

Formation HFSS

Simulation d'une ligne microstrip

Partie 2

Alexandre Boyer

Mai 2020

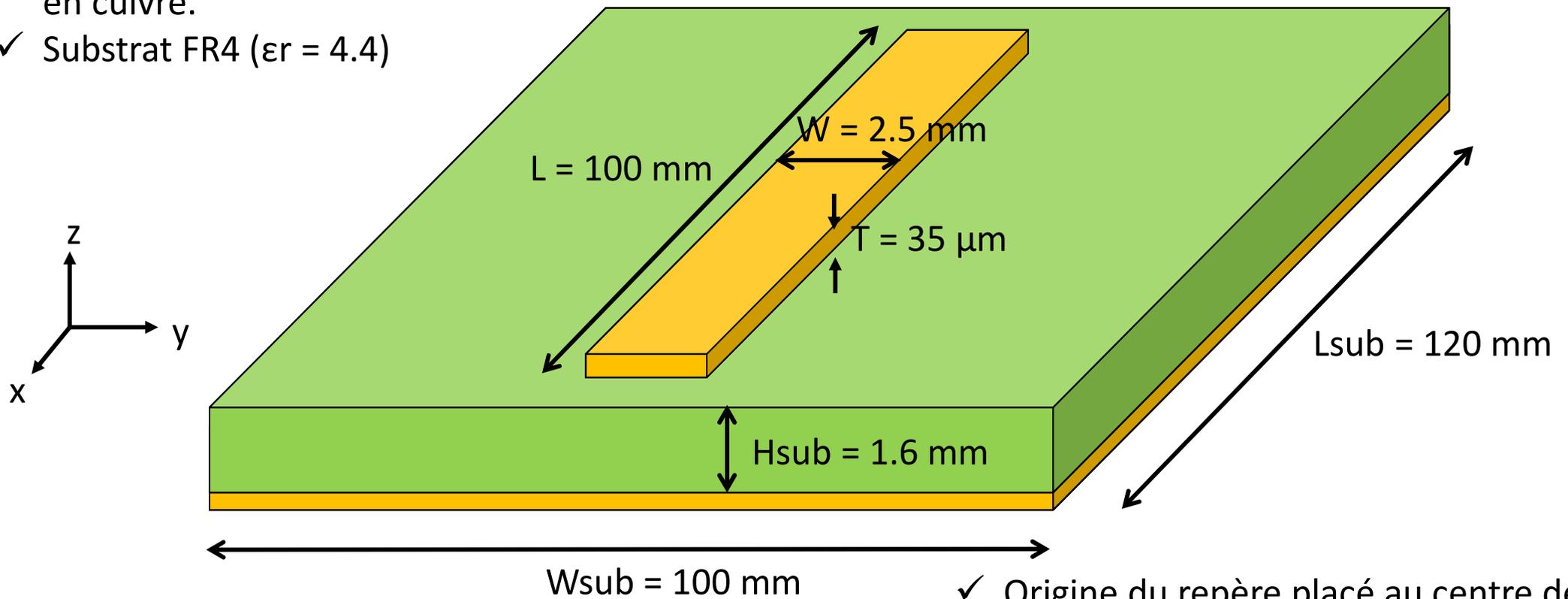
Objectifs

- > Prise en main de l'environnement ANSYS Electronics Desktop (V16) – HFSS
- > Création d'un projet *from scratch*
- > Flot de modélisation et post-processing typique
- > ~~Utilisation des différentes solutions (driven modal/terminal modal) et excitations (wave port/lumped port)~~
- > Calcul des paramètres S
- > Calcul tensions/courants à l'aide de la calculatrice de champ
- > Calcul du rayonnement en champ proche et champ lointain

Cas étudié

- > Ligne microruban 56 Ω de géométrie
- > Simulation des paramètres S

- ✓ Piste et plan de masse en cuivre.
- ✓ Substrat FR4 ($\epsilon_r = 4.4$)



- ✓ Origine du repère placée au centre de la ligne, sur le plan de masse.

Création du projet / design HFSS

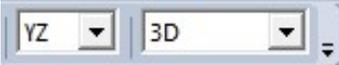
- > Soit on recrée un nouveau projet from scratch, en suivant la démarche présentée dans la partie 1...
- > Soit **File > Save as** → Microstrip_Project3
- > On reste en solution de type Terminal (**si on souhaite avoir des résultats sous la forme de courants/tensions**)

Modification du modèle

- > **HFSS > Design properties > bouton Add** ou clic droit sur le nom du projet > **Design properties**
- > On change L_{sub} → 120 mm
- > On change aussi Hairbox → 75 mm

- > On supprime les 2 rectangles servant aux waveports

Création des excitations

- > Changer le drawing plane → YZ 
- > Dessiner deux rectangles (**Draw Rectangle**) aux deux extrémités de la ligne, placées entre la ligne et le plan de masse.
- > Pas de propriétés à attribuer, vont simplement servir à placer les lumped ports.

Properties: Microstrip_Project3 - Microstrip - Modeler

Command | Attribute

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Di
Command	CreateRectangle			
Coordinate Sys...	Global			
Position	-L/2 , -W/2 , 0mm		-50mm , -1mm , 0mm	
Axis	X			
YSize	W		2mm	
ZSize	Hsub		1.6mm	

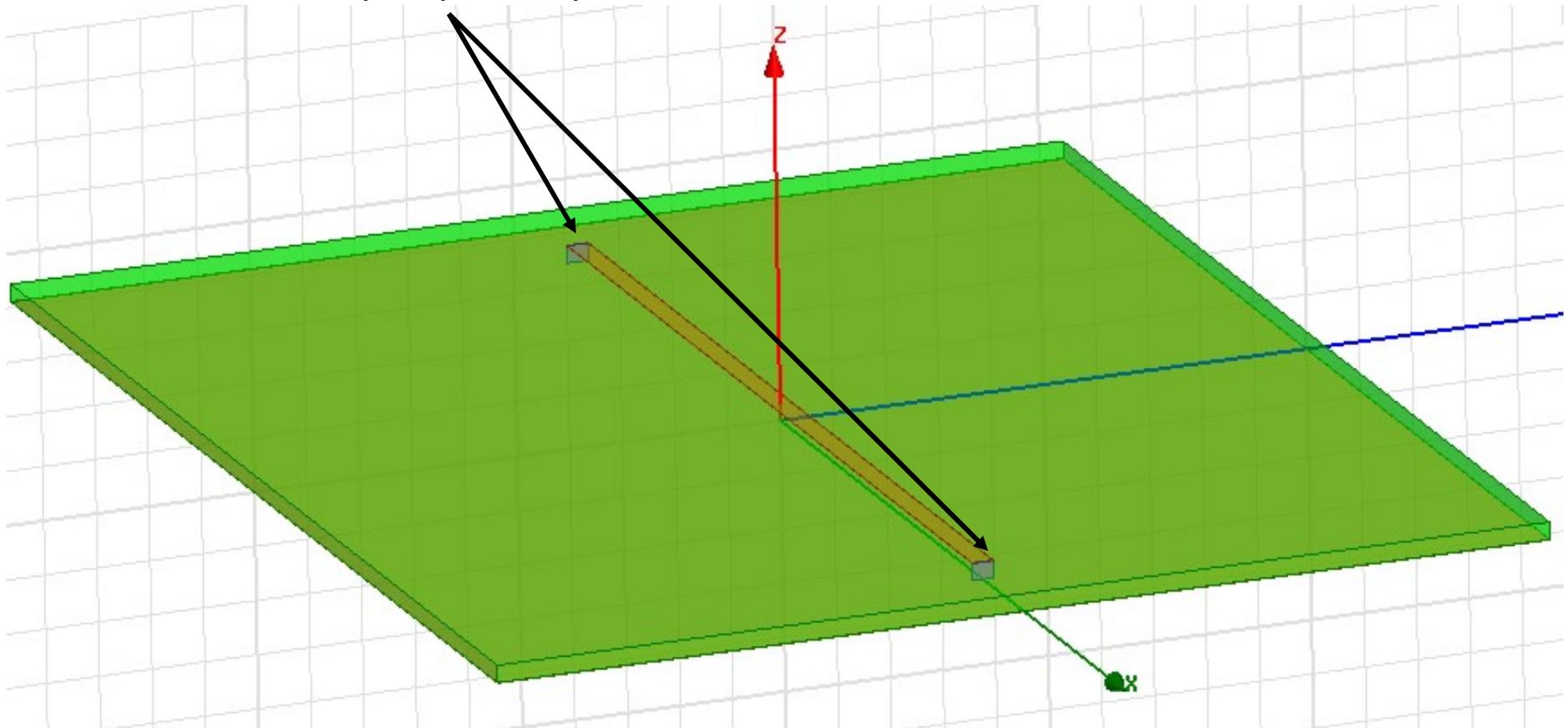
Properties: Microstrip_Project3 - Microstrip - Modeler

Command

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Di
Command	CreateRectangle			
Coordinate Sys...	Global			
Position	L/2 , -W/2 , 0mm		50mm , -1mm , 0mm	
Axis	X			
YSize	W		2mm	
ZSize	Hsub		1.6mm	

Création des excitations

Excitations lumped ports à placer ici

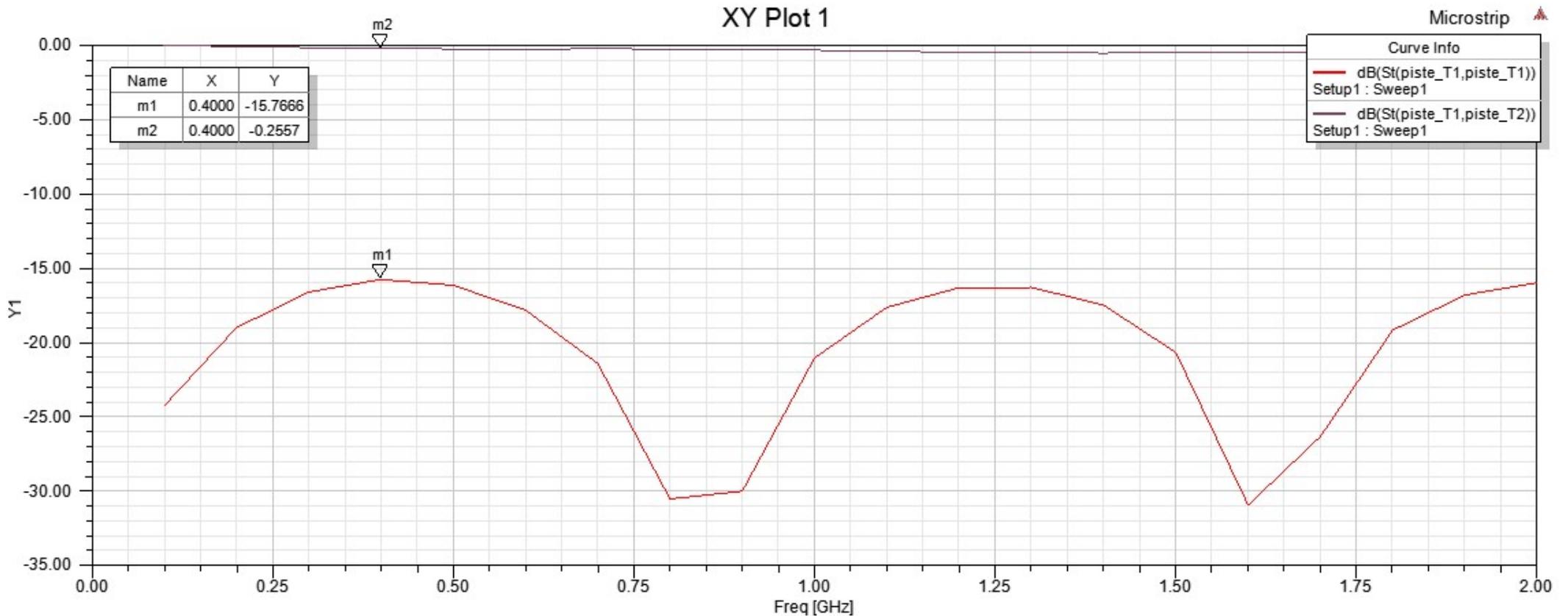


Création des excitations

- > Sélectionnez le premier rectangle, clic droit **HFSS** > **Excitation** > **Assign** > **Lumped Port**
- > Même chose pour le second rectangle → waveport2
- > On conserve les mêmes conditions aux limites et la même analyse (on passe néanmoins à 15 passes min. pour assurer la convergence).

