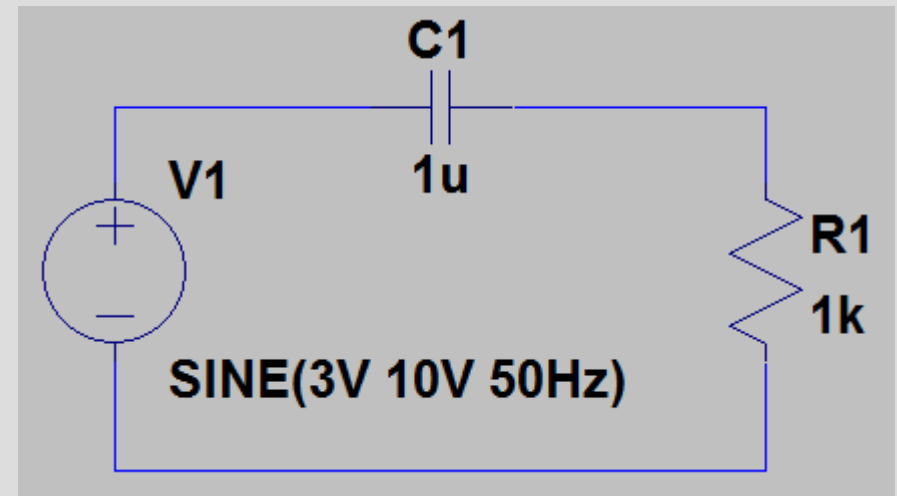
Ground

Label



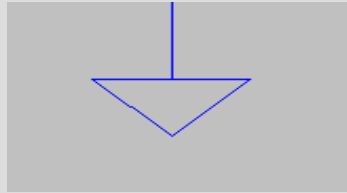
Pour attacher les éléments entre eux:

- Sélectionnez le bouton « Draw Wire » 
- Cliquez gauche sur le nœud de départ
- Cliquez gauche sur le nœud d'arrivée
- Cliquez droit pour stopper l'option « Draw wire »



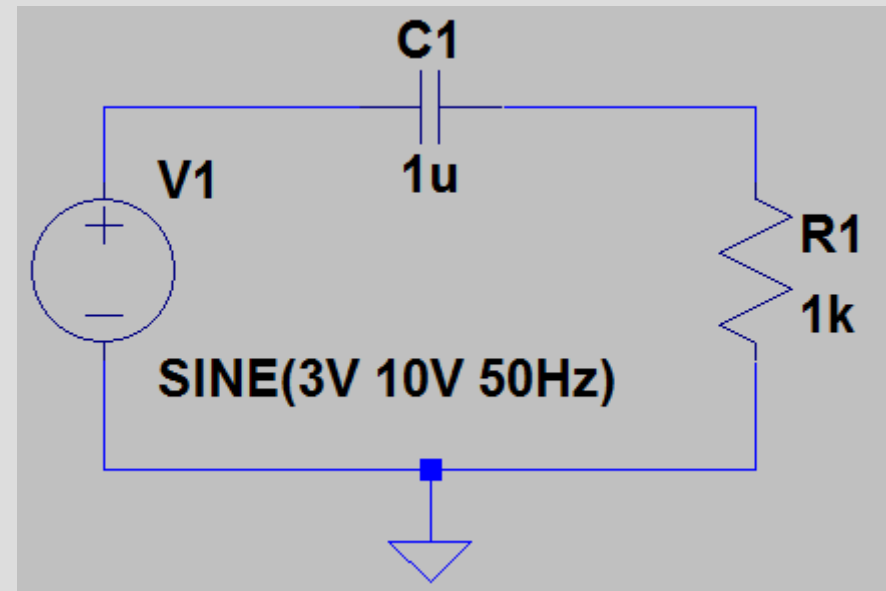
2.4) Ground:

Il **est impératif** de mettre un potentiel de référence sinon aucune simulation ne peut fonctionner!




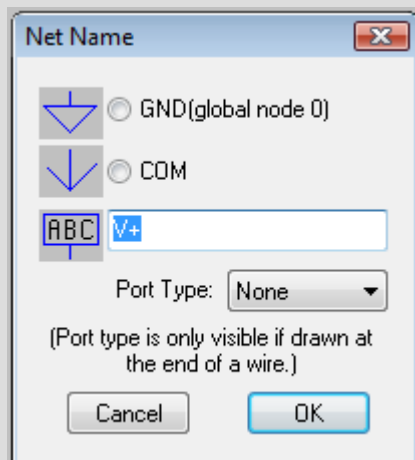
Pour placer un potentiel de référence:

