

SAE LORAWAN -HYPERFREQUENCE

CONCEPTION ET ADAPTATION D'ANTENNES POUR IoT

Séances 1 & 2

INTRODUCTION

L'IoT (Internet of Things) fait référence aux appareils connectés qui peuvent communiquer entre eux et avec des utilisateurs via internet.

Parmi les composantes de l'IoT, on trouve en premier lieu l'objet qui est un ensemble capteur, microcontrôleur et transceiver. Ce dernier permet à l'objet de communiquer avec le réseau par une liaison sans fil (communication RF). L'un des éléments essentiels au bon fonctionnement d'une communication RF est l'antenne.

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement).

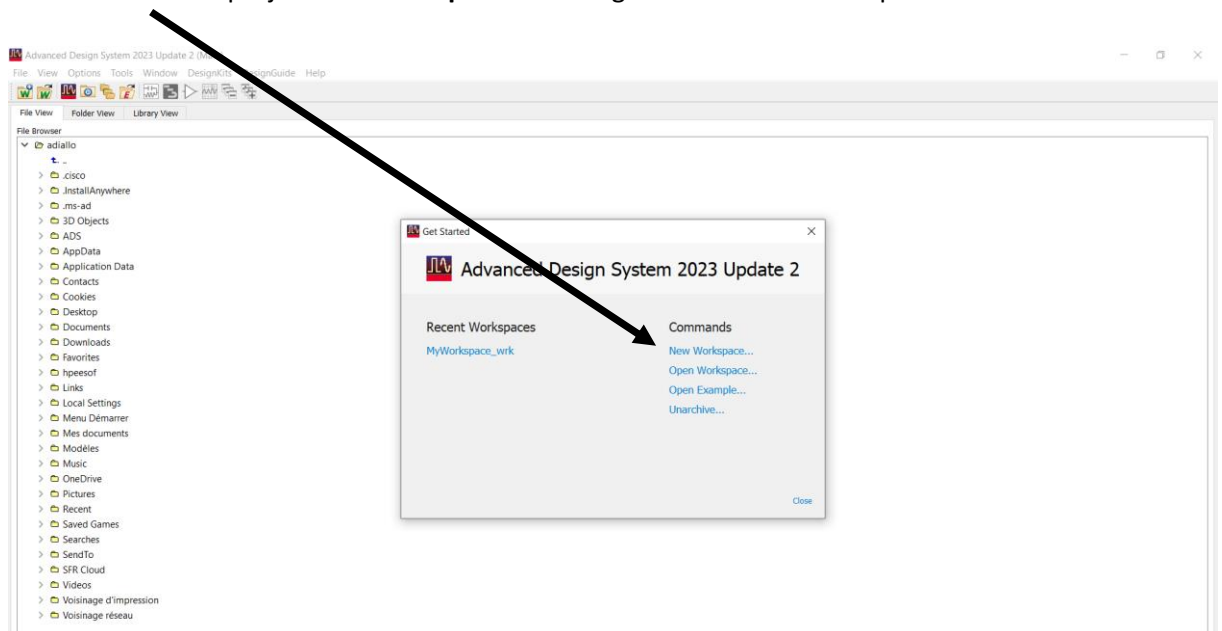
Le transport d'énergie par une onde électromagnétique va donc permettre le transfert d'information sans support physique à travers un canal ou une liaison radioélectrique. Cette liaison est dépendante des propriétés de l'antenne qui va donner naissance à l'onde électromagnétique, et à l'environnement autour de l'antenne qui va influencer sur la propagation des ondes électromagnétiques.

La connaissance et la modélisation de la propagation et des antennes sont complexes, mais nécessaire pour dimensionner un système de transmission sans fils.

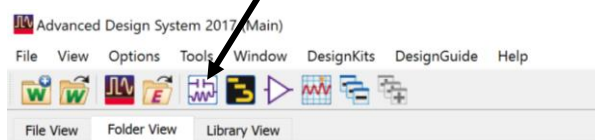
L'objectif ici c'est surtout de s'assurer que l'antenne (charge) est capable d'accepter la puissance issue du transceiver (source) pour pouvoir la rayonner (émettre). On parle alors d'adaptation.

