

Tutoriel LTSpice

1- Présentation du Logiciel

LTSpice est un logiciel fourni gratuitement par Linear Technology. Ce logiciel est assez complet et permet de simuler des montages électroniques. Et a l'avantage d'être compatible avec Windows, Mac et Linux.

Dans ce tutoriel, nous aborderons la prise en main de l'éditeur graphique de LTSpice ainsi que les différents types d'analyse qui vous seront utiles pour les travaux en autonomie.

2- Installation

Avant de commencer l'installation du logiciel, vous devez récupérer l'archive sur le site pédagogie. Elle contient l'exécutable permettant d'installer le logiciel ainsi que la librairie des composants qui seront utilisés.

a. Windows et Macintosh

Pour une installation sous Windows ou sous Mac, il suffit de lancer l'exécutable que vous avez téléchargé. Laissez les répertoires par défaut qui sont proposés lors de l'installation.

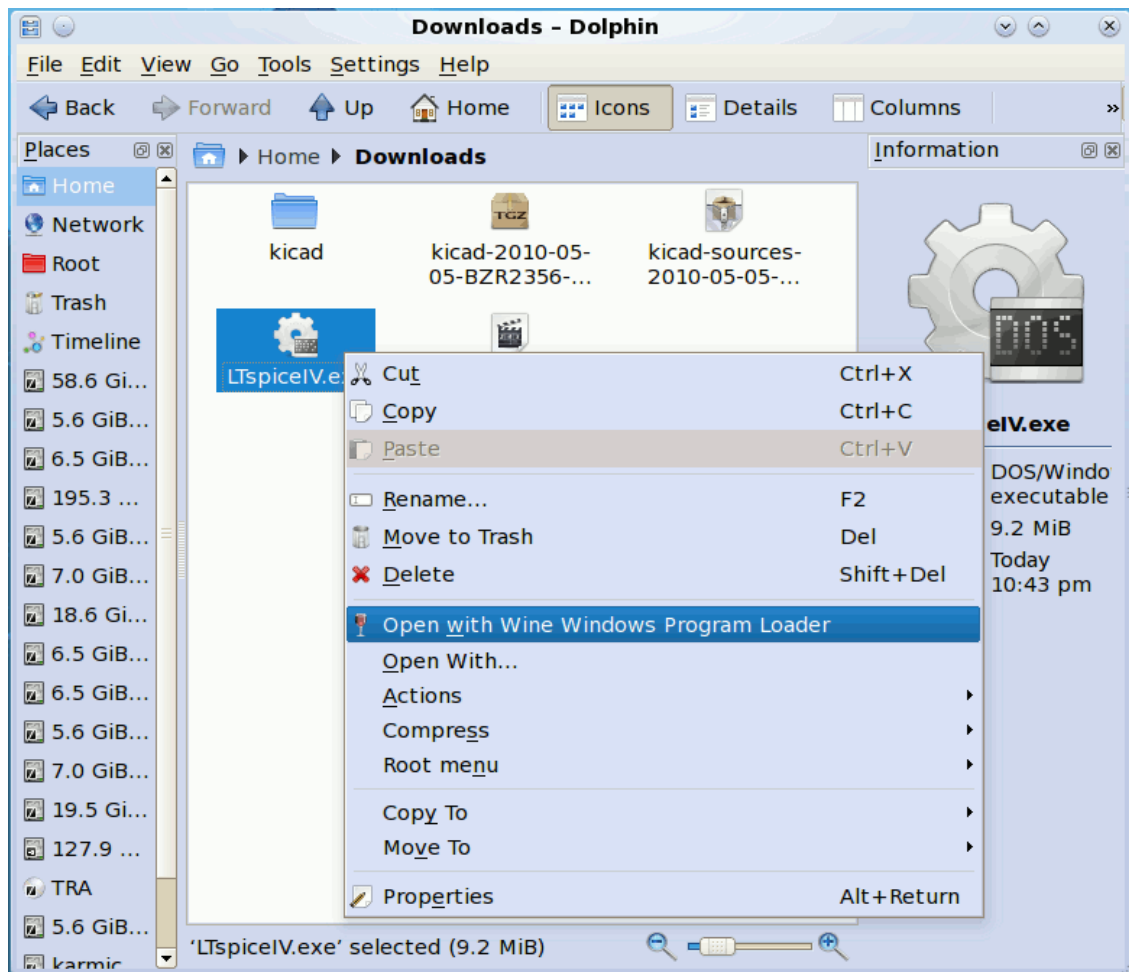
b. Linux

L'installation sous linux est également possible mais demandera plus de temps. Si vous êtes sur Windows ou Mac, cette partie est inutile, vous pouvez passer directement à la troisième partie de ce document. En revanche, si vous êtes sur Linux, cette partie vous explique pas à pas comment installer LTSpice sur votre système.

- Pour installer LTSpice sur Linux, vous devez passer par l'application de gestion des programmes Windows disponible sur votre distribution Linux (Wine). Pour installer Wine, ouvrez une console et taper la ligne suivante si vous utilisez le gestionnaire de paquets aptitude :

apt-get install wine

- Une fois l'installation de Wine terminée, ouvrez le programme d'installation de LTSpice avec Wine : cliquez droit sur le programme et choisissez l'option ouvrir avec Wine.



- Ensuite, suivez simplement les instructions jusqu'à ce que l'installation démarre. Laissez les répertoires par défaut qui sont proposés lors de l'installation.
- Enfin, une fois l'installation terminée, vous pouvez faciliter le lancement du logiciel en créant une icône sur le bureau ou dans votre barre d'application.



3- Prise en main du logiciel

a. Installation des librairies utiles pour le travail en autonomie

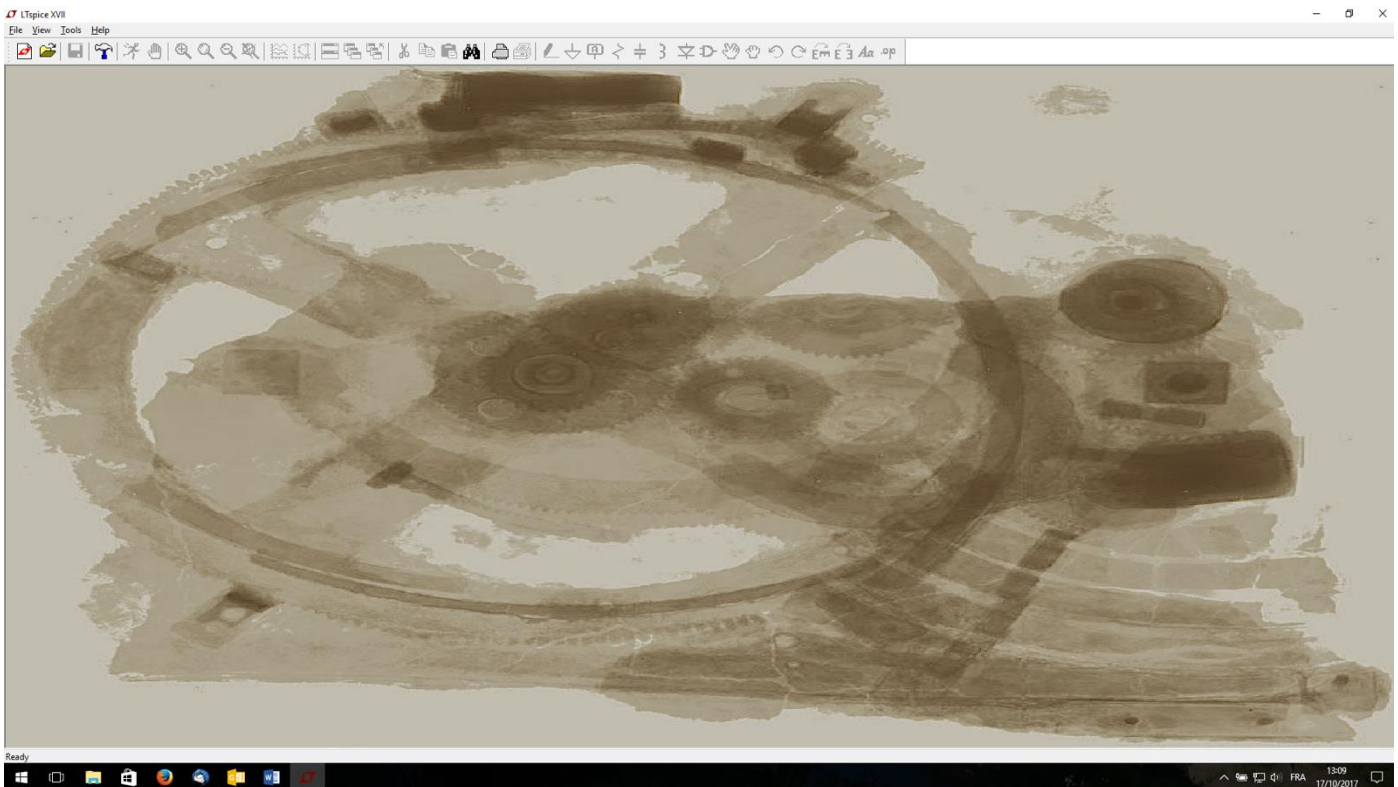
Afin de pouvoir utiliser LTspice pour les travaux en autonomie, il faut installer la librairie de composant qui a été spécialement développée. Cette librairie se trouve dans l'archive que vous avez téléchargée sur le site pédagogique. Elle se compose de trois éléments :

