

Simulations électriques avec SIMetrix

1 Table des matières

2	Objectifs :.....	1
3	Introduction:.....	1
4	Mise en œuvre du simulateur SIMetrix:.....	2
4.1	Analyse en régime continu:.....	2
4.2	Analyse en petits signaux (source harmonique) :	4
4.3	Analyse transitoire :.....	5
4.4	Analyse paramétrique :	6
4.5	Simuler une fonction de transfert	6
4.6	Utiliser des paramètres dans vos expressions	7
4.7	Analyse de Monte Carlo	7

2 Objectifs :

L'objectif de ce tutoriel est d'apprendre à utiliser un simulateur électrique que l'on utilise usuellement en conception de circuits électroniques à composants discrets ou intégrés. Les connaissances et savoir-faire acquis permettront de simuler les différents schémas électriques que vous concevrez durant les APP.

3 Introduction:

Traditionnellement, la conception des circuits électroniques repose sur la réalisation de maquettes dont on étudie le comportement réel par des mesures appropriées. Tous les ajustements possibles sont effectués sur la maquette, ce qui demande du temps et une grande pratique.

Lorsqu'il s'est agi de fabriquer des circuits intégrés, cette méthode s'est avérée inadaptée : le nombre de composants devenait trop important et il existait une trop grande différence entre la maquette et le circuit (en particulier au niveau des éléments parasites). Ainsi est né le besoin de programmes de simulation qui devaient permettre l'étude et la vérification des circuits avant fabrication. L'introduction de tels programmes a révolutionné l'industrie des composants intégrés et sans doute a-t-elle été à l'origine des progrès dans les circuits à très haute densité d'intégration.

SPICE (acronyme de Simulating Program with Integrated Circuits Emphasis) est né à Berkeley au début des années 70. Largement utilisé, ce programme est devenu un standard de fait dans le monde des outils de conception assistée par ordinateur (CAO). Bien qu'initialement conçu pour la conception de circuits intégrés, le moteur de simulation n'est autre qu'un solveur d'équations différentielles non linéaires. On peut l'appliquer à tout type de circuit électrique et la validité des résultats ne dépend que de la justesse des modèles de composants utilisés. On peut aussi bien, par **une analogie bien établie, simuler le comportement de systèmes non électriques**. De nombreuses versions commerciales ont vu le jour par la suite, en particulier depuis l'apparition des ordinateurs personnels susceptibles d'accueillir le programme au milieu des années 80.

La version que nous utilisons est une version commercialisée par la société SIMetrix (<http://www.simetrix.co.uk>). Cette version est actuellement pourvue de très nombreuses extensions. Outre les outils graphiques de pré- et post-traitement, cet outil permet aussi de simuler des circuits numériques et mixtes (où se côtoient des composants analogiques et digitaux), ainsi que des blocs fonctionnels (des 'boîtes noires') dont le comportement est librement décrit par l'utilisateur (Analog Behavioural). Divers autres outils sont associés au simulateur, comme un outil dédié aux circuits d'électronique de puissance (SIMPLIS).

Remarque : le programme de simulation ne suffit pas pour (bien) concevoir un dispositif. S'il aide (le 'A' de 'CAO') à la vérification du fonctionnement, le choix des solutions à mettre en œuvre reste de l'entière responsabilité du concepteur. La 'CAO' ne rend pas bon un mauvais concepteur ! La conception doit se faire en deux temps. Une première approche à l'aide de modèles simples est menée à la main. Ensuite seulement, le circuit est simulé (avec des modèles beaucoup plus sophistiqués et réalistes) pour étudier précisément son comportement et vérifier s'il satisfait toutes les spécifications demandées. Si ce n'est pas le cas, alors il faut remettre en cause les choix initiaux et modifier en conséquence l'architecture du circuit.

4 Mise en œuvre du simulateur SIMetrix:

Les simulations que nous allons effectuer se décomposent en trois étapes :

- 1) La création du schéma électrique du circuit (assemblage des composants) sur une interface graphique,
- 2) La définition du type de simulation (AC sweep, DC sweep, transient, etc.),
- 3) Et l'analyse des résultats des simulations.