I- Etude d'une charge connectée au bout d'une ligne avec ADS

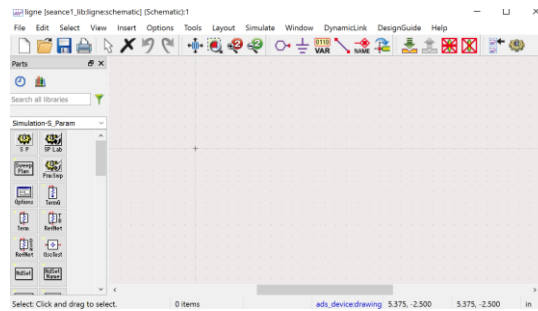
- Lancer Advanced Design System 
- Créer un nouveau projet **New Workspace** et l'enregistrer dans votre compte



- Ouvrir un schématic (File\New\Schematic) (ou) et l'appeler ligne



- Vous allez voir apparaître cet environnement

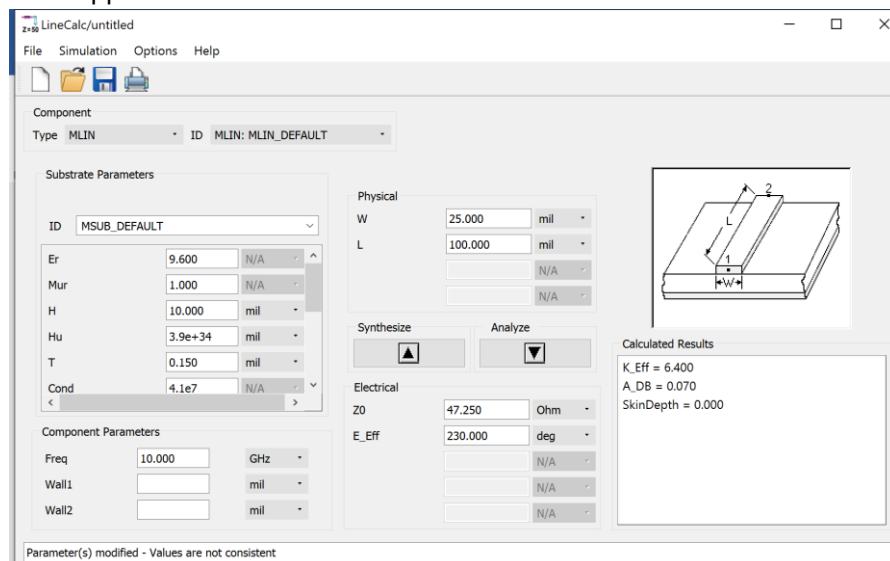


En premier, on cherche à voir la position sur l'abaque de Smith d'une charge Z connectée à une source d'impédance $Z_0 = 50\Omega$ par l'intermédiaire d'une ligne imprimée d'impédance caractéristique $Z_c = Z_0$ à la fréquence de 4,5GHz.

En hyperfréquence, l'impédance d'une ligne est fixée par sa largeur.

On va donc utiliser l'outil **LineCalc** pour calculer la largeur de la ligne.

- Faire : Tools\LineCalc\Start LineCalc
Vous allez voir apparaître la fenêtre suivante



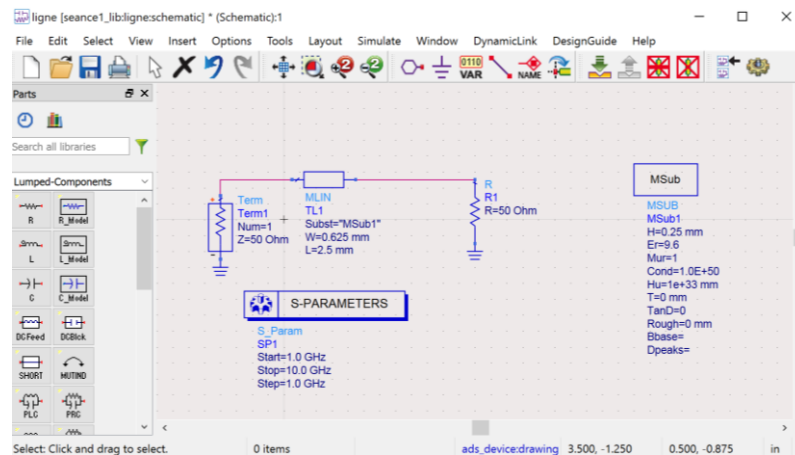
Paramétrage : $\epsilon_r = 2,2$ (substrat duroid), $H = 0,787\text{mm}$, $T = 0.035\text{mm}$, $\text{Freq} = 4,5\text{GHz}$, $Z_0 = 50\Omega$

N'oubliez pas de mettre les unités de W et L en mm avant de cliquer sur **synthèse**

Relever la valeur de **W** et fermer la fenêtre de LineCalc sans enregistrer.

