

TP Simulation Hyperfréquences
Conception d'un amplificateur faible bruit large-bande

DESS Optoélectronique & Hyperfréquences

Ce TP a pour objectif de vous familiariser avec le logiciel *Microwave Office*. Après une courte présentation du logiciel, la conception d'un amplificateur faible bruit optimisé dans la gamme de fréquence 8-12 GHz est décrite.

I Présentation sommaire du logiciel Microwave Office

Le logiciel *Microwave Office* est un outil puissant de conception et d'analyse de circuits hyperfréquences :

- linéaires (amplificateur petit signal, filtres),
- non linéaires (oscillateur, amplificateur de puissance) et
- électromagnétiques (antenne planaire, filtre à lignes couplées, etc...).

I.1 Description de l'environnement

Au lancement du logiciel, une interface graphique classique apparaît. Celle-ci se décompose principalement en deux fenêtres comme le montre la figure 1 :

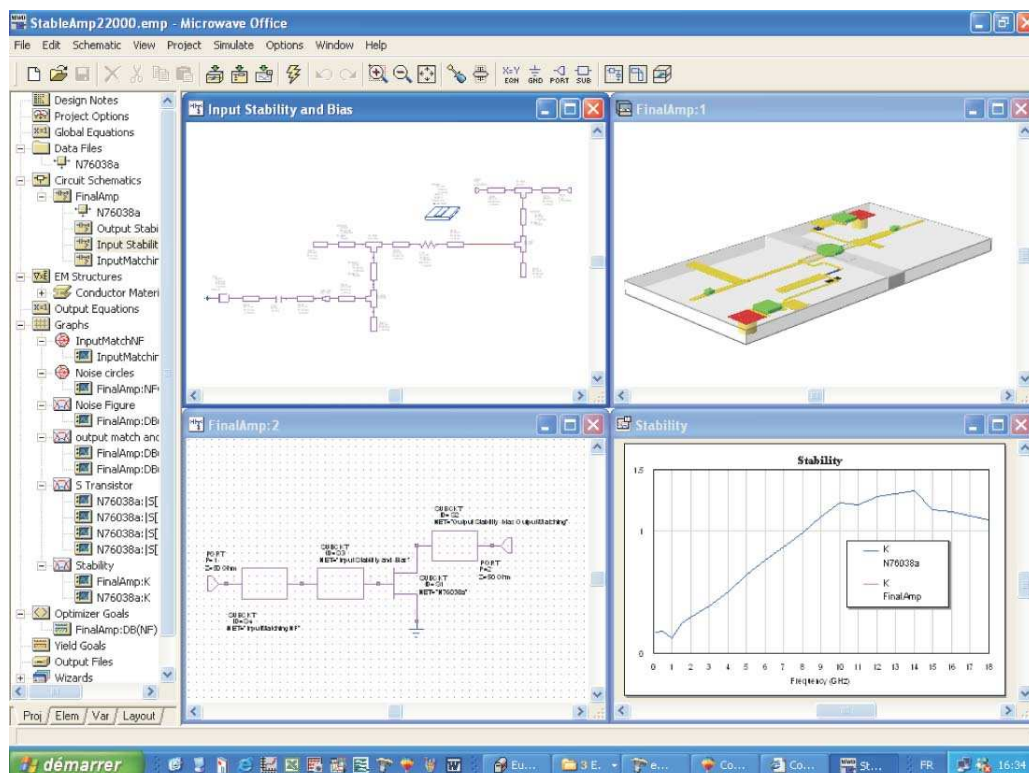


FIG. 1 – Environnement du logiciel *Microwave Office*.

1. Les fenêtres de l'utilisateur ouvertes par l'utilisateur, présentant le projet.
2. Une fenêtre de contrôle située à gauche de l'écran. Elle regroupe quatre sous-fenêtres (**Proj**, **Elem**, **Var**, **Layout**) jouant chacune un rôle particulier que nous allons décrire maintenant.

I.2 La fenêtre 'Projet'

Cette fenêtre contient toute l'organisation hiérarchique du projet (cf Fig.2).

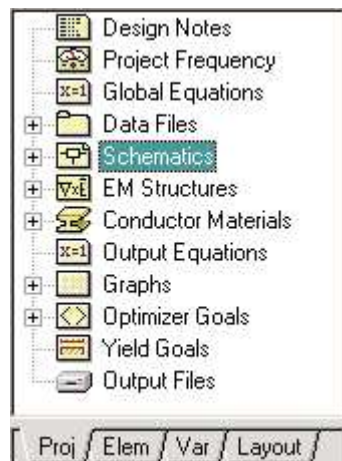


FIG. 2 – Onglet **Proj**.

