

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE
TOULOUSE

***Guide de démarrage du logiciel
Cadence***

Alexandre Boyer
alexandre.boyer@insa-toulouse.fr

Janvier 2009

Ce document a pour but d'aider à la prise en main du logiciel Cadence v5.1, utilisé sous Unix, pour de la saisie de schématique et de la simulation de circuits CMOS. Le design kit AMS Hit Kit C35 est utilisé dans les exemples. Vous pouvez aussi accéder depuis l'AIME à toutes les documentations du logiciel Cadence et du design kit.

Contenu

Guide de démarrage du logiciel Cadence	1
I. Présentation du logiciel Cadence.....	2
II. Présentation du design kit.....	3
III. Créer son environnement de travail	4
IV. Créer une librairie	5
V. Créer une cellule de travail.....	6
VI. Créer une schématique	7
VII. Lancement de simulations et affichage des résultats.....	9
1. Simulation transitoire	10
2. Simulation DC.....	11
3. Simulation PSS.....	14
a. Principe de la simulation PSS	14
b. Simulation PSS sous SPECTRE RF	14
c. Analyse de produits d'intermodulation par une simulation PSS	18
4. Types de simulation proposées par SPECTRE/SPECTRE RF	19
5. Opérateurs mathématiques	20
VIII. Création d'un symbole.....	22
IX. Simulation paramétrique.....	24
X. Analyse des corners	25
XI. Liste des raccourcis clavier sous Virtuoso Schematic Editor	27
XII. Support local à l'AIME	27

I. Présentation du logiciel Cadence

L'outil cadence est une chaîne complète de conception qui propose un ensemble de logiciels répondant à la quasi totalité des besoins dans les domaines :

- de la conception de circuits intégrés,
- de la simulation de haut niveau,
- du dessin "full custom" d'un circuit.

Cet environnement de travail contient environ 480 exécutables, contenus dans une arborescence complexes. La figure 1 décrit le flot typique de conception du schéma électrique d'un circuit analogique dans l'environnement Cadence.

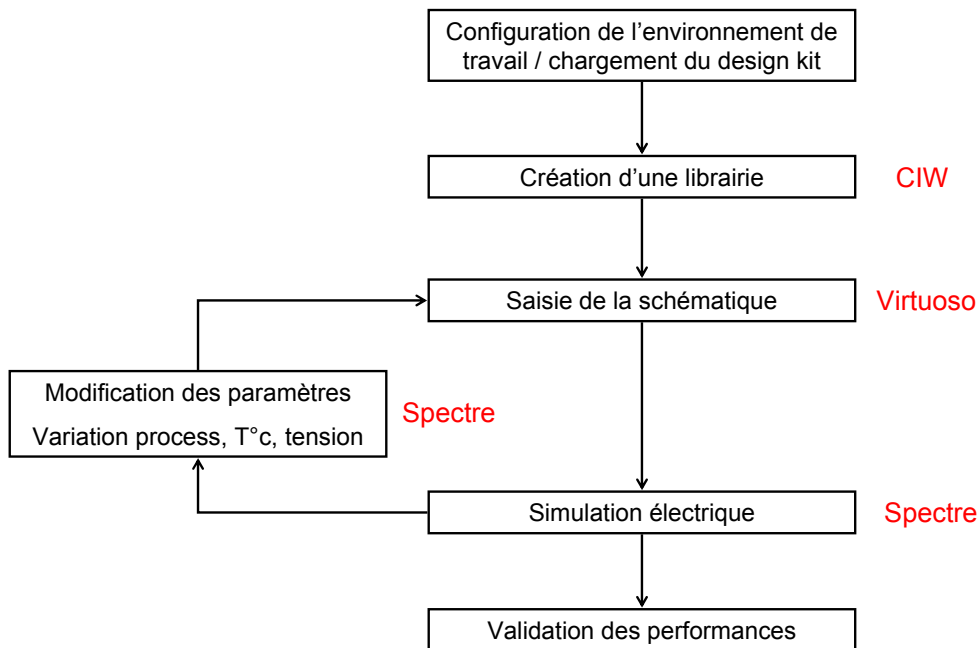


Figure 1 – Flot de conception du schéma électrique d'un circuit analogique sous Cadence

Le démarrage du logiciel doit inclure toute une phase de configuration de variables d'environnement pour qu'il se lance correctement. Un design kit (cf. II) est chargé au démarrage afin de relier le circuit simulé un process technologique. Les circuits qui vont être produits doivent être organisés au sein de bibliothèques, associées avec des design kits. L'environnement Cadence propose de nombreux outils à partir d'une interface commune, parmi lesquels on trouve des outils de saisie de schématique (comme Virtuoso Schematic Editor) et de simulation électrique (comme Spectre). Dans le cadre de cet APP, nous nous limiterons à ces quelques outils et à la production d'une schématique électrique répondant à un cahier des charges. Ce flot ne représente que la première partie du flot de conception complet d'un circuit, qui inclut la phase de layout, de vérification et de simulation post-layout.

II. Présentation du design kit

L'utilisation d'un design kit est nécessaire lors des phases de conception d'un circuit intégré, qui doit se faire en accord avec une technologie de fabrication existante. Un design kit réunit l'ensemble des informations reliées à un process technologique, permettant de simuler un circuit et de le router. Il contient ainsi l'ensemble des modèles électriques des composants élémentaires pouvant être fabriqués à l'aide du process technologique (par exemple, des transistors MOS et bipolaires, des résistances, des inductances et des capacités intégrées, des entrées-sorties I/O).

Dans le cadre de cet APP, nous allons utiliser un design kit fourni par la société Austria Mikro Systems (AMS), fondeurs de circuits en technologies CMOS et BiCMOS. Le design kit employé s'appelle AMS C35 HIT Kit v3.7. Il inclut des bibliothèques complètes de design reliées au process technologique CMOS AMS 0.35 µm, ainsi qu'un ensemble de scripts permettant de configurer automatiquement l'environnement Cadence.

Parmi les bibliothèques proposées, nous allons utiliser dans le cadre de cet APP les bibliothèques liées au process CMOS AMS 0.35 µm à 4 niveaux de métaux C35B4. Ce design kit contient les bibliothèques suivantes :

Nom des bibliothèques	Contenu des bibliothèques
CORELIB	Digital Standard Cells
CORELIB_3B	3-Bus Digital Standard Cells
IOLIBC_3B_3M	3-Bus Digital I/O Bidirectional Buffers and Power Pads
IOLIBC_3B_4M	3-Bus Digital I/O Bidirectional Buffers and Power Pads

IOLIBC_ANA_3B_3M	3-Bus Analog Power Supply and Analog I/O Pads
IOLIBC_ANA_3B_4M	3-Bus Analog Power Supply and Analog I/O Pads
IOLIBC_3M	Digital I/O Bidirectional Buffers and Power Pads
IOLIBC_4M	Digital I/O Bidirectional Buffers and Power Pads
IOLIBV5_3M	Digital I/O Bidirectional Buffers and Power Pads, 5 V supply
IOLIBV5_4M	Digital I/O Bidirectional Buffers and Power Pads, 5 V supply
A_CELLS	Analog Standard Cells (Symbols and Layout Frames)
PRIMLIB	Primitive devices (NMOS, PMOS, resistors, capacitors)
PRIMLIBRF	RF Primitive devices (NMOS, PMOS, resistors, capacitors, inductors)
PACKAGES	Package models (wire inductance and resistances)
SPIRALS_3M	Inductors
SPIRALS_4M	Inductors

On ajoutera aussi la librairie analogLib qui n'est pas incluse dans ce design kit, mais qui inclut l'ensemble des sources, des symboles de tension et d'alimentation, d'éléments passifs et actifs non reliés à des diodes.

Dans ce design kit, les modèles des transistors CMOS sont inclus dans le fichier cmos53.scs, et sont fournis dans différentes conditions de process (condition typiques et différentes conditions de pire cas). Les modèles de ce fichier utilisés dans le cadre de ce TP seront :

- modn : modèle NMOS de base
- modp : modèle PMOS de base
- modnrf : modèle NMOS RF
- modprf : modèle PMOS RF
- nd : modèle diode NMOS
- pd : modèle diode PMOS

Dans les librairies PRIMLIB, PRIMLIBRF et SPIRALS_4M, vous trouverez des modèles d'éléments passifs intégrés (résistances, capacités, inductances). Dans la librairie IOLIBC_ANA_3B_4M, vous trouverez des modèles pads d'entrées sorties.

Vous trouverez toutes les informations sur les modèles proposés par le design kit AMS C35 HIT Kit v3.7 sur le site de l'AIME (accès local uniquement).

III. Créer son environnement de travail

Avant le lancement du logiciel Cadence servant à la saisie de la schématique, il convient de charger le design kit, à l'intérieur d'un répertoire personnel (le chargement du design kit va consister à écrire plusieurs fichiers dans son propre répertoire). Vous pouvez créer un nouveau répertoire à partir de la console à l'aide de la commande : **mkdir mon_repertoire**. Placez vous ensuite sous ce nouveau répertoire en tapant **cd mon_repertoire**. De là, on va pouvoir lancer le logiciel CADENCE.

Dans un premier temps, on lance l'environnement de travail en tapant la commande **ams370**. Cette commande lance l'environnement pour la version 5.1 de Cadence, avec le design kit version 3.70 de chez AMS. Un grand nombre de variables d'environnement vont être configurées.

Dans un deuxième temps, il faut spécifier au logiciel Cadence la technologie utilisée. Celle-ci est spécifiée dans le design kit AMS C35 HIT-Kit. Pour cela, tapez la commande **ams_cds -tech c35b4 &**. Cette commande exécute un script qui va charger la technologie CMOS 0.35 μm à 4 niveaux de métaux.

L'environnement se lance, la fenêtre principale de l'outil appelée **Command Interpreter Window** (CIW), à partir de laquelle les outils peuvent être lancées et sur laquelle les différents messages apparaîtront (fig. 2). Le kit AMS étant installé dans votre répertoire, il sera possible de lancer Cadence lors des autres utilisations en tapant directement la commande **icfb &**. (icfb = Integrated Circuit Front-end to Back-end).

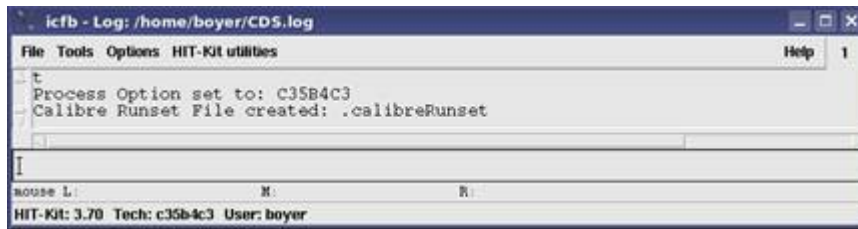


Figure 2 – Fenêtre principale CIW

IV. Créer une librairie

Nous allons maintenant créer la librairie dans laquelle vous allez stocker l'ensemble de vos schémas électriques. A partir de la fenêtre CIW, cliquez sur **File/New/Library**. La fenêtre présentée sur la figure 3 s'ouvre. Entrez le nom de votre librairie puis associez un fichier de technologie (tech file). Vous pouvez lui attacher le tech file c35b4.