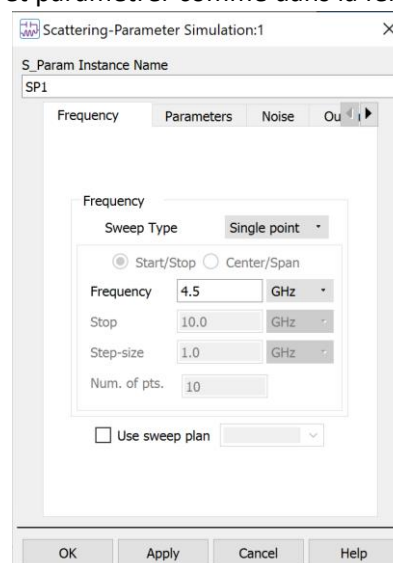
- Retourner sur schématique choisir sur la fenêtre « Tlines-Microstrip » et choisir les composants MSUB (le substrat) et MLIN (ligne imprimée).
Attention : lors de votre 1^{er} clic sur MSUB une fenêtre s'ouvrira pour vous demander la technologie de PCB choisie. Choisissez « standard resolution 0.0001mm ».

Ensuite toujours dans la fenêtre à gauche, choisir Simulation-S_Param et choisir les blocs Term et SP. Puis, choisir Lumped-component et choisir R (CTRL+R vous permet de faire une rotation du composant). Maintenant relier la source (Term), la ligne et la charge R

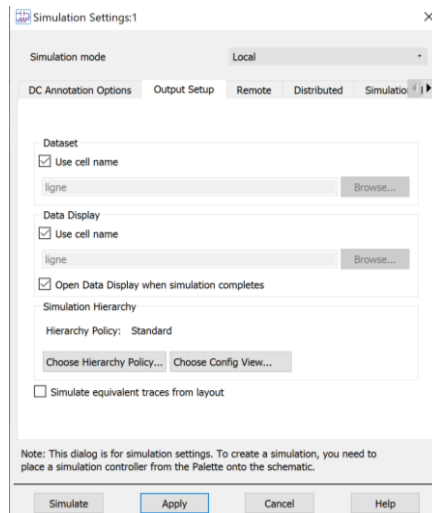


Paramétrer le substrat comme dans LineCalc, et prendre pour W la valeur trouvée avec LineCalc, et L=30mm.

Double-clic sur S-Parameters et paramétrer comme dans la fenêtre ci-dessous



- Maintenant clic sur **Simulate\Simulation Settings**. La fenêtre suivante s'ouvre



Dans cette fenêtre, on voit 2 cases cochées.

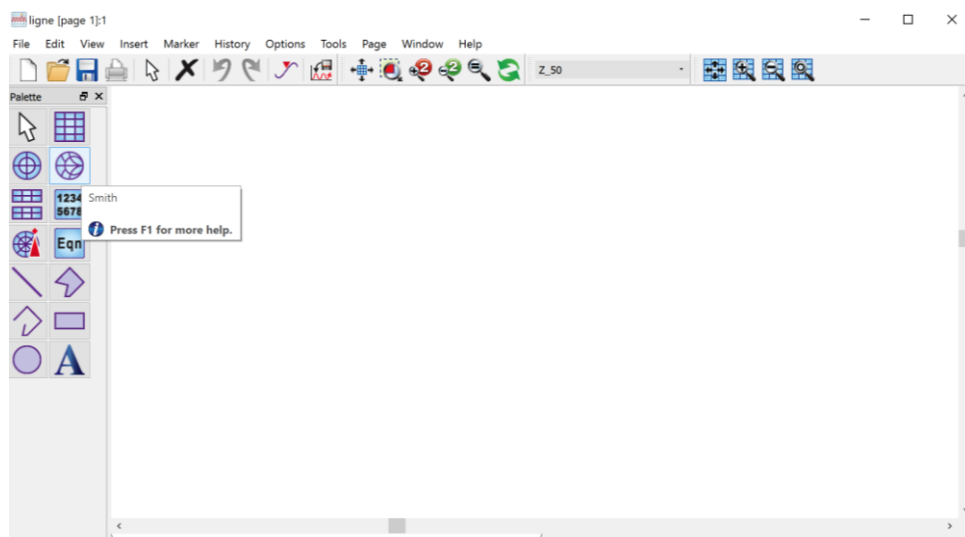
La première « Dataset » représente le nom du fichier dans lequel les données seront enregistrées.

Par défaut, il a pris le nom du fichier. Vous pouvez soit le laisser comme ça, ou le changer en l'appelant Z_50. Si vous changez la valeur de la charge, veiller à changer le nom du dataset pour ne pas écraser la première simulation.