4.1 Analyse en régime continu:

Dans un premier temps, il faut réaliser le schéma de la Figure 1 à l'aide de **SIMetrix**.

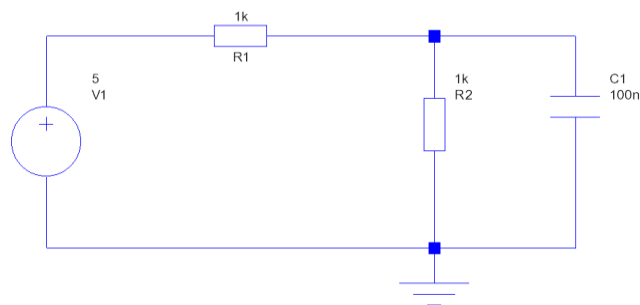


Figure 1: Pont RRC

Après avoir lancé le logiciel, apparaît la console SIMetrix/SIMPLIS Command Shell, allez dans le menu **File** et choisir **New → SIMetrix Schematic** (Figure 2).

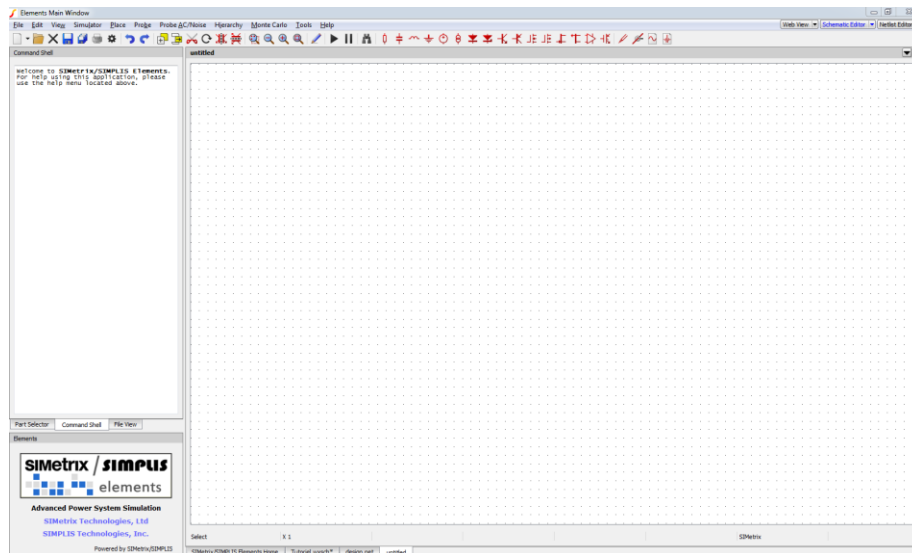


Figure 2 : Démarrage de SIMetrix et de la schématique

- 1) La sélection des composants se fait par le menu **Place** dans lequel on choisit les composants (ici **Passives** pour les résistances et le condensateur, **Voltages Sources** pour le générateur, **Connectors** pour la masse). Ces opérations sont facilitées par la présence d'icônes explicites dans le bandeau supérieur du logiciel. Un double clic sur les composants permet de modifier leurs valeurs.
- 2) Pour tracer des fils de liaison entre les composants, rapprocher la souris d'une borne d'un composant, la souris se transforme alors en stylo pour dessiner des fils. Cliquer sur cette borne puis sur celle de l'autre composant que vous voulez rejoindre. Cet outil est aussi accessible en allant dans le menu **Edit** puis **StartWire (F3)**. L'outil associé est disponible aussi via le bandeau supérieur. Pour relâcher l'outil qui permet les liaisons taper ESC
- 3) Le paramétrage de la simulation est réalisé en allant dans le menu **Simulator** en choisissant **Choose Analysis** (Figure 3).