- Le fichier eea.lib,
- Le fichier eea_digital.lib,
- Un dossier eea_symb

Les fichiers .lib contiennent les descriptions des composants que vous utiliserez et le dossier eea_symb contient l'ensemble des symboles correspondant au composant décrits dans les fichiers .lib. Pour installer ces éléments, il suffit de copier les deux fichiers .lib dans le répertoire **C:\Users\[votre compte]\Documents\LTspiceXVII\lib\sub** et de copier le répertoire eea_symb dans **C:\Users\[votre compte]\Documents\LTspiceXVII\lib\sym** (ces répertoire sont valable pour Windows, si vous utilisez Mac ou Linux, adapter le chemin pour que cela corresponde au répertoire d'installation du logiciel).

Remarque : Lors des mises à jour du logiciel, il est possible que la librairie eea soit perdue. Dans ce cas, il suffit de copier de nouveau les éléments de la librairie dans les répertoires mentionnés dans le paragraphe ci-dessus.

b. Premier démarrage du logiciel

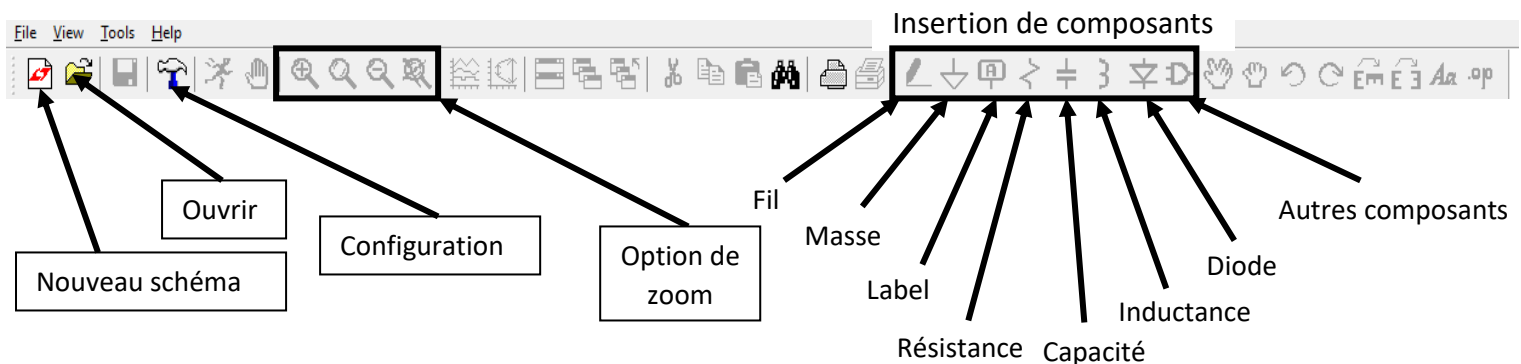


Maintenant que LTspice ainsi que les librairies sont installées, démarrez le programme. Avant de commencer l'utilisation de LTspice, faisons un point sur ce qui découle de ce premier démarrage. Tout d'abord, voici la fenêtre qui va s'ouvrir. Une fois le logiciel démarré, vous pouvez le refermer.

Le premier lancement de LTspice a pour effet de créer un dossier dans votre répertoire de document. Ce dossier, nommé **LTspiceXVII**, est une copie d'un dossier qui a été créé lors de l'installation du logiciel. Il contient toutes les librairies et tous les symboles des composants que vous pouvez utiliser.

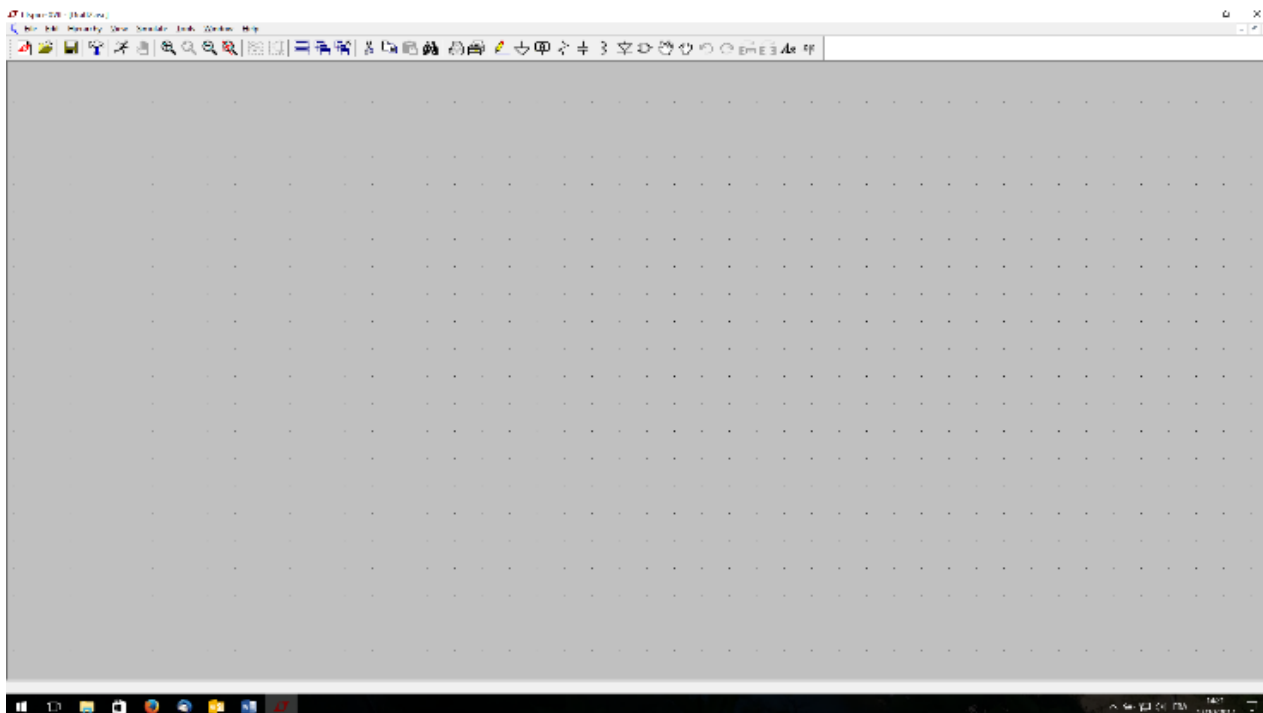
c. Création d'un nouveau schéma

Relancer le logiciel et observer la barre d'outils.



Vous pouvez noter que beaucoup d'éléments sont encore grisés, ils deviendront disponibles dès lors que vous aurez créé un nouveau schéma. Pour ce faire, cliquez sur l'icône nouveau schéma ou : File->New schematic (CTRL + N).

Vous pouvez alors remarquer que l'aspect de la fenêtre du logiciel a changé. En effet, elle présente maintenant un quadrillage comme sur la figure suivante. Sauvegardez le schéma vide et profitez-en pour créer un répertoire de travail.