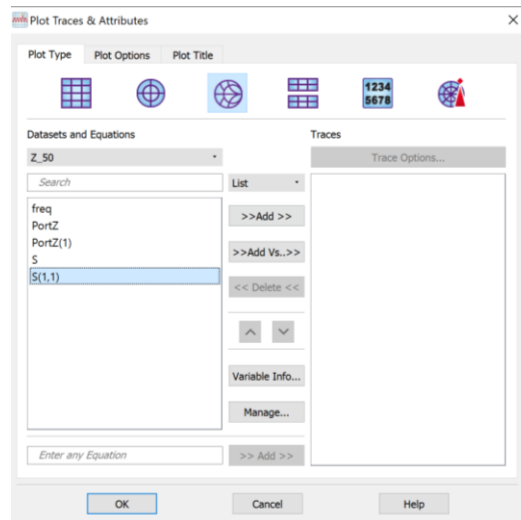
La seconde représente le nom de la fenêtre graphique où on peut tracer les courbes. On gardera le même nom pour chaque simulation. En cochant la case, la fenêtre s'ouvrira automatiquement après chaque simulation. Pour la première simulation, cocher cette case, et décocher la quand vous changez la valeur de la charge après.

- Maintenant clic sur simulate

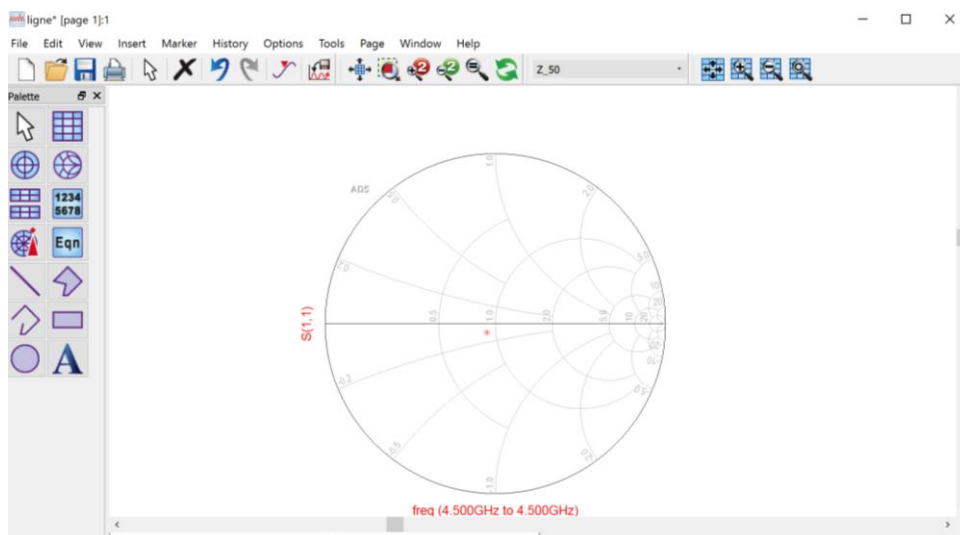
La fenêtre graphique s'ouvre automatiquement



- Choisir l'abaque de Smith,



Puis faire « Add » puis OK



Le graphe qui apparaît s'appelle Abaque de Smith. Il permet de représenter l'impédance réduite Z/Z_0 ramenée à la source (vue à l'entrée de la ligne). Elle est composée de cercles parallèles représentant la partie réelle (résistance), et d'arcs représentant la partie imaginaire de l'impédance réduite (réactance).

Normalement, quand la source, la ligne et la charge ont même impédance, l'impédance ramenée à la source vaut Z_0 . Donc l'impédance réduite doit valoir 1, et le point doit se trouver au milieu de l'abaque. Si vous avez un décalage, cela signifie que votre ligne ne vaut pas vraiment 50Ω et qu'il faudra tuner la largeur de la ligne jusqu'à avoir le point au milieu de l'abaque.

Si le point est au milieu de l'abaque, on dit qu'on a une charge adaptée, et que toute la puissance est transmise à la charge.

Comme on n'a pas 2 accès (ports) pour comparer la puissance acceptée à l'entrée de la ligne à la puissance transmise, on mesure la puissance réfléchie à l'entrée de la ligne.

Le rapport $P_{ref}/P_t = |S_{11}|^2$, S_{11} est appelé le coefficient de réflexion et est donné par :

$$S_{11} = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

Si $Z = Z_0$, on a $S_{11} = 0$, donc toute la puissance est acceptée à l'entrée de la ligne.

Après avoir tuner W, mettre un marker sur le point. Rajouter un repère cartésien et tracer le $|S_{11}|_{dB}$.

Exercice 1 :

Changer la valeur de la charge à 25 puis 100 Ω . Voir comment varie l'impédance sur l'abaque de Smith et le $|S_{11}|_{dB}$.

Faire pareil en rajoutant C = 1pf puis L= 1nH en série à la résistance de 50 Ω .

Faire un tableau et calculer pour chaque cas le pourcentage de la puissance acceptée en utilisant la formule $1 - |S_{11}|^2$.