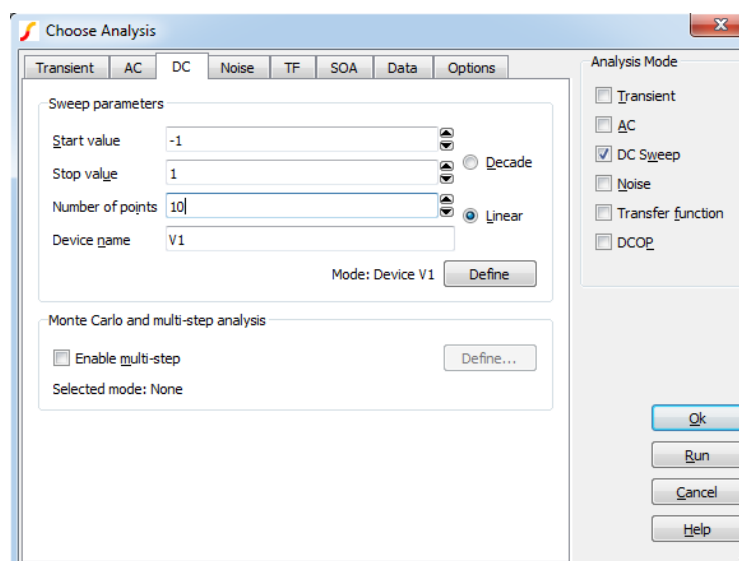


Figure 3: Choose Analysis – Analyse DC

- 4) Le premier exercice est une analyse en régime continu du circuit. Sélectionnez **DC Sweep** puis faites une variation de $V1$ de -1 V à $+1\text{ V}$ par pas de 0.1 V .
- 5) Les logiciels de simulation fonctionnent en convertissant toutes les informations de la schématique et les paramètres de simulation que vous avez renseignés graphiquement en une netlist SPICE. Le solver part de ce fichier pour faire les calculs. Observez ce fichier dans **Simulator** → **View netlist**. On y trouve :
 - a. Des directives de simulation commençant par « . », par exemple « .DC V1 -1 1 100m » veut dire que la simulation se fera en continu, $V1$ variant de -1 V à 1 V par pas de 100 mV .
 - b. La description du circuit sous la forme « NOM NOEUD1 NOEUD2 VALEUR ». Par exemple : « V1 V1_P 0 5 » décrit une source $V1$ entre les nœuds $V1_P$ et la masse, de valeur 5 V .
- 6) Lancer la simulation en sélectionnant **Run**.
- 7) Examiner les tensions aux divers nœuds du circuit en utilisant le menu **Probe (Voltage, Current in Device Pin, Power in Device, etc.)**. Les graphiques (images et données) peuvent être sauvegardés pour être réutilisés. On peut aussi placer des sondes de mesure dès la saisie des composants du circuit en utilisant le menu **Place** et puis **Probe**.
- 8) Que pouvez-vous conclure par rapport à vos calculs sur ce circuit (tensions, courants, puissances)?

4.2 Analyse en petits signaux (source harmonique) :

On effectue une analyse en petits signaux, pour cela on choisit tout d'abord un mode d'analyse AC pour la source $V1$. Pour éditer les caractéristiques de la source, double cliquer sur la source (Figure 5) et sélectionner **Enable AC**.

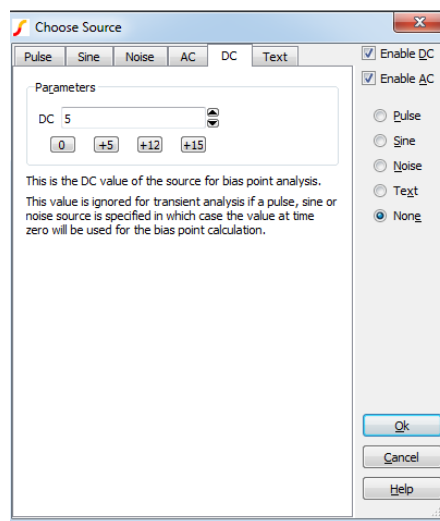


Figure 4 : $V1$ - Enable AC

La source peut varier de 1 Hz à 1 MHz (1 Meg) avec 21 pts par décade par exemple (Figure 5).