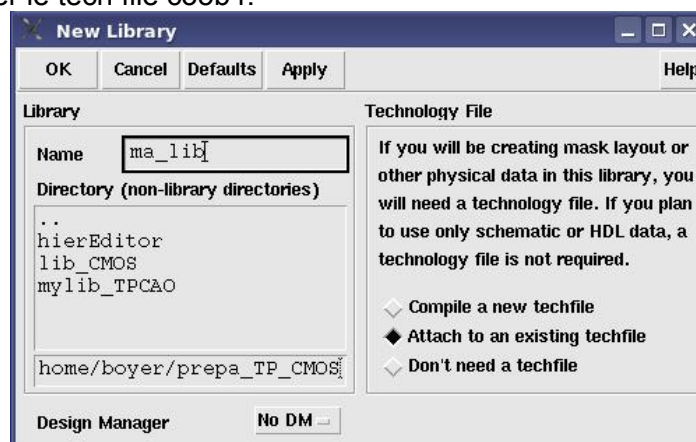


Figure 3 – Créer une nouvelle librairie

Votre nouvelle librairie apparaît désormais dans le **Library Manager**. Cette fenêtre est fondamentale car elle vous permettra de naviguer dans les différentes librairies de composants. Vous pouvez y accéder en cliquant sur **Tools/Library Manager ...** La fenêtre ci-dessous s'ouvre. Elle est constituée de 3 (voire 4) catégories :

- Library : contient l'ensemble des librairies ou bibliothèque de composants
- Category : elle peut être cachée en décochant Show Categories. Elle indique les différentes catégories de composants dans une librairie (Source, actif, passif, ...)
- Cell : contient la liste des composants d'une librairie
- View : contient les différentes vues d'un composant (schématique, symbole, layout, netlist VHDL)

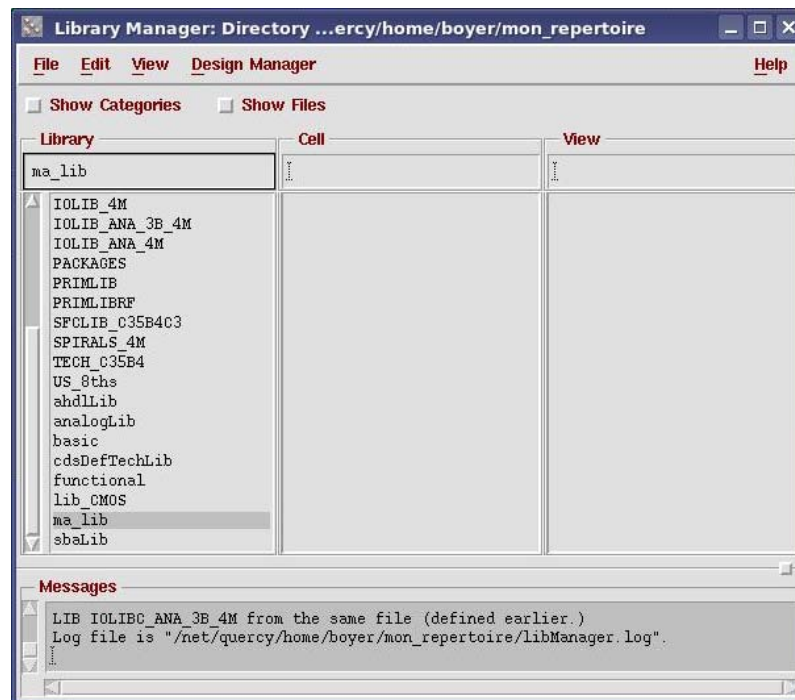


Figure 4 – Library manager

Si toutes les librairies désirées n'apparaissent pas, il est possible de les ajouter en cliquant sur **Tools/Library Path Editor** à partir de la fenêtre CIW. Il vous suffira d'ajouter les noms des librairies et leurs chemins d'accès.

V. Créer une cellule de travail

On peut maintenant créer la cellule de travail. Celle-ci va inclure une vue schématique du circuit d'amplification que nous cherchons à modéliser. Cliquez sur **File/New/Cellview**. La fenêtre ci-dessous s'ouvre. Spécifiez le nom de votre librairie, donnez le nom à la cellule de travail et de la vue que vous allez créer. Comme nous allons créer une schématique, vous pouvez donner comme nom à la vue : Schematic. On va utiliser l'outil **Composer-Schematic**.

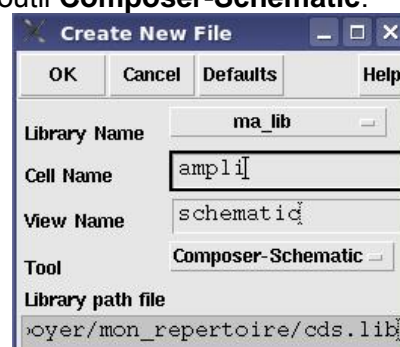


Figure 5 – Création d'une nouvelle cellule

Cliquez sur OK, et la fenêtre **Virtuoso Schematic Editing** s'ouvre. Elle est vide, nous allons pouvoir démarrer la saisie de la schématique. Vous pouvez aussi ouvrir une cellule et sa vue depuis **Library Manager** en sélectionnant la vue, puis en faisant un clic droit et en sélectionnant **Open**.

VI. Créer une schématique

On commence par ajouter un transistor MOS de type N. Pour ajouter un composant, cliquez sur

Add/Instance ou sur l'icône



La fenêtre présentée à la figure 6 s'ouvre. Il faut aller chercher le composant dans les bibliothèques proposées. Nous allons utiliser les composants inclus dans la bibliothèque **PRIMLIB**. On sélectionne dans la colonne **Cell** le composant nmos4 (pmos4 pour un transistor PMOS) et la vue Spectre.

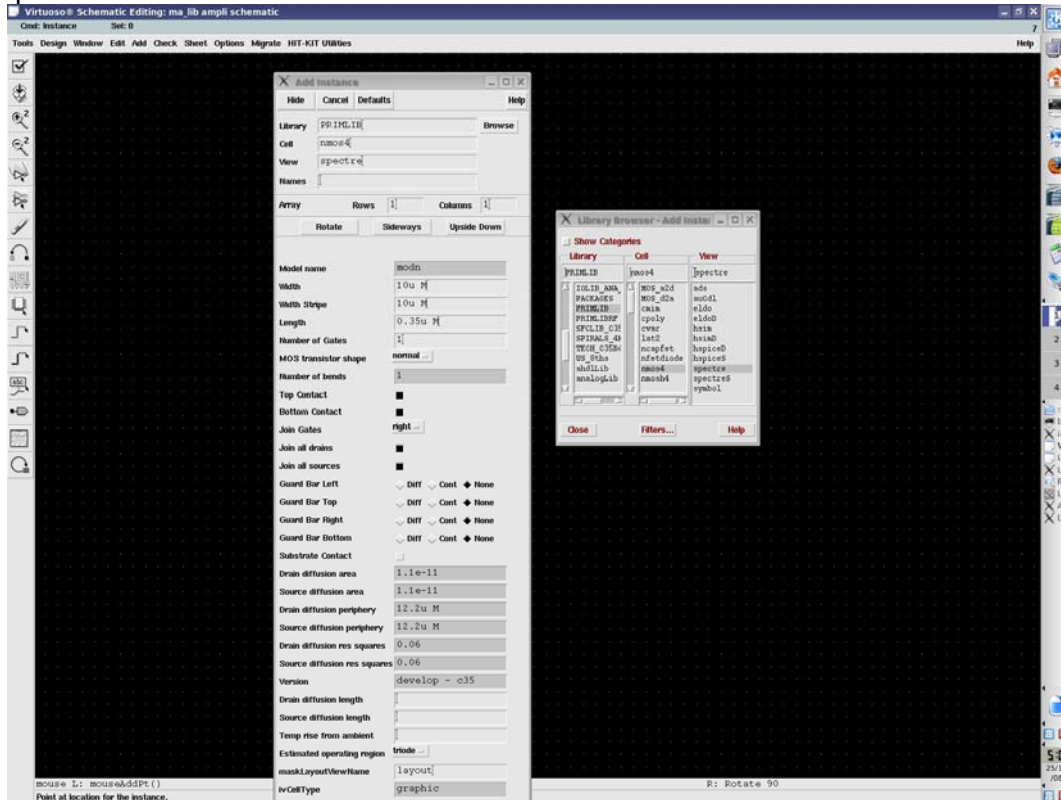


Figure 6 – Ajout d'un composant sur une schématique

Le composant apparaît en jaune tant qu'il n'est pas placé sur la schématique. Cliquez sur le bouton de gauche de la souris pour le placer, tapez sur la touche Esc pour arrêter le placement de ce composant.

On peut modifier les propriétés de ce composant avant de le placer, ou bien en cliquant sur l'icône



Properties puis en cliquant sur le composant. Entrez les paramètres suivants (si ils n'apparaissent pas par défaut) :

- Model Name : modn
- Width : 150u
- Length : 0.35u
- Number of Gates : 1

Ces paramètres définissent respectivement le modèle du transistor et les dimensions géométriques de sa grille. Les propriétés apparaissent en jaune à côté du symbole. On place ensuite une résistance que l'on connecte au drain du transistor. On clique à nouveau sur **Add Instance** et on va chercher la cellule **res** dans la bibliothèque **AnalogLib**. On sélectionne la vue Spectre. Il s'agit d'un modèle idéal d'une résistance. On l'appelle R1 (champ **Instance Name**) lui donne une valeur de 1 KΩ.

On ajoute ensuite un générateur de signal sinusoïdal sur la grille du transistor. On sélectionne la cellule **Vsin** dans la bibliothèque **AnalogLib**. On lui donne les paramètres suivants :

- Name : Vin
- AC magnitude : 1 V

- AC phase : 0
- DC voltage : 0 V
- Offset voltage : 1.5 V
- Frequency : 100 MEG

On place ensuite une source d'alimentation DC. Celle-ci polarise le transistor au travers de la résistance R1. On sélectionne la cellule Vdc dans la librairie analogLib et on lui donne les paramètres suivants :

- Name : Vdd
- AC magnitude : 0 V
- AC phase : 0
- DC voltage : 5 V

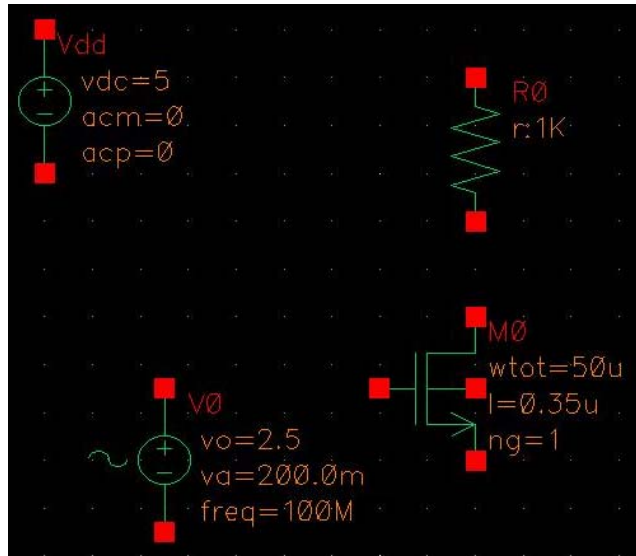





Figure 7 – Placement des différents composants de la schématique

On peut enfin relier les composants. Pour cela, cliquez sur l'icône Wire (narrow) . Placez les fils en cliquant sur les bornes que la connexion doit atteindre.