- ◆ Sélectionnez le bouton « ground »
- ◆ Cliquez gauche à l'endroit où vous voulez le placer
- ◆ On peut aussi utiliser la touche « g » comme raccourci



2.5) Label:

- ◆ Les labels sont utiles si vous désirez utiliser vos propres noms de nœuds (pour trouver plus facilement une tension ou un courant dans le circuit) à la place de la numérotation automatiquement fournie par **LTspice**.
- ◆ Pour ajouter un « **Net label** », appuyez sur **F4** ou utiliser l'icône 
- ◆ La fenêtre suivante s'ouvrira:



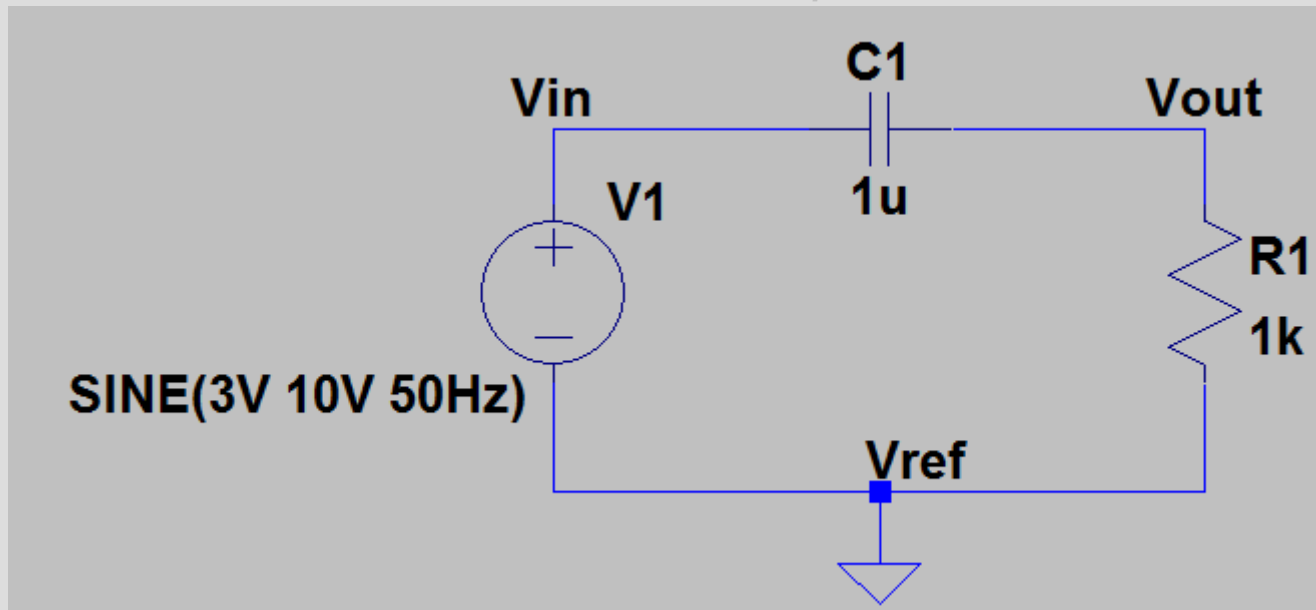
Ensuite, il faut:

- ◆ Écrire le nom désiré
- ◆ Cliquer sur **OK**
- ◆ Cliquer une fois sur un fil du circuit à l'endroit où vous désirez obtenir cette nomenclature

Suite Label:

- Nous avons nommé dans cet exemple le potentiel positif de la source **Vin** et le potentiel de référence **Vref**.
- Nous avons également appelé la tension de la résistance **Vout**

Au final , nous obtenons le schéma électrique suivant:



3) Types d'analyse:

Types d'analyses:

♦ Analyse de Polarisation:

Il s'agit d'une analyse extrêmement puissante puisqu'elle **calcule l'état d'équilibre du circuit**, donc, l'ensemble des tensions et courants à travers les composants du circuit.

♦ Analyse Transitoire

Elle calcule l'ensemble des variables du circuit en fonction du temps.

♦ Analyse Petit signal AC

Avec cette analyse, LTSpice calcule automatiquement le **point de polarisation** du circuit pour ensuite établir le **schéma équivalent petit-signal** de tous les éléments non-linéaires du circuit (diodes, transistors bipolaire, etc...). Elle permet alors de visualiser l'amplitude et la phase des différentes grandeurs du circuit en fonction de la fréquence lorsqu'un signal d'amplitude infinitésimale est appliqué au circuit.

♦ Balayage DC (DC sweep)

Cette analyse permet de visualiser **l'influence d'une variable DC** sur les autres paramètres du circuit (courants, tensions, ...)

