

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE



DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER ACADEMIQUE**
Domaine : **Sciences et Technologies**
Filière : **Génie Electrique**

Spécialité : Télécommunication et Réseaux

Présenté par :
SIZINE Fetta

Thème

Etude paramétrique de l'antenne YAGI sous le logiciel CST

Mémoire soutenu le/...07.../2017..... devant le jury composé de :

Mr Y.ATTAF	Maitre de conférences B	UMMTO	Président
Mr H.KANANE	Maitre de conférences B	UMMTO	Encadreur
Mr M.TAHANOU T	Maitre de conférences B	UMMTO	Examineur

Remerciements

Je tiens à exprimer mes profondes gratitudee et mon immense respect à mon encadreur Mr KANANE, pour sa disponibilité, pour sa patience, et ses orientations qui m'ont permis de réaliser ce travail.

Je remercie chaleureusement mes parents qui n'ont ménagé aucun effort pour mon éducation. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma parfaite reconnaissance.

Mes vifs remerciements s'adressent également à Mr DJEDOUR pour son aide et ses encouragements.

Je remercie infiniment les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer mon travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents,

A mes sœurs : Meriem et Sarah

A la lumière de ma vie, Mohand Ameziane

A toute ma famille

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : Généralités sur les antennes

I-1 Introduction	2
I-2 Fréquence d'utilisation.....	2
I-3 Diagramme de rayonnement.....	2
I-4 Angle d'ouverture	3
I-5 Impédance d'antenne.....	3
I-6 La polarisation.....	3
I-7 La directivité.....	4
I-8 Le gain.....	4
I-9 Le rendement.....	4
I-10 Adaptation et condition d'adaptation.....	4
I-11 Les différents types d'antenne.....	5
I-11.1- Antenne élémentaire.....	5
I-11.2- Antenne dipolaire.....	6
I-11.3- Antenne cornet.....	7
I-11.4 Antenne à fente.....	7
I-11.5 Antenne patch ou imprimée.....	8
I-13 Les différentes zones de rayonnement d'une antenne	8
I-13 .1 Région de Rayleigh.....	9
I-13 .2 Région de Fresnel.....	9
I-13 .3 Région de Fraunhofer (zone du champ lointain).....	9
I-14 Mode d'alimentation	10
I-15 La théorie de l'antenne YAGI.....	10
I-15.1 Histoire	10
I-15.2 Principe de fonctionnement.....	11
I-15.2.1 Le brin réflecteur	11
I-15.2.2 Les brins directeurs.....	12
I-16 Conclusion	14

CHAPITRE II : PRESENTATION DU LOGICIEL CST

II-1 Introduction	14
II-2 Présentation du logiciel CST STUDIO SUITE	14
II-3 Description générale du logiciel	14
II-4 Structure de l'interface d'utilisation	20
II-5 Les transformations géométriques	25
II-6 Combiner des formes en utilisant des opérations booléennes	26
II-7Création de courbes	27
II-8 La liste historique.....	28
II-9 L'arbre historique.....	29
II-10 La maille.....	30
II-11 La simulation.....	30
II-12 Conclusion.....	31

CHAPITRE III : Etude paramétrique de l'antenne Yagi-Uda sous CST

III-1 Introduction.....	33
III-2 Simulation d'une antenne dipôle (demi-onde) sous CST.....	33
III-3 Etude paramétrique du dipole demi-onde	34
III-3.1 Effet de la longueur du dipole.....	41
III-3.2 Optimisation du radiateur.....	49
III-4 Etude du réflecteur.....	55
III-4.1 Effet de la longueur du réflecteur.....	55
III-4.2 Effet de l'espacement entre le radiateur et le brin réflecteur.....	64
III-5 Etude du directeur.....	82
III-5.1 Effet de la longueur du directeur.....	82
III-5.2 Effet de l'espacement entre le radiateur et le brin directeur.....	94
III-6 Antenne YAGI à trois éléments.....	113
III-7Conclusion.....	126

CHAPITRE IV : Mesures pratiques de l'antenne YAGI

IV-1 Introduction.....	127
IV-2 L'analyseur de réseaux.....	127
IV-3 Banc de mesure du diagramme de rayonnement	127
IV-4 Mesure de l'antenne dipôle demi –onde.....	129
IV-5 Mesure de l'antenne YAGI à 3 éléments.....	130
IV-6 Mesure de l'antenne YAGI à 6 éléments.....	132
IV-7 Domaine d'application de l'antenne YAGI.....	133
IV-8 Conclusion.....	133
Conclusion générale.....	134