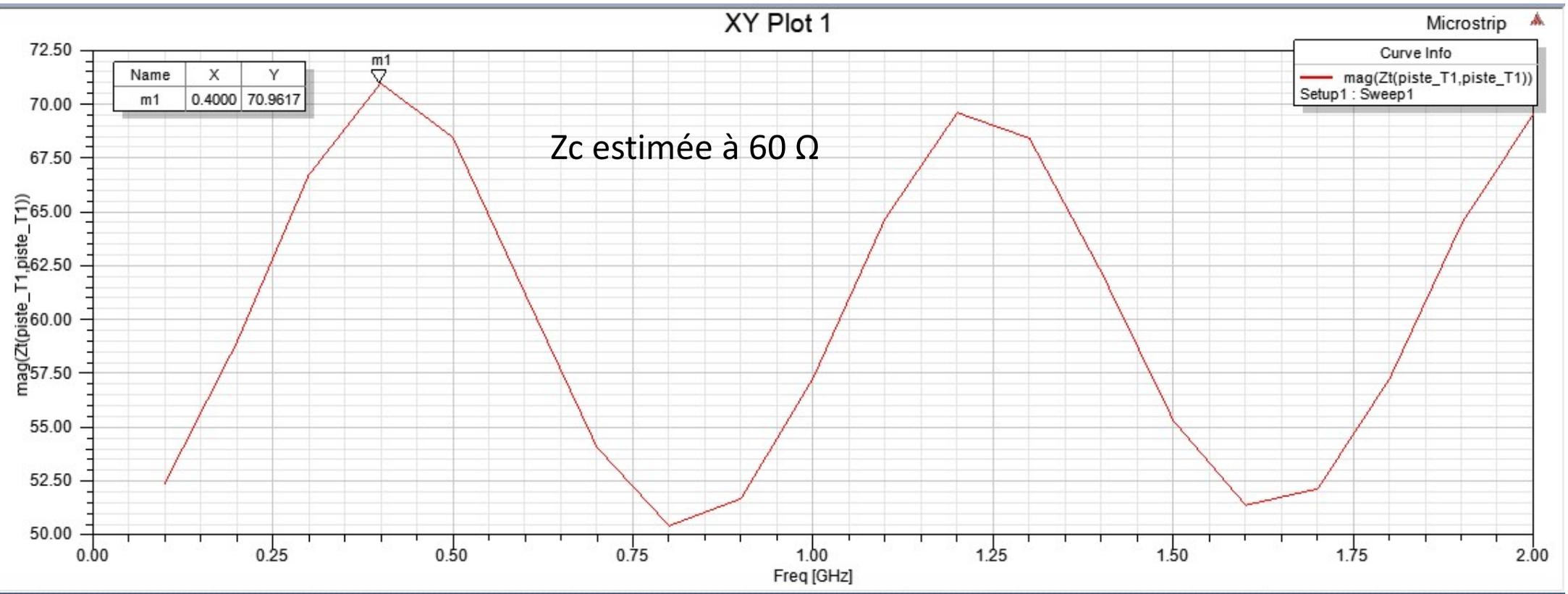
Conductor	Use as Reference
Gnd	<input checked="" type="checkbox"/>
piste	<input type="checkbox"/>

> Résultat de simulation :



> Résultat proche des précédents. Ecart lié aux différences de maillage et de type de solution.

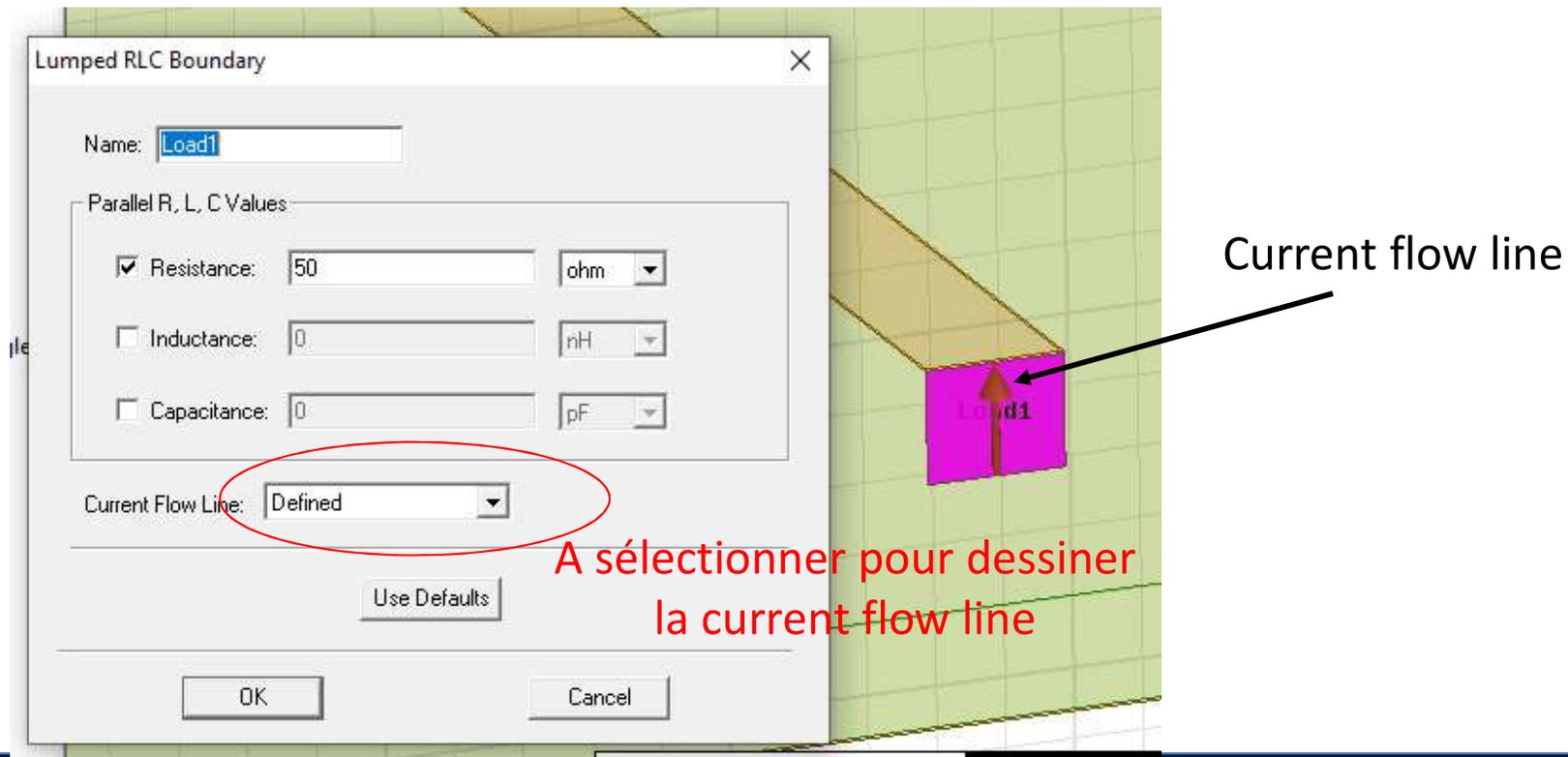
- > Résultat de simulation :



- > Résultat proche des précédents. Ecart lié aux différences de maillage et de type de solution.

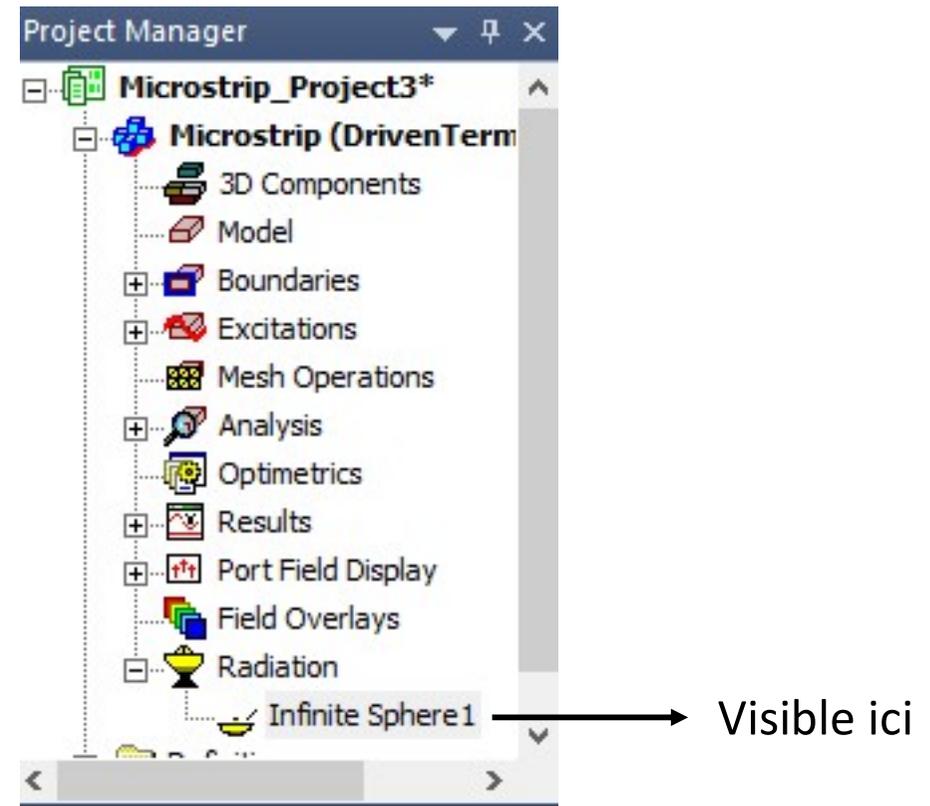
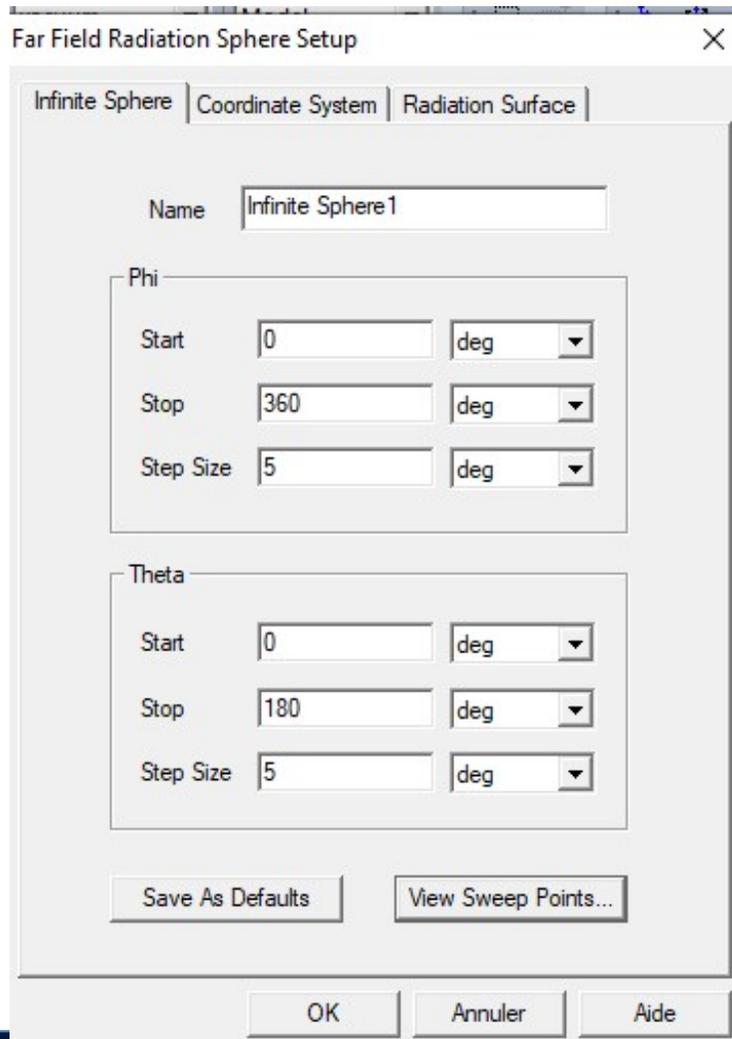
Rayonnement de la piste

- > On souhaite simuler le rayonnement de la piste, excitée d'un côté et terminée de l'autre par une résistance 50Ω .
- > On supprime l'excitation sur le port 2 pour la remplacer par une charge localisée : **HFSS > Boundaries > Assign > Lumped RLC**
- > Au préalable, zoomer sur le rectangle 2, là où l'on va placer la charge afin de dessiner la « Current Flow Line ».