Il reste à placer la référence de masse, nécessaire à toute simulation SPICE. On utilise le symbole global de masse inclus dans la librairie analogLib, sous le symbole gnd. Ce symbole global sera reconnu comme la masse pour tous les symboles et dans n'importe quelle vue.

On peut aussi ajouter des noms aux différents nœuds, ce qui permettra de les repérer plus facilement. Pour l'alimentation, on peut aussi un symbole global. On peut prendre le symbole global Vdd dans la librairie analogLib. On ajoute aussi des noms aux fils d'entrées et de sortie. Pour cela, on clique sur

l'icône **Wire Name** . On donne les noms In et Out pour l'entrée et la sortie.

Une fois votre schématique terminée, cliquez sur l'icône **Check and Save** . Toute erreur ou warning sur la schématique sera alors détectée. Le symbole fautif clignotera et le descriptif des erreurs apparaîtra dans la fenêtre CIW. La figure 8 présente le résultat final.

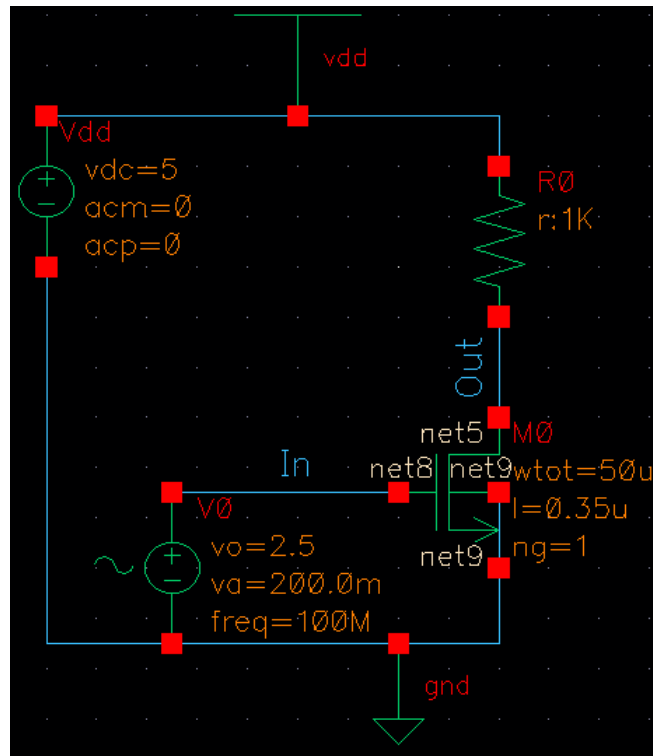


Figure 8 – Schématique finale

VII. Lancement de simulations et affichage des résultats

Nous allons maintenant simuler le circuit réalisé à l'aide du simulateur SPECTRE de Cadence. Depuis Virtuoso Schematic Editor, cliquez sur **Tools/Analog Environment**. La fenêtre de contrôle de la simulation **Virtuoso Analog Design Environment** présentée ci-dessous s'ouvre. L'outil de simulation sélectionné est Spectre (voir en haut à droite de la fenêtre).



Figure 9 – Virtuoso Analog Design Environment – Lancement du simulateur SPECTRE

En cliquant sur **Setup/Model Libraries**, vous pouvez voir afficher les chemins d'accès des bibliothèques utilisées (fig. 10). La bibliothèque contenant les modèles des transistors CMOS s'appelle cmosd53.scs. Devant chaque bibliothèque est indiquée la section utilisée, cmostm pour la bibliothèque CMOS par défaut. Dans chacune de ces bibliothèques, on trouve plusieurs sections, qui correspondent à différentes

conditions de process technologique (cf. X. analyses des corners). TM indique que le modèle correspond à des conditions typiques (typical mean).



Figure 10 – Bibliothèques utilisées en simulation

1. Simulation transitoire

Nous allons démarrer par une simulation transitoire. Pour ajouter un nouveau profil de simulation, cliquez sur **Analyses/Choose**. La fenêtre ci-dessous s'ouvre, vous permettant de configurer un nouveau profil de simulation. Dans le champ **Analysis**, sélectionnez tran, puis configurez le paramètre Stop Time à 100ns indiquant le temps de simulation max. Cochez la case **Enabled** pour rendre le nouveau profil de simulation actif. Cliquez sur OK pour valider. Le nouveau profil de simulation apparaît dans la fenêtre **Virtuoso Analog Design Environment**. En cliquant sur le profil, vous pouvez modifier les paramètres de la simulation.

SPECTRE offre plusieurs types de simulation :

- Tran : transitoire
- Dc : analyse DC
- Ac : analyse AC
- Noise : analyse de bruit
- Sp : analyse Nport (paramètres S)

On sélectionne une simulation transitoire, on configure pour l'instant uniquement le temps de simulation. Pour régler d'autres paramètres, vous pouvez cliquer sur le bouton **Options**. Validez en cliquant sur OK.

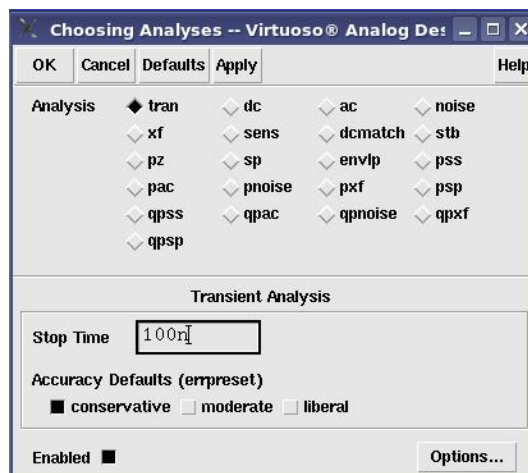


Figure 11 – Paramétrage d'une simulation transitoire

Cliquez ensuite sur **Simulation/Netlist and Run** pour construire la netlist du circuit (fichier décrivant le circuit, sa topologie et les différents paramètres) et lancer la simulation. Une nouvelle fenêtre Output Log s'ouvre indiquant l'état et l'avancement de la simulation. La réussite de la simulation sera

aussi indiquée sur la fenêtre CIW. Vous pouvez accéder à la netlist générée en cliquant sur **Simulation/Netlist/Display**. Pour afficher les résultats sous forme graphique, cliquez sur **Results/Direct Plot/Transient Signal**. La fenêtre **Direct Plot Form** s'ouvre. Vous pouvez sélectionner directement sur la schématique les nœuds dont vous voulez voir les potentiels. Cliquez sur les fils connectés sur la grille et sur le drain du transistor (entrée et sortie de l'amplificateur), puis appuyez sur la touche Esc. La fenêtre de résultat s'ouvre, comme le montre la figure 12. Les noms des nœuds associés aux courbes s'affichent

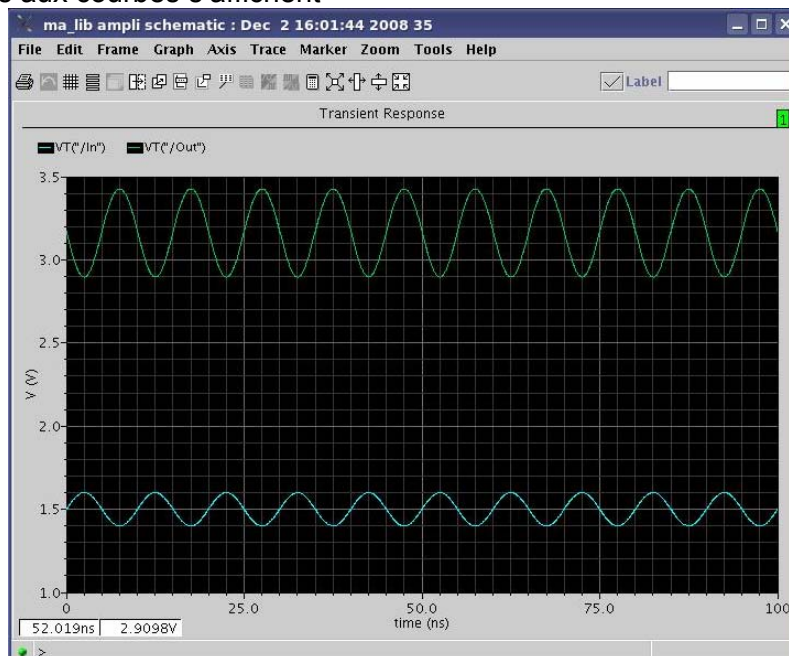


Figure 12 – Résultat d'une simulation transitoire

En cliquant sur Tools/Calculator, l'utilitaire Calculator se lance, permettant d'effectuer de nombreuses opérations mathématiques sur les signaux simulés. La partie VII.4 donne plus de détails sur cet outil.

2. Simulation DC

On réalise ensuite une simulation DC, grâce à laquelle nous allons balayer la tension DC du générateur d'entrée. On commence par ajouter une nouvelle simulation en cliquant sur **Analysis/Choose**. Sélectionnez DC comme type d'analyse. On peut balayer un grand nombre de paramètres du modèle comme la température, une variable, un paramètre d'un composant ou du modèle. Comme on veut balayer la tension DC du générateur d'entrée, cochez la case **Component Parameter**. On va le sélectionner directement sur la schématique en cliquant sur le bouton **Select Component**. Sur la schématique, cliquez sur le générateur de tension placé sur la grille du transistor. Une fenêtre s'ouvre avec la liste des paramètres associés à ce composant. Sélectionnez le paramètre dc puis cliquez sur OK pour fermer cette fenêtre. Enfin, définissez le type de balayage :

- Start – Stop : de 0 à 5 V
- Sweep Type : Linear, Step Size = 0.1

Cliquez sur OK pour valider l'analyse DC. Dans la fenêtre **Virtuoso Analog Design Environment**, dans la colonne **Analyses**, 2 analyses apparaissent et sont actives (champ **Enable**). Pour les modifier, cliquez sur une des analyses. Pour les désactiver, décochez la boîte **Enabled**.