Bibliographie

LISTES DES FIGURES

CHAPITRE 1

Figure I-1 : Diagramme de rayonnement d'une antenne	2
Figure I-2 : Adaptation d'une antenne	5
Figure I-3 : Champ rayonné par un dipôle élémentaire	6
Figure I-4 : Champ rayonné par une boucle de courant	6
Figure I-5 : répartition du courant le long d'un dipôle et champ rayonné.....	7
Figure I-6 : Les différents types de cornets	7
Figure I-7 : Fentes sur le grand coté du rectangulaire	8
Figure I-8 : Structure d'une antenne patch	9
Figure I-9 : Dipôle + réflecteur	9
Figure I-10 : Dipôle + directeur	11

CHAPITRE III

Figure III-1: antenne demi-onde.....	32
--------------------------------------	----

CHAPITRE IV

Figure IV-1 : Analyseur de réseaux scalaire	127
Figure IV-2 : Banc de mesure du diagramme de rayonnement	127
Figure IV-3 : Position des antennes émettrice et réceptrice	129
Figure IV-4 : Montage pour la mesure de diagramme de rayonnement de l'antenne dipôle demi-onde.....	129
Figure IV-5 : Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne dipôle.....	129
Figure IV-6 : Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne dipôle.....	130
Figure IV-7 : Montage pour la mesure de diagramme de rayonnement de l'antenne YAGI à 3 éléments.....	130
Figure IV-8 : Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne YAGI à 3 éléments.....	131
Figure IV-9: Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne YAGI à 3 éléments.....	132
Figure IV-10: Montage pour la mesure de diagramme de rayonnement de l'antenne YAGI à 6 éléments	132
Figure IV-11: Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne YAGI à 6 éléments.....	132
Figure IV-12 : Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne YAGI à 6 éléments.....	132

Introduction générale

Introduction générale

Une antenne est un élément fondamental dans un système radioélectrique qui permet de rayonner (émetteur) ou, de capter (récepteur), les ondes électromagnétiques. Ses caractéristiques de rendement, gain, et le diagramme de rayonnement etc... influencent directement sur les performances de qualité et de portée du système.

Jusqu'à l'apparition de la télévision, l'antenne était plus ou moins considérée comme un bout de fil électrique, et la notion de directivité revêtait une certaine importance de même que le gain, la bande passante, l'impédance etc.

L'association de plusieurs doublets demi-onde constitue une solution intéressante, imaginée aussitôt qu'on a su réaliser des transmissions en ondes courtes.

Toutefois on a toujours été arrêté par le mode de liaison électrique entre les dipôles, aussi, une des solutions a consisté à associer plusieurs réflecteurs les uns sur les autres plutôt que d'assembler des antennes.

Vers 1928 Yagi fit sa première communication à la presse des résultats de ses travaux sur l'association des dipôles alignés, dipôles réagissant les uns sur les autres tant dans le domaine électrique que celui du rayonnement électromagnétique.

A la suite de nombreuses expérimentations, Yagi a ensuite défini les règles d'association et de dimension des brins rayonnants, afin d'obtenir un gain maximum dans le plan d'alignement.

Les travaux ont été déterminants dans le développement de la télévision et des télécommunications, et à ce titre, son nom est associé aux réseaux de tiges disposées en râteau qui fleurissent nos toits depuis un demi-siècle.

Ce travail s'intéresse à la compréhension du fonctionnement de l'antenne **Yagi-Uda**. Pour cela :

dans le premier chapitre nous allons définir l'antenne, donner son mécanisme de rayonnement, ainsi que les caractéristiques et les propriétés nécessaires pour décrire ses performances.

Dans le deuxième chapitre sera présenté le logiciel de simulation **CST Microwave Studio**, et les différentes étapes de simulation.

Notre travail dans le troisième chapitre, consiste à effectuer une étude paramétrique de l'antenne Yagi en fonction des paramètres géométriques, (comme la longueur et l'espacement entre les différents éléments constituant cette antenne) en utilisant le logiciel de simulation **CST**.

Le dernier chapitre sera consacré aux mesures pratiques des caractéristiques de l'antenne Yagi au sein de notre laboratoire en utilisant le banc de mesure **UniTrain-I**, ainsi que l'analyseur de réseaux scalaire.