Design Notes	Un simple éditeur de texte pour le projet.
Project Frequencies	Domaine de fréquence d'étude.
Global Equations	Equations saisies par l'utilisateur.
Data Files	Fichiers contenant les paramètres S.
Schematics	Circuits électriques de l'utilisateur.
EM Structures	Structures électromagnétiques de l'utilisateur.
Conductor Materials	Propriétés électriques des conducteurs (parfaits ou avec des pertes).
Output Equations	Groupe d'équations utilisés pour le traitement ultérieur de données.
Graphs	Graphiques.
Optimization Goals	Buts d'optimisation.
Output Files	Pour exporter les résultats de simulation.

I.3 La fenêtre 'Element'

Elle regroupe tous les objets (composants, substrats, générateurs) mis à notre disposition pour la réalisation de circuits électriques (cf Fig.3).

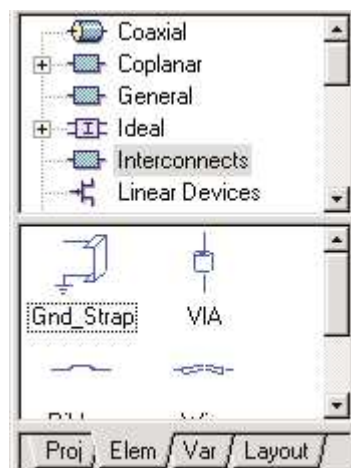


FIG. 3 – Onglet **Elem**.

I.4 La fenêtre 'Editeur de Variables'

Cette fenêtre affiche la valeur courante des paramètres et des variables utilisées dans le projet (cf Fig.4). Les trois premières colonnes indiquent si les variables sont 'ajustés' (tuned en anglais) **T**, optimisées **O** ou contraintes **C**. Ces notions seront plus approfondies dans la suite du TP.

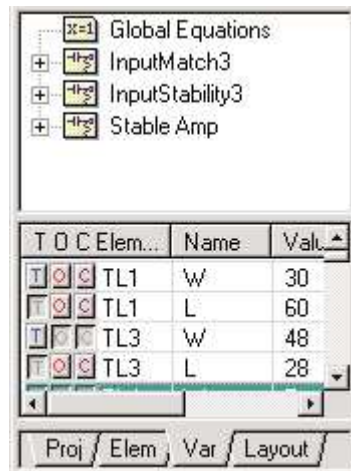


FIG. 4 – Onglet Var.

I.5 La fenêtre 'Layout'

Elle sert à la visualisation réelle du circuit électrique (Layout) en deux ou trois dimensions (cf Fig.5).

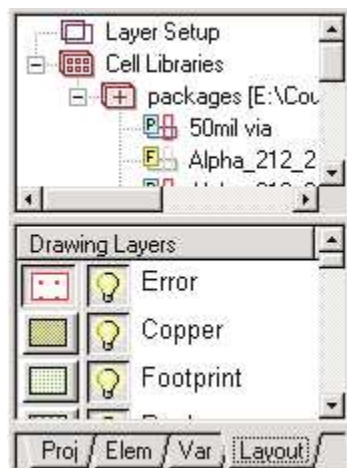


FIG. 5 – Onglet Layout.

Layer Setup Définition des différentes couches utilisées dans le projet (substrat, plan de masse, circuit de métallisation). Un fichier de définition de process (*.lpf) doit être importé.

Cell Libraries Représentation réelle (Layout) des objets utilisés dans le projet. Un fichier d'extension GDSII ou DXF doit être importé.

II Conception d'un amplificateur faible bruit (8-12 GHz)

Dans ce chapitre, nous allons concevoir pas à pas un amplificateur faible bruit en bande X (8-12 GHz). La stratégie à adopter pour un tel projet consiste tout d'abord à étudier la stabilité de l'amplificateur (seul) sur une bande de fréquence beaucoup plus large que celle d'intérêt afin d'éviter toute oscillation indésirable de notre composant. Ensuite, une fois notre transistor stabilisé, nous lui adjoignons des réseaux d'adaptation en entrée et en sortie pour optimiser soit son gain, soit son facteur de bruit.

Pour modéliser au mieux le comportement réel de l'amplificateur, nous devons tenir compte des dimensions des composants utilisés dans le circuit (généralement capacités discrètes, résistances) et des discontinuités dans la largeur des pistes métalliques. Toutes ces notions seront précisées au cours de ce TP.

II.1 Implémentation du transistor NE760-38a

Pour ce projet, nous utiliserons le transistor MESFET GaAs NE760-38a de la société NEC. Ce choix a été porté essentiellement par le faible coût du composant et son gain assez élevé dans la bande 8 – 12 GHz.