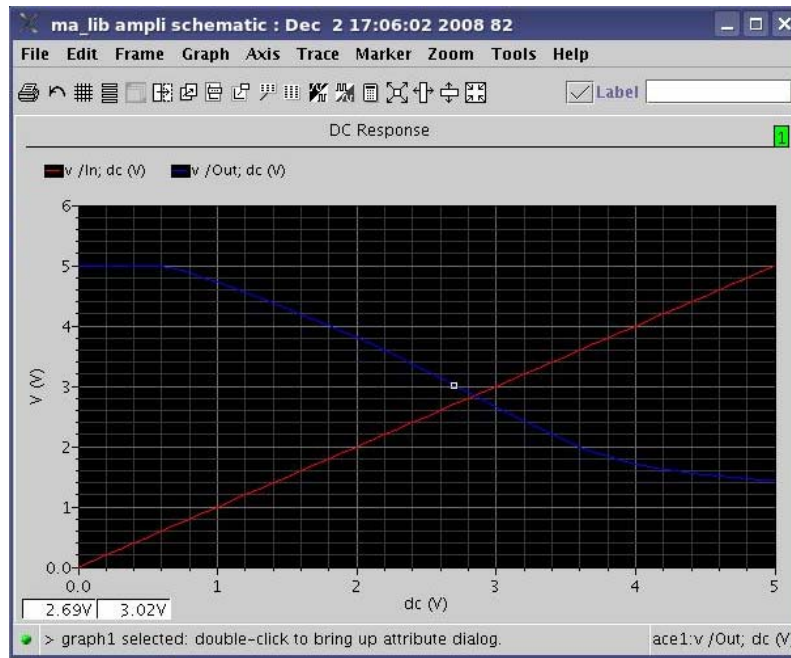


Figure 15 – Résultat d’une simulation DC

On décide d’ajouter dans la fenêtre un deuxième type de courbe, par exemple le courant fourni par l’alimentation de l’amplificateur. On va l’afficher dans une deuxième graphe apparaissant sur la même fenêtre graphique. Cliquez sur **Trace/New Graph/Copy New SubWindow** ou sur l’icône **New Subwindow**. Dans la fenêtre **Direct Plot Form**, sélectionnez comme grandeur à afficher **Current** et **New SubWin** dans l’option **Plotting Mode**. Il ne faut plus sélectionner de nœuds pour afficher un courant, mais un des terminaux du générateur dont il est issu. Sur la schématique, cliquez sur le terminal de l’alimentation de l’amplificateur par lequel sort le courant. La figure ci-dessous présente le résultat de l’affichage graphique.

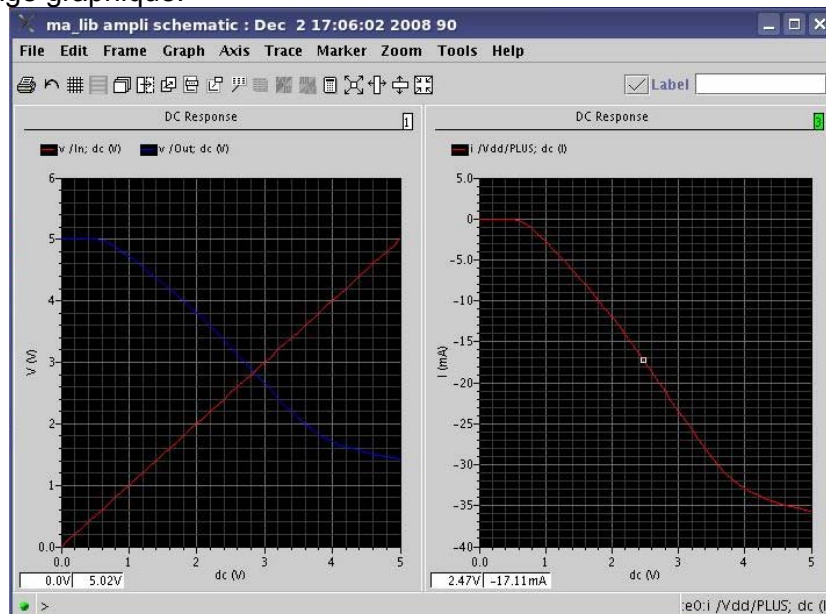


Figure 16 – Résultat d’une simulation DC

Remarque : vous pouvez sauvegarder les paramètres de vos différentes analyses. Pour cela, cliquez sur **Session/Save State**. Donnez un nom à l’état de vos analyses. Vous pourrez les recharger à une prochaine ouverture de **Virtuoso Analog Design Environment** en cliquant sur **Session/Load State**.

3. Simulation PSS

a. Principe de la simulation PSS

Le simulateur SPECTRE offre en plus des simulations SPICE classiques des simulations adaptées à l'analyse des circuits RF (analyses offertes par le simulateur SPECTRE RF). Les fonctions classiques de SPICE ne sont pas toujours adaptées à des analyses de circuits non linéaires à haute fréquence. En effet, les analyses petits signaux type analyse AC sont basées sur la linéarisation de circuits non linéaires. Bien que les simulations transitoires permettent de prendre en compte ces non linéarités, les méthodes de résolution numérique d'équation non linéaires utilisées sont très gourmandes en temps de calcul. En outre, de nombreuses grandeurs RF sont souvent exprimées dans le domaine fréquentiel (contenu spectral) ou s'appliquent sur certaines harmoniques (distorsion, point de compression). Une transformée de Fourier discrète doit alors être appliquée sur les réponses temporelles obtenues en simulation transitoire, ce qui ajoute un temps de calcul supplémentaire non négligeable.

SPECTRE RF offre plusieurs méthodes de simulation larges signaux basées sur le calcul de la réponse à l'état stationnaire de circuits, lorsque ceux-ci sont soumis à des excitations périodiques. Ces méthodes permettent de calculer efficacement les réponses de circuits non linéaires, dans le domaine temporel et fréquentiel. Cependant, les excitations en entrée des circuits simulés ne doivent pas être trop grandes afin d'éviter que les circuits présentent des comportements trop non linéaires, ce qui empêcheraient de déterminer des solutions. Ces méthodes s'appliquent bien aux circuits RF, car ils sont généralement soumis à des excitations périodiques et leur fonctionnement s'approche de circuits linéaires (oscillateurs, LNA, PA). Les méthodes proposées par SPECTRE RF sont en outre adaptées aux circuits RF réalisant des conversions de fréquences (mixeurs).

Parmi elles, on trouve l'analyse **Periodic Steady State** (PSS), analyse larges signaux qui calcule directement la réponse périodique à l'état stationnaire d'un circuit lorsqu'il est soumis à une excitation périodique. Cette réponse est calculée à une fréquence fondamentale particulière ainsi qu'aux harmoniques d'ordre N, ou bien sur une période de cette excitation fondamentale (plus de détails sur la documentation de CADENCE en ligne à l'AIME).

b. Simulation PSS sous SPECTRE RF

Reprenez le schéma ampli et placez une source en entrée de type **Port**. Ces sources sont très utiles pour des analyses RF, car :

- elles permettent de réaliser des simulations de paramètres S
- l'amplitude du signal délivrée peut s'exprimer en puissance
- on peut définir une excitation multi ton (plusieurs fréquences fondamentales), adaptées dans l'analyse des effets des produits d'intermodulation

Cette source se trouve dans la librairie **analogLib**, dans la catégorie **Sources/Ports**. Modifiez les propriétés du port et donnez lui les propriétés suivantes :

- Resistance = 100 Ohms
- Port Number = 1
- DC Voltage = 1.5 V
- Source Type = sine
- Frequency name 1 = frf (ou n'importe quel nom), qui permettra de balayer la fréquence de l'excitation d'entrée
- Frequency 1 = 100M (Hz)
- Amplitude 1 (dBm) = -10

La figure 17 présente le modèle obtenu.

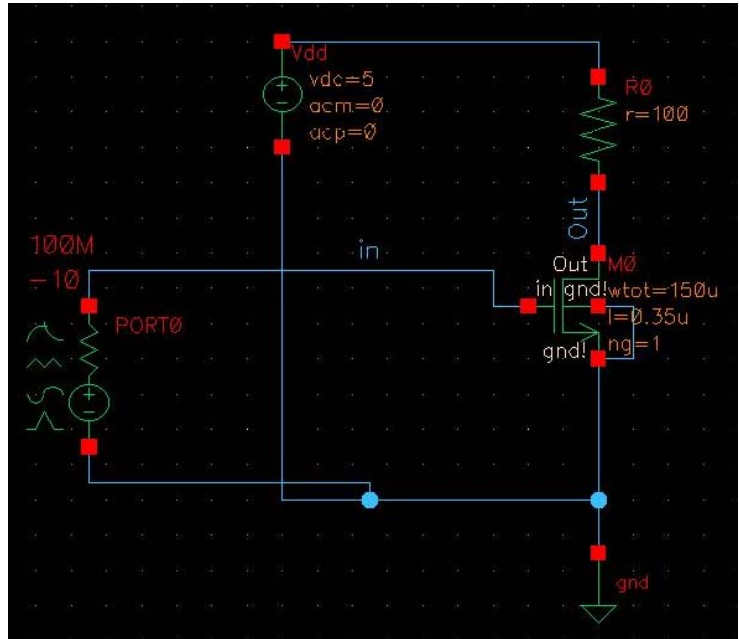


Figure 17 – Modèle de l'amplificateur pour une simulation PSS

Sauvez et vérifiez la schématique, puis lancez le simulateur. On va lancer 2 types de simulation dont on va comparer les résultats : une simulation transitoire et une simulation PSS. Configurez la simulation transitoire pour avoir un temps de simulation de 100 ns. On ajoute une deuxième simulation de type pss. Créez une nouvelle simulation (**Analysis/Choose**). Dans la liste des simulations, cochez la case **pss**. La fenêtre suivante présente la fenêtre de paramétrage de la simulation PSS.

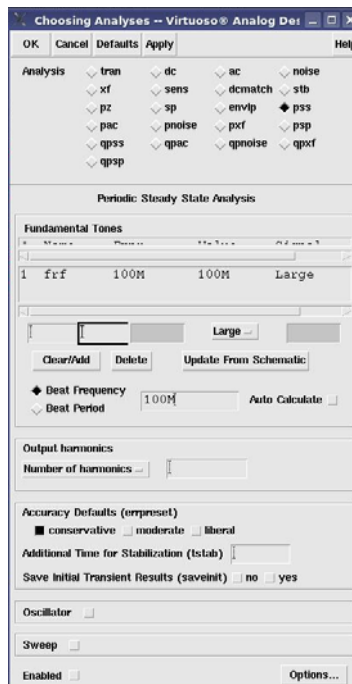


Figure 18 – Paramétrage d'une simulation PSS

Par défaut, le logiciel a détecté comme source d'excitation le port 1 et a repéré la fréquence d'excitation frf. Il faut régler 2 paramètres :

- **Beat Frequency**, qui correspond à la fréquence de l'excitation en entrée. On peut rentrer la fréquence de l'excitation, mais on peut laisser l'outil la déterminer automatiquement. Pour cela, cochez la case **Auto Calculate**.
- **Output harmonics - Number of harmonics** : on peut lui rentrer un nombre raisonnable d'harmonique, par exemple 10. L'outil analysera les 10 premiers harmoniques de la fréquence fondamentale frf = 100 MHz.

Au niveau de la précision (**Accuracy Defaults**), si la simulation ne converge pas, vous pouvez relâcher les contraintes et cochez la case **moderate** au lieu de **conservative**. La fenêtre présentée figure 19 montre l'état de la fenêtre après paramétrage de la simulation PSS.