CHAPITRE I

Généralités sur les antennes

I-1 Introduction :

Quel que soit la fréquence de fonctionnement de l'antenne, quel que soit sa structure physique, le rayonnement des antennes est caractérisé par des propriétés communes. Le but de ce chapitre est de les présenter. En voici les principales :

I-2 La fréquence d'utilisation

Une antenne s'utilise en général avec des signaux autour d'une fréquence donnée pour laquelle l'antenne possède des capacités optimales pour émettre ou recevoir l'énergie électromagnétique correspondante dans l'espace environnant. La fréquence de résonance d'une antenne dépend d'abord de ses dimensions propres, mais aussi des éléments qui lui sont ajoutés. Par rapport à la fréquence de résonance centrale de l'antenne, un affaiblissement de -10 dB détermine les fréquences minimum et maximum d'utilisation, la différence entre ces deux fréquences correspond à la bande passante.

I-3 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est une présentation graphique des propriétés de rayonnement de l'antenne en fonction des coordonnées spatiales, caractérisant la distribution de puissance rayonnée par une antenne suivant une direction. Cette distribution peut être exprimée sous forme d'une fonction ou d'une représentation graphique.

Le diagramme de rayonnement est déterminé dans la région du champ lointain.

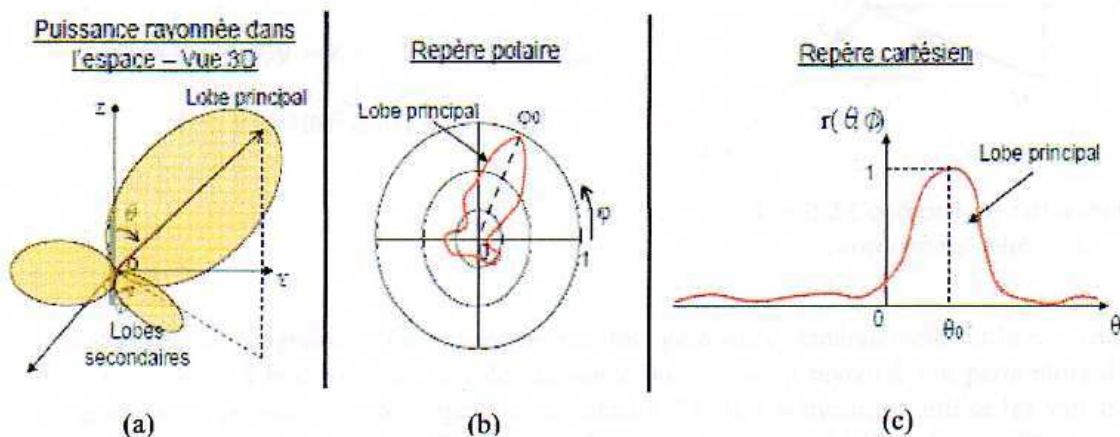


Figure I-1 : Diagramme de rayonnement d'une antenne

- En 3D
- Plan vertical en coordonnées polaires
- Plan vertical en coordonnées cartésiennes

I-4 Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture (beamwidth) caractérise la largeur du lobe principal. L'angle d'ouverture à 3 dB représente la portion de l'espace dans lequel la majeure partie de la puissance est rayonnée. Il s'agit de l'angle entre les 2 directions autour du lobe principal où la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction de rayonnement maximal.

I-5 Impédance d'antenne

L'impédance d'une antenne est la généralisation de la notion d'impédance utilisée pour les autres composants passifs (résistances, condensateurs, selfs...) aux antennes. Il s'agit donc du rapport complexe observé entre la tension et le courant à l'entrée d'une antenne en émission. L'utilité de cette notion est importante pour assurer les meilleurs transferts d'énergie entre les antennes et les dispositifs qui y sont connectés grâce aux techniques d'adaptation. Une antenne prise entre ses deux bornes d'accès constitue donc un dipôle ayant une impédance complexe $R + jX$ où R et X représentent respectivement la résistance et la réactance de l'antenne. La résistance d'antenne R est elle-même la somme de deux types de résistance qui traduisent les différentes utilisations de l'énergie absorbée: la première R_p est la résistance liée aux pertes par effet Joule dans l'antenne la deuxième R_r est la résistance de rayonnement liée à l'énergie utile rayonnée par l'antenne dans l'espace qui l'entoure.

I-6 La polarisation

D'une façon générale, la polarisation d'une onde est décrite par le lieu de l'extrémité du champ électrique lors de sa propagation. La polarisation d'une antenne est une donnée fondamentale pour l'étude des antennes.

En effet, selon la constitution de l'antenne, elle ne recevra qu'une certaine forme de polarisation. Donc si la polarisation de l'antenne de réception n'est pas accordée sur la polarisation d'émission, la puissance reçue ne sera pas maximale.