Dans la suite, les différentes étapes de réalisation de l'amplificateur seront tout simplement énumérées, des commentaires apparaîtront lorsque cela sera nécessaire.

Etape 1 - Créer un nouveau projet

- * Dans le menu **Files**, sélectionner **New Project**.
- * Enregistrer le projet sous le nom de **LNA** en sélectionnant **Files\Save As** dans le répertoire **Travail**.

Etape 2 - Etablir les unités par défaut

- * Dans le menu **Options**, sélectionner **Project Options\Options\Global Units**.
- * Choisir les unités suivantes : GHz, mil (décocher la case **Metric Units**).

Rappel : 1 mil = 254 μm.

Etape 3 - Créer un nouveau schéma

- * Clic droit sur l'icône **Schematic** pour faire défiler un menu ou cliquer sur l'icône **New Schematic** située dans la barre d'outils (cf Fig.6).

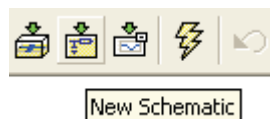


FIG. 6 – Bouton **New Schematics** située dans la barre d'outils.

- * Nommer-le **Amplificateur**.

Etape 4 - Importer les paramètres S du transistor

- * Clic Droit sur **Data Files\Import Data File**.
- * Importer le fichier 'N76038a.s2p' qui se trouve dans le répertoire 'C : \Program Files\Awr\Mwo2002 \Exemple \QuickStart'.

Le fichier N76038a.s2p est maintenant visible sous l'icône **Data Files**.

Les paramètres S du transistor sont donnés pour une polarisation donnée. Si vous ouvrez le fichier, cela correspond au point de polarisation : $V_{DS} = 3$ V et $I_{DS} = 10$ mA.

Etape 5 - Importer les fichiers de définition de process et la librairie des cellules

- * Cliquer sur l'onglet **Layout** et importer les fichiers **Quickstart.lpf** et **packages.gds** dans respectivement **Layer Setup** et **Cell libraries**.

Ces fichiers servent à la représentation réelle des objets que nous allons utiliser dans la suite, dont notamment celle du transistor.

Etape 6 - Placer le transistor dans le schéma

- * Cliquer sur l'onglet **Elem**.
- * Trouver dans **subcircuits** le quadripôle Ne76038a.

- * Cliquer et faire glisser l'élément dans le schéma.

L'étape suivante consiste à changer la représentation quadripolaire du transistor par une plus conventionnelle :

Etape 7 - Changer la représentation du transistor

- * Double-cliquer sur le transistor pour accéder à ses paramètres.
- * Cliquer sur le bouton **Ground** et sélectionner **Explicit Ground Node** pour faire apparaître la broche de masse.
- * Cliquer sur **Symbol** pour modifier l'apparence du transistor et choisir **FET system.syf**.
- * Cliquer sur **Layout** et choisir la cellule **Alpha_212_3**.

La représentation réelle (cf Fig.8) du transistor s'obtient en cliquant dans la barre de menu sur le bouton **View Layout** représenté Fig.7 :

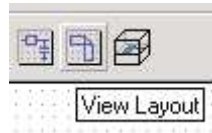


FIG. 7 – Bouton 'View Layout' situé dans la barre d'outils.

La broche biseautée représente la grille du transistor, tandis que celle diamétralement opposée est le drain. Les 2 autres broches sont la source du transistor. Elles sont plus larges pour des raisons de dimensionnement thermique.

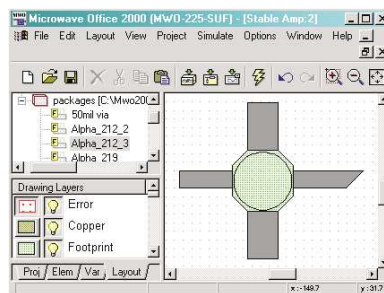


FIG. 8 – Représentation réelle du transistor.

Etape 8 - Ajouter deux ports d'excitation et la masse (cf Fig.10)

- * Cliquer sur l'onglet **Elem** et trouver les objets **PORT** et **GND** ou cliquer sur les boutons respectifs dans la barre d'outils (cf Fig.9).



FIG. 9 – Boutons 'GND' et 'Port d'excitation' situé dans la barre d'outils.

- * Placer 2 ports respectivement sur la grille et le drain du transistor et la masse à la source (cf Fig.10).

Remarque : Lors du déplacement d'un objet, vous pouvez l'orienter en cliquant sur le bouton droit de la souris.