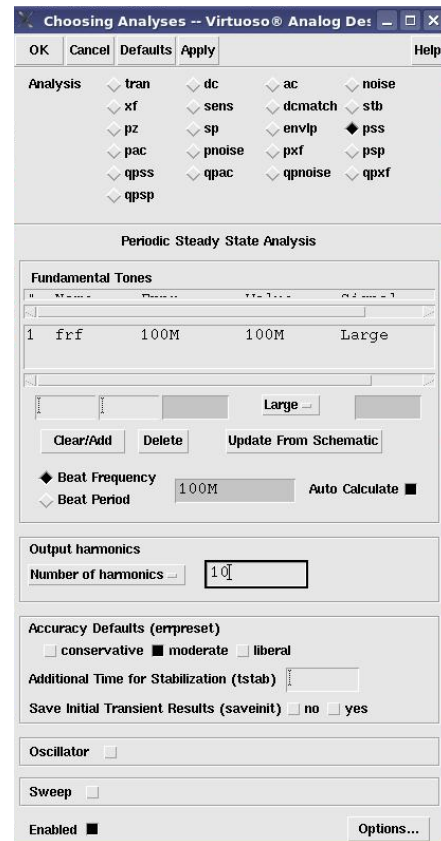


Figure 19 – Paramétrage d'une simulation PSS

Vous pouvez lancer la simulation (**Simulation/Netlist and Run**). A la fin de la simulation, affichez les résultats de la simulation transitoire, avec les tensions sur les nœuds d'entrée et de sortie (**Results/Direct Plot/Transient Signal**). On affiche ensuite les résultats de la simulation pss. Pour cela, cliquez sur **Results/Direct Plot/Main Form**. La fenêtre ci-dessous s'ouvre.

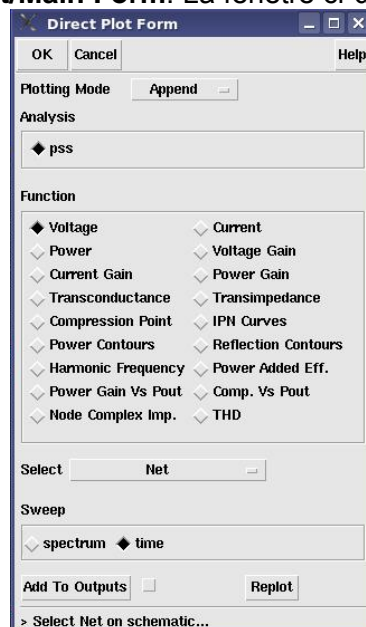


Figure 20 – Affichage des résultats d'une simulation PSS

Modifiez la liste **Plotting Mode** pour mettre le mode **NewSubWin**. On commence par afficher les tensions sur les nœuds d'entrée et de sortie. Sélectionnez la fonction **Voltage** et dans la liste **Select** choisissez l'option **Net**, pour récupérer les tensions directement en cliquant sur les nœuds de la schématique. Pour l'option **Sweep**, cliquez sur la case time. Sur la schématique, cliquez sur les

noeuds d'entrée et de sortie. Les 2 courbes apparaissent dans un nouveau graphique. La fenêtre ci-dessous présente le résultat des simulations transitoires et PSS.

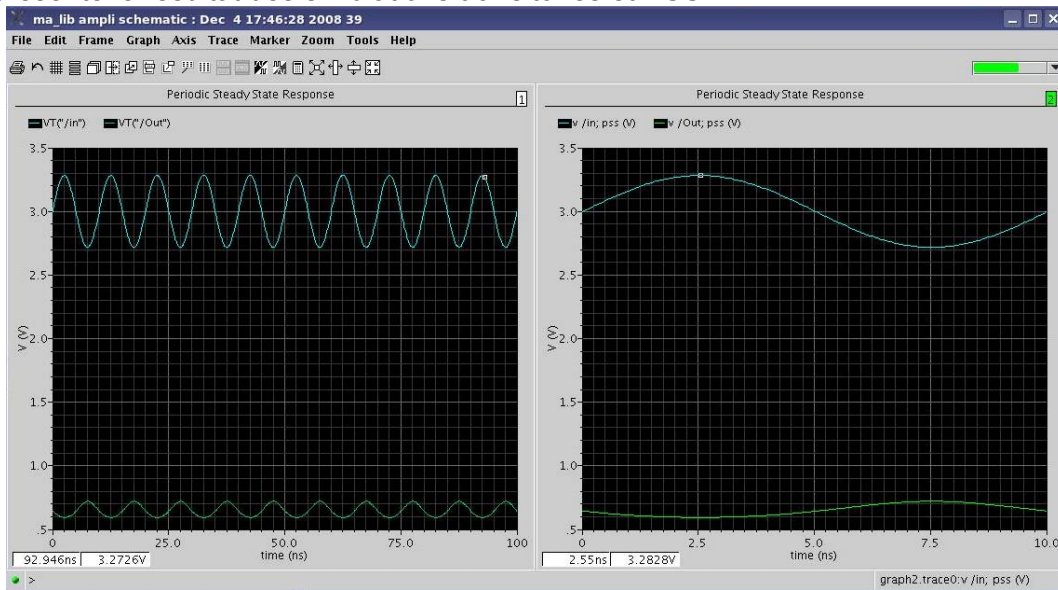


Figure 21 – Comparaison des résultats des simulations transitoire et PSS

Les résultats des 2 simulations sont très similaires. On peut remarquer que la simulation PSS n'est effectuée que sur une période du signal d'excitation (10 ns) et à l'état stationnaire.

La simulation PSS permet aussi de visualiser les résultats dans le domaine fréquentiel. Seules amplitudes et les phases des N harmoniques calculées par la simulation PSS peuvent être affichées. On décide d'afficher en fonction de la fréquence le gain en tension de l'amplificateur. Dans la fenêtre **Direct Plot Form**, cliquez sur la case **Voltage Gain** pour calculer la fonction gain en tension. L'option **Select** passe automatiquement à **Output and Input Nets**, vous indiquant qu'il faut sélectionner le noeud de sortie, puis le noeud d'entrée. Pour l'option Modifier, sélectionnez dB20 pour afficher le résultat en dB. On va afficher le résultat dans une nouvelle fenêtre, mettez l'option **Plotting Mode** à **New Win**. Sur la schématique, cliquez d'abord sur le noeud de sortie, puis cliquez sur le noeud d'entrée. La fenêtre ci-dessous s'ouvre, présentant le résultat du gain en tension en fonction de la fréquence. Les amplitudes des 10 premières harmoniques de la fréquence fondamentale f_{rf} du gain en tension apparaissent

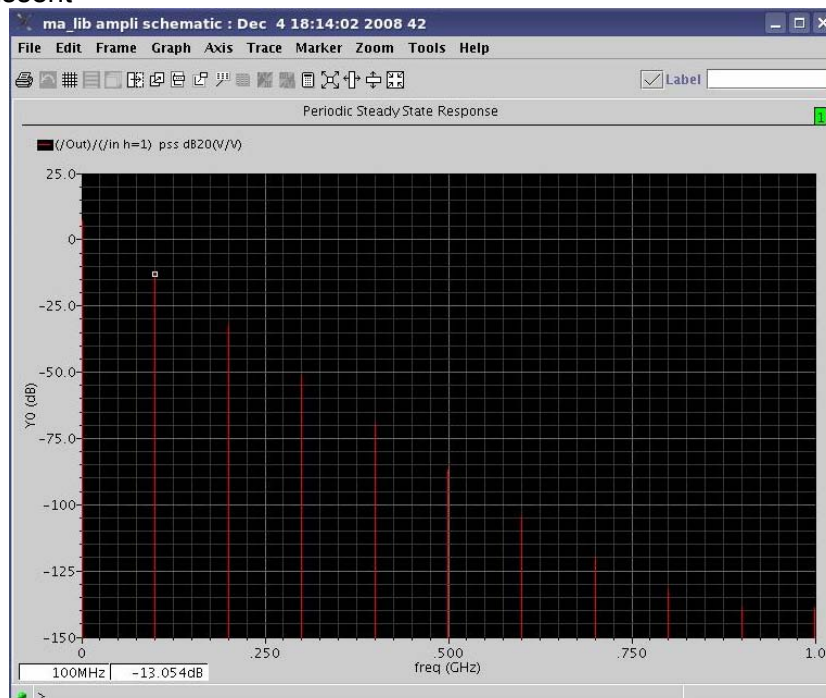


Figure 22 – Spectre du gain en tension de l'amplificateur obtenu par une simulation PSS

c. Analyse de produits d'intermodulation par une simulation PSS

La simulation PSS a de très nombreuses utilités, comme l'analyse de distorsions du signal par produits d'intermodulation, qui sont très fréquents et problématiques dans les circuits RF. Pour cela, revenez à la schématique de l'amplificateur et éditez les propriétés du port d'entrée. Cochez la case **Display second sinusoid** pour que la source d'entrée génère une deuxième sinusoïdale qui va s'ajouter à la première. Donnez les paramètres suivants à ce deuxième signal :

- Frequency name 2 : frf2
- Frequency 2 : 110 MHz
- Amplitude 2 (dBm) : -10 dBm

puis cliquez sur OK. Comme on superpose en entrée du circuit un signal harmonique à 100 MHz avec un second signal harmonique à 110 MHz, des produits d'intermodulation seront générés en sortie du circuit à tous les multiples de 10 MHz, suivant son caractère non linéaire. Cliquez sur **Check and Save** et retournez à la fenêtre de simulation. Modifiez votre analyse PSS :

- Beat Frequency : cochez la case Auto Calculate. Normalement, 10 M apparaît.
- Number of Frequency : 25, pour aller jusqu'à 250 MHz
- Accuracy : Conservative

Lancer la simulation puis ouvrez la fenêtre **Direct Plot Form**. On va afficher la puissance (**Power**) sur le nœud de sortie. Dans le champ **Select**, choisissez **Net (Specify R)**, et entrez comme valeur de résistance celle de la charge (100 ohms). Dans le champ **Modifier**, cochez la case dBm pour afficher les résultats en dBm. Enfin, sélectionnez sur la schématique le nœud de sortie, la fenêtre ci-dessous s'affiche. Le spectre du signal de sortie s'affiche. On retrouve les 2 harmoniques fondamentales du signal en entrée, à 100 et 110 MHz, ainsi que l'ensemble des raies dues à des produits d'intermodulation entre 10 et 250 MHz.