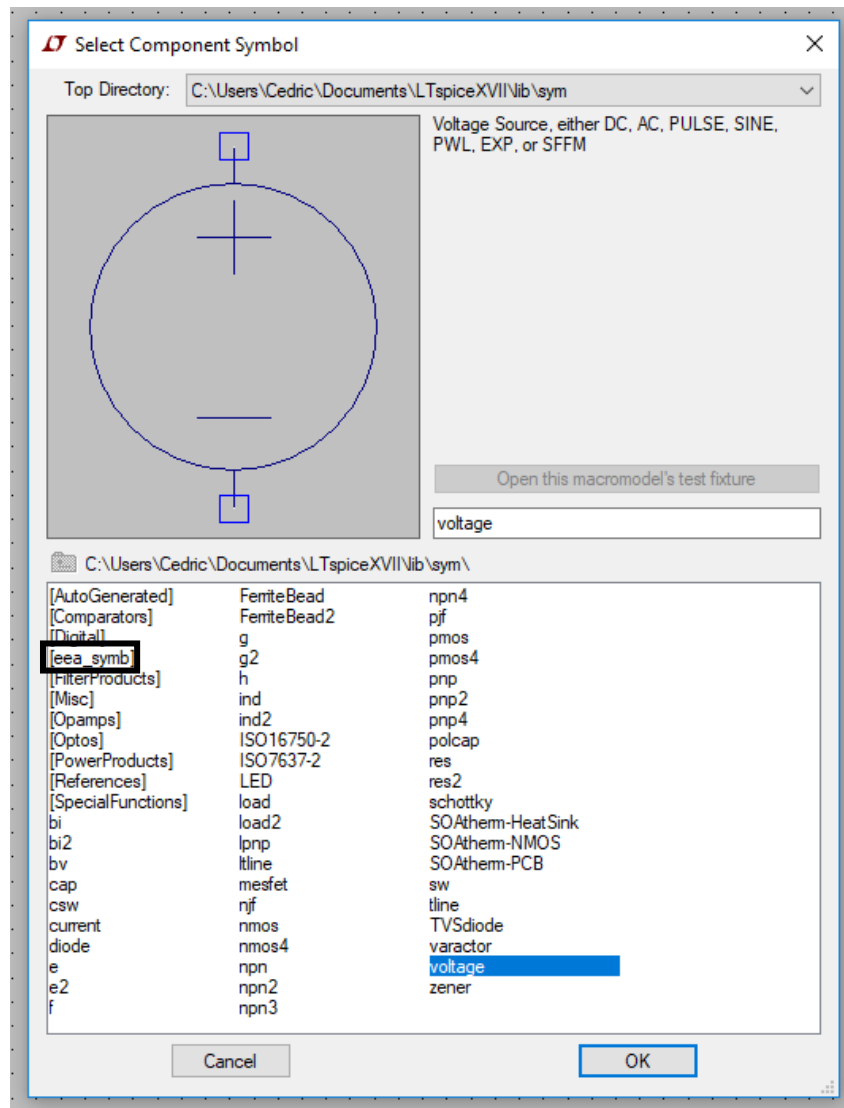


d. Insertion d'un composant

La barre d'outils présentée dans la partie précédente contient l'essentiel des opérations que vous aurez à utiliser pendant vos travaux d'autonomie. Cependant, afin de faciliter l'usage du logiciel, il est conseillé de se familiariser avec les raccourcis proposés pour la plupart des fonctionnalités de LTspice, en voici quelques un :

- Fil (F3)
- Masse (G)
- Label (F4)
- Résistance (R)
- Capacité (C)
- Inductance (L)
- Diode (D)
- Autres composants (F2)

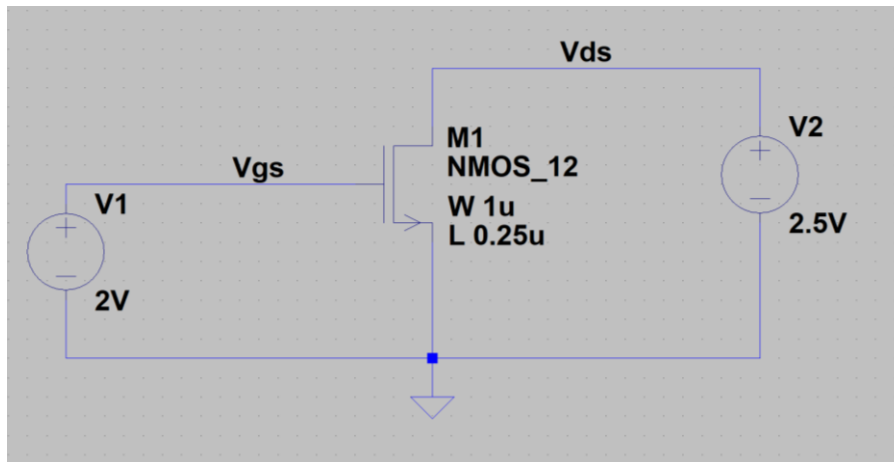
Lorsque vous choisissez d'insérer un autre composant (F2), la fenêtre suivante apparaît :



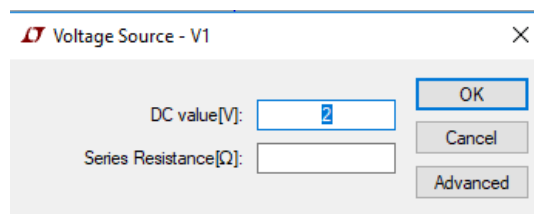
Une fois cette fenêtre ouverte, choisissez un composant et cliquez sur OK pour l'insérer sur le schéma. De plus, vous pouvez remarquer un dossier nommé **eea_symb**, c'est là que vous trouverez les composants nécessaires pour les travaux d'autonomie.

e. Votre premier schéma

Recopiez le schéma suivant :

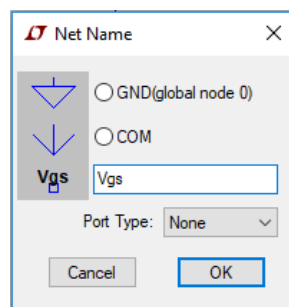


Une fois les composants disposés et le schéma complété, il est nécessaire de régler les valeurs de composants. Pour cela, il faut effectuer un clic droit sur le composant puis compléter la fenêtre qui apparaît (voir l'exemple ci-dessous):



Exemple de configuration d'un composant

On peut également donner des noms apposés sur les fils reliant le transistor et les deux alimentations. Il s'agit de « *Label Nets* ». Il existe plusieurs possibilités pour les ajouter : Effectuer un clic droit sur le fil et choisir « *Label Net* », aller dans le menu Edit ou utiliser le raccourci F4. Dans tous les cas, une fenêtre s'ouvre, complétez-la et placez ensuite le label à l'endroit souhaité.



Remarque : Dénomination des puissances pour les valeurs de composants.

f	p	n	u ou μ	m	k	meg	g	t
femto	Pico	Nano	Micro	Milli	Kilo	Mega	Giga	Tera

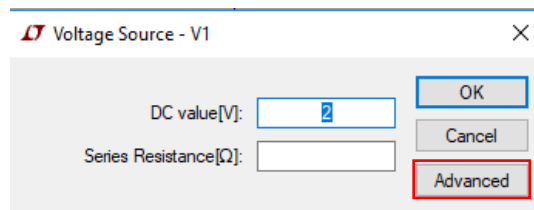
Vous devriez maintenant être capable de dessiner n'importe quel circuit sur le logiciel LTSpice.

Remarque : pour utiliser les transistors présents dans la librairie `eea_symb`, il est indispensable d'indiquer au logiciel que vous utilisez cette librairie. Pour cela, cliquer sur `.op` puis taper le texte suivant : `.inc eea.lib`
Ensuite, validez et placez cette directive sur le schéma.