II.2 Etude de la stabilité du transistor dans la bande de fréquence 0 – 18 GHz

Il est essentiel de voir le comportement du transistor en dehors de la bande d'intérêt (8-12 GHz). En effet, le transistor doit être *inconditionnellement stable* de 0 à 12 GHz pour éviter tout risque d'oscillation. Par sécurité, nous choisirons la gamme de fréquence d'étude 0.1 – 18 GHz.

Etape 1 - Domaine de fréquence d'étude

- * Cliquer sur **Project Frequencies** dans la fenêtre **Proj** et choisir la gamme de fréquence 0.1 – 18 GHz avec un pas de 0.1 GHz comme bande d'étude.

Etape 2 - Visualisation des paramètres S du transistor

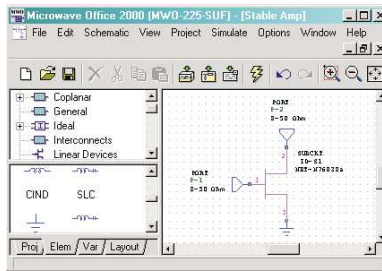


FIG. 10 – Transistor avec ses deux ports d'excitation.

- * Tracer les coefficients de réflexions S_{11} et S_{22} dans un abaque de Smith :
 - Dans la fenêtre **Projet**, clic droit sur l'icône **Graphs\Add Graphs**.
 - Choisir **Smith Chart** et nommer le graphe **Coefficients de Réflexion**.
 - Clic droit sur le nom du nouveau graphe puis **Add Measurements**.
 - Choisir **Port Parameters** et la matrice S comme type de mesure.
 - La matrice S portera sur le transistor N76038a, la sélectionner parmi les différentes sources de données possibles.
 - Ajouter le coefficients S_{11} en validant par le bouton **Apply**, puis le coefficient S_{22} .

Nous pouvons déduire de l'évolution en fréquence des coefficients de réflexion les schémas électriques équivalents des ports d'entrée et de sorties du transistor. À basse fréquence ($f=0.1$ GHz), le port d'entrée du transistor se comporte comme un circuit ouvert. (Vous pouvez le vérifier en cliquant sur la courbe correspondante). Au fur à mesure que la fréquence augmente, la courbe s'incurve vers le centre de l'abaque ce qui est synonyme de pertes. En résumé, le port d'entrée du transistor pourrait se modéliser aux basses fréquences par une capacité en parallèle avec une résistance. Nous nous étendrons pas plus sur ce sujet.

Traçons maintenant les coefficients de transmission S_{21} et S_{12} . Le module de S_{21} étant supérieur à 1 (c'est le gain du transistor), il n'est pas possible de le tracer dans un abaque de Smith qui est le lieu complexe des coefficients de réflexion (dont le module varie entre 1 (circuit ouvert) et -1 (court-circuit)). On a alors l'habitude de représenter les coefficients de transmission dans un diagramme polaire.

- * Tracer les coefficients de transmissions S_{21} et S_{12} dans un diagramme polaire.
- * Comment varie le gain du transistor avec la fréquence ?
- * Que représente le paramètre S_{12} ? Peut-on le considérer nul ? Quelle incidence à ce paramètre sur le fonctionnement du transistor ?

Le coefficient S_{12} n'est pas nul. Cela signifie que de la puissance est renvoyée de la sortie du transistor vers son entrée. Celui-ci peut se mettre à osciller si celui-ci n'est pas inconditionnellement stable, c'à-d stable quelque soit les charges présentées en entrée et en sortie ; ce que nous allons vérifier maintenant. Cette étape est la plus importante dans la conception d'un amplificateur.

Etape 3 - Stabilité du transistor

- * Comme précédemment, ajouter un nouveau graphe de type **'Rectangular'** que vous nommerez **Stabilité** portant sur le transistor. Choisir comme type de mesure **'Linear'** et tracer le facteur de Rollet **K**.
- * Déterminer la fréquence à partir de laquelle le transistor est inconditionnellement stable ($K > 1$).

Pour améliorer la stabilité du transistor, nous devons charger le transistor de façon à diminuer son gain et donc augmenter le facteur de Rollet (cf cours). Une solution possible est de concevoir un circuit de polarisation tel qu'il n'influence peu le comportement du transistor aux fréquences où il est inconditionnellement stable, mais qu'il constitue une charge importante ailleurs de façon à abaisser le gain.

II.3 Polarisation du transistor

Il existe de nombreuses configurations possibles pour polariser un transistor en HF. La plus simple est représentée Fig.11. Le principe est d'isoler les signaux continus de ceux HF avec une inductance. Comme cette dernière n'est pas idéalement un circuit ouvert pour les HF, elle est accompagnée d'une capacité de découplage reliée à la masse pour évacuer les signaux résiduels.