Attention : pour ne pas écraser les dataset, aller dans simulations setting et mettre les noms Z25, Z100, Z50+1pF, Z50+1nH pour les 4 simulations.

II- Adaptation d'impédance

N'importe quelle impédance excepté un court-circuit ou un circuit ouvert peut être adaptée à Z_0 (50 Ω ici) en rajoutant des composants passifs réactifs (capacité ou inductance) à l'entrée de la ligne.

- 1) En ajoutant une **inductance en série**, on déplace l'impédance autour des cercles de **résistance constante** dans le **sens des aiguilles d'une montre** (Fig.1). La valeur de l'inductance nécessaire pour déplacer la réactance (partie imaginaire de l'impédance) sur l'abaque de Smith par un facteur X_L est donné par la formule suivante : $L = \frac{X_L}{2\pi f}$
- 2) En ajoutant une **capacité en série**, on déplace l'impédance autour des cercles de **résistance constante** dans le **sens contraire des aiguilles d'une montre** (Fig.2). La valeur de la capacité nécessaire pour déplacer la réactance (partie imaginaire de l'impédance) sur l'abaque de Smith par un facteur X_C est donné par la formule suivante : $C = -\frac{1}{2\pi f X_C}$
- 3) En ajoutant une **inductance en parallèle**, on déplace l'impédance autour des cercles de **conductance constante** dans le **sens contraire des aiguilles d'une montre** (Fig.3). La valeur de l'inductance nécessaire pour déplacer la susceptance (partie imaginaire de l'admittance) sur l'abaque de Smith par un facteur Y_L est donné par la formule suivante : $L = -\frac{1}{2\pi f Y_L}$
- 4) En ajoutant une **capacité en parallèle**, on déplace l'impédance autour des cercles de **conductance constante** dans le **sens des aiguilles d'une montre** (Fig.4). La valeur de la capacité nécessaire pour déplacer la susceptance (partie imaginaire de l'admittance) sur l'abaque de Smith par un facteur Y_C est donné par la formule suivante : $C = \frac{Y_C}{2\pi f}$

Quand vous devez adapter une impédance :

- 1^{ère} étape : ajouter un composant en série (ou parallèle) qui déplacerait l'impédance jusqu'à croiser le cercle de conductance 20ms (ou de résistance 50 Ω).
- 2^{ème} étape : ajouter un composant en parallèle (ou série) qui ramènerait l'impédance au point 50 Ω .

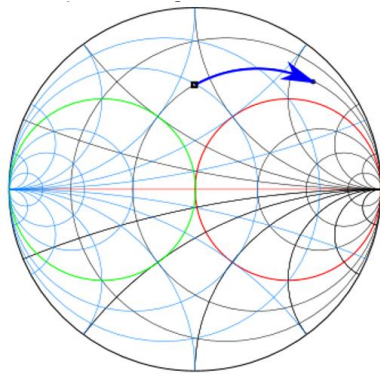


Fig.1 : Modification de l'impédance avec une inductance en série

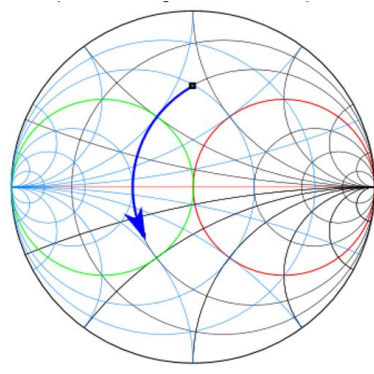


Fig.2 : Modification de l'impédance avec une capacité en série

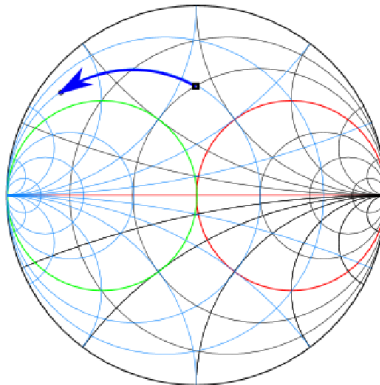


Fig.3 : Modification de l'impédance avec une inductance en parallèle

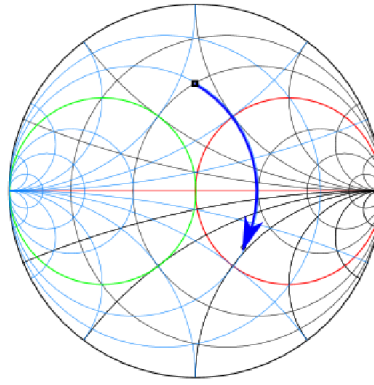


Fig.4 : Modification de l'impédance avec une capacité en parallèle

Exercice 2 :

Commencer par double clic sur l'abaque de Smtih, et dans « plot option », choisir pour coordinate « Both » à la place de « Impedance » pour faire apparaître sur le graphe les cercles de résistance et les cercles de conductance.