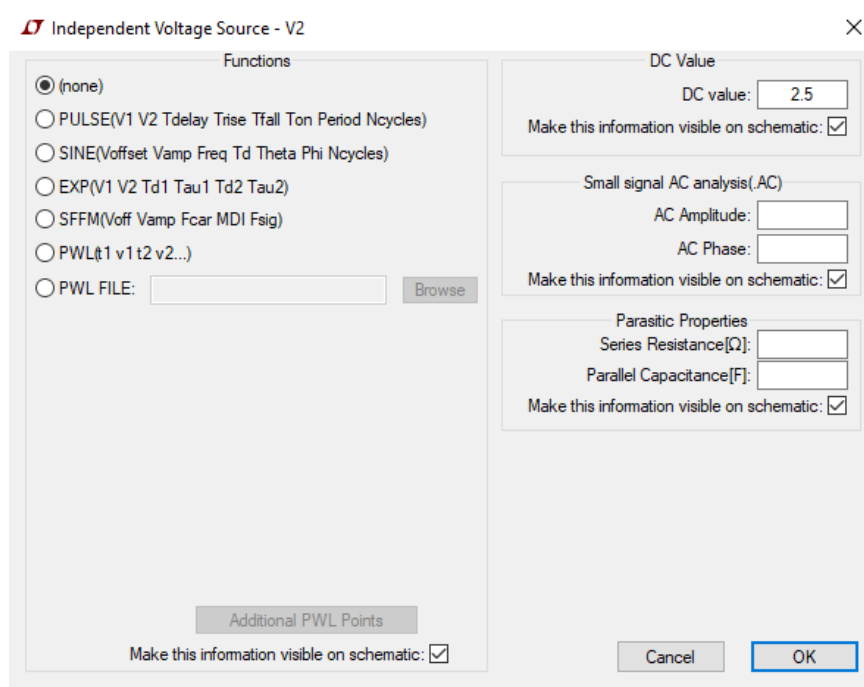
4- La simulation

Nous allons maintenant nous intéresser à l'aspect simulation sous LTSpice. Plusieurs modes de simulation sont possibles, les plus utilisés sont : analyse DC (variation d'une tension ou d'un courant), analyse AC (variation de la fréquence), transient (variation du temps), paramétrique (variation d'un paramètre en exécutant N fois une autre analyse).

Pour chaque type d'analyse, il est important de configurer correctement les générateurs de tensions afin de fournir le bon stimulus à la simulation. Sous LTSpice, un seul type de générateur de tension existe (nommé *voltage* dans les composants). Lorsqu'on souhaite configurer ce composant, la fenêtre par défaut (ci-dessous) permet uniquement de configurer une source de tension continue.



Cependant, un large choix de configurations apparaît en choisissant le mode avancé (cliquez sur *Advanced*). La figure ci-dessous présente la fenêtre de configuration en mode avancé :



Nous n'utiliserons que certains types de générateurs : DC, PULSE, SINE.

DC Générateur de tension continue

DC value : amplitude continue

Utilisation : Analyse DC, temporelle

PULSE Générateur d'impulsion et de signaux carrés (analyse temporelle), ...

Paramètres : - Vinitial, Von = tensions continues

- Tdelay = délai

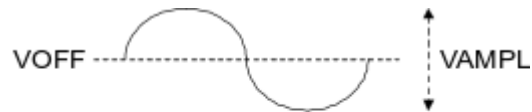
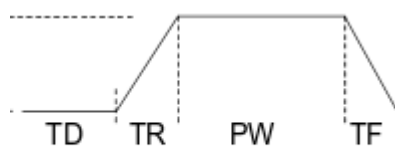
- Trise = temps de montée

- Tfall = temps de descente

- Ton = temps à l'état Von

- Tperiod = durée de la période

- N cycles = nombre de période



SINE Générateur de tension sinusoïdale (analyse AC ou temporelle)

Paramètres : - DC offset

- Amplitude

- freq = Fréquence

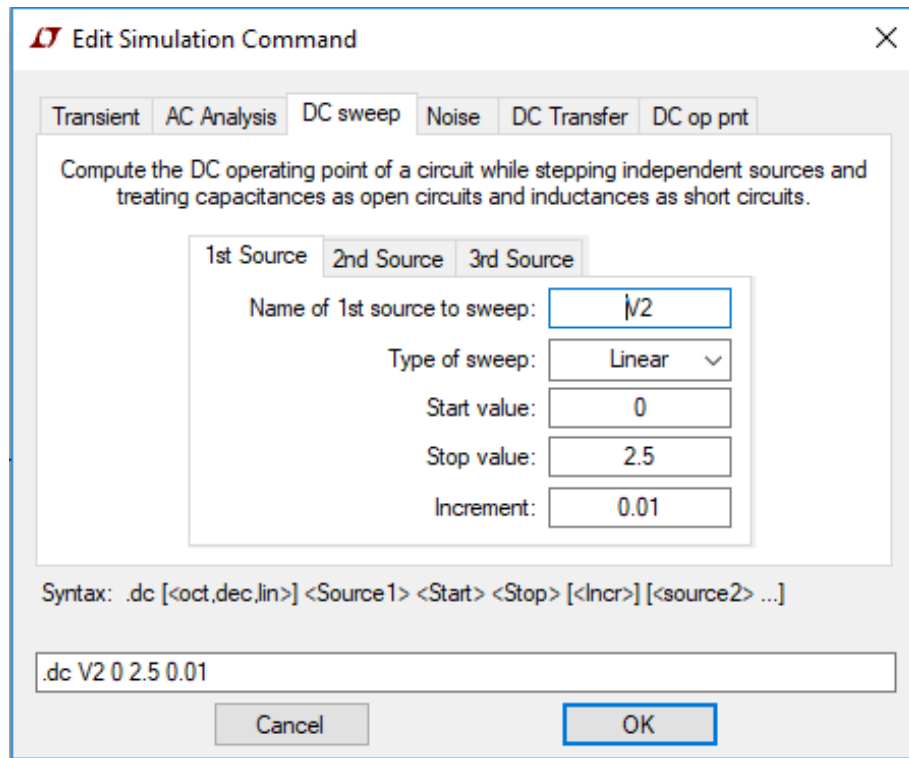
- Tdelay = délai


Les autres paramètres ne seront pas utilisés.

Une fois le générateur configuré, il faut paramétrer la simulation.

a. Analyse continue avec un paramètre variable (DC sweep)

Pour ajouter l'analyse DC sweep, allez dans le menu *Simulate* et cliquez sur *Edit Simulation Cmd*, puis paramétrez la simulation comme suit. Cette simulation permettra de tracer $I_d = f(V_{ds})$