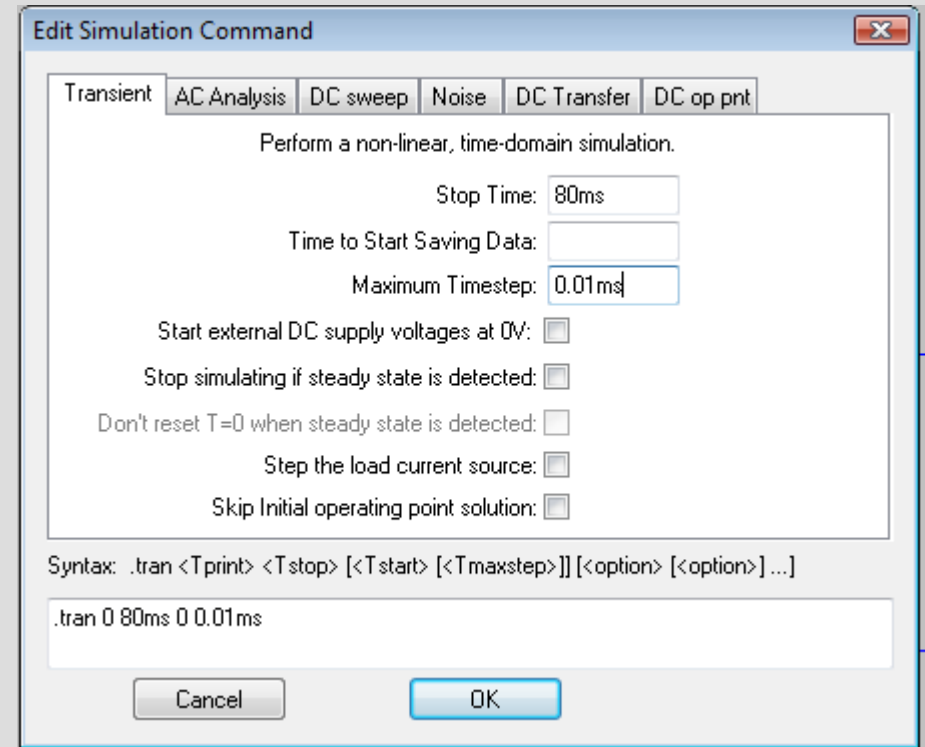
♦ Bruit

♦ DC Transfer

2) Types d'analyse:

3.2) Mise en place d'une analyse:

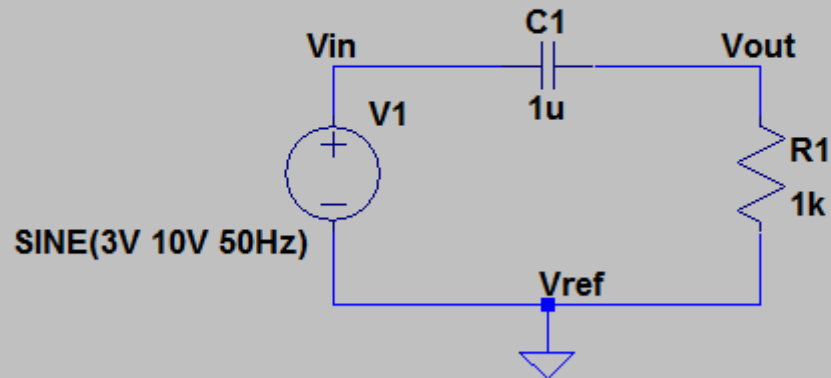
- Menu **Simulate** puis **Run**
- Dans notre exemple RC, nous désirons une analyse temporelle donc nous choisissons **Transient**
- **Stop time**= temps de fin de simulation= 80ms
- Maximum **Timestep**= 0.01ms
- La commande s'écrit en bas de la fenêtre. Elle se nomme **.tran 0 80ms 0 0.01ms**
- Cliquez sur **OK** et l'analyse temporelle est calculée.



3) Visualisation des résultats:

Analyse d'un circuit RC

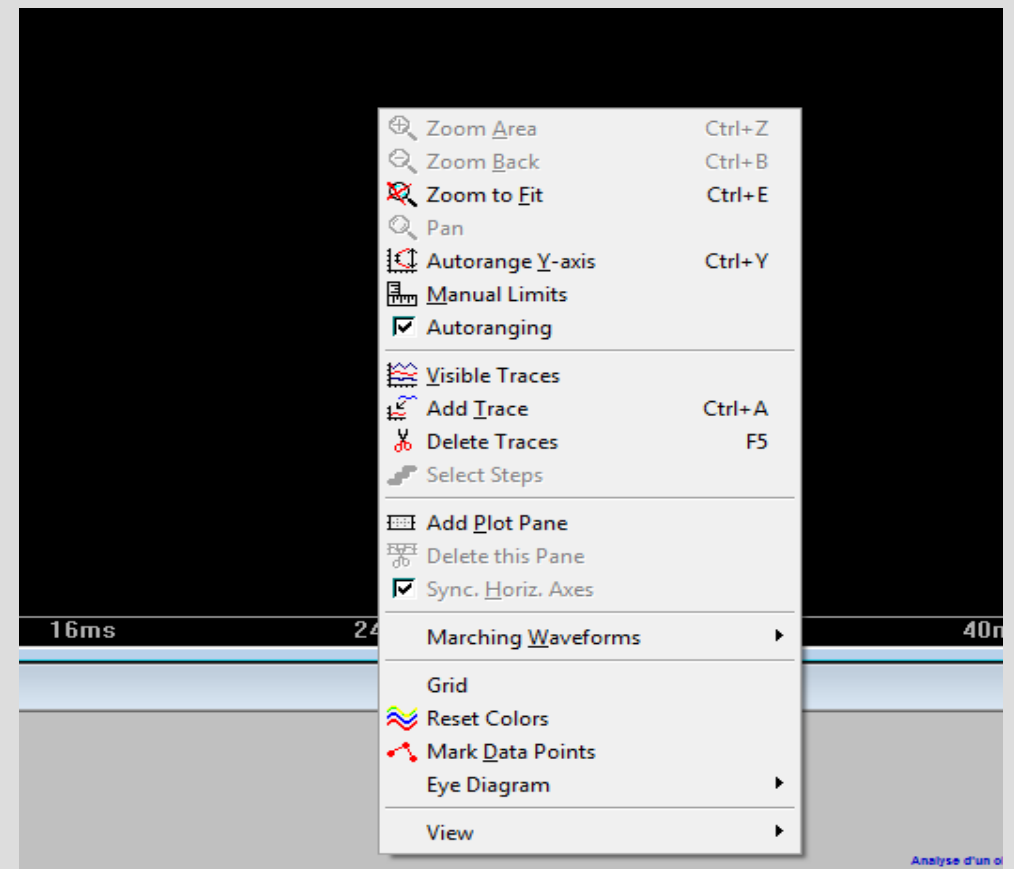
Analyse transitoire sur une période de 80ms avec un interval de temps de 0.01ms



.tran 0 80ms 0ms 0.01ms

3) Visualisation des résultats:

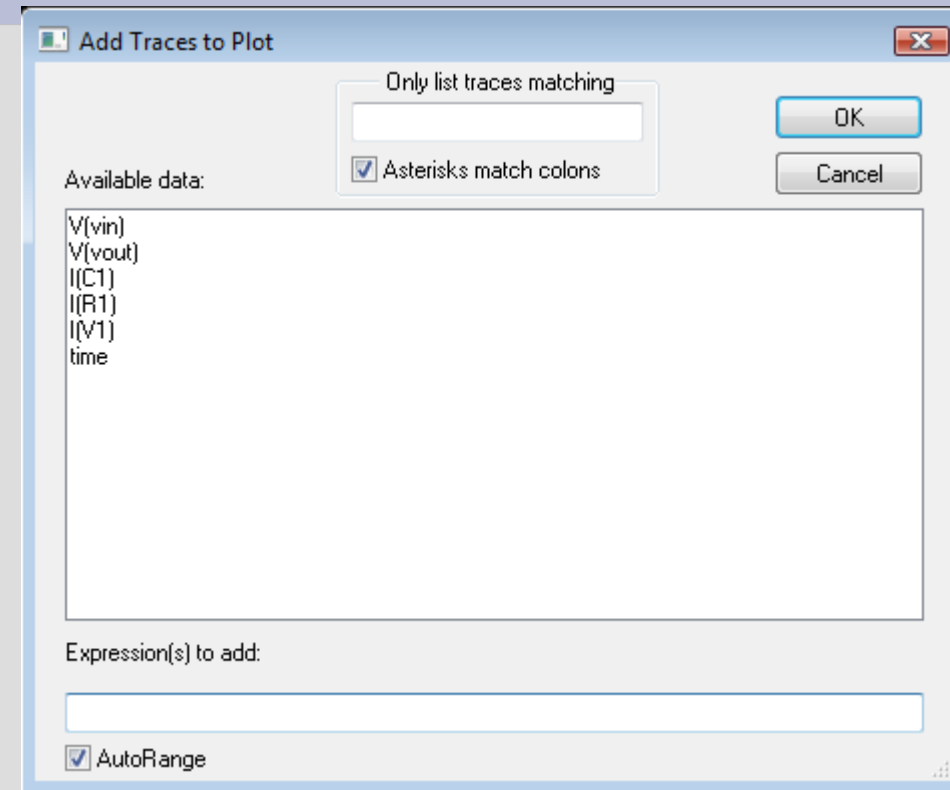
- ◆ Une fenêtre sur fond noir s'ouvre automatiquement. Elle permet de visualiser les différentes variables mises en jeu dans le circuit (courants et tensions)
- ◆ Cliquez droit sur la fenêtre
- ◆ Cliquez **Add Trace**