Adapter à 50Ω les impédances Z_{50+1pF} et Z_{50+1nH} de l'**exercice 1**. Une fois que vous avez compris quel composant utiliser, vous pouvez utiliser le mode tuning pour trouver la valeur du composant.

III- Conception d'antennes sous MOMENTUM

III.1. Export de Schématic vert MOMENTUM

Maintenant sauver votre schématic dans un fichier « ligne2 » après avoir enlevé tous les lumped component.

Rajouter à la sortie de la ligne un 2nd Port « Term2 ».

Mettre la longueur de la ligne à 60mm et simuler le circuit entre 4 GHz et 5GHz par pas de 10MHz.

Tracer le $|S_{11}|_{dB}$, $|S_{22}|_{dB}$ et le $|S_{21}|_{dB}$. Interpréter les résultats.

Retourner sur schématic et faire **layout** puis **Generate\Update layout** puis clic sur OK

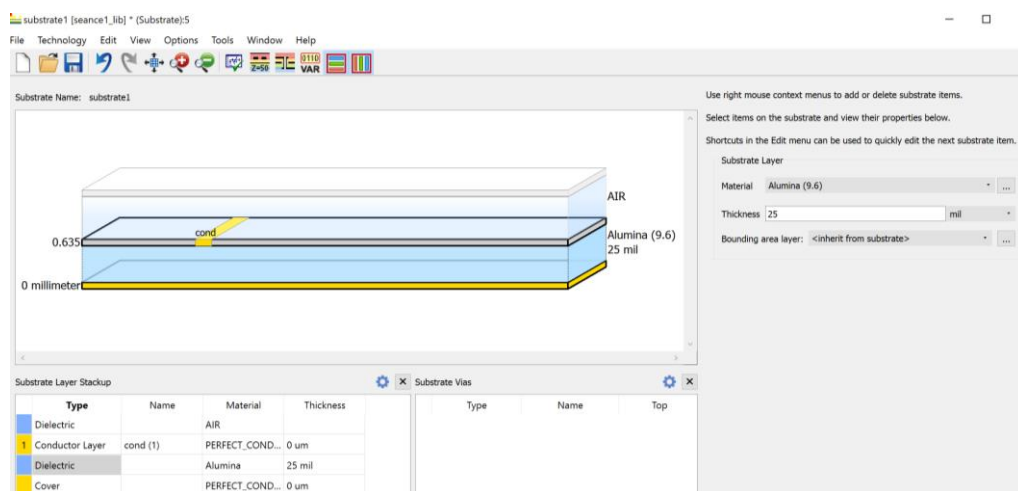
Vous voyez apparaitre le layout du composant MLIN que vous avez paramétré sous schématic.

Maintenant il faut rajouter le substrat.

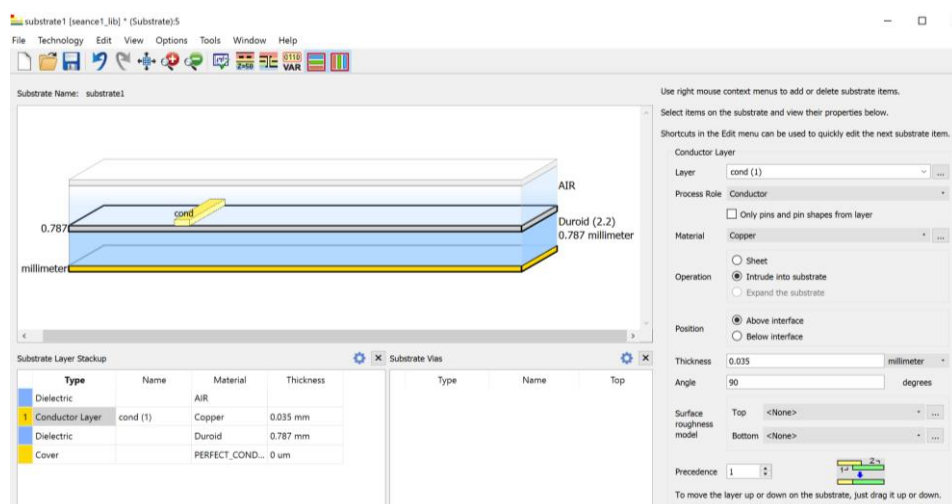
Faire EM\Substrat faire Ok puis create substrate

Vous voyez apparaître la fenêtre suivante avec les différentes couches.