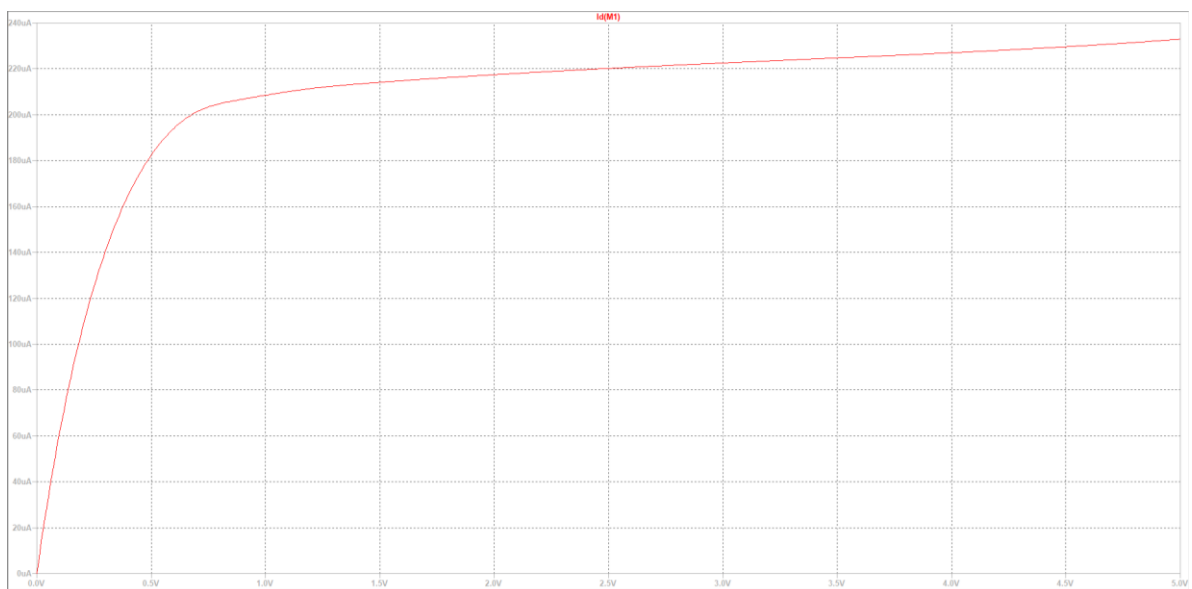
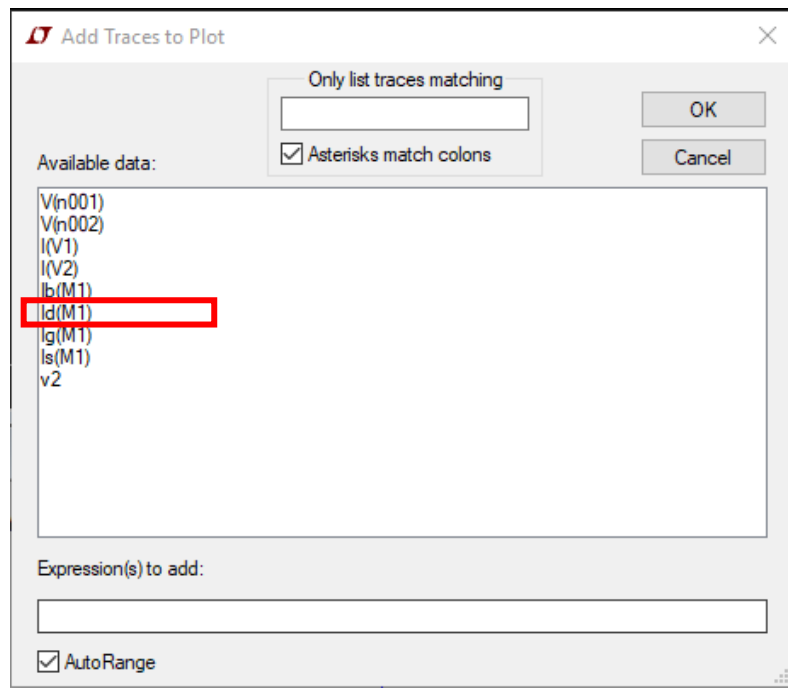


Cliquez sur OK, placez la commande sur le schéma et lancez la simulation (menu *Simulate* -> *Run* ou ). En cas d'erreur, voir le chapitre dédié (partie 6-).

Une fenêtre apparaît sur laquelle vous pouvez ajouter des courbes (Tension, courant ou formule). Pour cela, il est possible de cliquer directement sur le schéma ou d'effectuer un clic droit dans la fenêtre de simulation et de choisir *Add Traces*.

La fenêtre suivante apparaît avec l'ensemble des courbes qui peuvent être ajoutées ainsi qu'un champ permettant d'inscrire une formule ($20 \cdot \log(V_2)$ par exemple).

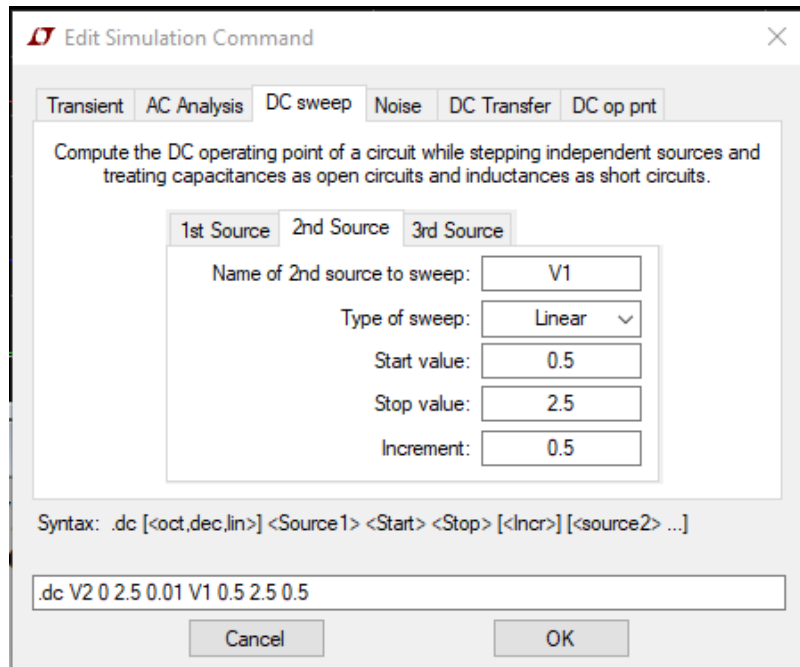
En ajoutant I_d (courant de drain du transistor) on voit alors apparaître la simulation que nous souhaitons



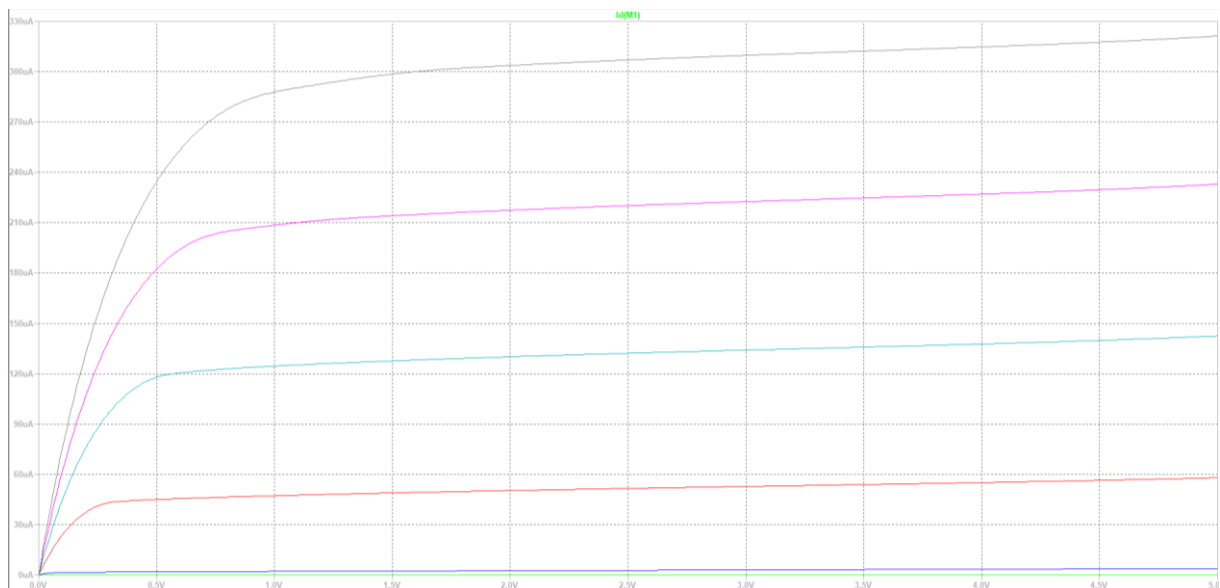
Remarque : Cette courbe pourra être interprétée à partir du TD2. Si la courbe s'affiche, c'est que le logiciel et les librairies sont bien installées.

b. Analyse paramétrique sur générateur

En utilisant le même schéma et en modifiant la commande de simulation, il est possible de lancer plusieurs simulations avec des paramètres différents (pour V1 par exemple). Pour cela, ouvrez de nouveau l'édition de la commande de simulation, laissez l'onglet *1st Source* inchangé et configurez l'onglet *2nd Source* comme suit :



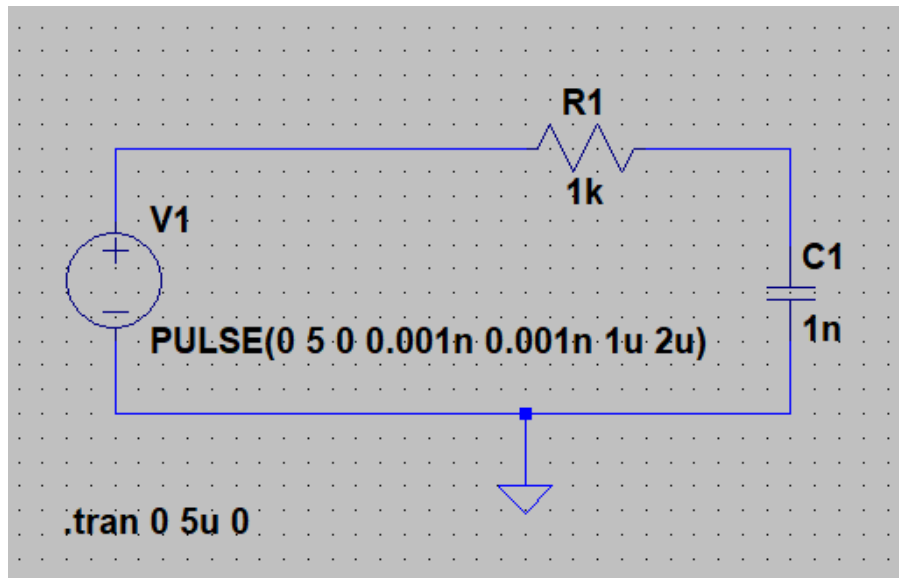
Lorsque vous relancez la simulation, plusieurs courbes apparaissent, une pour chaque valeur de V1 (Vgs du transistor).