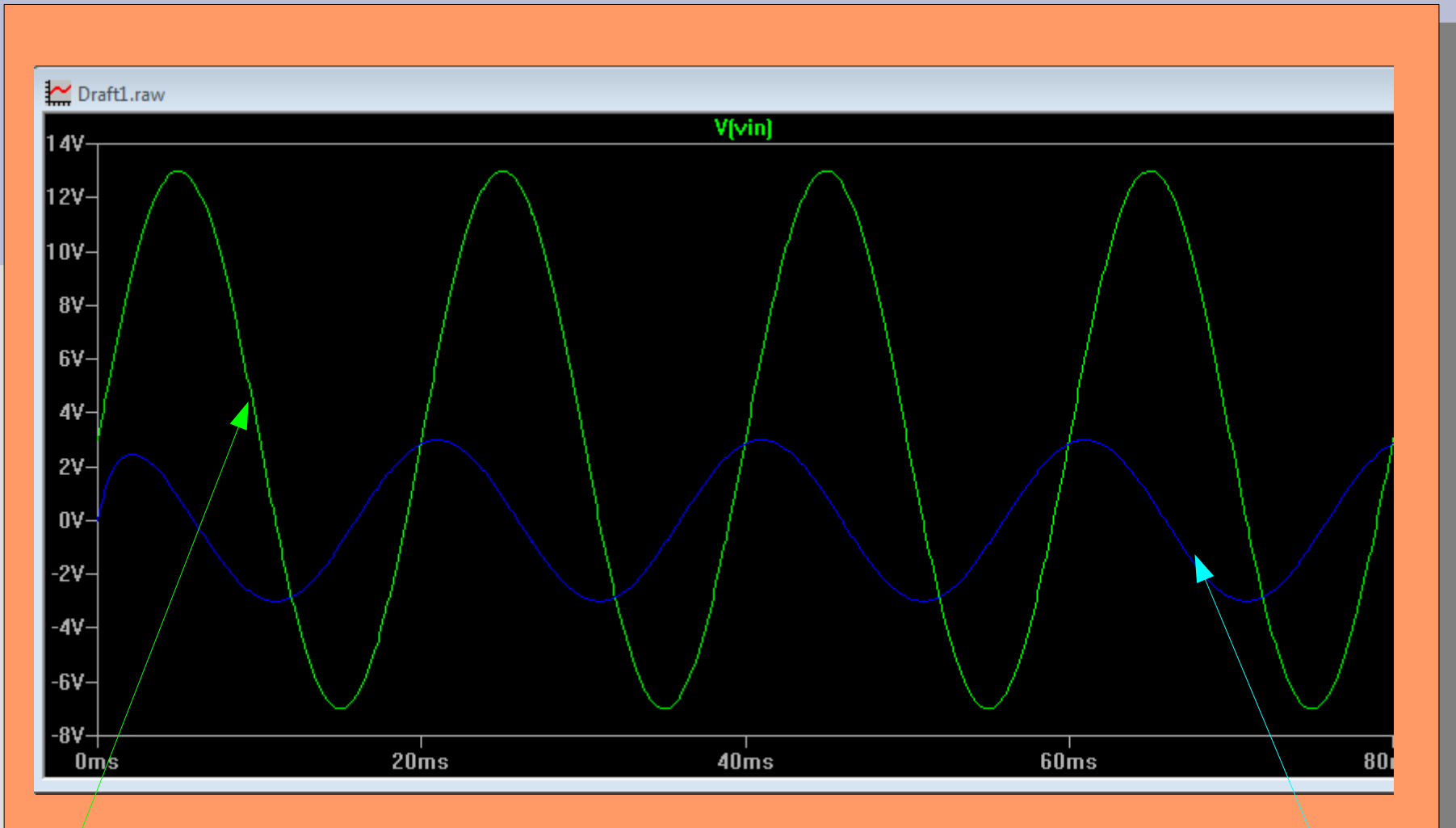
3) Visualisation des résultats:

On obtient l'onglet suivant, on a le choix de visualiser:

- La tension de la source $V(vin)$
- La différence de potentiel aux bornes de la résistance $V(vout)$
- Le courant circulant au travers de la capacité $I(C1)$
- Le courant circulant au travers de la résistance $I(R1)$



- Cliquez gauche sur **V(vin)** et sur **V(vout)** pour afficher leurs évolutions dans le temps
- Cliquez gauche sur **OK**



Tension d'entrée $V(vin)$

Tension de sortie $V(vout)$

4) Netlist

- ◆ *A la place d'utiliser l'éditeur de schéma comme on vient de le voir, on **peut directement décrire le circuit dans un fichier texte appelé Netlist.***
- ◆ *Une Netlist est un fichier qui contient l'ensemble des composants du circuit avec leurs nœuds respectifs ainsi que les analyses souhaitées.*
- ◆ *Pour créer une Netlist, vous pouvez par exemple ouvrir **Bloc-notes** et enregistrer le document avec l'extension **.net** . Vous pourrez ensuite l'ouvrir à partir de LTspice.*

Syntaxe d'une Netlist

- ◆ Il faut toujours respecter:

*X*nom noeud1 noeud2 valeur

où *X*=élément (*R,L,C,Q,M,J etc...*) et le **nom** est limité à 7 caractères:

```
Ventrée 1 0 DC 10V
```

Le nœud **0** est toujours le potentiel de référence

- ◆ On ne peut pas avoir des éléments de même nature avec des noms identiques:

```
R1 1 2 1k      R1 1 2 1k
R1 2 3 5k      R2 2 3 5k
MAUVAIS       OKAI
```

- ◆ L'ordre des nœuds a de l'importance!

—▶ Ex: Pour une source de tension, le **noeud1** indique la polarité **positive(+)** et le **noeud2**, la polarité **négative(-)**.

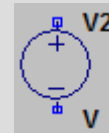
```
Vin 1 0 DC 10V ---> U(1)=10V
      mais
Vin 0 1 DC 10V ---> U(1)=-10V??
```

Nomenclature des éléments de la *Netlist*

<u>First Letter Representation</u>	<u>Element</u>
B	GaAs field-effect transistor (MESFET)
C	Capacitor
D	Diode
E	Voltage-controlled voltage source (VCVS)
F	Current-controlled current source (CCCS)
G	Voltage-controlled current source (VCCS)
H	Current-controlled voltage source (CCVS)
I	Independent current source
J	Junction field-effect transistor (JFET)
K	Coupled inductors
L	Inductor
M	MOS field-effect transistor (MOSFET)
Q	Bipolar transistor (BJT)
R	Resistor
V	Independent voltage source

Aperçu des principaux composants électriques:

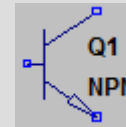
◆ *Source de tension indépendante (V)*



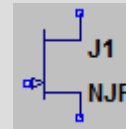
◆ *Source de courant indépendante (I)*



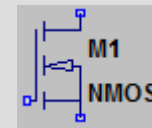
◆ *Transistor Bipolaire (Q)*



◆ *Transistor JFET (J)*



◆ *Transistor MOSFET (M)*



◆ ...

Circuit RC passe-bas

Analyse fréquentielle

Titre de la Netlist (le titre n'est jamais précédé de « * »)

On peut laisser un **commentaire** en plaçant en début de phrase une « * »

Filtre RC passe-bas

* Source de tension

Uin 1 0 AC 10mV 0

* Résistance

Rload 1 2 1k

* Condensateur

C1 2 0 1u

* Analyse

.ac dec 100 0.1hz 1Meg

.end

Source d'entrée alternative (ac) d'amplitude 10mv et sans déphasage initial.