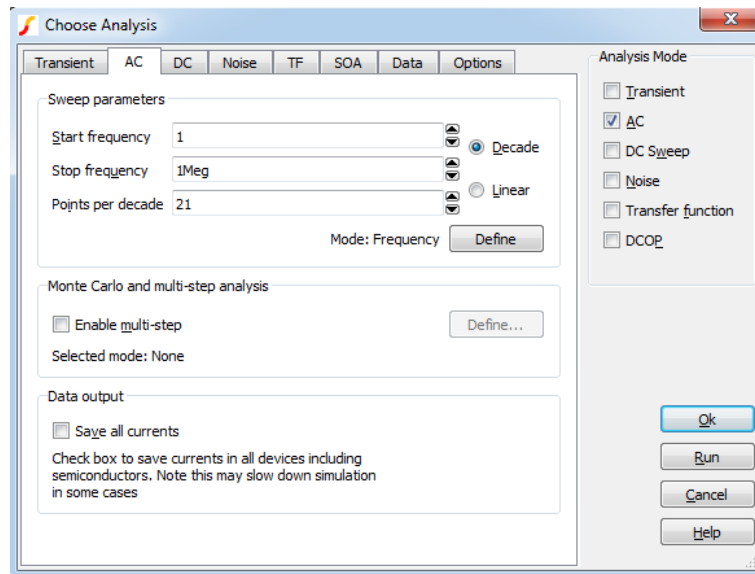


Figure 5 : Choose Analysis - Analyse AC

- 1) Lancer la simulation en sélectionnant **Run**.
- 2) Tracer la réponse du circuit en choisissant les bonnes sorties dans le menu **Probe**. Utiliser les curseurs (**Markers**) pour obtenir des valeurs de votre graphique.
- 3) Se familiariser avec le programme en tentant de répondre aux quelques questions ci-dessous (liste non exhaustive).
 - a. Tracer la réponse en phase et en dB,
 - b. Vérifier la fréquence de coupure à l'aide des curseurs.
 - c. Mesurer la pente du filtre.
 - d. Comparer les résultats de simulations et ceux de vos calculs

4.3 Analyse transitoire :

On effectue une analyse transitoire pour cela on choisit tout d'abord de définir les différents paramètres de l'échelon de tension pour la source V1. Pour éditer les caractéristiques de la source, double cliquer sur la source (Figure 6) puis sélectionner **Pulse**.

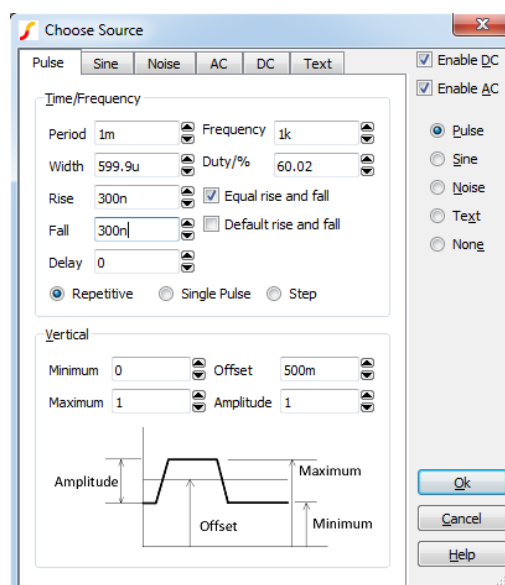


Figure 6 : V1 - Pulse

- 1) Editer les caractéristiques de la source. Créer un échelon de tension entre 0 et 1 V d'amplitude, de période $500\mu s$ et de rapport cyclique de 50%. Les temps de montée et de descente seront identiques et de $100ns$.
- 2) Lancer une simulation transitoire (**Choose Analysis**→Transient) d'une durée de 1ms.
- 3) Tracer la réponse du circuit. Les commandes sont accessibles par le menu **Probe**. Utiliser les curseurs (**Markers**) pour obtenir des valeurs de votre graphique. Vérifier la valeur de la constante de temps du réseau RC
- 4) Relancer la simulation avec d'autres paramètres d'analyse transitoire (modifier le signal de la source et les conditions de l'analyse).