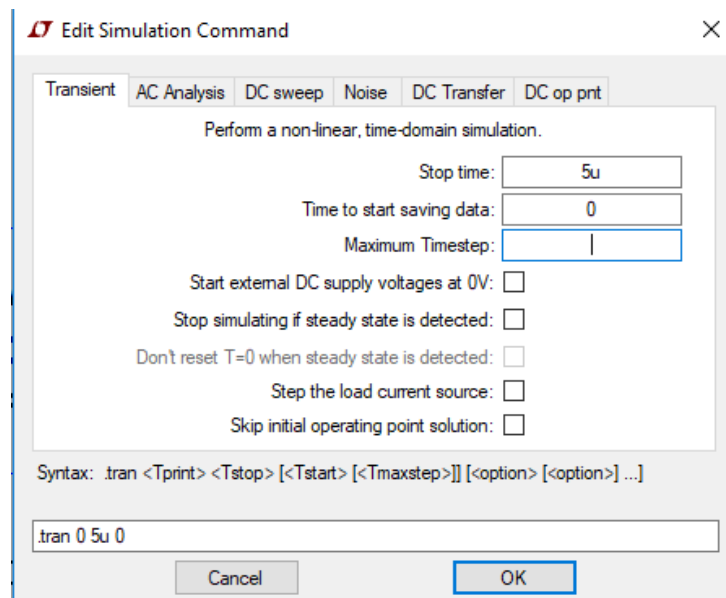
Remarque : cette simulation peut se faire sur n'importe quel type de composant (Résistance, Condensateur, ...) et affecter n'importe quel paramètre.

c. Analyse Temporelle (Transient)

Pour cette analyse, dessinez le schéma ci-dessous avec les éléments R, C, GND et Voltage. On configurera le composant Voltage en VPulse ($V_{initial} = 0$, $V_{on}=5$, $T_{delay} = 0$, $T_{rise}=0$, $T_f=0$, $T_{on}=1\mu$, $T_{period}=2\mu$). De cette manière, l'entrée est un créneau quasi-idéal (transition de durée presque nulle : il n'est pas possible d'indiquer 0 pour les temps de montée et de descente), de période $2\mu s$ et de durée à l'état haut de $1\mu s$ (rapport cyclique de 50%).



Sélectionnez l'analyse *Transient* dans l'édition de commandes de simulation (configurez Stop time à 5μ et Time to start saving data à 0). La durée de simulation sera donc de $5\mu s$ avec le pas de calcul automatique.

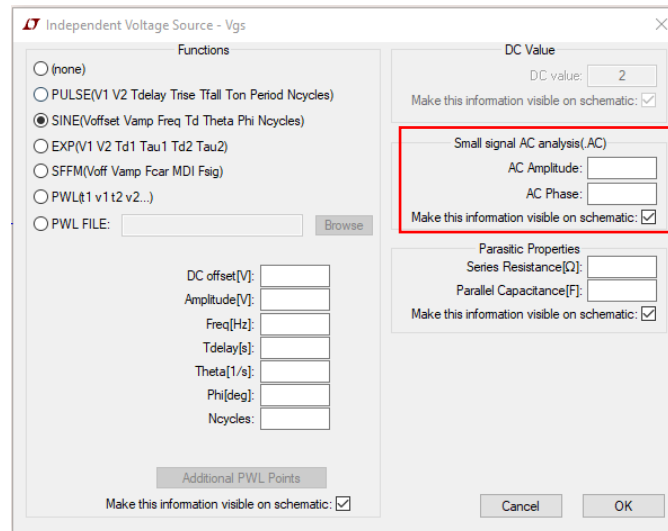


Remarque : L'option *Skip initial operating point solution* permet de ne pas afficher une durée initiale de simulation (état transitoire qu'on ne voudrait pas observer).

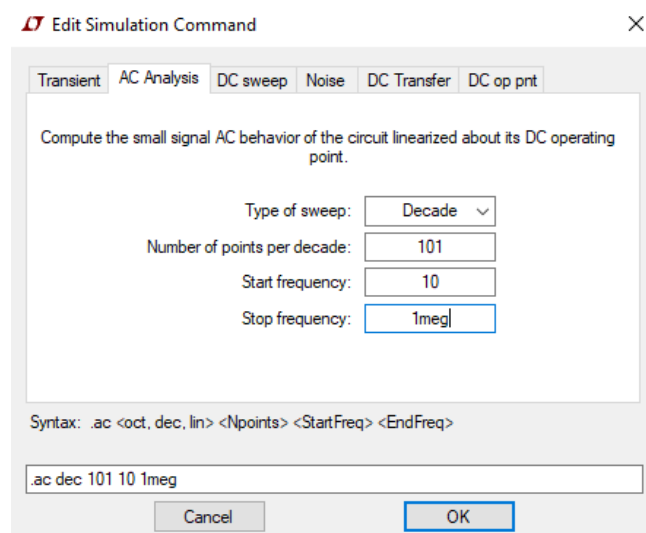
Lancez la simulation, ajoutez les courbes V_{in} et V_{out} et observez les charges et décharges de la capacité.

d. Analyse fréquentielle (AC)

Dans le schéma précédant, reconfigurez le générateur de tension dans la section « AC analysis » pour qu'il délivre une tension sinusoïdale de 1V d'amplitude (paramètre AC Amplitude)



Ensuite, ouvrez l'édition de commande de simulation, sélectionnez l'onglet *AC sweep* et paramétrez-le comme suit :



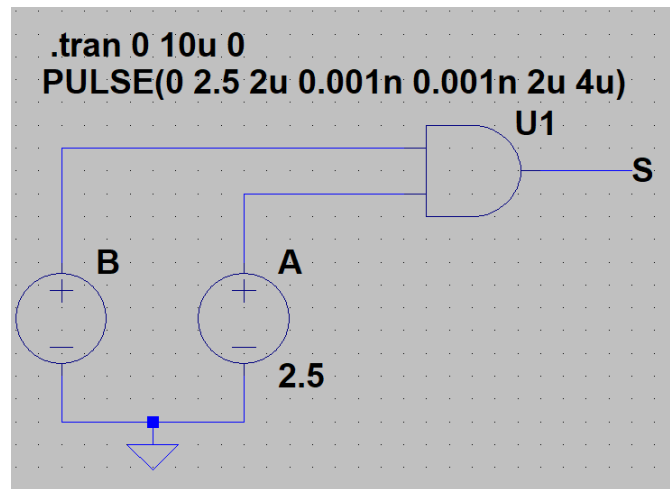
Lancez la simulation et observez le caractère passe bas du circuit RC. On peut utiliser des curseurs (pour mesurer la fréquence de coupure par exemple) et afficher le résultat avec des axes logarithmiques. Voir partie 5- pour les détails.

e. Simulation d'un circuit numérique

La simulation de circuits numérique est un peu particulière sur LTSpice. En effet, il n'existe pas de composants permettant de créer des stimuli simplement. Il est toutefois possible de faire ce type de simulation en utilisant des générateurs VPulse ou PWL. Pour plus de simplicité,