Résistance de charge de 1k Ohm

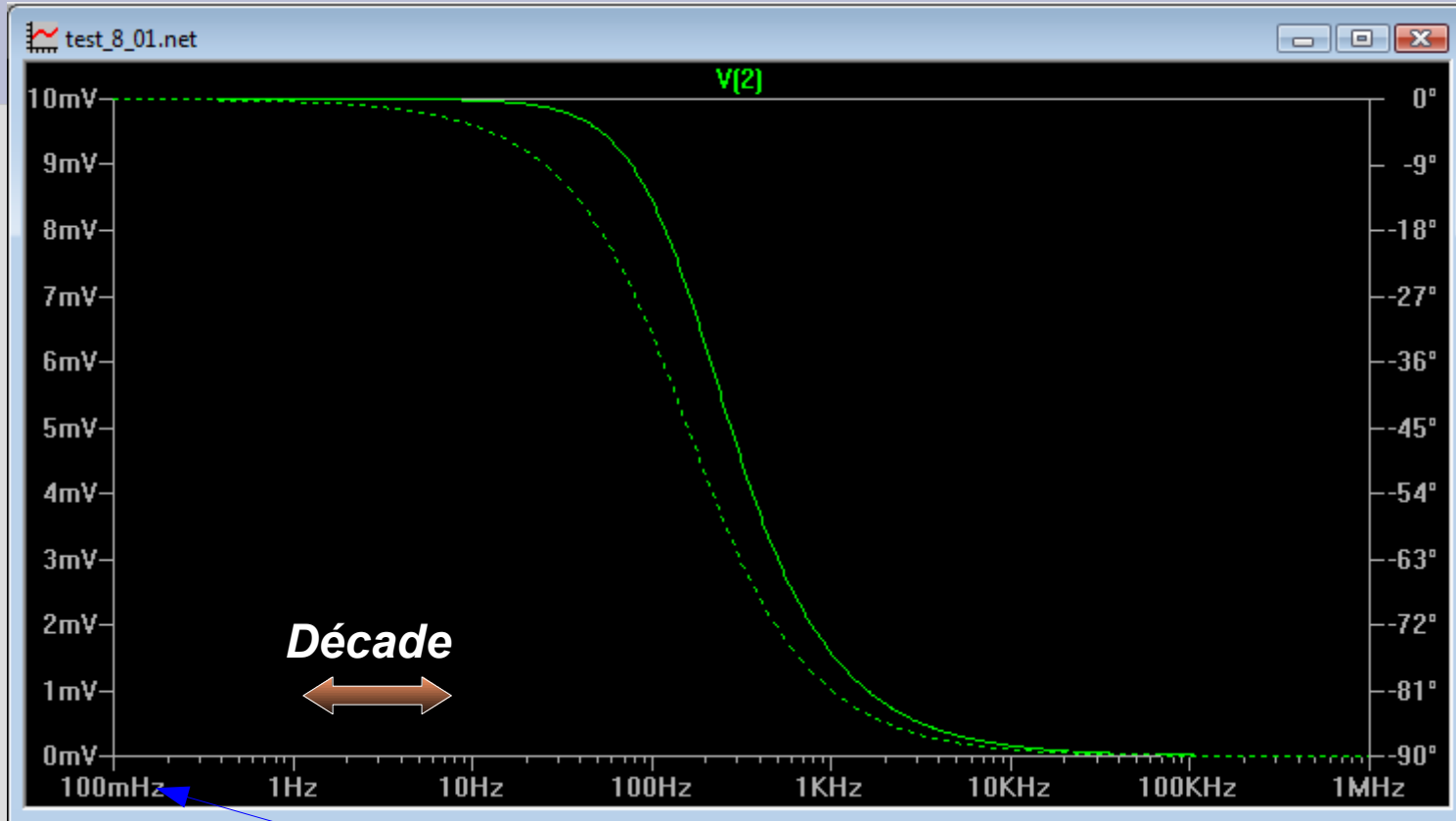
Capacité de 1 micro Farad (uF)

Analyse fréquentielle avec une échelle logarithmique des fréquences (DEC) qui s'étend de 0.1Hz jusque 1Mhz

Pour finir la simulation, **.end** est obligatoire.

Circuit RC passe-bas

Analyse fréquentielle



```
.ac dec 100 0.1hz 1Meg
```

100 points par décade

Commandes d'analyse

1) POLARISATION

```
.op  
.end
```

2) ANALYSE TRANSITOIRE (=Temporelle):

```
.tran <T_debut_sauvegarde_données> <Tstop> <Tstart> <Tmaxstep>  
.end
```

Exemple:

```
.tran 0 80ms 0 0.01ms  
.end
```

3) ANALYSE Petit Signal (=Fréquentielle)

```
.ac <Echelle oct,dec,lin> <Nb points par dec/oct/lin> <startFreq> <EndFreq>  
.end
```

Exemple:

```
.ac DEC 100 0.1hz 1Meg  
.end
```

4) Balayage DC (DC sweep)

```
.dc <Nom Source à balayer> <start Value> <stop Value> <Increment Step>  
.end
```