De façon pratique, les inductances sont réalisées en technologie microbande, les capacités sont des composants CMS, et les résistances sont fabriquées à partir d'un film résistif présentant une certaine résistance par unité de longueur. Les valeurs des composants sont calculées de telle sorte à améliorer la stabilité du transistor. L'impédance

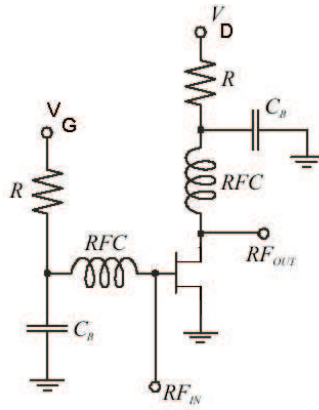


FIG. 11 – Circuit classique de polarisation d'un transistor en HE

ramenée au niveau de la grille du transistor doit être infinie dans la bande d'étude (où le transistor est inconditionnellement stable) et importante aux plus basses fréquences (où $K < 1$). Tout l'art de l'ingénieur est de dimensionner correctement ces composants pour un fonctionnement large-bande. Nous ne détaillerons pas dans ce TP la stratégie à employer.

• Circuit de polarisation du drain

Etape 1 - Créer un nouveau schéma

- * Clic droit sur **Circuit Schematics** dans la fenêtre 'Projet' pour créer un nouveau circuit.
- * Nommer-le **Stabilité Sortie**.

Etape 2 - Reproduire le circuit 'Stabilité en sortie' présenté en annexe

- * Sélectionner la fenêtre **Element**.
- * Dans la rubrique **Substrates**, faire glisser l'élément **MSUB** (Microstrip Substrate) dans le schéma.
- * En double-cliquant sur cet élément, entrer les différents valeurs des paramètres caractéristiques du substrat visibles en annexe.
- * Incorporer les autres éléments du circuit :
 - Les lignes Microstrip **MLIN**, les jonctions en té **MTEES**, les lignes **MLEF** (qui tiennent compte de l'extension des champs en bout de ligne) et l'élément **MSTEP** (qui permet de tenir compte des discontinuités dans la largeur des lignes) se trouvent dans la rubrique **Microstrip**.
 - Les capacités discrètes se trouvent dans la rubrique **Lumped Element**. Choisir la cellule **atc_100a_c** pour la représentation réelle de cet objet (Fenêtre 'Layout' en double-cliquant sur l'élément).
 - La résistance est un film mince résistif **TFR** qui se trouve dans la rubrique **Microstrip\Components**.
 - La mise à la masse se réalise à l'aide d'un **VIA** (trou métallisé qui relie le circuit au plan de masse) et l'élément **GND**. La rubrique **Interconnects** comportent ces 2 éléments. Choisir la cellule **50mil via** pour le layout de cet objet.
- * Afficher la représentation réelle du circuit en cliquant sur le bouton 'View Layout' situé dans la barre de tâche (cf Fig.7).
- * Le bouton **Snap Together** (cf Fig.12) permet d'assembler les divers éléments entre eux.



FIG. 12 – Bouton 'Snap Together' pour assembler les éléments entre eux.

- * Identifier les différents éléments du circuit : La ligne de 50 Ohms (de largeur 10 mils), la self, la capacité discrète, la mise à la masse...

Etape 3 - Insérer le circuit de polarisation à l'amplificateur

- * Cliquer sur le circuit **Amplificateur** dans la fenêtre **Projet**.
- * Effacer le port d'excitation n°2.

- * Cliquer sur l'onglet **Elem** et faire glisser le **subcircuits** 'Stabilité sortie' pour le raccorder au transistor.
- * Ajouter le port d'excitation manquant en sortie du quadripôle.

Etape 4 - Etude de la stabilité de l'amplificateur (Transistor+Circuit de polarisation Drain)

- * Modifier la source de donnée du graphe de Stabilité :
 - Clic droit sur le graphe 'Ne76038a :K', puis choisir **Modify Measurements**.
 - Remplacer la source de données 'Ne76038a' par 'Amplificateur'.
- * Vérifier que la stabilité a été améliorée en lançant une nouvelle analyse (cf Fig.13).



FIG. 13 – Bouton pour lancer la simulation.

• Circuit de polarisation de la grille

Etape 1 - Importer le circuit de polarisation 'InputStability.sch'

Etape 2 - Insérer ce schéma à l'amplificateur

Etape 3 - Visualiser le layout de l'amplificateur et identifier les divers éléments le constituant

Etape 4 - Etudier la stabilité de l'amplificateur ainsi obtenu

- * Pour avoir une figure plus visible, changer les échelles du graphe en double-cliquant sur un de ses axes. Tracer le facteur de Rollet K entre 0 et 5.