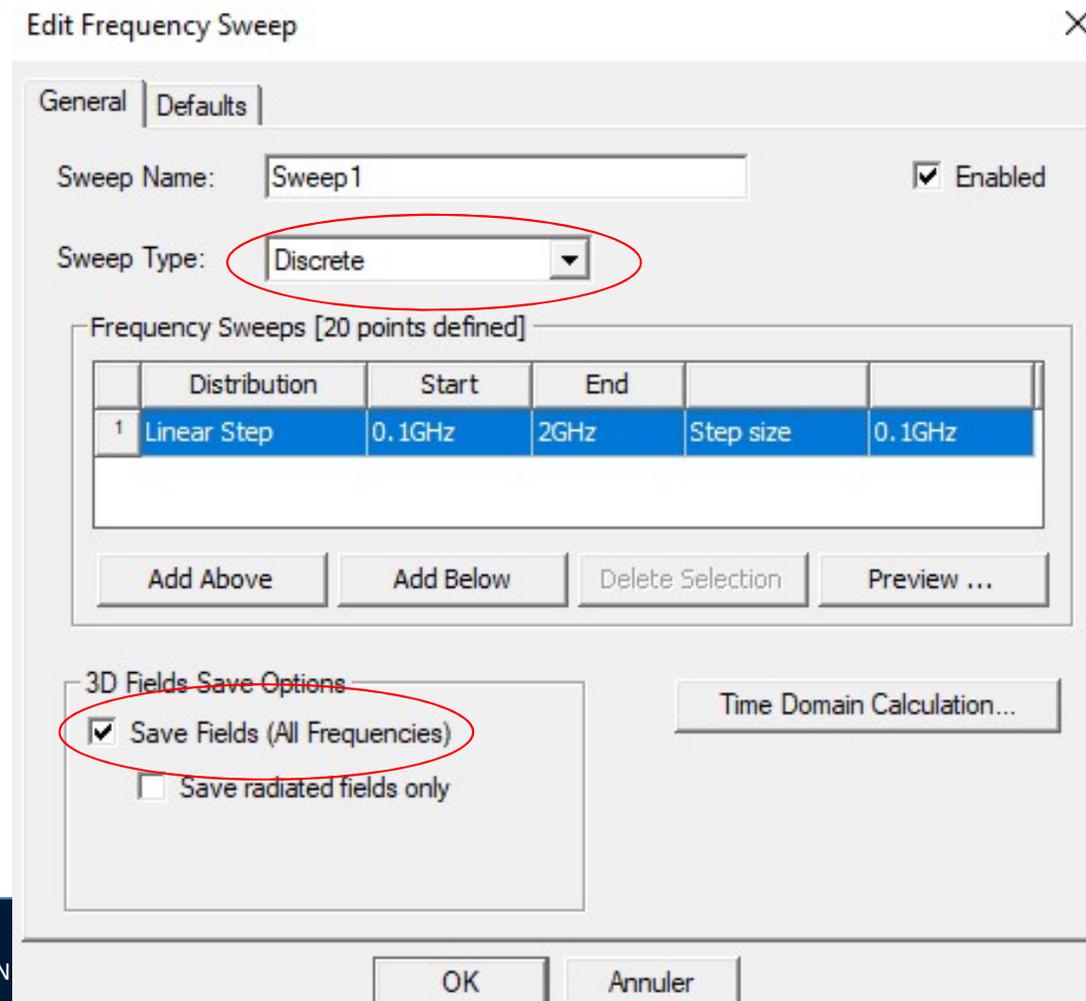
Rayonnement de la piste

- > On ajoute une analyse de rayonnement champ lointain.
- > **HFSS > Radiation > Insert Far Field Setup > Infinite Sphere**

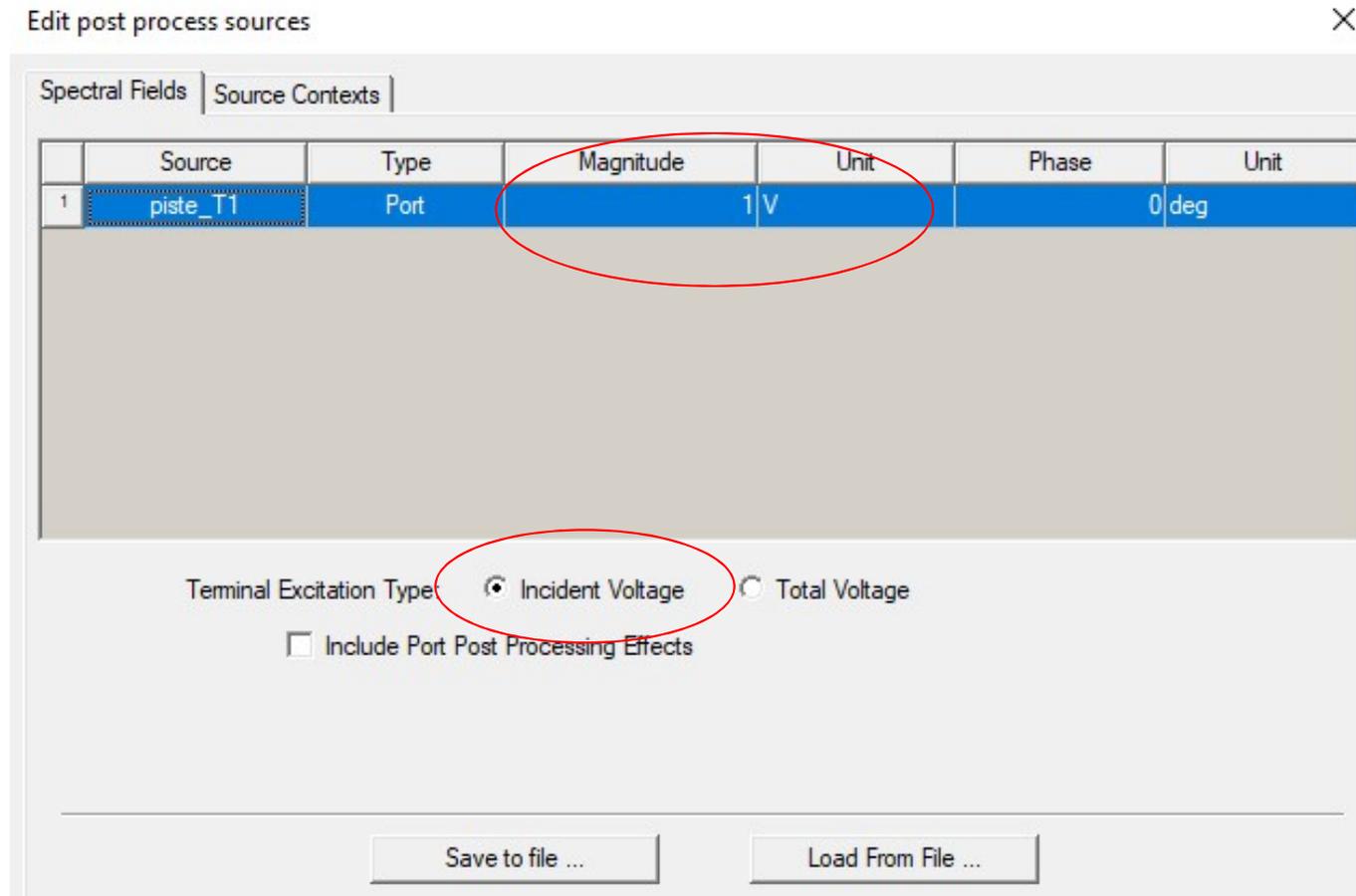


Rayonnement de la piste

- > On effectue un changement dans le balayage en fréquence pour calculer et conserver les champs électromagnétiques à toutes les fréquences (non faits en mode Interpolating).
- > **Echantillonnage fréquentiel discret → attention, c'est plus long !**



- > HFSS > Fields > Edit sources
- > Informations sur la (les) sources utilisées



Tension que l'on mesurera aux bornes d'une charge adaptée connectée à cette source → l'amplitude du générateur = 2 V.

Rayonnement de la piste

- > Lancement de la simulation classique ou sélectionner Infinite Sphere dans **Project Manager** puis **HFSS > Radiation > Compute Antenna Parameters**
- > Affichage du résumé de calcul :

Antenna Parameters

Inputs:

- Setup Name: Infinite Sphere1
- Solution: Setup1 : LastAdaptive
- Array Setup: None
- Intrinsic Variation: Freq=1GHz
- Design Variation: \$W='2mm' Hairbox='75mm' H\$

Antenna Parameters:

Quantity	Freq	Value
Max U	1GHz	1.6379 uW/sr
Peak Directivity		0.92665
Peak Gain		0.0020807
Peak Realized Gain		0.0020583
Radiated Power		22.212 uW
Accepted Power		9.8923 mW
Incident Power		10 mW
Radiation Efficiency		0.0022454
Front to Back Ratio		-N/A-
Decay Factor		0

Maximum Field Data:

rE Field	Freq	Value	At(Theta,P)
Total	1GHz	35.142 mV	20deg,360deg
X		33.818 mV	10deg,355deg
Y		11.655 mV	65deg,45deg
Z		24.84 mV	60deg,360deg

Rayonnement de la piste

- > Affichage d'une vue 3D du diagramme de rayonnement avec **HFSS > Results > Create Far Field Report > 3D Polar Plot**

Sélectionner Sweep1 pour afficher les résultats aux différentes fréq.

Report: Microstrip_Project3 / Microstrip - 3D Polar Plot 1 - dB(GainTotal)

Context

Solution: **Setup1 : Sweep1**

Geometry: Infinite Sphere1

Trace Families

Primary Sweep: Phi All

Secondary Sweep: Theta All

Phi: Default Phi

Theta: Default Theta

Mag: dB(GainTotal) Range Function...

Category: Variables Output Variables rE Gain Directivity

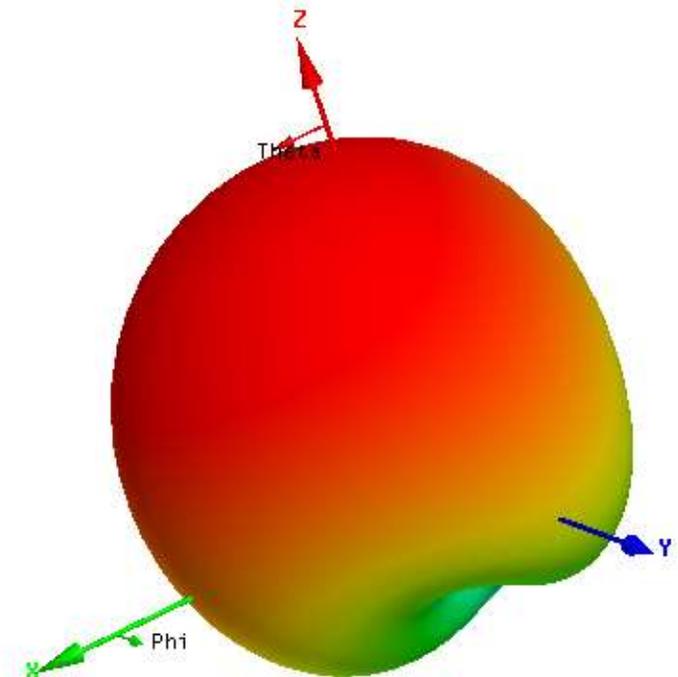
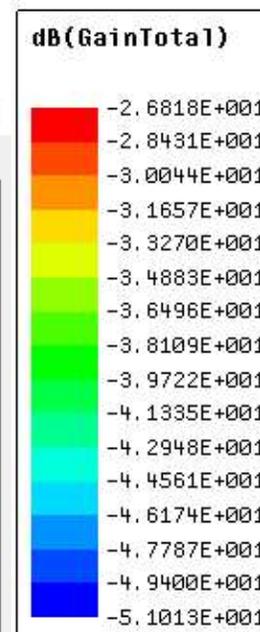
Quantity: GainTotal GainPhi GainTheta GainX

Function: cosh cum_integ cum_sum

Update Report

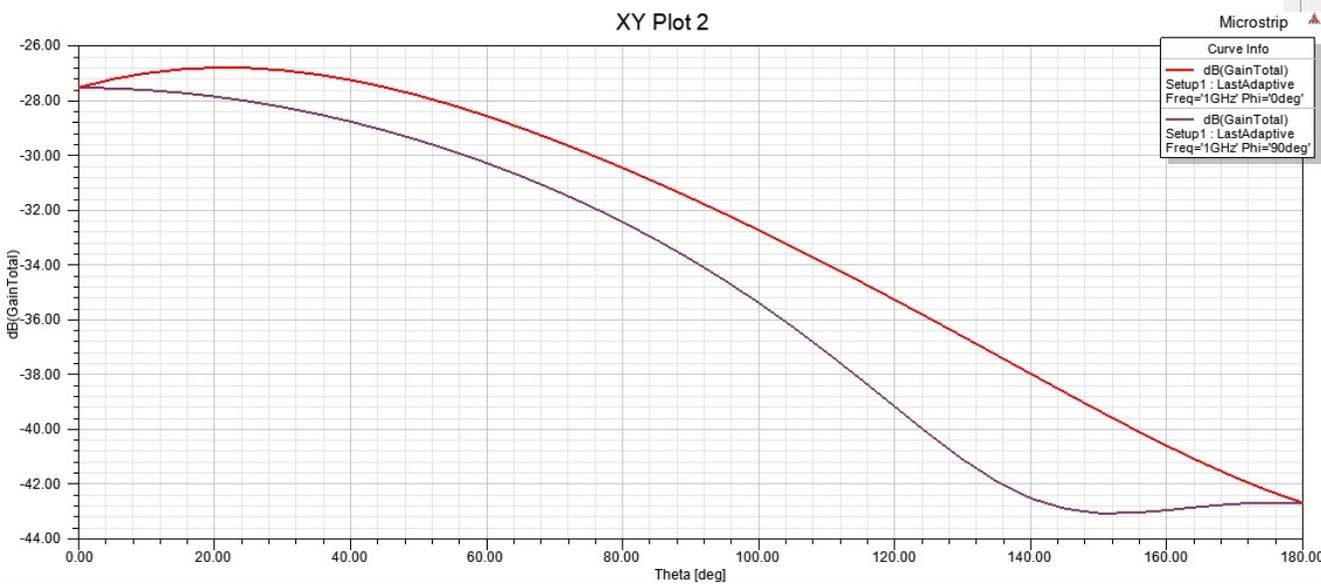
Real time Update

Output Variables... Options... New Report Apply Trace Add Trace Close



Rayonnement de la piste

- > Affichage d'une vue 2D du diagramme de rayonnement avec **HFSS > Results > Create Far Field Report > Rectangular Plot**



Report: Microstrip_Project3 - Microstrip - XY Plot 2 - dB(GainTotal)

Context

Solution: Setup1 : LastAdaptive

Geometry: Infinite Sphere1

Trace Families Families Display

Primary Sweep: Theta All

X: Default Theta

Y: dB(GainTotal) Range Function...