Exemple:

```
.DC Vin 0mv 3V 0.01mv  
.end
```

Exemple 1: limiteur de tension

Schéma équivalent avec Schematics

Ex 1_13 régulation d'une tension

* Source de tension AC

```
Uin 1 0 sin (0 30V 50hz)
```

* Résistance

```
R 1 2 100
```

* Diode zener

```
D1 0 2 BZX84C6V2L
```

* Modèle de la diode utilisé

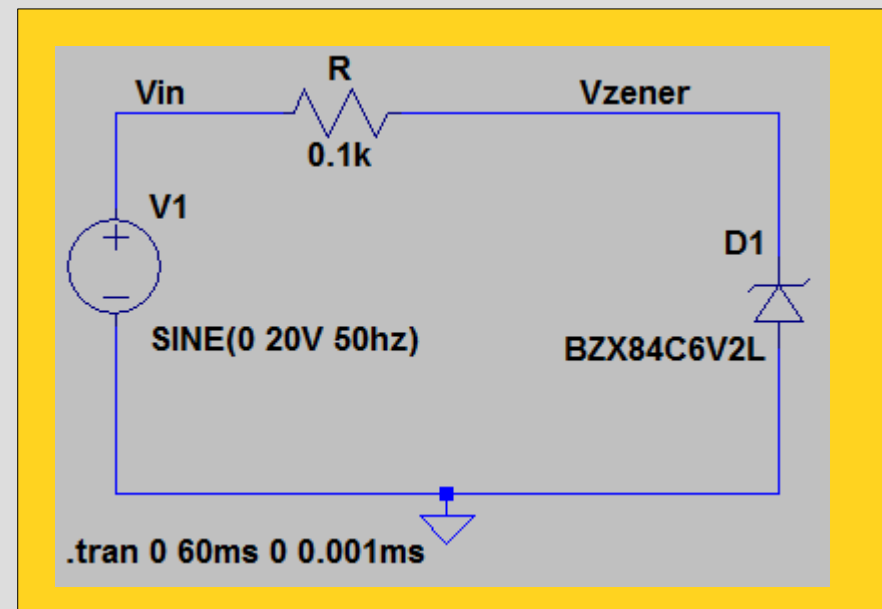
```
.model D D
```

```
.lib C:\Program Files\LTC\LTspiceIV\lib\cmp\standard.dio
```

* Analyse temporelle

```
.tran 0 60ms 0 0.001ms
```

```
.end
```



Exemple 2 : Montage émetteur commun avec transistor bipolaire pnp

Elen0075 - Ex_2_3_2

* Amplificateur en émetteur commun
* GAIN EN TENSION v(3)/U(2): on trouve un gain en tension $A_v=76.1$

* Source continue

UCC 1 0 DC 12U

* Source petit signal

Vin 2 0 AC 10mV 0

* Pont de polarisation

R2 1 4 6.8k

R1 4 0 22k

* Circuit de sortie

RE 1 6 0.56k

RC 7 0 1k

RL 3 0 1.5k

* Condensateurs de couplage

C1 2 4 10uF

C2 7 3 10uF

* Condensateur de dérivation

CE 6 1 10uF

* Transistor Bipolaire (BJT) (ordre des bornes pour un PNP : E B C)

Q1 7 4 6 PNP

* Modèle du transistor de type PNP avec Beta=100

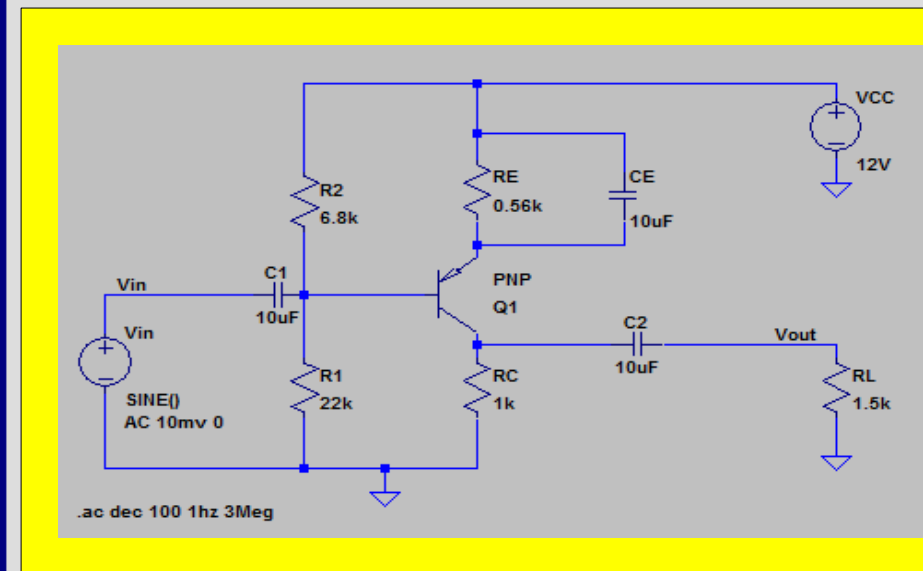
.model PNP PNP (Bf=100)

* Analyse petit signal (fréquentielle)

.ac DEC 100 1Hz 3Meg

.end

Schéma équivalent avec Schematics



Fin de la présentation