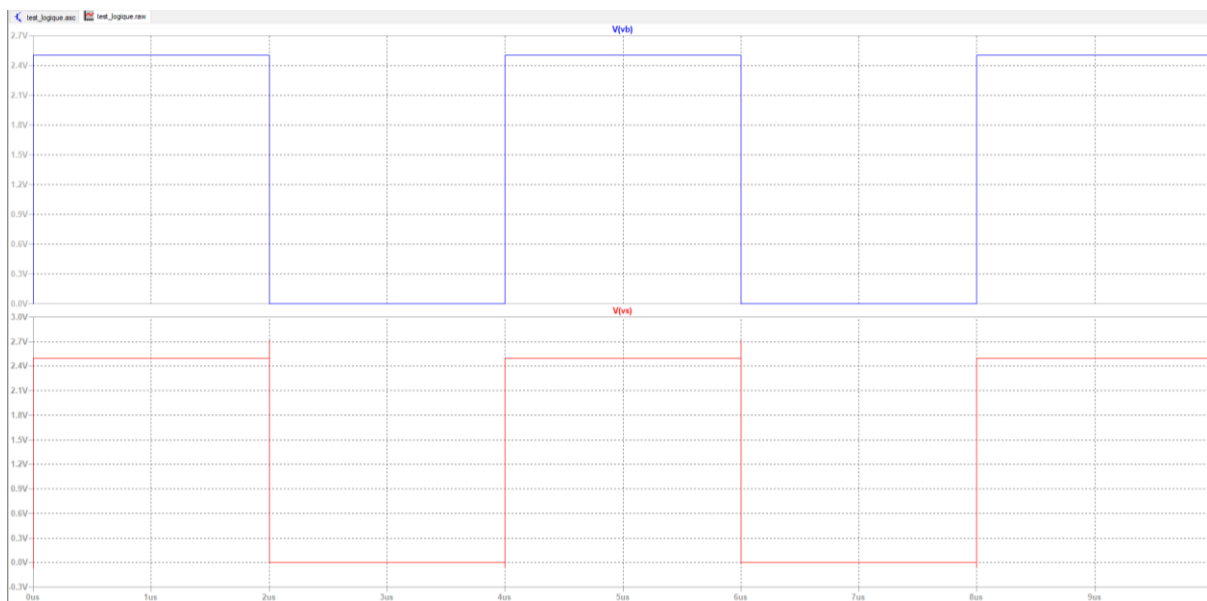
nous utiliserons uniquement des générateurs VPulse (composant « *voltage* » configuré en VPulse comme dans la partie 4-c). De plus, nous utiliserons les composants de la librairie eea.

Commencez par recopier le schéma ci-dessous.



Remarque : Il n'est pas nécessaire d'ajouter la librairie eea.lib sur ce schéma. En effet, seul les transistors nécessitent cette inclusion. Pour tous les autres composants (notamment les composants numériques), la librairie est implicitement ajoutée.

Lancez ensuite la simulation, ajoutez 1 un graphe (clic droit -> add Plot Pane) puis ajoutez V_B sur celui du haut et V_S sur celui du bas.



5- Les courbes

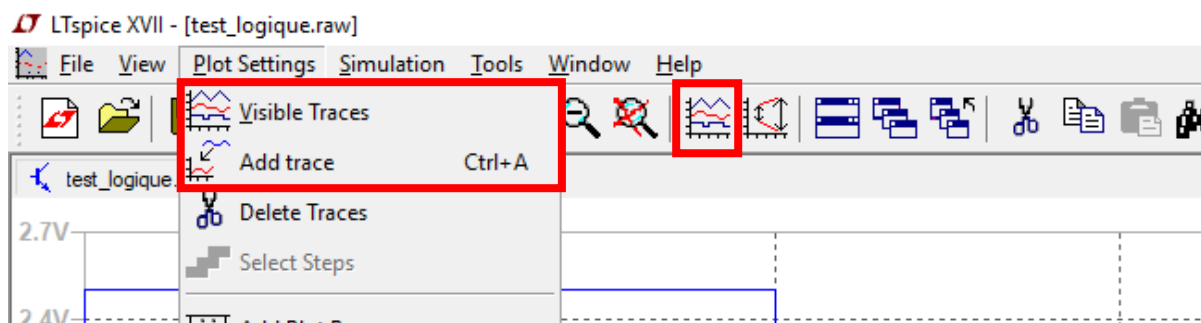
La fenêtre de visualisation de courbe s'ouvre automatiquement lorsque qu'une simulation est lancée sans erreurs. Nous allons dans cette partie revoir l'ensemble des possibilités qu'offre cet outil de visualisation.

Testez ces fonctionnalités présentées dans cette partie avec une analyse AC du schéma de la partie 4-c

a. Affichage et calculs

La première chose que l'on remarque lorsque la fenêtre s'affiche est qu'elle est vide. En effet, il faut ajouter manuellement les courbes que l'on souhaite visualiser. Pour cela, il existe plusieurs méthodes :

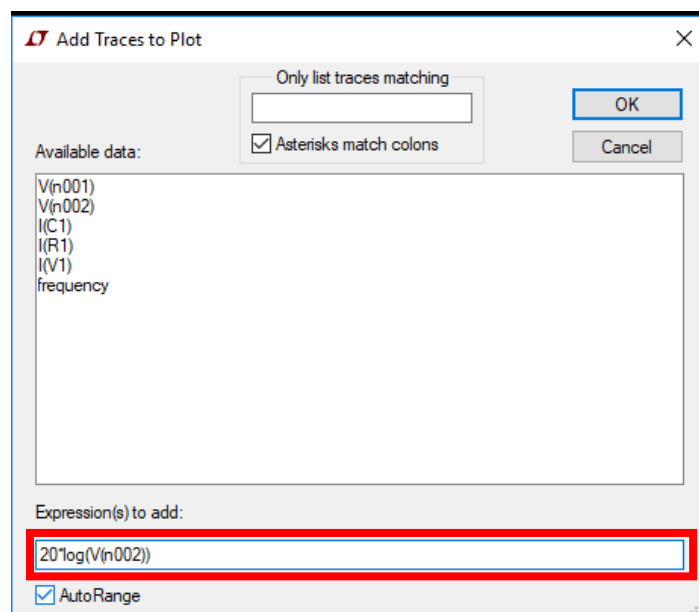
- Retourner sur le schéma et cliquer sur un point spécifique (permet d'afficher tension ou courant).
- Effectuer un clic droit et choisir *Add Traces*.
- Faire un choix parmi les suivants (encadrement rouge) sur l'image ci-dessous.



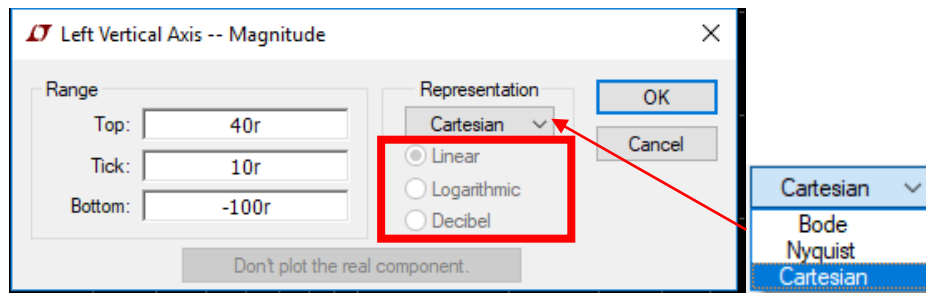
Lorsqu'une courbe est affichée, il est possible d'y ajouter des marqueurs (pour représenter les points de mesure) :

- clic droit -> view -> Mark data point
- menu plot setting -> Mark data point

Il est également possible d'afficher des calculs plutôt que des courbes simples. Pour cela, ouvrez la fenêtre d'ajout de courbes et inscrivez une expression dans la case disponible en bas :



Il faut ensuite régler les axes pour un affichage correct. Pour cela, effectuez un clic droit sur l'axe des ordonnées à gauche, la fenêtre ci-dessous devrait apparaître.