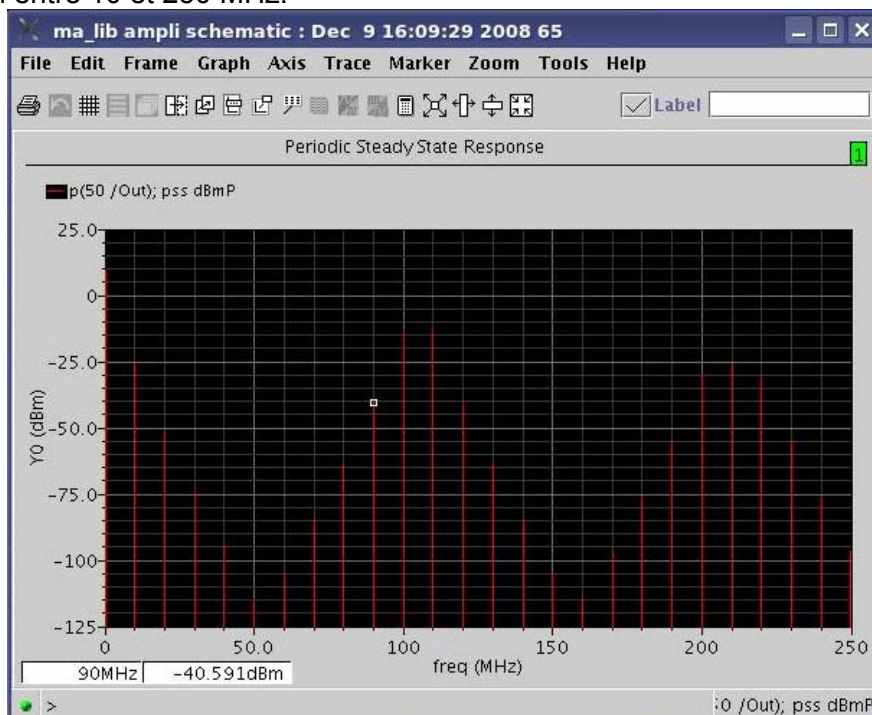


Figure 23 – Simulation de produits d'intermodulation apparaissant en sortie l'amplificateur, obtenue par une simulation PSS

4. Types de simulation proposées par SPECTRE/SPECTRE RF

Cadence offre un très grand nombre de simulation, comme le montre la fenêtre **Choose Analysis** de la figure 11. Le tableau ci-dessous liste les principaux types de simulation que vous serez amenés à mettre en œuvre durant cet APP. Les 4 premières sont des analyses basiques proposées par tous les simulateurs SPICE, les autres sont adaptées à des analyses de circuits RF. Vous trouverez plus de détails sur les principes de ces simulations et sur leur configuration dans la documentation en ligne de Cadence accessible depuis l'AIME.

Outils	Type de simulation	Description	Paramètres
SPECTRE	tran	transitoire	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Stop Time</i> : durée de la simulation
	dc	balayage d'une variable (tension DC, température, paramètre d'un composant)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Start, Stop</i> : début et fin du balayage ▪ <i>Sweep Type</i> : type de balayage ▪ <i>Step size/Number of steps</i> : réglage du pas du balayage
	ac	analyse fréquentielle (petits signaux)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Sweep Variable</i> : frequency ▪ <i>Start, Stop</i> : début et fin du balayage en fréquence ▪ <i>Sweep Type</i> : type de balayage ▪ <i>Step size/Number of steps</i> : réglage du pas du balayage
	noise	analyse de bruit (analyse petits signaux)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Sweep Variable</i> : frequency ▪ <i>Start, Stop</i> : début et fin du balayage en fréquence ▪ <i>Sweep Type</i> : type de balayage ▪ <i>Step size/Number of steps</i> : réglage du pas du balayage
	xf	Calcul de fonction de transfert ou de gain (petits signaux)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Sweep Variable</i> : frequency ▪ <i>Start, Stop</i> : début et fin du balayage en fréquence ▪ <i>Sweep Type</i> : type de balayage ▪ <i>Step size/Number of steps</i> : réglage du pas du balayage ▪ <i>Output</i> : voltage ou probe
	sp	analyse paramètres S Permet aussi de faire une analyse de bruit (petits signaux)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Ports</i> : sélection des ports sur la schématique ▪ <i>Start, Stop</i> : début et fin du balayage fréquentiel ▪ <i>Sweep Type</i> : type de balayage ▪ <i>Step size/Number of steps</i> : réglage du pas du balayage
SPECTRE RF	pss	analyse Periodic Steady State. Analyse larges signaux d'un circuit excité par un signal périodique composé d'une seule fréquence fondamentale puis calcul de la réponse à l'état stationnaire.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Beat period/frequency</i> : période ou fréquence de l'excitation ▪ <i>Number of harmonics</i> : nombre d'harmoniques du signal de sortie ▪ <i>errpreset</i> : fixe les paramètres de précision de la simulation (conservative, moderate, liberal)
	qpss	analyse Quasi Periodic Steady State, similaire à PSS, mais avec une	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Liste Fundamental Tones</i> : déterminée automatiquement

		excitation composée de plusieurs fréquences fondamentales.	par le simulateur qui récupère l'ensemble des fréquences fondamentales sur le circuit. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Régler l'ampleur du signal (Moderate ou Large). 1 seule fondamentale doit être de type Large ▪ Régler le nombre d'harmonique de la fréquence fondamentale
	pac, pnoise, pxf, psp	Similaires aux simulations ac, noise, xf et sp. Se font après une simulation PSS	
	qpac, qpnoise, qpxf, qpsp	Similaires aux simulations ac, noise, xf et sp. Se font après une simulation QPSS	

5. Opérateurs mathématiques

La fenêtre **Direct Plot Form** présentée à la figure 14 ne permet d'accéder qu'à quelques grandeurs physiques (tension, courant, puissance, transconductance, paramètres S, ...), ce qui peut être limité dans certains cas, comme lors de simulations de circuits RF, qui nécessitent l'utilisation de grandeurs particulières (gain, point de compression à 1 dB, transformée de Fourier, ...). A partir de la fenêtre d'affichage graphique, il est possible d'accéder à un utilitaire fournissant un grand nombre d'opérateurs mathématiques permettant de dériver des tensions, des courants ou des puissances simulés d'autres grandeurs. Reprenez l'exemple précédent de simulation dc. Nous allons afficher le courant en dBV. Relancer la simulation et afficher la réponse DC du nœud de sortie. Depuis la fenêtre d'affichage graphique, cliquez sur **Tools/Calculator**. La fenêtre 24 s'ouvre. Une calculatrice et un ensemble de fonctions mathématiques apparaissent, on peut y accéder par simple clic. On observe aussi une ligne dans laquelle il est possible de taper la fonction mathématique.

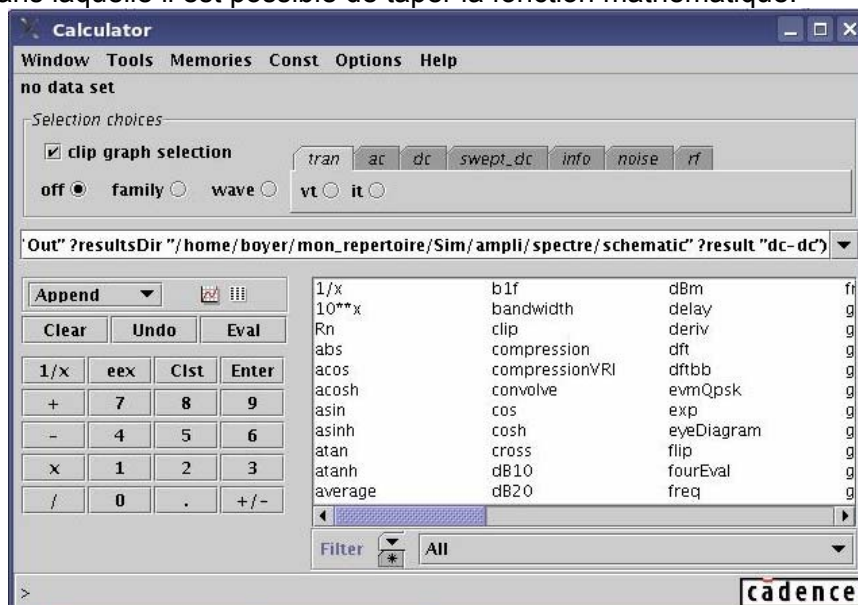


Figure 24 – Outil Calculator

On va utiliser la fonction **dB20** pour afficher la tension sur le nœud de sortie en dBV. Appuyez sur le bouton Clear pour vous assurer que la ligne de commande est vierge. On va d'abord sélectionner la courbe ou le nœud à partir duquel on va récupérer une tension ou un courant puis appliquer la fonction **dB20**. Plusieurs méthodes sont possibles. La première consiste à utiliser une courbe que vous avez tracé dans la fenêtre d'affichage des résultats. Pour cela, cochez la case **wave** et sélectionnez une courbe en cliquant dessus directement sur l'affichage graphique. La deuxième

méthode consiste à récupérer la tension d'un nœud (case **vdc**) ou le courant délivré par un générateur (case **idc**). Pour y accéder, activer le volet **dc** en haut à droite de la fenêtre **Calculator**, puis cliquez sur **vdc**. Vous pouvez ensuite cliquer sur le nœud de sortie directement sur la fenêtre de schématique. La tension du nœud ou de la courbe sélectionné apparaît dans la ligne de commande. Ensuite, on applique la fonction sur le signal récupérer. Cliquez sur **dB20**, puis sélectionnez **New SubWin** dans la liste située sous la ligne de commande afin d'afficher le résultat sur un nouveau graphe. Enfin, cliquez sur le bouton **eval** pour afficher le résultat. La fenêtre présentée ci-dessous s'affiche, avec à droite le résultat en dBV.

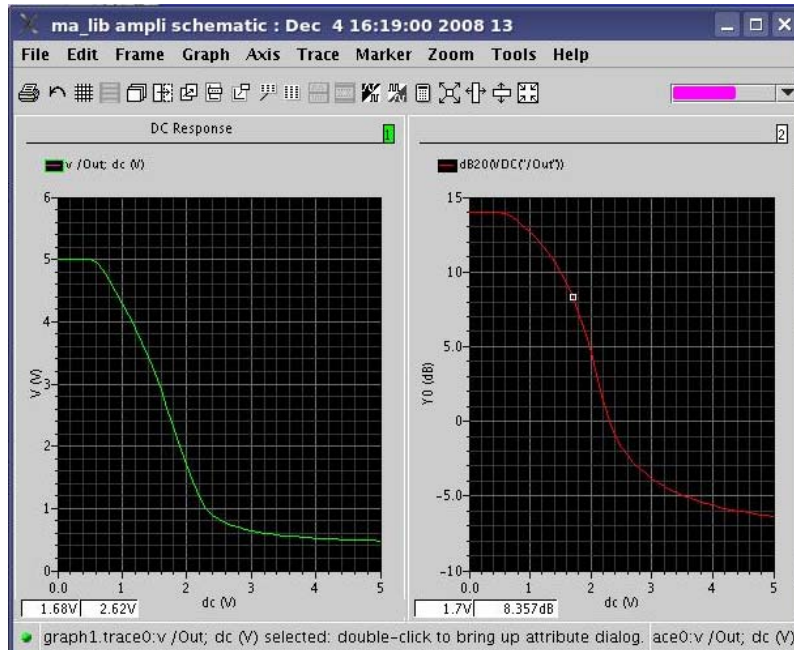


Figure 25 – Résultat d'une simulation DC calculé en dBV

Il existe d'autres fonctions, nous ne détaillerons que les fonctions qui vous sont susceptibles de vous être utiles lors de cet APP. Reportez vous aux documentations en ligne sur Cadence disponibles sur le site de l'AIME pour plus d'informations. Le tableau ci-dessous donne les fonctions simples permettant d'analyser l'amplitude d'un signal.