- La couche « **cover** » qui représente le plan de masse infini. Pour faire un plan de masse fini (à voir plus tard), il faudra supprimer cette couche et mettre « **conductor layer** » avec comme nom cond2 ou cond et une couche d'air en dessous.
Donc ici on garde la couche « cover » avec comme matériel « perfect conductor » et comme épaisseur 0mm. (Ne rien changer).
- Sélectionner Dielectric, puis clic sur « ... » sur la fenêtre de droite. Une autre fenêtre avec une liste de substrats prédéfinis apparaît. Si vous n'y trouvez pas Duroid, alors faire « add Dielectric » et changer les propriétés de Dielectric1 qui s'est ajouté. Mettre comme nom « Duroid », Real=2.2, TanD=0. Puis Ok.
Maintenant sur substrate layer material choisir Duroid dans la liste déroulante et pour l'épaisseur mettre 0.787mm.



- A gauche choisir Conductor layer et faire le réglage suivant, puis enregistrer et fermer cette fenêtre.

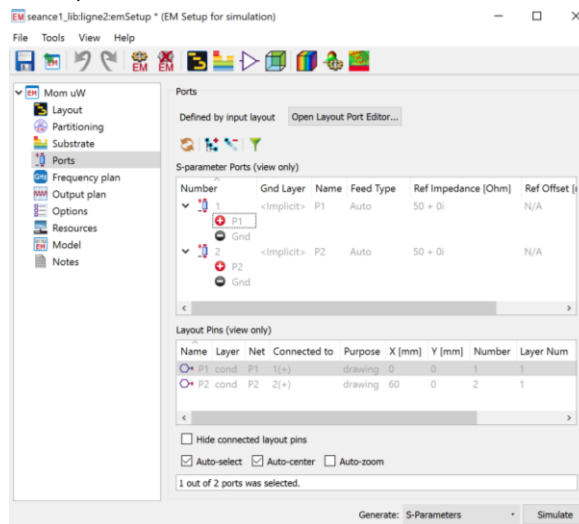


Retourner sur votre layout, sélectionner la ligne et vérifier bien qu'en haut de la fenêtre que c'est le nom « cond » qui apparaît comme nom de layer. Ce qui signifie que la ligne est bien au-dessus du substrat comme on l'a défini dans substrate.

- Vous avez pu constater que les ports (sources) de schématic ne sont pas importés. Il faudra donc rajouter 2 ports à l'entrée et à la sortie de la ligne.
- Faire insert\Pin et placer un port (P1) à l'entrée de la ligne et un autre (P2) à la sortie de la ligne. Zoomer s'il le faut chaque Port pour vous assurer qu'il est bien sur la couche cond et que le sens de la flèche est bon. Un CTRL +R permet de faire une rotation.

Maintenant on va simuler cette ligne.

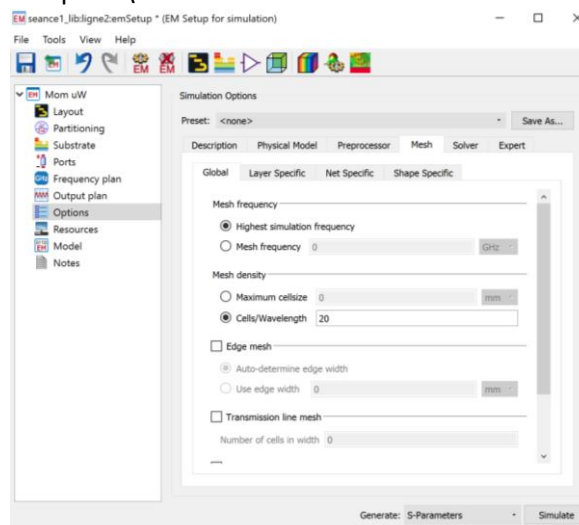
- Faire EM\simulation settings puis clic sur Create EM Setup View
- Quand vous cliquez sur Port, vous devez voir la fenêtre suivante



On voit ici que les (+) des Port 1 et 2 sont sur la mêmes couche cond, et que le GND est par défaut sur la couche cover (plan de masse infini).

Dans le cas d'un plan de masse fini où la couche cover est remplacée par cond2, il faudra placer 2 ports par excitation (excitation différentielle) : P1 sur cond et P2 sur cond2, puis ouvrir « Open Layout Port editor » et déplacer le (+) du Port 2 et le déposer sur le GND du Port 1. Comme on est en plan de masse infini, on ne va pas changer cette configuration.

- Maintenant sélectionner frequency plan, et en adaptive mettre Fstart = 4GHz et Fstop= 5GHz. On laissera le nombre de point à 50.
- Maintenant sélectionner option\mesh



- Lors de la simulation, la structure sera décomposée en petites cellules dont le nombre est fixé par la fréquence de maillage et par le nombre de cellules par longueur d'onde.