Category: Variables Output Variables rE Gain Directivity Realized Gain Polarization Ratio Axial Ratio Antenna Params

Quantity: GainTotal GainPhi GainTheta GainX GainY GainZ GainLHCP GainRHCP

Function: cosh cum_integ cum_sum dB dB10normalize dB20normalize dBc dBm

Update Report

Real time Update

Output Variables... Options...

New Report Apply Trace Add Trace Close

Report: Microstrip_Project3 - Microstrip - XY Plot 2 - dB(GainTotal)

Context

Solution: Setup1 : LastAdaptive

Geometry: Infinite Sphere1

Trace Families Families Display

Families: 2 available

Sweeps Available variations

Variable	Value	Edit
Phi	0deg, 90deg	...
Freq	1GHz	...

Nominals: \$W, Hairbox, Hsub, Hwave, L, Lsub, T, W, Wsub, Ww

Update Report

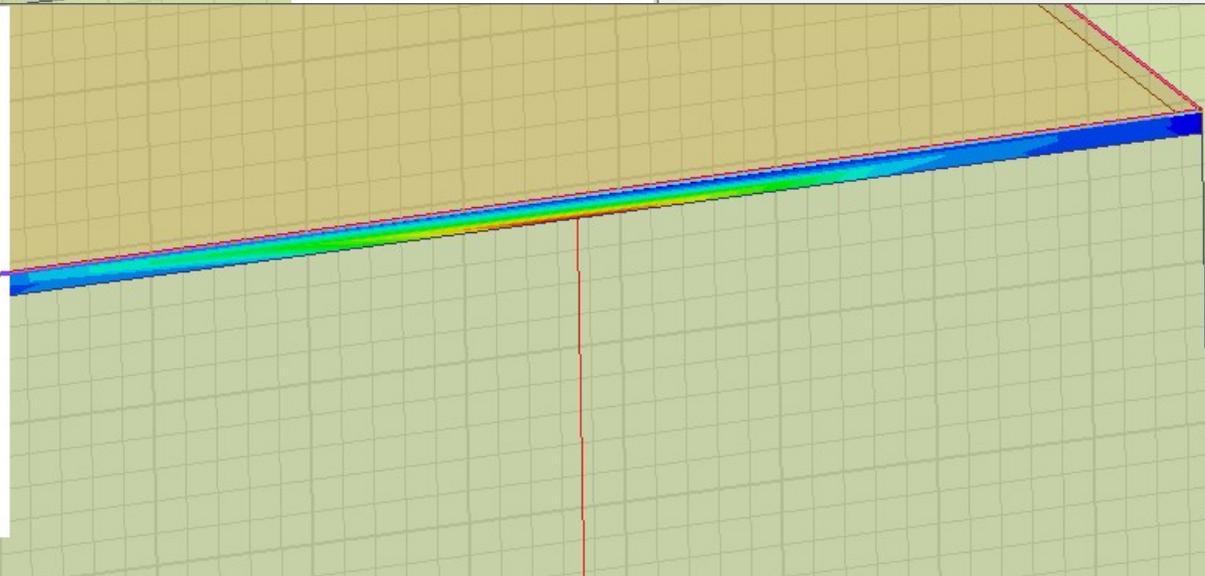
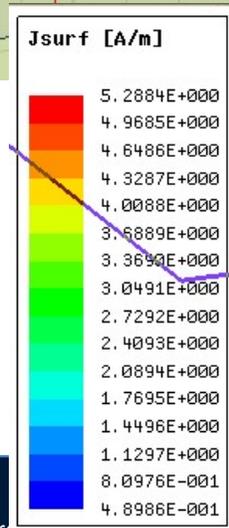
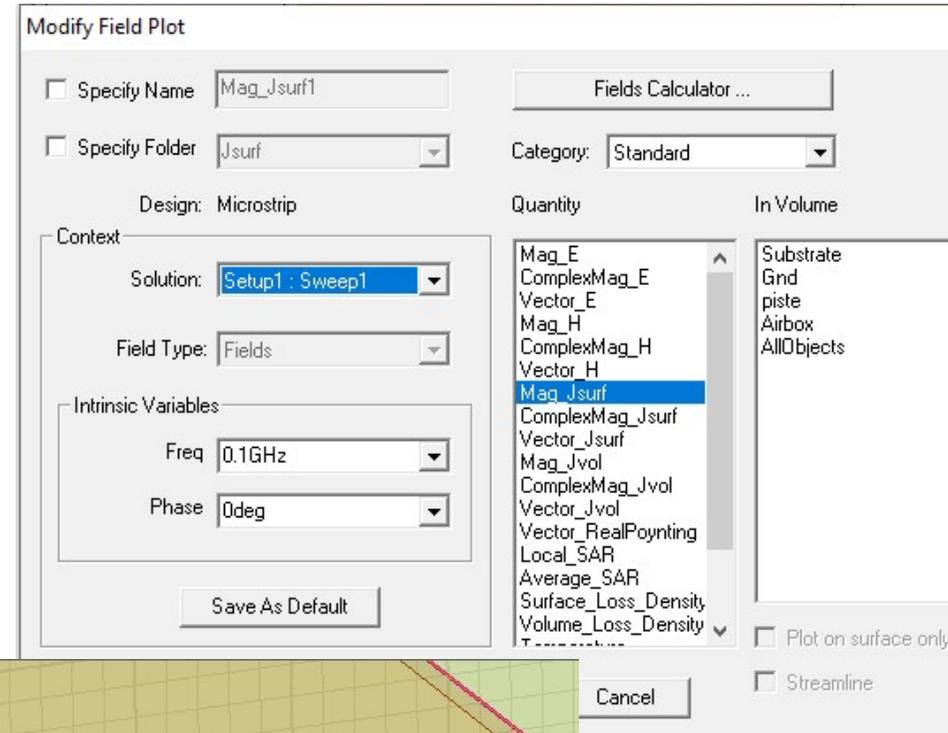
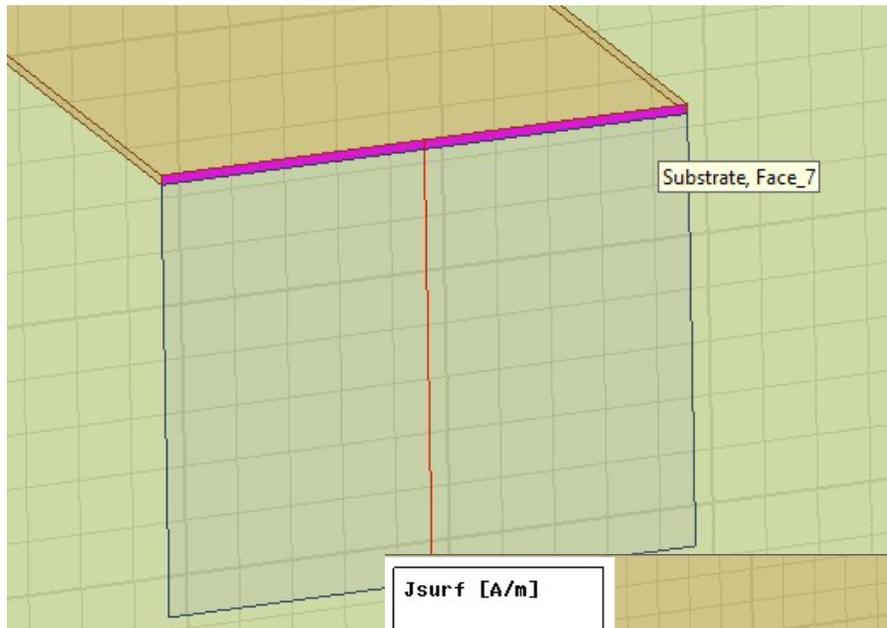
Real time Update

Output Variables... Options...

New Report Apply Trace Add Trace Close

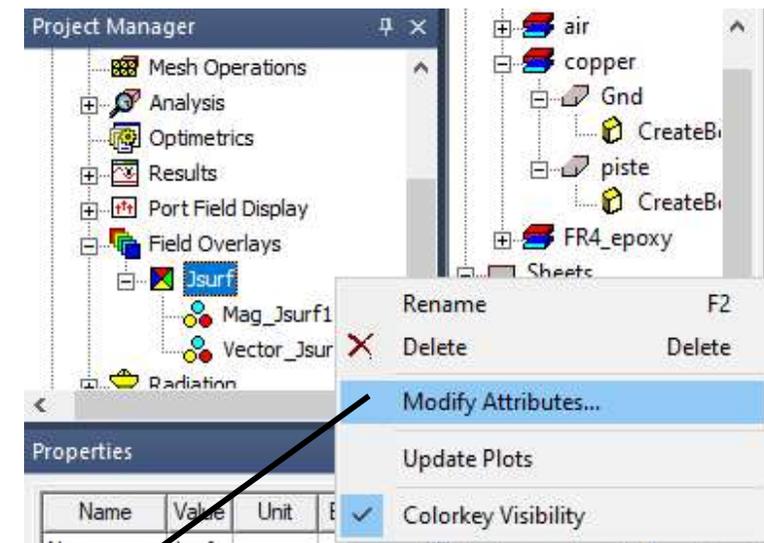
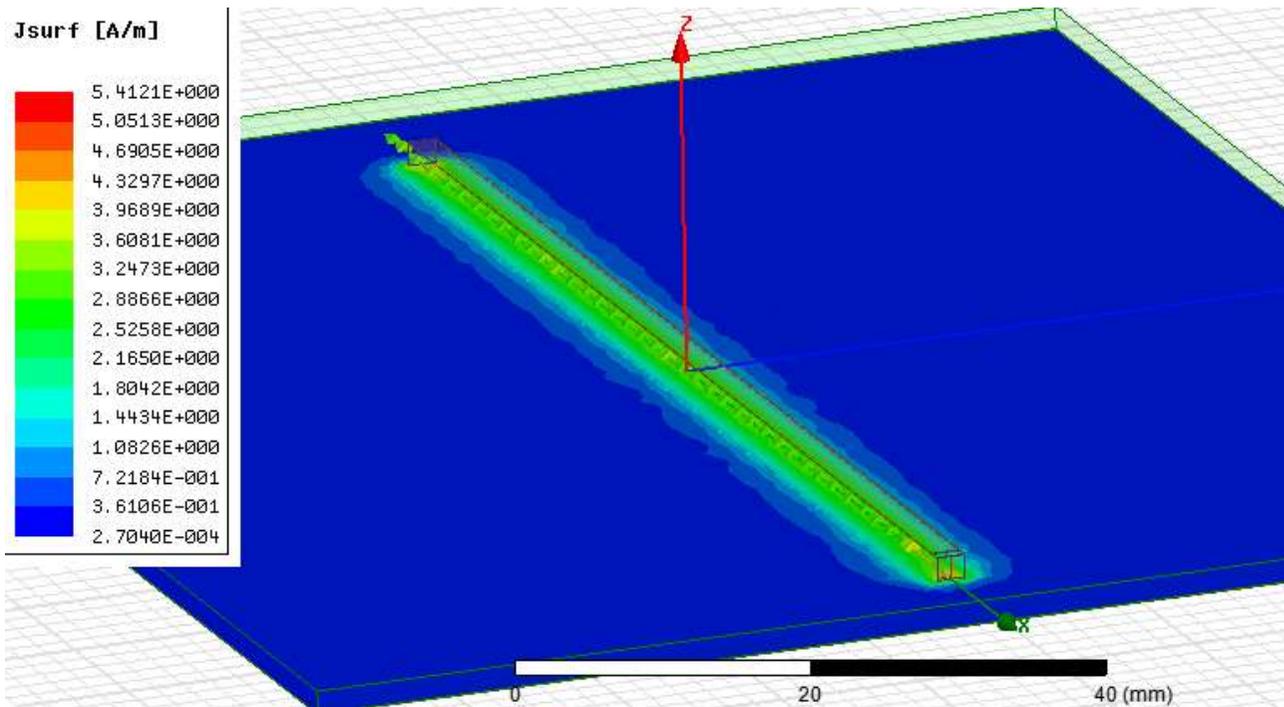
Analyse courant tension

- > Sélectionner une des faces d'extrémité de la piste (**Edit > Select > Face**)
- > **HFSS > Fields > Plot Field > J > Mag _Jsurf**