Opérateur	Fonction
mag	Amplitude ou module
phase	Phase
real	Partie réelle
imag	Partie imaginaire
ln	Logarithme népérien
log10	Logarithme en base 10
dB10	dB pour des grandeurs en puissance
dB20	dB pour des grandeurs en tension/courant

Le tableau ci-dessous liste un ensemble de fonctions spéciales qui vous seront utiles.

Opérateur	Fonction
average	Valeur moyenne d'un signal
bandwidth	Calcul de la bande passante d'un signal
compression	valeur du point de compression à 1 dB
dBm	Retourne la valeur en dBm d'une puissance
dft	Réalise la transformée de Fourier discrète d'un signal temporel
frequency	Evalue la fréquence d'un signal

	périodique
ipn	Tracé du point d'interception d'ordre N
rms	Renvoie la valeur RMS d'un signal

Remarque : certaines fonctions avancées induisent des erreurs si certaines variables d'environnement ne sont pas modifiées. Si vous utilisez certaines de ces fonctions et que des paramètres ne sont pas reconnus, tapez dans la fenêtre CIW la commande suivante :

```
envSetVal("calculator" "oldexpr" 'boolean nil)
```


Reportez vous à l'aide en ligne à l'AIME sur Cadence pour en savoir plus sur les fonctions mathématiques.

VIII. Création d'un symbole

Jusque là, nous avons construit le schéma électrique d'un circuit et directement appliqué des stimuli électriques afin de simuler son fonctionnement. Cependant, en pratique, il est plus intéressant de créer un symbole pour chaque circuit, puis de créer une vue séparée dédiée à la simulation de ce circuit. Cette démarche vous permettra de créer un design hiérarchique, composé de plusieurs sous circuits de bas niveau et représentés par des symboles. De cette manière, votre design sera plus portable et totalement indépendant de tous les setup de simulation utilisés pour valider les différents blocs du circuit.

On va récupérer la schématique précédente. Depuis la fenêtre de saisie de schématique **Virtuoso Schematic Editing** de la vue ampli, cliquez sur **Design/Save as** et sauvez le sous ampli_symbol. Vous pouvez fermer la fenêtre contenant la vue ampli et ouvrir la nouvelle vue depuis Library Manager.

Sur la nouvelle schématique, vous pouvez supprimer les générateurs de tension nécessaires à la simulation. Afin de créer un symbole, il est nécessaire d'indiquer les broches entrées sorties (I/O pins)

de la cellule, ainsi que les broches d'alimentation. Cliquez sur **Add/Pin** ou sur l'icône  pour ajouter des I/O. Une fenêtre s'ouvre dans laquelle vous devez indiquer le nom de l'I/O et sa direction (ce paramètre n'a pas de signification électrique, il n'influe que sur l'apparence de la pin). Créez l'entrée In et la sortie Out sur la schématique. Si ce n'est pas déjà fait, ajoutez les symboles globaux Vdd et Gnd pour indiquer les pins d'alimentation et de masse (symboles globaux). Ceux-ci sont inclus dans la librairie analogLib. La figure 26 présente le résultat obtenu qui va nous servir à générer le symbole.

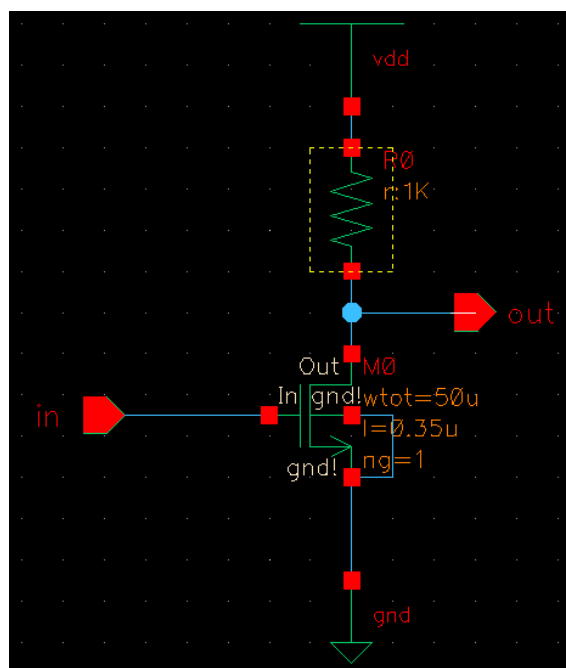


Figure 26 – Schéma servant à créer le symbole pour ce circuit

Pour créer le symbole, cliquez sur **Design/Create cellview/From cellview ...** La fenêtre ci-dessous s'ouvre. Indiquez le nom de votre librairie, de la cellule et de la vue concernée (ampli_symbol) puis validez.

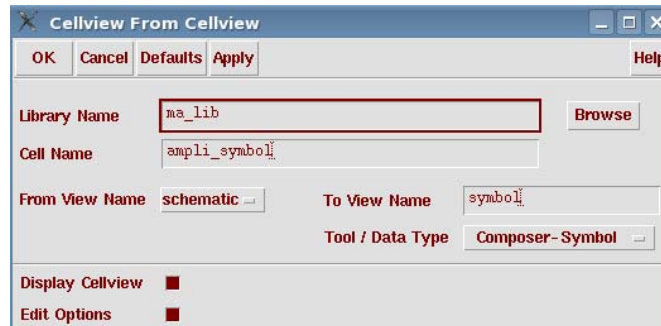


Figure 27 – Création d'un nouveau symbole à partir d'une schématique

La fenêtre **Symbol Generation Options** s'ouvre pour ajuster la position des pins sur le symbole et modifier la forme du symbole. Cliquez sur OK, le symbole est généré automatiquement et apparaît comme une boîte rectangulaire entourée des I/O spécifiées précédemment (fig. 28). Les broches d'alimentation et de masse n'apparaissent pas sur le symbole, car il s'agit de symboles globaux. Si le symbole est satisfaisant, sauvez le puis fermez la fenêtre de saisie de la schématique (**Window/close**).

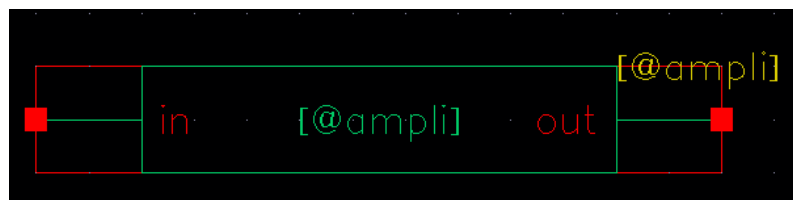


Figure 28 – Symbole équivalent du circuit ampli

On va maintenant pouvoir réutiliser ce symbole et le simuler. Pour cela, créez une nouvelle schématique appelée ampli_simu puis ouvrez l'éditeur de schématique Virtuoso. Ajoutez les symboles Vdd et Gnd, un générateur de tension continu Vdc et un générateur de tension sinusoïdal (librairie analogLib), puis le symbole ampli_symbol, inclus dans votre librairie (ma_lib). Connectez les différents éléments comme dans la figure ci-dessous. Vous pouvez ajouter une pin en sortie et y connecter un fil avec la sortie du symbole ampli_symbol, afin de pouvoir sélectionner la sortie en simulation (fig. 29).

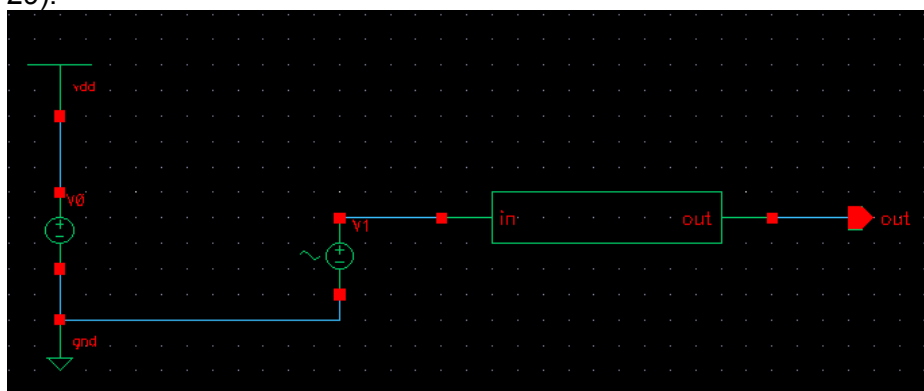



Figure 29 – Schématique de simulation du symbole équivalent du circuit ampli

Sauvez la schématique et vérifiez qu'il n'y ait pas d'erreurs. Vous pouvez lancer l'environnement de simulation en cliquant sur **Tools/Analog Environment** et refaire les simulations faites dans le chapitre précédent.

IX. Simulation paramétrique

Une simulation paramétrique permet de modifier un paramètre du modèle (par exemple, une résistance ou la longueur d'une grille), de balayer les valeurs prises par un des paramètres du modèle et de simuler son influence sur les performances du circuit.

Revenez à la schématique ampli. On va modifier la largeur du canal du transistor MOS. Il faut d'abord créer une variable qui caractérise la largeur du transistor. Pour cela, affichez les propriétés du

transistor . Rentez la valeur Wn dans les champs Width et Width Strip. Wn est une nouvelle variable qui va nous permettre de balayer les valeurs de la largeur de la grille.

On va définir sa valeur à partir de la fenêtre de simulation **Virtuoso Analog Design Environment**. Lancez la puis cliquez sur **Variables/Edit ...**, spécifiez le nom de la variable dans le champ Name ainsi que sa valeur dans le champ Value, puis validez. La variable apparaît dans le champ **Design Variables**. La simulation analogique peut être lancée en prenant la valeur qui vient d'être spécifiée pour Wn.

Cependant, de cette manière, on ne peut spécifier qu'une valeur unique par simulation pour cette variable, et on ne peut donc pas réaliser une simulation paramétrique. Dans la fenêtre **Virtuoso Analog Design Environment**, assurez vous que la simulation est correctement paramétrée puis cliquez sur **Tools/Parametric Analysis ...** La fenêtre présentée figure 30 s'ouvre.

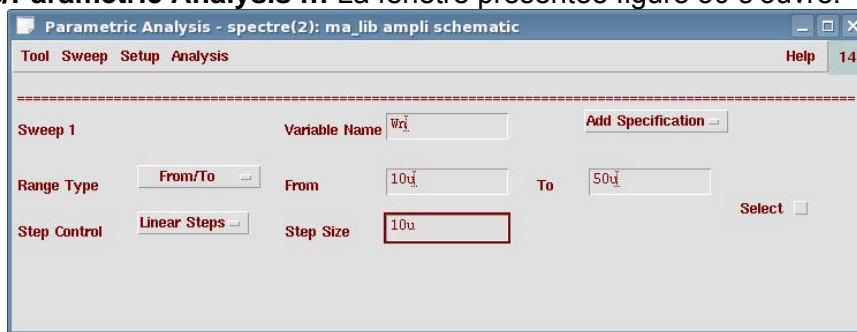


Figure 30 – Configuration d'une analyse paramétrique

On définit le nom de la variable, les bornes et le pas du balayage de ce paramètre. Enfin, cliquez sur **Analysis/Start**, ce qui lance la simulation paramétrique. Une nouvelle fenêtre s'ouvre pour vous indiquer l'état d'avancement de la simulation. Une fois la simulation terminée, vous pouvez sélectionner les nœuds à visualiser (**Results/Direct Plot/Transient Signal**). Le résultat de simulation s'affiche avec plusieurs courbes associées aux différentes valeurs du paramètre Wn, comme le montre la figure 31.