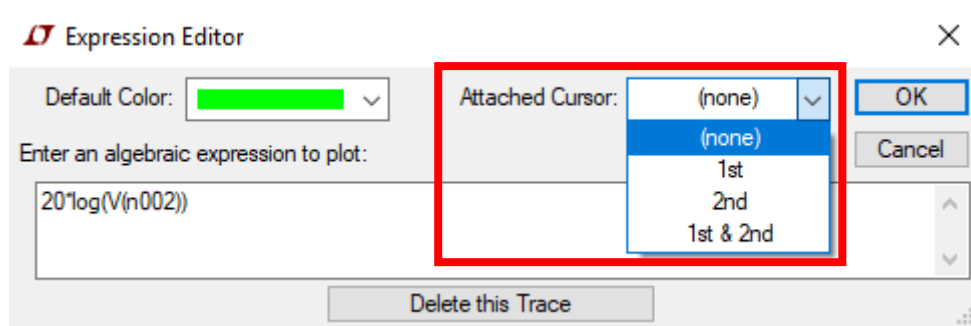


On peut noter ici que plusieurs options sont disponibles concernant la représentation des données sur l'axe. Elles permettent de régler l'affichage selon les besoins de la simulation (diagramme de bode, échelle logarithmique, ...).

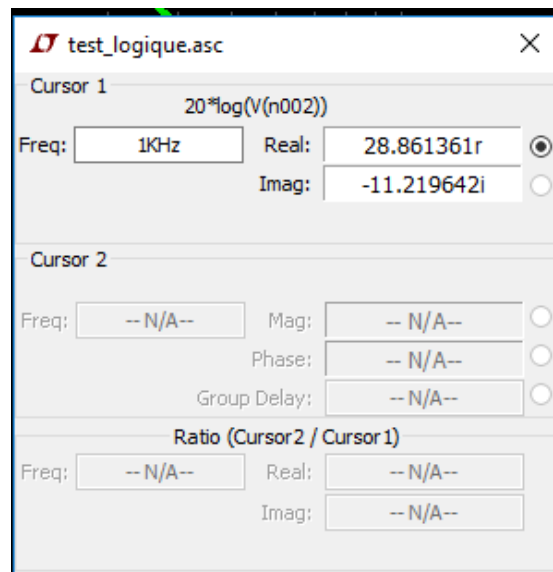
Enfin, des outils de zoom sont disponibles dans la barre d'outils. De plus, il est possible de zoomer directement sur l'affichage des courbes en maintenant clic gauche et en traçant un rectangle dans l'affichage.

b. Curseurs

Deux curseurs sont disponibles. Pour les activer, effectuez un clic droit sur le nom de la courbe pour faire apparaître la fenêtre suivante.



Ensuite, choisissez un curseur et validez. Sinon, un curseur s'active automatiquement avec un clic gauche sur le nom de la courbe. Lorsqu'un curseur est activé, la fenêtre suivante est affichée :



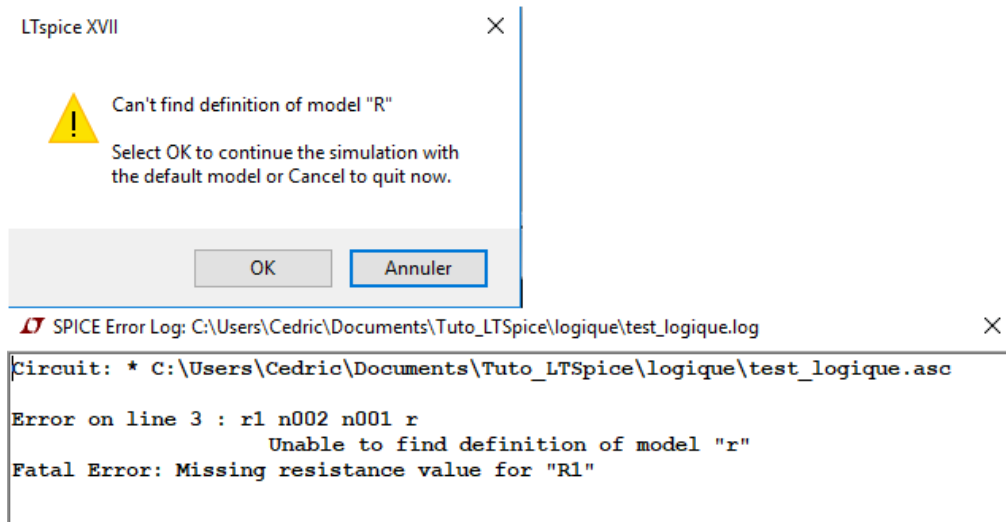
Enfin, pour déplacer le curseur, placez le pointeur de la souris dessus et déplacez-le en maintenant clic gauche.

6- Les erreurs classiques

Cette dernière partie indique les erreurs les plus classiques dans LTSpice.

a. Oubli de certains paramètres

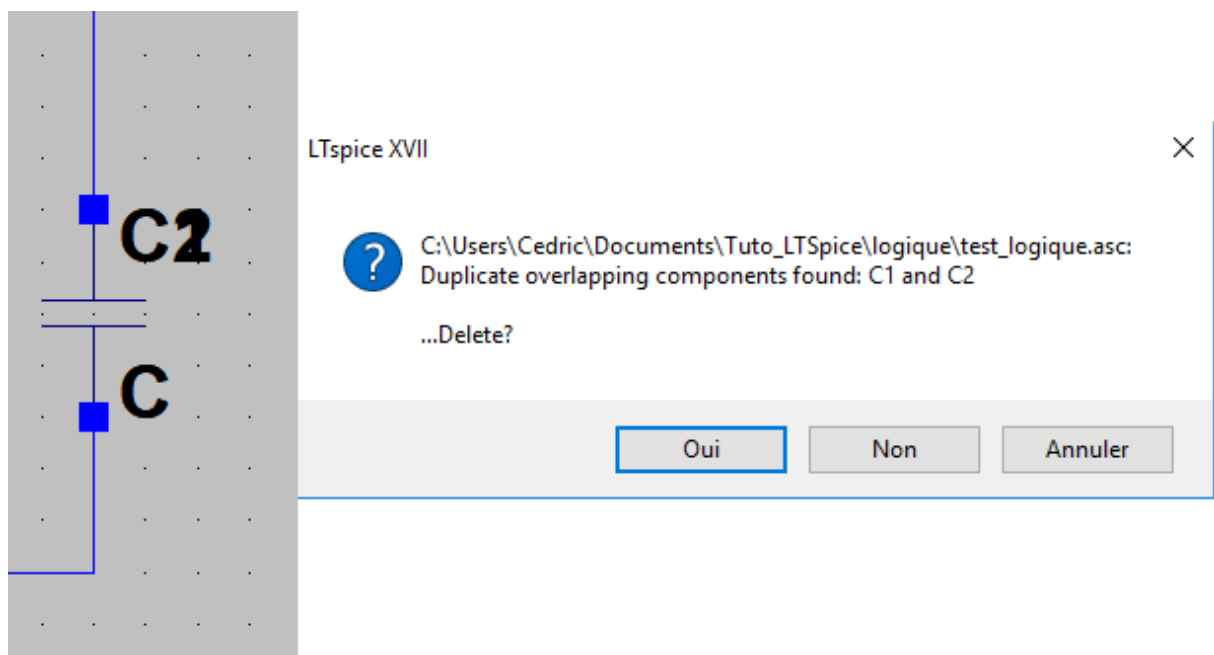
L'erreur la plus fréquente correspond à l'oubli de certains paramètres. Cet oubli peut être une valeur de résistance, de condensateur ou autre. Lorsqu'une simulation est lancée, les fenêtres ci-dessous s'afficheront.



Pour corriger ce type d'erreur, il suffit de compléter le schéma.

b. Multiples composants

L'ajout de multiples composants superposés est également une erreur fréquente (attention au double clic). Elle se manifeste comme suit :



c. Autres erreurs

D'autres erreurs peuvent se glisser dans vos schémas, pour analyser les erreurs et les corriger, il est indispensable d'apprendre à lire la fenêtre de log Spice disponible :

- view -> SPICE LOG ERROR

d. Stabilité de l'affichage des courbes

Il arrive que la fenêtre de visualisation des courbes scintille après avoir changé plusieurs fois de fenêtre (internet, word, ...) Cela n'est pas vraiment un problème, il suffit en général de cliquer droit sur l'icône LTSPice de votre barre des tâches (barre en bas du bureau pour windows).