Analyse courant tension

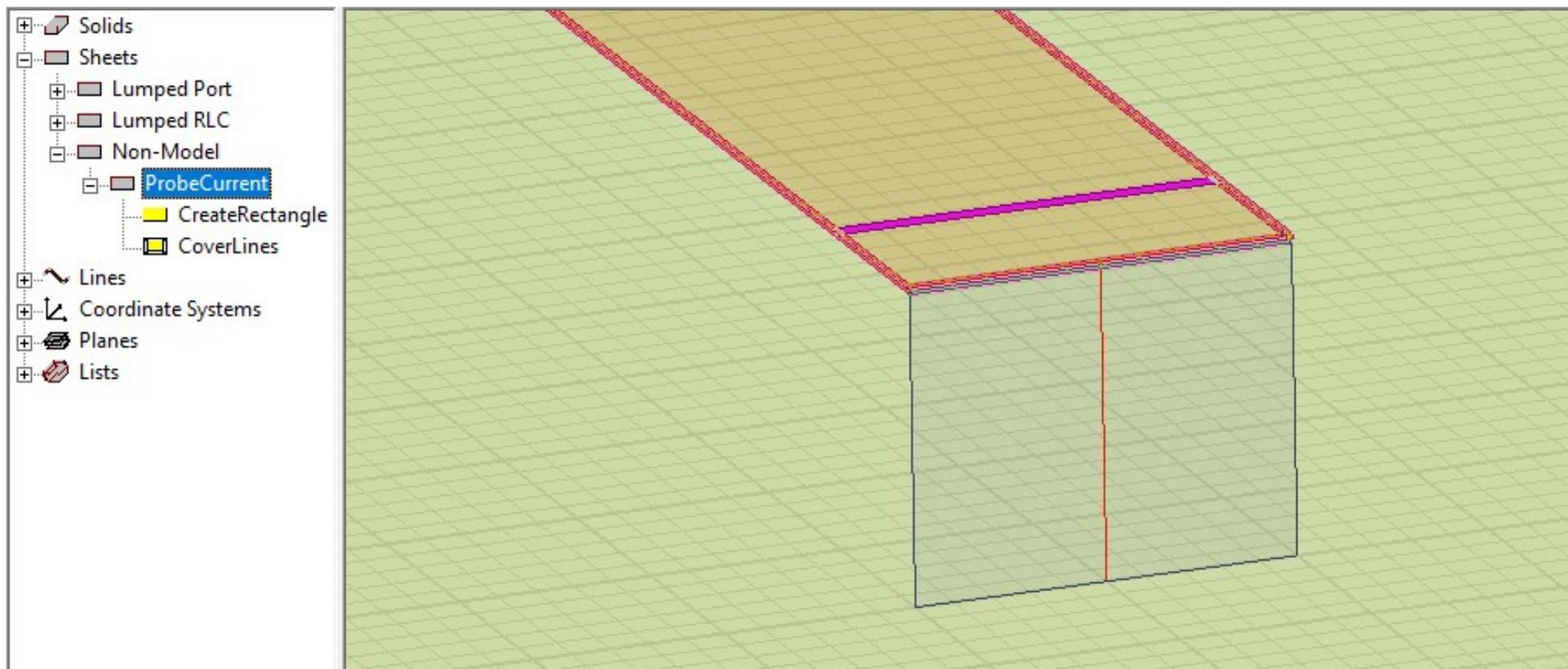
- > Sélectionner la face supérieure du plan de masse (**Edit > Select > Face**)
- > **HFSS > Fields > Plot Field > J > Mag _Jsurf** puis **Vector _Jsurf** (sélectionnez 0.1 GHz)



Pour modifier les propriétés
du tracé graphique

Analyse courant tension

- > On dessine un rectangle à 1 mm de l'extrémité de la ligne opposée à l'excitation.
- > On nomme ce rectangle ProbeCurrent → on va mesurer le courant en intégrant la densité de courant volumique traversant cette surface.



Analyse courant tension

- > Ouverture de la calculatrice de champ : **HFSS > Fields > Calculator**
- > Liste des opérations :
 - Quantity > Jvol
 - Complex > CmplxMag
 - Geometry > Surface > ProbeCurrent
 - Normal
 - \int
 - Eval

Fields Calculator

Named Expressions

Name	Expression
Mag_E	Mag(AtPhase(S
Mag_H	Mag(AtPhase(S
Mag_Jvol	Mag(AtPhase(S
Mag_Jsurf	Mag(AtPhase(<

Context: Microstrip
 Solution: Setup1 : Sweep1
 Field Type: Fields
 Freq: 0.1GHz
 Phase: 0deg

Scl: -0.040851501425187
 Scl: Integrate(Surface(ProbeCurrent), Dot(CmplxMag(<JVx,JVy,JVz>), SurfaceNormal))

Push Pop RIUp RIDn Exch Clear Undo

Input	General	Scalar	Vector	Output
Quantity	+	Vec?	Scal?	Value
Geometry...	-	1/x	Matl...	Eval
Constant	*	Pow	Mag	Write...
Number...	/	$\sqrt{\quad}$	Dot	Export...
Function...	Neg	Trig	Cross	
Geom Settings...	Abs	d/d?	Divg	
Read...	Smooth	\int	Curl	
	Complex	Min	Tangent	
	Domain	Max	Normal	
		∇	Unit Vec	
		Ln	X Form	
		Log		

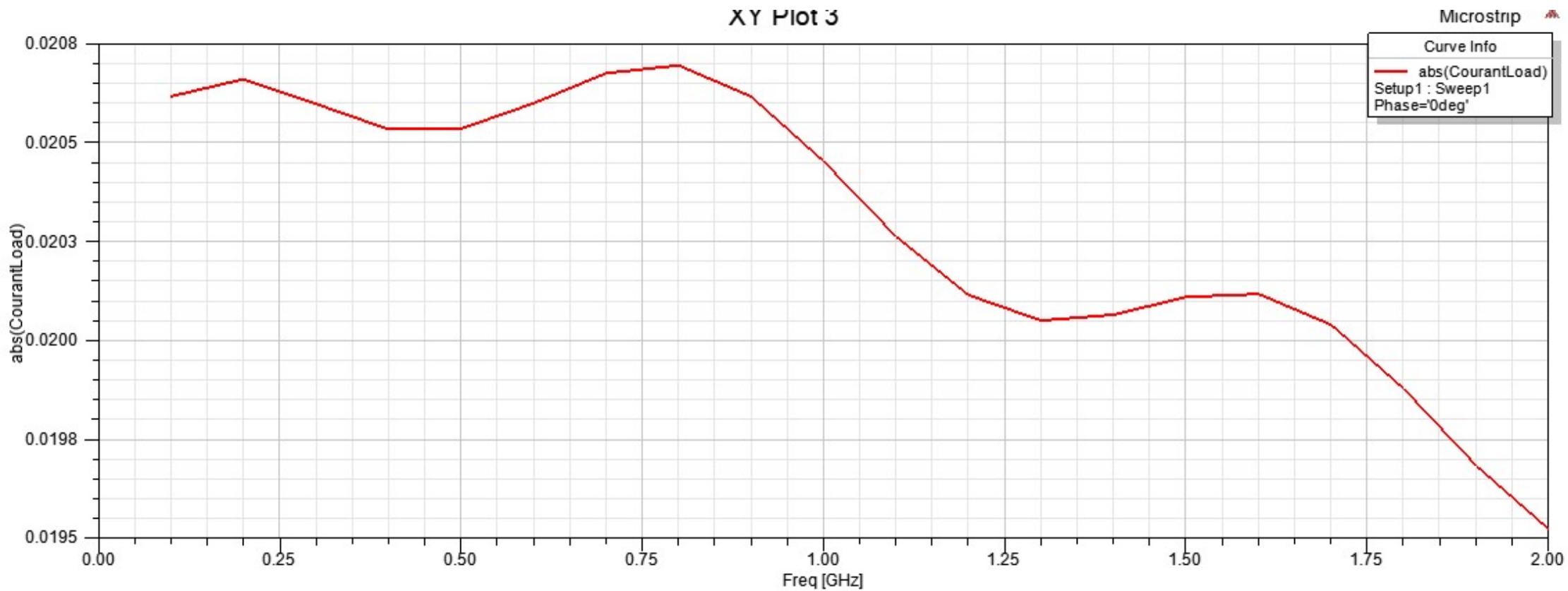
Permet d'évaluer une grandeur électromagnétique (ici le courant entrant dans la charge) pour une seule fréquence.

Analyse courant tension

- > Il est possible de définir une expression basée sur le calcul de la grandeur électromagnétique précédente.
- > Effacer les opérations précédentes : Clear
- > Reprendre les opérations précédentes :
 - Quantity > Jvol
 - Complex > CmplxMag
 - Geometry > Surface > ProbeCurrent
 - Normal
 - \int
- > Cliquez sur le bouton Add
- > Entrez le nom de l'expression (CourantLoad) et OK
- > L'expression apparaît dans la liste Named Expressions
- > Cliquez sur Done.

The screenshot shows the 'Fields Calculator' window. In the 'Named Expressions' table, the 'Add ...' button is highlighted with a red circle. A dialog box titled 'Named Expression' is open, showing the name 'CourantLoad' entered in the 'Name' field. The main expression field contains the formula: `Scl : Integrate(Surface(ProbeCurrent), Dot(CmplxMag(<JVx,JVy,JVz>), SurfaceNormal))`. The interface includes various mathematical and physical operation buttons such as 'Quantity', 'Geometry...', 'Constant', 'Function...', 'Geom Settings...', 'Read...', 'Push', 'Pop', 'Input', 'Output', 'Value', 'Eval', 'Write...', 'Export...', 'Unit Vec', and 'X Form'.

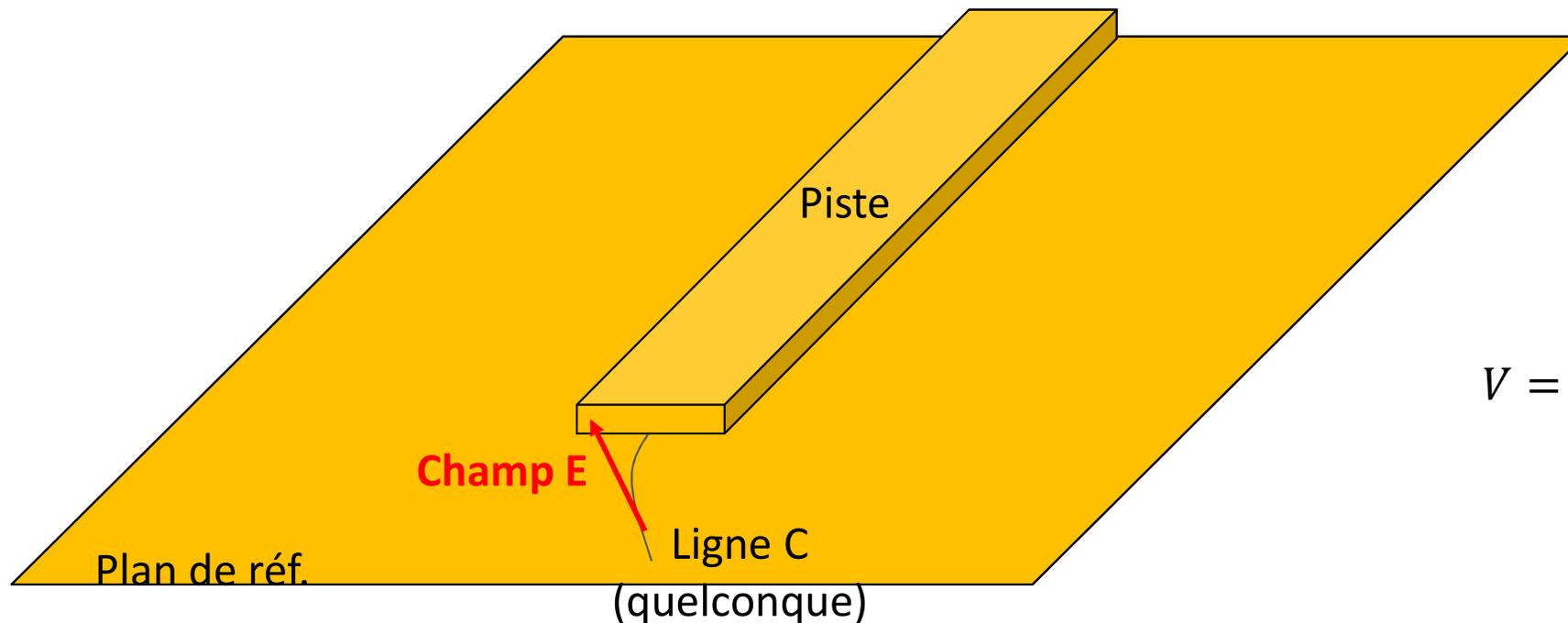
> Résultat



> **Le résultat peut sembler adéquat, mais la formulation utilisée pose problème ...**