4.4 Analyse paramétrique :

On peut faire varier un paramètre du montage et effectuer une succession de simulations en modifiant à chaque passe le paramètre en question. Les diverses analyses peuvent en outre être regroupées en attribuant à la source de tension l'ensemble des caractéristiques appropriées (analyses en continu, fréquentiel ou transitoire). Dans cet exemple, on fait varier $C1$ de $100nF$ à $1\mu F$ en 5 valeurs normalisées.

Pour cela, dans le menu **Simulator**, choisir **Choose Analysis** et sélectionner l'option **Enable Multi-Step** comme représenté sur la Figure 7. Générer la liste de valeurs par **List** et **Define list** (100n 220n 470n 680n 1000n).

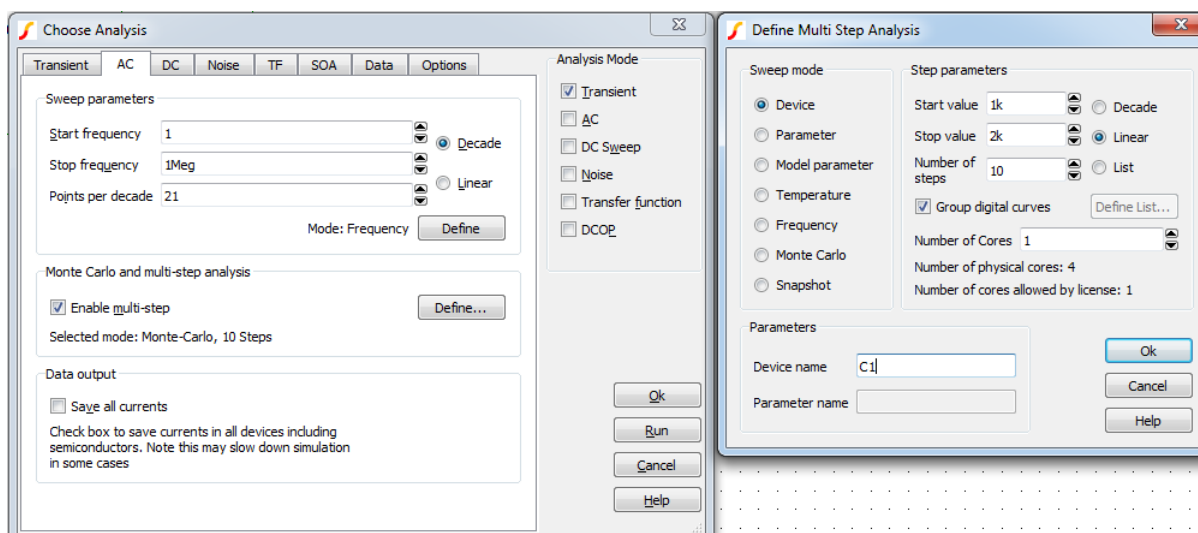


Figure 7 – Analyse paramétrique

- 1) Faire une analyse AC puis en régime transitoire.
- 2) Visualiser les résultats et les commenter.

4.5 Simuler une fonction de transfert

- 1) Calculer théoriquement la fonction de transfert du montage
- 2) Insérer sur le même schéma un bloc « Laplace Transfer function », que vous trouverez dans le menu **Place**→**Analog Behavioural**. Rentrez le modèle que vous venez de calculer.
- 3) N'oubliez pas de mettre une source et la masse puis simulez et comparez les résultats pour une analyse transitoire
- 4) Une source de divergence entre les modèles ou avec la réalité peut être le pas de simulation. Si celui-ci est trop important, les points de votre courbe seront espacés et celle-ci grossière et s'il est trop petit les calculs prendront beaucoup de temps. Pour optimiser la précision et le temps de calcul, les logiciels de simulation fonctionnent en général à pas variable. Les limites

hautes et basses peuvent être réglés dans le menu d'options avancées qu'on peut voir sur la Figure 8.