Plus la longueur d'onde (fixée par la fréquence de maillage) et la densité de cellules sont élevées, plus le calcul est précis, mais la simulation prendra beaucoup plus de temps.

Pour cette structure, on ne changera rien ici.

Maintenant clic sur simulate et observer les résultats.

En cliquant sur le graphe des paramètres S, vous pouvez voir qu'il y a un dataset nom_MOMUW_a (avec plus de points obtenus par interpolation) et un autre avec nom_MOMUW (avec les 50 points réellement calculés). Si vous devez exporter les résultats, il faudra prendre nom_MOMUW_a.

Sur la fenêtre layout, vous pouvez voir comment cette ligne a été maillée. Pour effacer le maillage, faire EM\Clear Momentum Mesh.

Vous pouvez aussi voir la structure en 3D en faisant EM\3D EM Preview\With EM Setup.

III.2. DESIGN SOUS MOMENTUM D'UN PATCH

Maintenant on va dessiner dans un layout, une antenne patch carrée L x L (28,5mm x 28,5mm) travaillant à la fréquence de 2,45GHz, imprimée sur un substrat FR4 d'épaisseur 0,8mm et de tangente de perte 0.02 avec un plan de masse infini.

- Créer un nouveau layout (file\new) et appeler le « patch » et l'enregistrer.
- Créer le substrat et enregistrer
- Pour dessiner le patch, choisir rectangle (vérifier que vous êtes bien sur le layer cond) dans la fenêtre layout, puis faire Insert\Coordinate entry, puis entrer (X=0, Y=0) puis faire **apply**; ensuite (X = 28.5, Y = 28.5) puis faire **Ok** et **ECHAP**.

Faire insert Pin, puis insert\Coordinate entry puis entrer (X=L/ 3 et Y = L/2). Puis Ok et ECHAP.

Vérifier que le Port est bien sur la couche Cond.

- Dans simulation setting puis frequency plan, choisir en adaptative entre 2 et 3GHz et ajouter en single 2,45GHz. Puis dans Output plan choisir « All Generated Frequencies » Lancer la simulation et voir les paramètres S.
- Faire EM/ Post Processing/ Far Fields. Dans **solution Setup** choisir la fréquence de 2,45GHz, vous pouvez voir le diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne.
- Dans solution setup de la fenêtre qui s'ouvre, choisir 2.45GHz.
- Dans Plot properties, Far Field Cut, faire Enable et choisir Theta=0 et Phi=0 puis faire clic sur Display Cut in data display. Là vous pouvez voir le gain de l'antenne, son efficacité...

IV. Mini projet notée : Conception d'une antenne LORA adaptée

On veut concevoir une antenne pour IoT de type monopole imprimé sur du FR4 d'épaisseur 1,6mm et travaillant à la fréquence de 868MHz. A cette fréquence, la longueur théorique de l'antenne imprimée est autour de 50 mm.

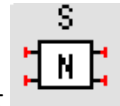
Le PCB (double face) de dimensions 70x70mm² (plan de masse fini) devra accueillir toutes les connectiques de l'objet connecté ainsi que le microcontrôleur.

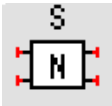
Une zone de dimension 10mm x l dépourvue de plan de masse est réservée à l'antenne.

- 1- Concevoir l'antenne en optimisant sa longueur pour que le minimum du $|S_{11}|_{dB}$ soit calé à 868MHz. On simulera l'antenne entre 0,7 et 1,5GHz.

Y a de fortes chances que cette antenne ne soit pas adaptée. On utilisera des lumped component pour adapter l'antenne à cette fréquence.

Vous devriez trouver le dataset (nom_fichier_MOMUW_a.ds) dans votre dossier où le projet est enregistré.



Dans Data items (sous Schematic) choisir le composant , double clic et charger le fichier que vous venez de créer.

Rajouter Term et SP et simuler entre 0.7 et 1.5 GHz par pas de 1MHz. Tracer sur l'abaque de Smith les paramètres S en mettant un marker à la fréquence de 868MHz.

- 2- Maintenant rajouter les composants (ne pas écraser les données initiales) qu'il faut pour adapter votre antenne.

Vous pouvez ensuite exporter cette antenne (sans le PCB) sous DXF pour l'intégrer à la carte que vous devez concevoir sous design park (attention sous design Park faudra garder même taille de PCB, les vias, et rajouter les pistes pour votre circuit d'adaptation en PI et le connecteur UFL).

A la séance 6 du SAE, vous devez venir avec votre carte prête pour faire des mesures de Paramètres S et de RSSI. Donc prenez vos dispositions en profitant au maximum des séances de PT4 pour concevoir votre carte et l'envoyer à temps à M. Ranc.