Analyse courant tension

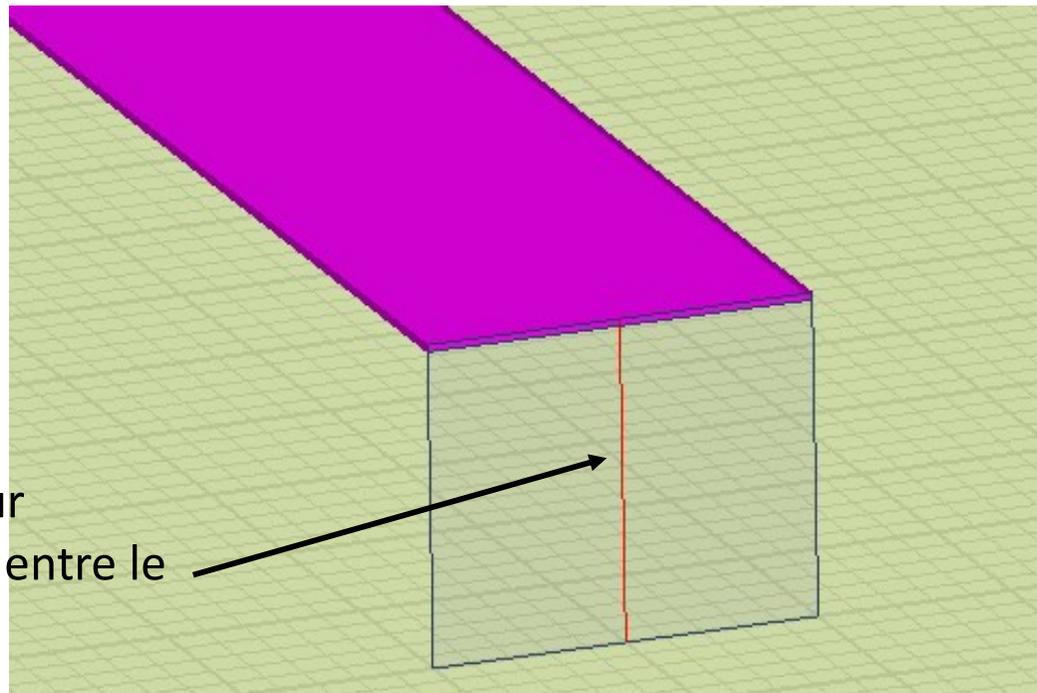
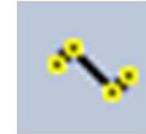
- > La mesure de la tension n'existe pas nativement sur HFSS. En effet, la notion de tension n'a de sens que si elle est définie entre 2 points, positionnés sur 2 conducteurs, faiblement éloignés (distance $\ll \lambda$).
- > La tension V en un point d'une ligne microruban peut être définie de la manière suivante :



$$V = \oint_C \vec{E} d\vec{l}$$

Analyse courant tension

- > On ajoute une ligne en bout de piste, entre la piste et le plan de masse.
- > On la nomme LineVoltageLoad



Line Voltage Load (contour d'intégration du champ E entre le plan de masse et la piste)

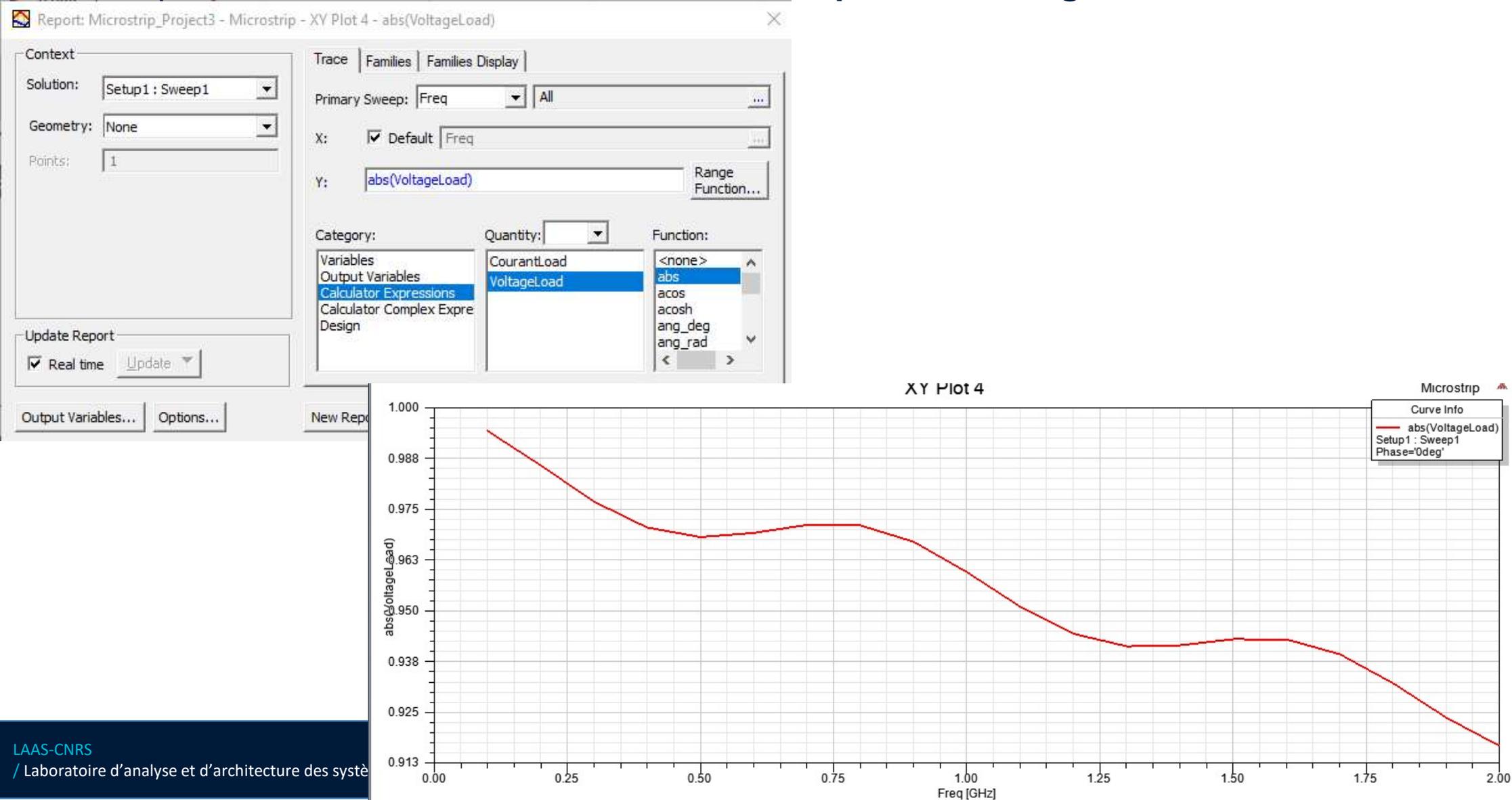
Analyse courant tension

- > Utilisation de la calculatrice de champ pour calculer la tension :
 - Quantity > E
 - Complex > CmplxMag
 - Geometry > Line > LineVoltageLoad
 - Tangent
 - \int
- > Cliquez sur le bouton Add
- > Entrez le nom de l'expression (VoltageLoad) et OK
- > L'expression apparait dans la liste Named Expressions
- > Cliquez sur Done.

The screenshot shows the 'Fields Calculator' window. In the 'Named Expressions' list, 'VoltageLoad' is added. The 'Add ...' button is circled in red. A 'Named Expression' dialog box is open, showing 'VoltageLoad' as the name. The main calculator area displays the formula: `ScalLin : LineValue(Line(LineVoltageLoad), Dot(CmplxMag(<Ex,Ey,Ez>), LineTangent))`. The context is set to 'Microstrip', solution to 'Setup1 : Sweep1', field type to 'Fields', frequency to '0.1GHz', and phase to '0deg'. The calculator interface includes various mathematical and geometric operators like 'Tangent', 'Dot', 'Mag', and 'Integrate'.

Analyse courant tension

- > Pour tracer l'évolution de la tension aux bornes de la charge en fonction de la fréquence, **HFSS > Results > Create Field Report > Rectangular Plot**

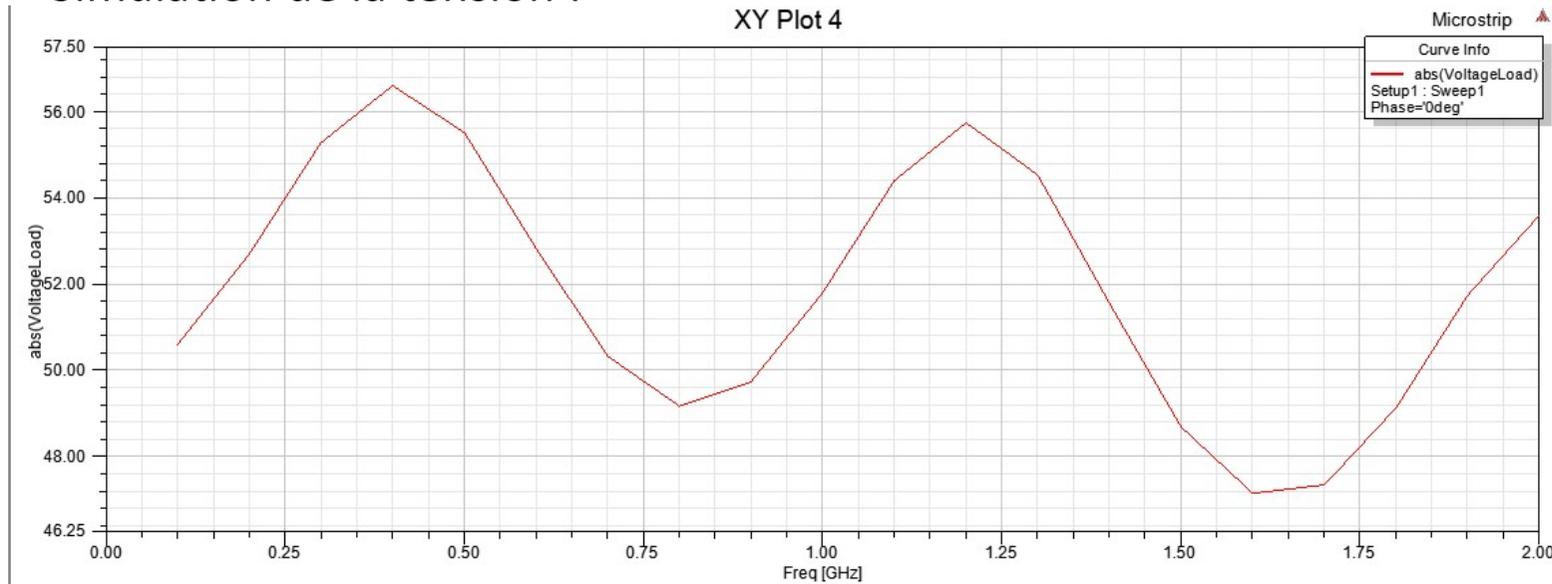


Modification de l'excitation

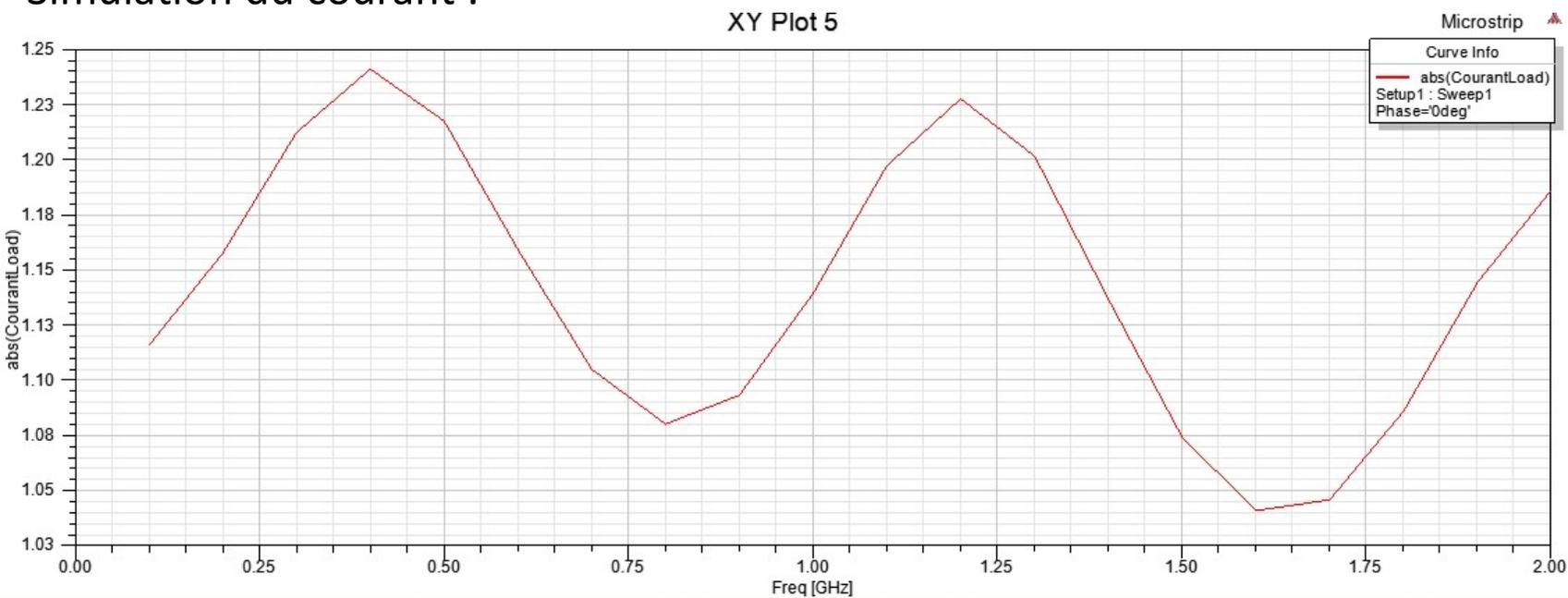
- > On change l'excitation pour mettre une source de courant
- > **File > Save as** → Microstrip_Project5. On reste en solution de type Terminal.
- > On sélectionne la face externe de la forme et **HFSS > Excitation > Assign > Current**.
- > Sélection de la ligne **Current flow line**.