Le transistor est inconditionnellement stable ($K > 1$) dans toute la bande d'étude (0 – 18 GHz). Cependant, pour certaines fréquences, par exemple $f = 1.7$ GHz le facteur de Rollet est très proche de 1 (cf Fig.14).

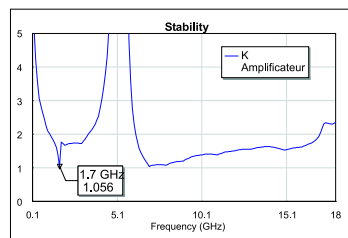


FIG. 14 – Stabilité de l'amplificateur.

Étant donné la dispersion non négligeable des paramètres S selon les transistors ; essentiellement due à leur process de fabrication, il est préférable d'avoir K plus grand que 1. Pour cela, nous allons modifier manuellement quelques valeurs de nos composants et voir en temps réel comment se comporte l'amplificateur.

II.4 Ajustement manuel des paramètres de l'amplificateur ('Tuning')

L'outil **Tune Tool** (cf Fig.15) permet de sélectionner les variables dont on souhaite modifier la valeur.

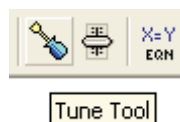


FIG. 15 – Outil pour sélectionner les variables à modifier.

Etape 1 - Sélectionner les variables à modifier

- * Cliquer sur l'outil **Tune**.
- * Sélectionner dans le circuit '**Stabilité sortie**' la longueur L de l'inductance (cf Fig.16). La valeur de la variable change alors de couleur.

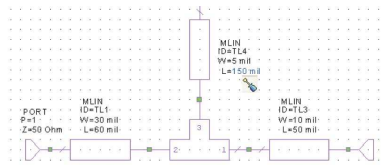


FIG. 16 – ‘Tuning’ de la variable L.

- * Dans le circuit ‘**InputStability**’, faire de même pour la longueur **L** de la première inductance (élément MTRACE X1), la longueur du film résistif (TFR TL9) et la valeur de la capacité de découplage (CAP C1).
- * Sélectionner ensuite le graphe de stabilité.
- * Cliquer ensuite sur l’outil **Tune** (cf Fig.17) pour modifier les valeurs de ces paramètres.



FIG. 17 – Outil pour modifier les valeurs des variables tunées.

Le but est de trouver des valeurs convenables à ces variables afin que la facteur de Rollet soit toujours plus grand que 1 dans toute la bande d’étude. Une solution possible est rapportée au tableau suivant :

Circuit	Élément	Variable	Valeur initiale	Valeur suggérée
Stabilité Sortie	Inductance	L	150	146
InputStability	Inductance X1	L	130	150
InputStability	TFR X1	L	50	65
InputStability	Capacité C1	C	100	50

Maintenant que l’amplificateur est inconditionnellement stable, nous pouvons lui adjoindre des réseaux d’adaptation pour l’optimiser pour un fonctionnement en amplificateur faible bruit.

II.5 Réseaux d’adaptation pour réaliser un amplificateur faible-bruit

Nous savons d’après le cours que nous devons présenter en entrée de l’amplificateur un coefficient de réflexion optimal pour minimiser le facteur de bruit et à sa sortie un quadripôle réalisant l’adaptation conjuguée, pour ne pas perdre inutilement de la puissance.

• Facteur de bruit de l’amplificateur (voir Annexe)

Pour connaître le coefficient de réflexion optimal à présenter à l’entrée de l’amplificateur, il est nécessaire de tracer les cercles de bruit dans la bande de fréquence d’intérêt, c’ad 8 – 12 GHz. Pour cette étude, nous ferons les calculs que pour 3 fréquences : 8, 10 et 12 GHz pour éviter de surcharger les graphes.

Etape 1 - Changer la bande de fréquence d’étude

Etape 2 - Tracer les cercles de bruits

- * Créer un nouveau graphe de type ‘Smith Chart’ et nommer-le ‘Cercles de bruit’.
- * Choisir le type de mesure **Circle\NFCIR**. Tracer un seul cercle par fréquence par **pas de 0.5 dB** avec comme source de donnée ‘Amplificateur’.

Les croix sont les coefficients de reflexion, à une fréquence donnée, pour lequel le facteur de bruit est minimal. Les cercles représentent les lieux où ce facteur est augmenté de 0.5 dB.