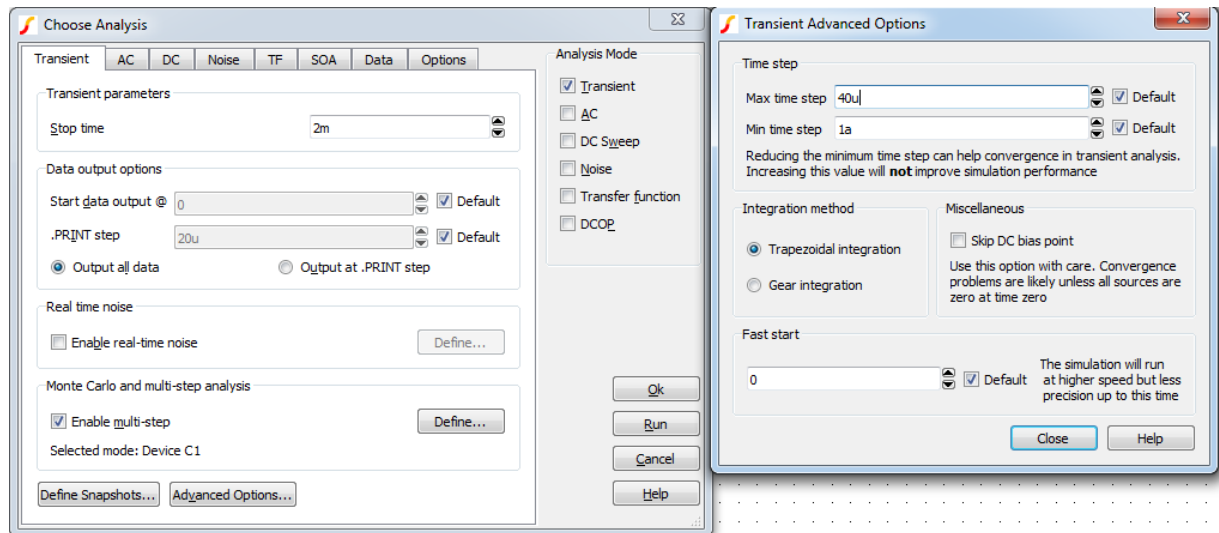


Figure 8 - Réglage du pas de simulation

5) Comparez également les résultats en mode AC

4.6 Utiliser des paramètres dans vos expressions

Vous pouvez avoir envie par exemple de définir une fonction de transfert du type

$$H(s) = \frac{G}{1 + \tau s}$$

C'est possible dans SIMetrix, et ces paramètres sont aussi susceptibles d'être variés dans une analyse « Multi Step » :

- 1) Double cliquez sur votre bloc « Laplace Transfer Function » pour le modifier afin qu'il corresponde à la fonction de transfert ci-dessus.
- 2) Si vous essayez de simuler, les paramètres G et τ étant inconnus, le logiciel va vous retourner une erreur. Pour les renseigner, tapez F11 puis rajouter une ligne
`.PARAM G 0.5`
Faites de même en renseignant τ dont vous avez précédemment relevé la valeur.
- 3) Simulez et comparez encore une fois la réponse indicielle.

4.7 Analyse de Monte Carlo

Pour étudier l'impact des tolérances des composants sur la réponse d'un circuit, une analyse classique est celle de Monte Carlo. Celle-ci consiste en un tirage aléatoire de valeurs dans un intervalle donné et d'effectuer différentes simulations. Vous pouvez trouver un exemple de mise en œuvre dans les tutoriels de SIMetrix en ligne dont le lien est dans le menu d'aide du logiciel.

- 1) Faites une analyse petits signaux du circuit en prenant 1% pour la tolérance des résistances et 5% pour celle du condensateur par exemple
- 2) Quelle précision peut-on attendre sur le gain ? Sur la fréquence de coupure ?