Modification de l'excitation

Simulation de la tension :



Simulation du courant :



Simulation du champ proche

- > Deux éléments géométriques possibles sur lesquels réaliser le calcul : une sphère ou une ligne.
- > Exemple : on dessine une ligne à 1 mm au-dessus de la piste, perpendiculaire à la direction de la ligne. On la nomme LineNearField.

Properties: Microstrip_Project3 - Microstrip - Modeler

Segment	Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description
Segment Type	Line				
Point1	0mm , Wsub/2 , Hsub+1e-3			0mm , -50mm , 2.6mm	
Point2	0mm , Wsub/2 , Hsub+1e-3			0mm , 50mm , 2.6mm	

Show Hidden

OK Annuler Appliquer

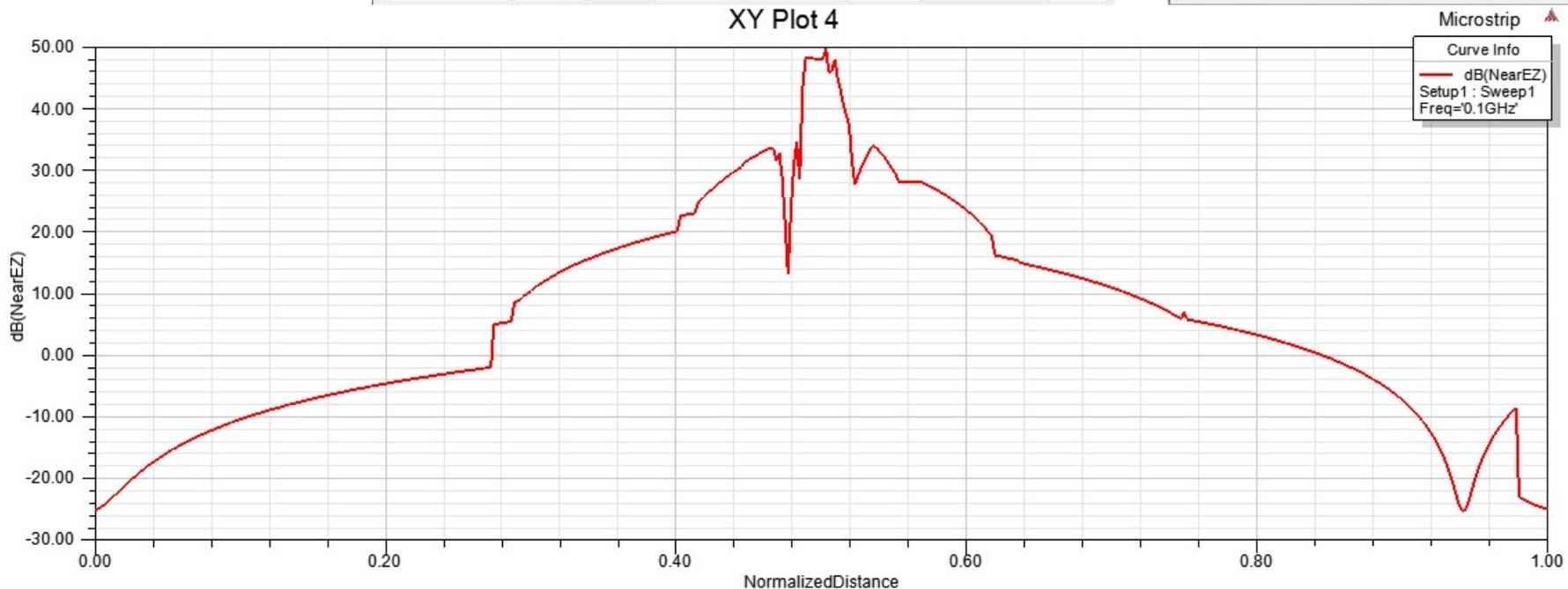
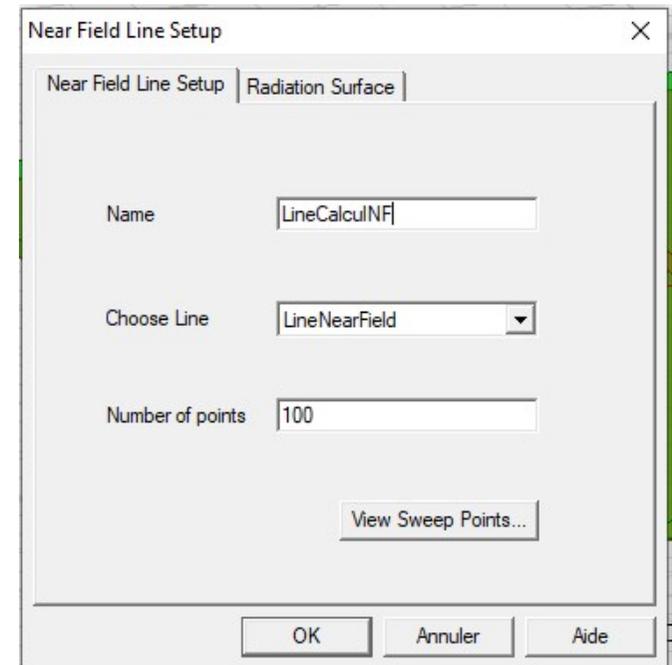
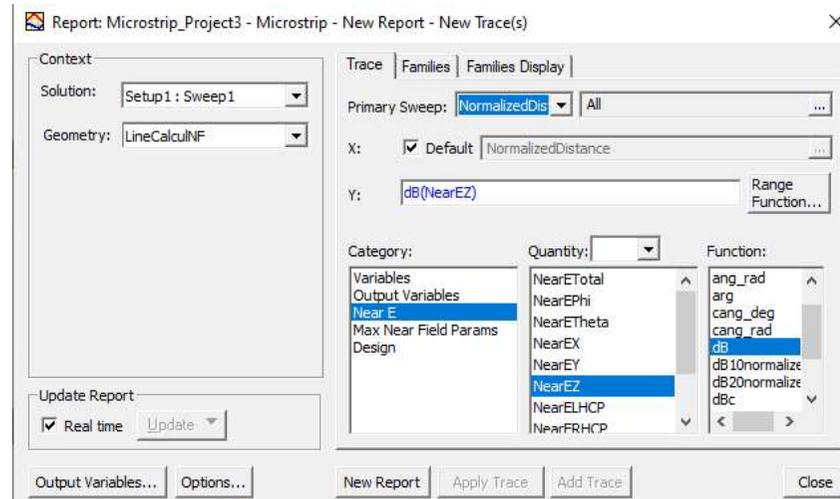
Unit Evaluated

0mm , -50r
0mm , 50r

CoverLines
Non-Model
ProbeCurrent
CreateRectang
CoverLines
Lines
LineNearField
CreatePolyline
CreateLine
LineVoltageLoad
CreatePolyline

Simulation du champ proche

- > HFSS > Radiation > Insert Near Field Setup
- > HFSS > Results > Create Near Field Reports > Rectangular plot



Simulation du champ proche

- > Pour observer la distribution du champ sur une surface planeaire, on dessine une surface (par ex. un rectangle dans le plan XY à 1 mm au-dessus de la piste).
- > **Draw Rectangle**

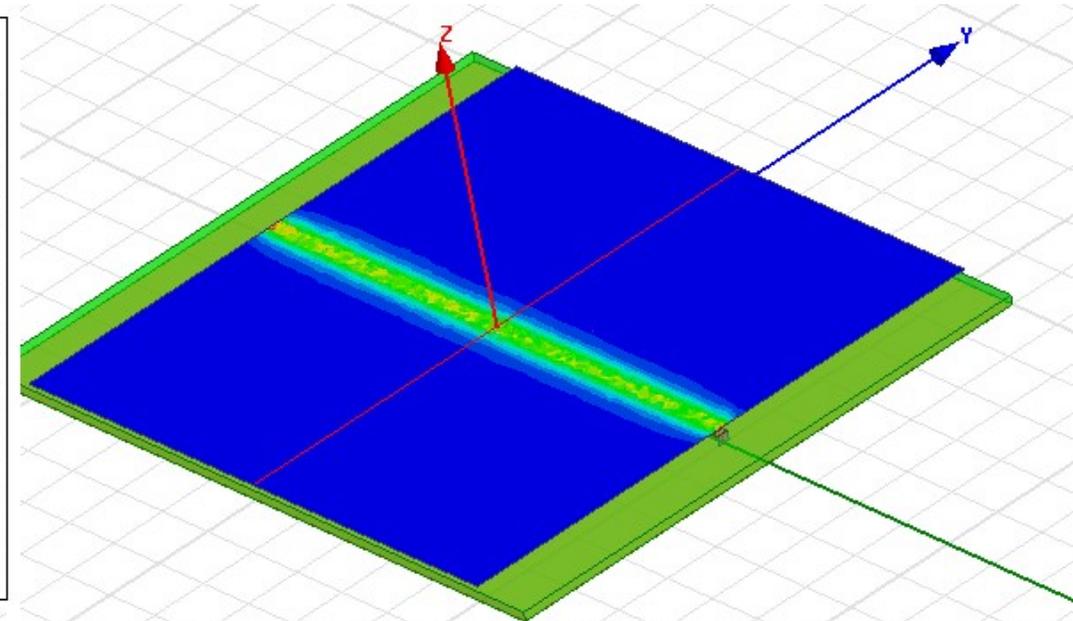
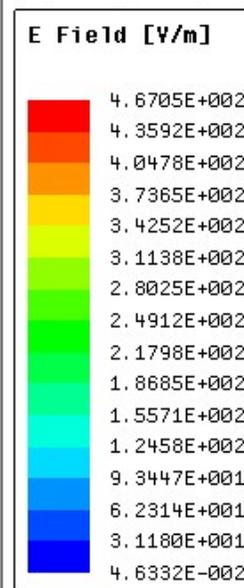
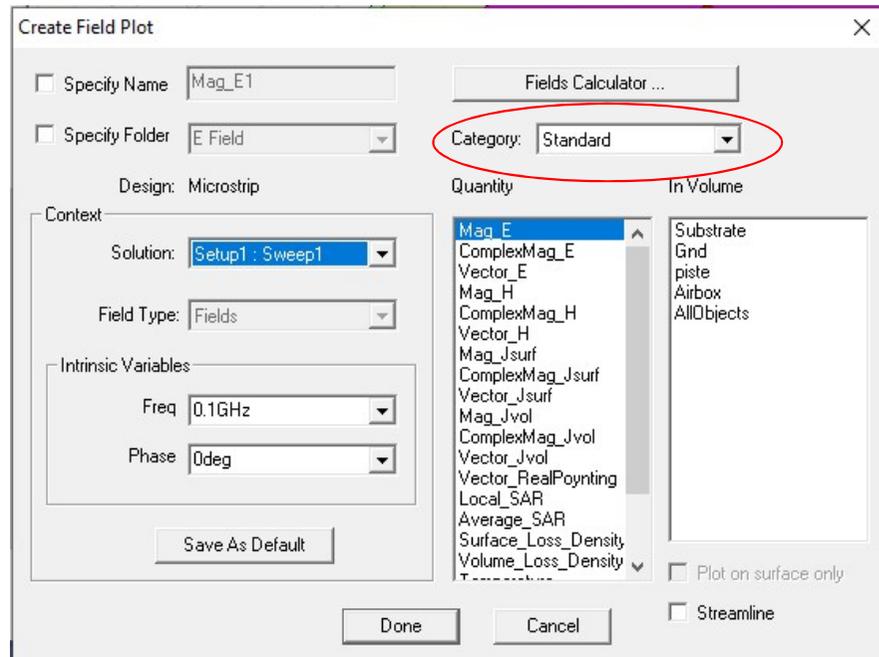
Properties: Microstrip_Project3 - Microstrip - Modeler

Command

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description
Command	CreateRectangle			
Coordinate Sys...	Global			
Position	-L/2 , -Wsub/2 , Hsub+1e-3		-50mm , -50mm , 2.6mm	
Axis	Z			
XSize	L		100mm	
YSize	Wsub		100mm	