L’étape suivante consiste à concevoir un réseau d’adaptation qui présente un coefficient de réflexion en sortie passant idéalement par les croix ; ce qui est en pratique assez difficile à réaliser. Nous utiliserons un réseau d’adaption ‘**Stub+Ligne**’ pour effectuer cette opération. En outre, nous ajouterons à l’entrée du réseau une capacité de liaison afin d’éviter de claquer le transistor si par mégarde une tension continue était appliquée à l’entrée de l’amplificateur par l’utilisateur. Cette dernière tâche n’est pas obligatoire, mais fortement conseillée... Enfin nous ajouterons une ligne de 50 Ohms pour pouvoir y venir souder un connecteur SMA.

Etape 3 - Importer le circuit ‘InputMatch.sch’. Ne pas le raccorder à l’amplificateur !

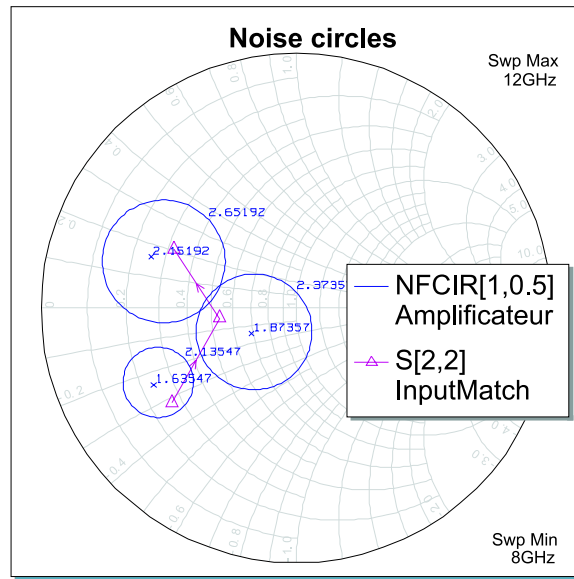


FIG. 18 – Facteur de bruit minimisé.

Etape 4 - Ajouter dans le graphe 'Cercles de bruit' le coefficient S_{22} du circuit 'InputMatch' (Fig.18)

Etape 5 - Insérer le nouveau circuit à l'entrée de l'amplificateur

Etape 6 - Visualiser le layout de l'amplificateur et identifier les divers éléments le constituant

Etape 7 - Changer la bande de fréquence d'étude : 8-12 GHz par pas de 0.5 GHz

Etape 8 - Tracer le facteur de bruit exprimé en dB :

- * Créer un nouveau graphe de type 'Rectangular' et nommer-le 'Facteur de bruit'.
- * Choisir le type de mesure **Noise\NF** et cocher la case **dB** ; la source de donnée étant 'Amplificateur'.

Le facteur de bruit varie de façon irrégulière entre 2 et 2.5 dB.

Etape 9 - Tracer le gain et les pertes en sortie de l'amplificateur

- * Créer un nouveau graphe de type 'Rectangular' et nommer-le 'Gain et pertes'.
- * Tracer les coefficients S_{21} et S_{22} de l'amplificateur exprimés en dB.

Le gain de l'amplificateur est sensiblement de 6 dB dans toute la bande d'étude et les pertes sont de -5 dB. La forte valeur (en échelle linéaire) du coefficient de réflexion S_{22} indique que presque toute la puissance fournie par l'amplificateur lui est renvoyée à cause de la désadaptation avec le port d'excitation de sortie. Il est maintenant nécessaire de concevoir un quadripôle qui réalise l'adaptation conjuguée avec la sortie du transistor.

• Réseau d'adaptation pour minimiser les pertes en sortie (voir Annexe)

Comme pour le circuit précédent, nous utiliserons un 'stub et une ligne' pour réaliser l'adaptation conjuguée. Nous ajouterons à ce schéma une capacité d'isolation et une ligne de 50 Ohms pour pouvoir la relier à un connecteur SMA.

Etape 1 - Importer le schéma 'OutputStabilityMatch.sch' (Polarisation et Adaptation)

Etape 2 - Remplacer le circuit 'Stabilité Sortie' dans 'Amplificateur' par le circuit importé

Etape 3 - Visualiser le layout de l'amplificateur et identifier les divers éléments le constituant

Etape 4 - Recalculer le gain, les pertes et le facteur de bruit de l'amplificateur

Les pertes en sortie de l'amplificateur sont inférieures à 15 dB ; ce qui est satisfaisant. Le gain a augmenté, en conséquence de 3 dB.

II.6 Optimisation de l'amplificateur

Nous allons maintenant essayer de minimiser le facteur de bruit dans la bande d'étude en jouant sur les paramètres du circuit '**InputMatch**', le réseau d'adaptation qui détermine le facteur de bruit. Dans cet objectif, nous allons demander au logiciel de trouver lui-même les bonnes valeurs des éléments constituant ce circuit en appliquant des algorithmes d'optimisation afin de satisfaire un 'but' ; ici par exemple un facteur de bruit inférieur à 2.2 dB.