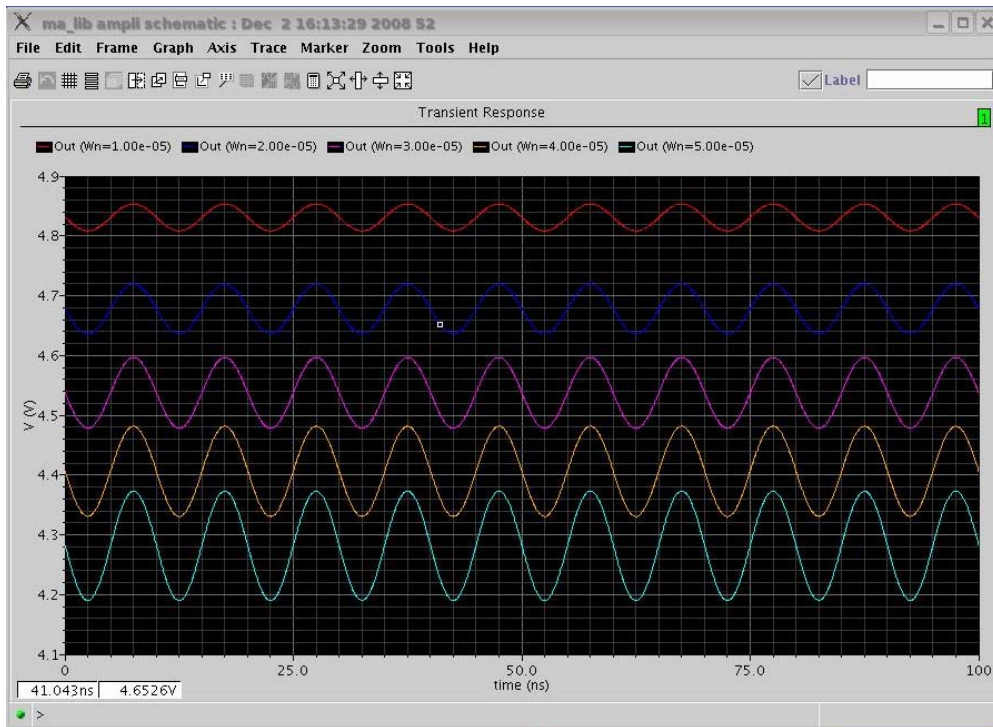


Figure 31 – Résultat d'une simulation paramétrique

X. Analyse des corners

Jusqu'ici, nous avons réalisé des simulations en employant les modèles typiques des composants des bibliothèques du design kit AMS C35. Les modèles typiques correspondent au cas où les paramètres du processus de fabrication du circuit prennent les valeurs prévues. En pratique, ce n'est jamais le cas, car il existe toujours des variations de processus, qui risquent de modifier les performances d'un circuit. Il est donc nécessaire d'analyser les performances du circuit simulé en tenant compte des variations de processus. Pour cela, on réalise une analyse des coins. Elle correspond à une approche pire cas. Il s'agit de simuler le circuit à différentes limites ou coins du processus. Le design kit AMS C35 fournit des modèles typiques et pire cas des composants, correspondant aux pires variations que peuvent subir les paramètres de leur processus de fabrication.

Au-delà des variations de processus, il existe d'autres sources de variations des performances des circuits : les variations de température et de tension d'alimentation. Il convient donc de simuler le circuit aux valeurs typiques et aux limites de températures de fonctionnement et tensions d'alimentation du circuit.

Retournez sur la fenêtre CIW et cliquez sur **HIT-KIT Utilities/Corner Analysis**. La fenêtre ci-dessous s'ouvre. Les modèles CMOS concernés sont inclus dans la bibliothèque cmos53, qui apparaît dans le champ MOS Model.

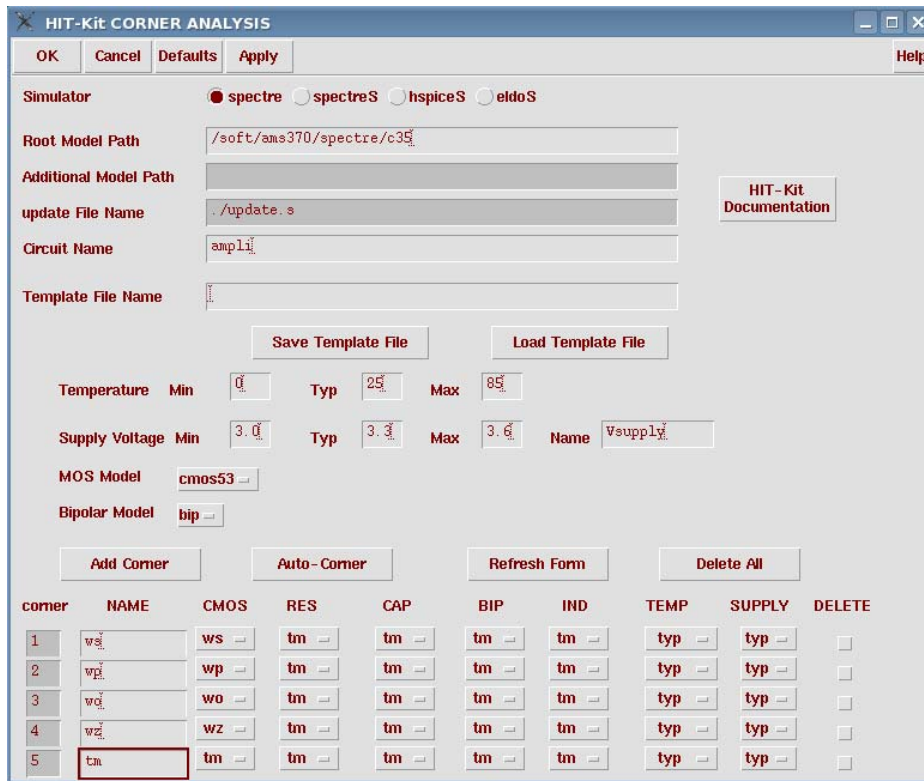


Figure 32 – Configuration d’une analyse des corners

Entrez le nom du circuit (ampli). Les valeurs min, max et typiques de la température et des tensions d’alimentation sont remplies par défaut. Il faut ajouter les corners process. La librairie cmos53 contient différentes sections, correspondant aux différents corners :

- Tm : typical mean (conditions typiques)
- Ws : worst-case speed (vitesse la plus faible)
- Wp : worst-case power (consommation la plus forte, correspondant à la vitesse la plus grande)
- W0 : worst-case one (1 logique)
- Wz : worst-case zero (0 logique)

Ces conditions vont s’appliquer aux différents éléments du modèle : transistor CMOS, résistance, capacité, transistor bipolaire et inductance. Pour simuler tous ces corners, il est nécessaire de cliquer cinq fois sur le bouton **Add Corner**. Nommez ensuite les noms de ces 5 corners et indiquez les conditions pour les différents éléments du modèle. On peut aussi modifier les conditions de température et d’alimentation (min, typ ou max).

Dès que vous avez fini de remplir cette fenêtre, entrez un nom dans les champs **Circuit Name** et **Template File Name** cliquez sur **Save Template File** pour la sauvegarder puis cliquez OK pour revenir à la fenêtre de simulation. Cliquez sur **Tools/Corners ...** La fenêtre présentée figure 33 s’ouvre.

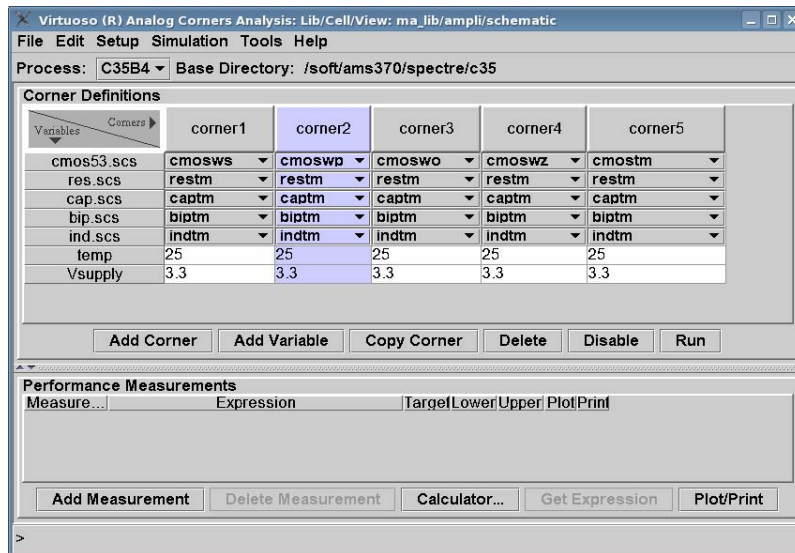


Figure 33 – Simulation d’analyse des coins

Assurez vous que la simulation est correctement configurée et cliquez sur le bouton **Run** pour lancer la simulation.

XI. Liste des raccourcis clavier sous Virtuoso Schematic Editor

Dans le tableau ci-dessous, les principaux raccourcis clavier utilisés dans l’éditeur de schématique sont décrits.

touche	commande
c	Copy
f	Fit window
i	Add instance
l	Label wire
m	Move
p	Add pin
q	Edit parameters
r	Rotate
u	Undo
w	Add wire
z	Zoom to box using left mouse clicks
← →	Move around window
F3	Command options
Left click	Select/click
middle-mouse over objects	Typical properties
right mouse	Repeat last operation

XII. Support local à l’AIME

Depuis le site de l’AIME (www.ame-toulouse.fr), vous pouvez accéder à un très grand nombre de documentations sur les logiciels installés à l’AIME. Cependant, l’accès à ces documentations ne peut

se faire qu'en local. En lançant n'importe quel navigateur internet depuis l'AIME, vous verrez le lien vers les documentations en ligne de l'AIME (**Docs des logiciels**). Parmi elles, vous trouverez :

- la documentation du logiciel Cadence v5.1 et ses différents outils. Vous pouvez y accéder à partir du lien **Cadence**, puis **Cadence 5.0 Documentation**. Vous pourrez accéder à la documentation de chaque outil de l'environnement Cadence (Virtuoso Schematic Composer, Spectre, Spectre RF, ...)
- la documentation du design kit AMS Hit Kit v3.70, contenant entre autre des informations sur le process de la technologie AMS CMOS 0.35 μm , les modèles RF des transistors, les paramètres de bruit, les I/O et leurs protections ESD. La documentation est accessible depuis le lien **AMS**. Vous trouverez la documentation en ligne du design kit en cliquant sur **Hit-Kit Online – Documentation 3.70**, et un ensemble de notes d'application au format PDF.