Simulation du champ proche

- > Sélectionner ce rectangle
- > **HFSS > Fields > Plot Fields > E > Mag_E**

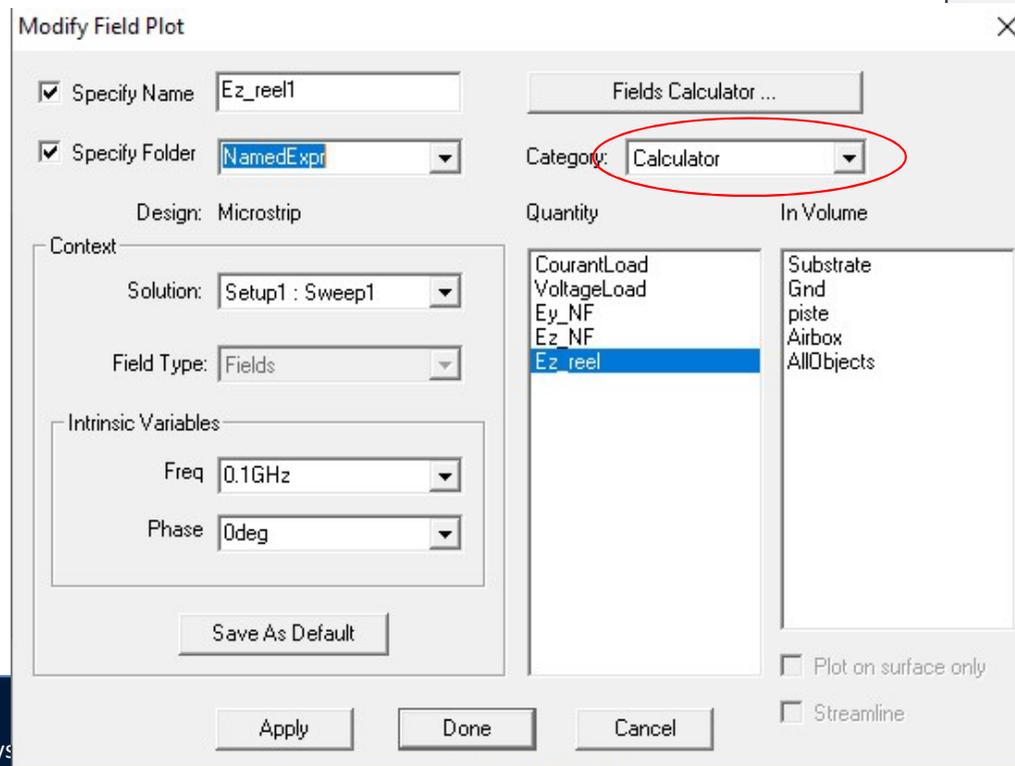
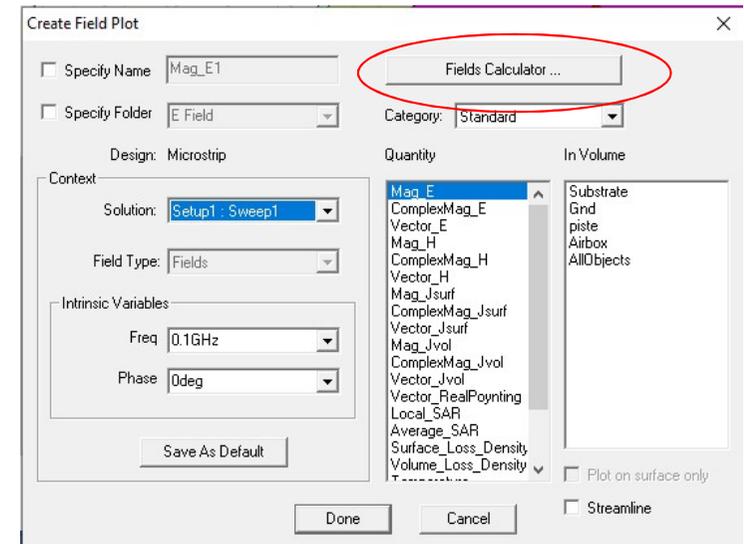


Tracé du module du champ E total sur une surface rectangulaire à 1 mm au-dessus de la piste.

- > La catégorie Standard ne permet pas de tracer individuellement les composantes X, Y, Z du champ, ni les parties réelles, imaginaires ou la phase.

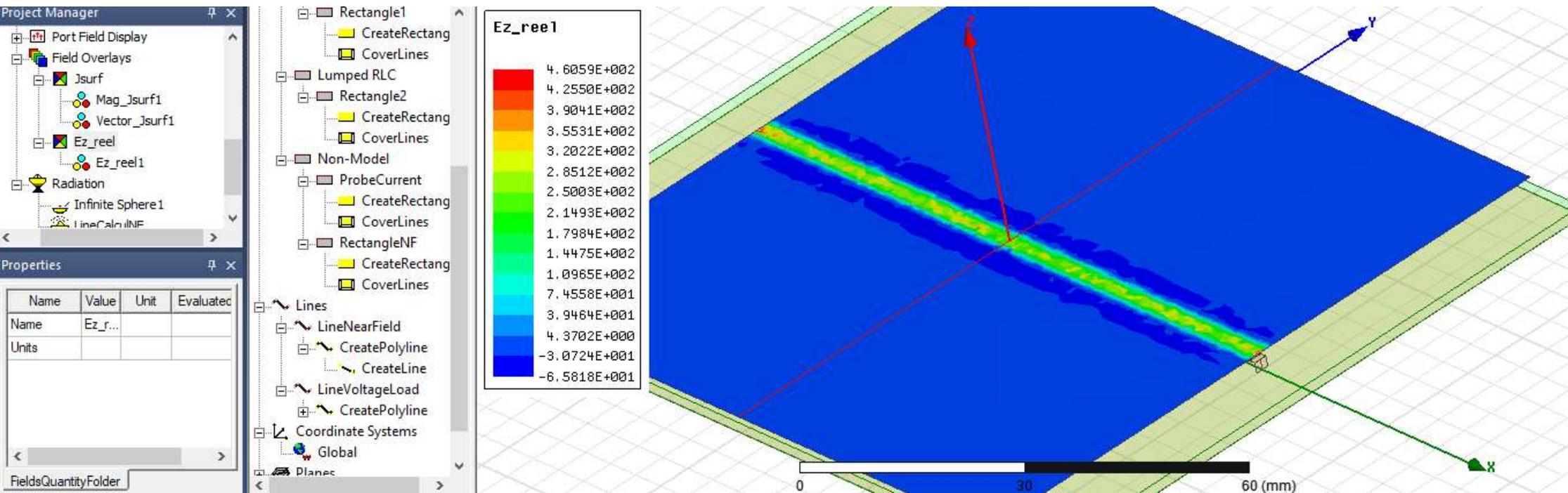
Simulation du champ proche

- > Cliquez sur le bouton **Field Calculator**
- > Par exemple, pour tracer la partie réelle du champ E_z :
 - Quantity > E
 - Smooth
 - Scal? > ScalarZ
 - Complex > Real
 - Add → sauver l'expression : E_z_reel .
 - Done



Simulation du champ proche

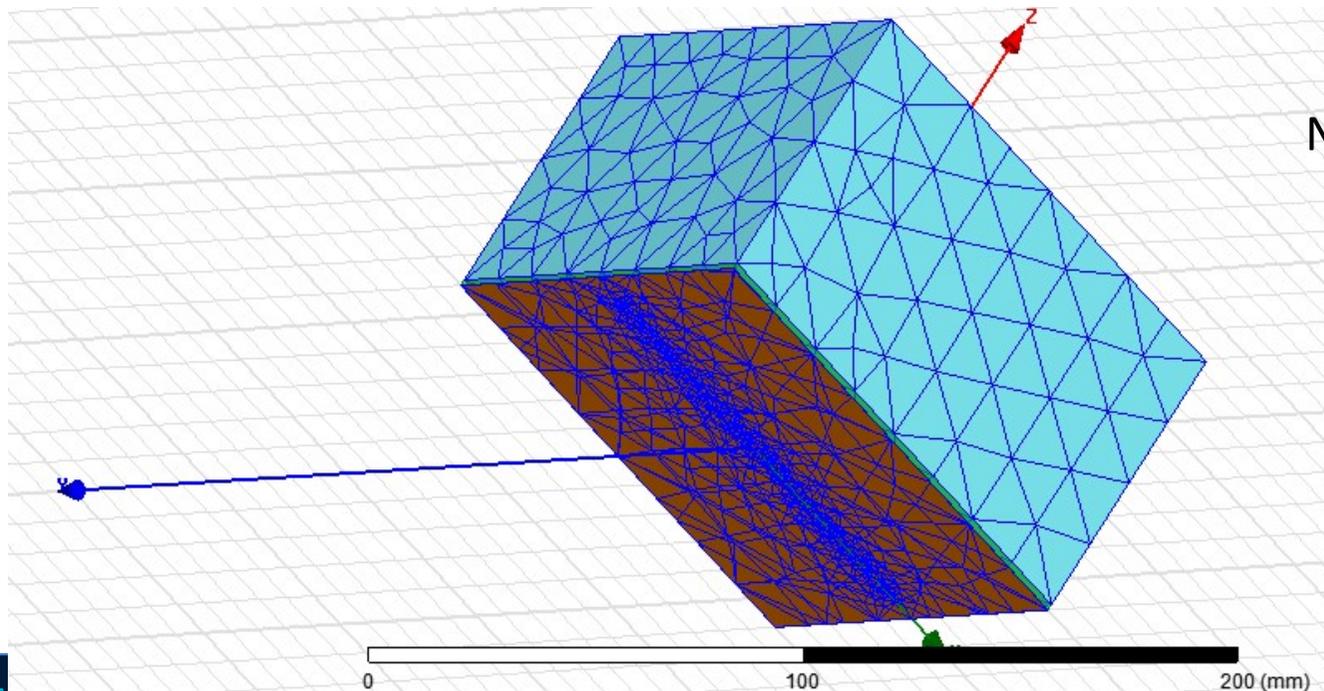
- > Tracé de la partie réelle du champ E_z , à 1 mm au-dessus de la piste



Un problème apparaît : distribution du champ E très granuleuse, peu uniforme !

Critique du modèle

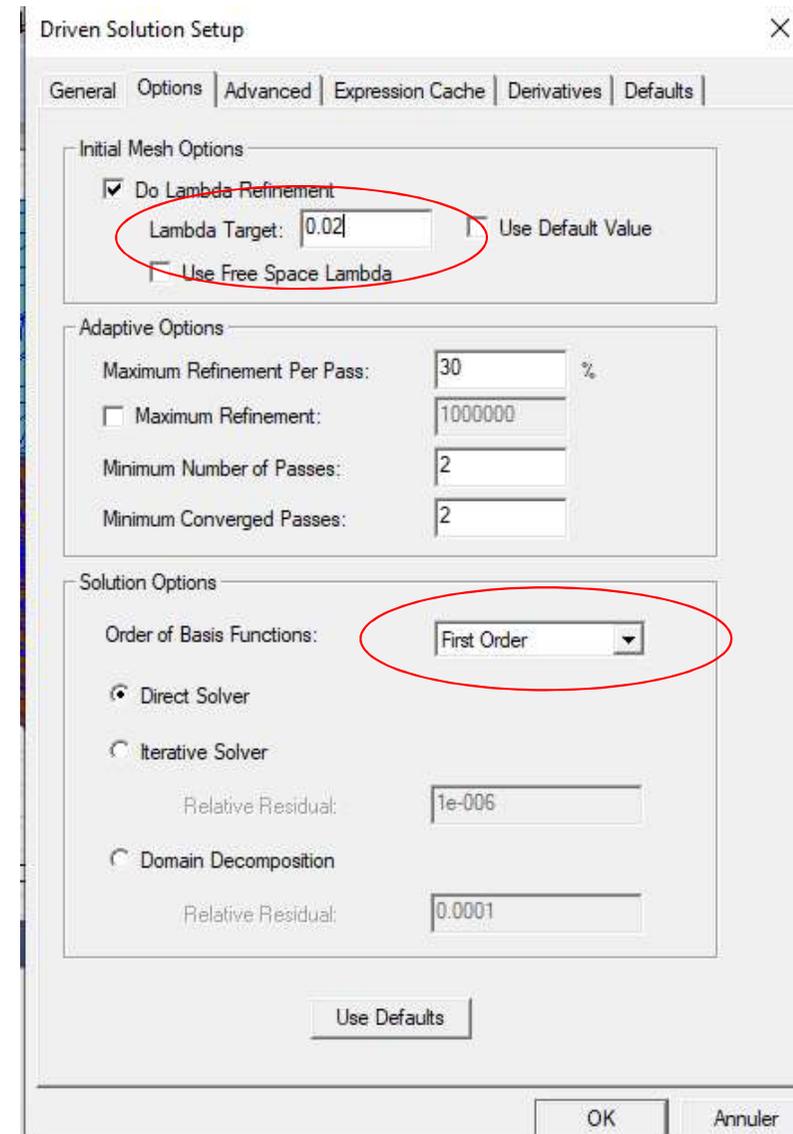
- > Conseil pour les dimensions de l'objet Air Box (Boundary de type Radiation) :
 - Les limites de l'objet Air Box doivent être hors de la zone de champ proche de l'objet rayonnant simulé → frontière floue
 - Commencer par une séparation de $\lambda/4$
- > Utilisation d'un ordre 1 pour els fonctions de base (pour l'interpolation du champ entre les mailles) → passage à 2 si besoin de plus de précision au prix d'un temps de calcul plus élevé
- > Analyse du maillage : clic droit sur objet + **Plot Mesh**



Nombre totale de mailles = 12841

Amélioration du modèle

- > L'augmentation de la taille de l'objet Airbox serait à analyser, mais ici pas d'influence car l'élément rayonnant (la piste) est à $\lambda/4$ des bords. Le nb de mailles augmenterait largement sans réelle amélioration
- > Réduire la taille du maillage :
 - soit en limitant la taille des mailles (**Assign Mesh Operation**)
 - Soit en réduisant le paramètre **Lambda Target** → plus efficace
- > Augmenter l'ordre des fonctions de base : ordre 2 ou mixte (temps de calcul plus long)



Amélioration du modèle

- > 119864 mailles → sans doute un nombre de mailles un peu exagérés...
- > Simulation du champ proche :