Etape 1 - Créer le but d'optimisation : NF < 2.2 dB

- * Dans la fenêtre 'Projet', clic droit sur **Optimizer Goals\Add Opt Goals**.
- * Sélectionner 'Amplificateur : dB(NF)' et fixer comme but une mesure inférieure à 2.2 (cf Fig.19).

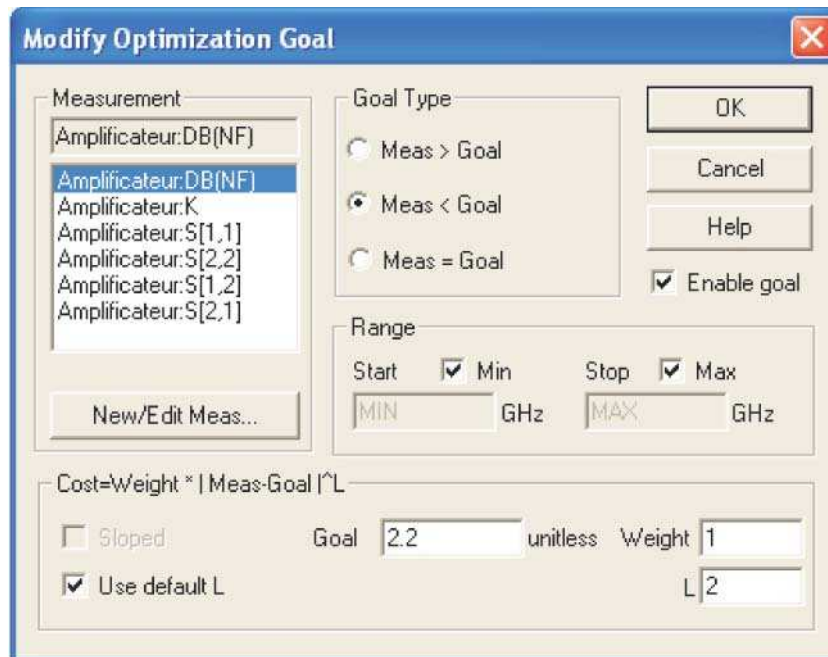
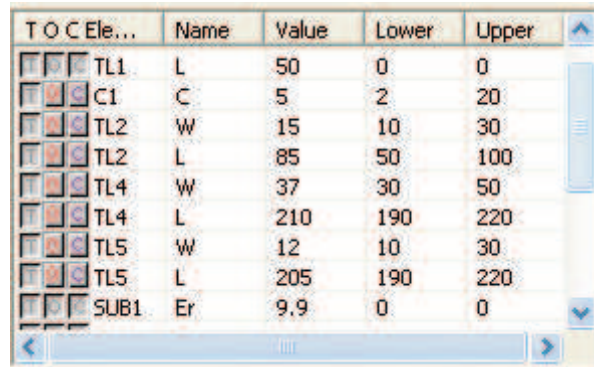


FIG. 19 – But d'optimisation.

Etape 2 - Déterminer les variables à modifier et leur plage de valeurs

- * Cliquer sur l'onglet **Var** dans la fenêtre de contrôle.
- * Sélectionner le circuit 'InputMatch' pour voir toutes ces variables.
- * Sélectionner les cases **O** (Optimisation) et les cases **C** (Contraintes) de toutes les variables du circuit sauf ceux de la ligne de 50 Ohms et du substrat(cf Fig.20).
- * La case **C** détermine la plage de valeurs que peut prendre chaque variable. Remplir les différents champs pour chacune d'entre elles, conformément à la figure 20.



T O C Ele...	Name	Value	Lower	Upper
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TL1	L	50	0	0
<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> C1	C	5	2	20
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> TL2	W	15	10	30
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> TL2	L	85	50	100
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> TL4	W	37	30	50
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> TL4	L	210	190	220
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> TL5	W	12	10	30
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> TL5	L	205	190	220
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> SUB1	Er	9.9	0	0

FIG. 20 – Les plages de valeurs des différentes variables.

Etape 3 - Afficher le graphe 'Facteur de bruit'

Etape 4 - Lancer l'optimisation en appuyant sur la touche F7

- * Laisser par défaut la méthode d'optimisation 'Pointer-Robust' et démarrer l'optimisation.
- * Vous pouvez arrêter les calculs lorsqu'ils seront devenus stables.

Etape 5 - Visualiser les performances de l'amplificateur