- Polarisation rectiligne : on parle de polarisation rectiligne lorsque le champ rayonné conserve une direction constante au cours du temps.
- Polarisation circulaire : l'extrémité du vecteur champ électrique rayonné décrit un cercle en fonction du temps
- Polarisation elliptique : toute onde elliptique peut être considérée comme l'addition vectorielle de deux vecteurs perpendiculaires déphasés dans le temps de 90° .

I-7 La directivité

La directivité de l'antenne dans le plan horizontal est une caractéristique importante dans le choix d'une antenne. Elle indique dans quelle direction la densité de puissance est meilleure. Une antenne directive possède un lobe nettement plus important que les autres qu'on nomme « lobe principal ». Elle sera d'autant plus directive quant ce dernier sera étroit. La directivité correspond à la largeur du lobe principal, entre les angles d'atténuation à -3 dB.

Pour toutes les antennes, la dimension constitue un paramètre fondamental pour déterminer la directivité. Les antennes à directivité et à gain élevés seront toujours grandes par rapport à la longueur d'onde.

$$D(\theta, \varphi) = \frac{U(\theta, \varphi)}{\frac{1}{4\pi} P_a}$$

I-8 Le gain

Le gain d'une antenne est une mesure importante de ses performances au sein d'un système. Il se définit comme le rapport de l'intensité maximum de rayonnement obtenue au sommet du lobe principal sur l'intensité de rayonnement dans la même direction qui serait produite pour une source électromagnétique isotrope alimenté par une même puissance d'entrée.

I-9 Le rendement

Le rendement η d'une antenne traduit sa capacité à transmettre la puissance électrique en entrée PA sous forme de puissance rayonnée PR. On le définit comme le rapport entre la puissance totale rayonnée par une antenne et la puissance qui lui est fournie. Le rendement est lié aux pertes dans le réseau de polarisation et dans les éléments rayonnants. Le rendement relie le gain et la directivité.

$$PR = \eta \cdot PA \Rightarrow G = \eta \cdot D. \quad (\eta=0.8)$$

I-10 Adaptation et condition d'adaptation

Une antenne est reliée à la source par une ligne de transmission d'impédance caractéristique Z_c (en général, $Z_c = 50$ ou 75Ω). Pour assurer un transfert maximal de puissance entre l'alimentation et l'antenne, il est nécessaire d'assurer une adaptation d'impédance. L'adaptation permet d'annuler le coefficient de réflexion le S11 en entrée de l'antenne.

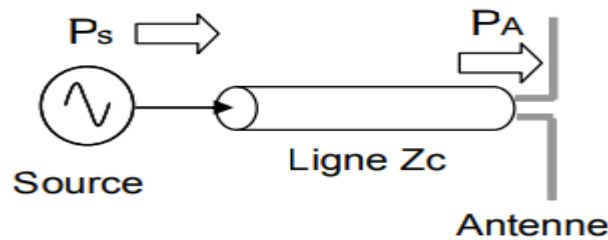


Figure I-2 : Alimentation d’une antenne

I-11 Différents types d’antenne

Les antennes sont réparties en plusieurs catégories selon la géométrie, le gain, la forme du faisceau, et la bande passante. On peut les classer comme suit :

la forme géométrique	<ul style="list-style-type: none"> - Antennes filaires : dipôle, boucle, spirale - Antennes à ouvertures : cornet, fente, antenne à réflecteur - Antennes imprimées : patch, dipôle, imprimée, spirale
Le gain	<ul style="list-style-type: none"> - Gain élevé : cornet - Gain moyen : planaire - Gain bas : dipôle, fente, patch
la forme du faisceau	<ul style="list-style-type: none"> - Omnidirectionnelle : dipôle - Faisceau étroit : antenne réseau - Faisceau large : planaire
La largeur de bande	<ul style="list-style-type: none"> - Bande large : spirale - Bande étroite : patch, fente

I-11.1 Antenne élémentaire

a) Dipôle élémentaire

Le dipôle élémentaire ou le doublet d’Hertz est un fil de longueur h très inférieure à la longueur d’onde ($h < \lambda/10$), connecté à une source d’excitation.

On considère que l’amplitude du courant est constante le long de l’antenne. On l’appelle dipôle ou doublet car des charges de signe opposé sont stockées à chaque extrémité.

Cette antenne sert de référence car une antenne filaire plus longue peut être vue comme une succession de dipôles élémentaires [1]

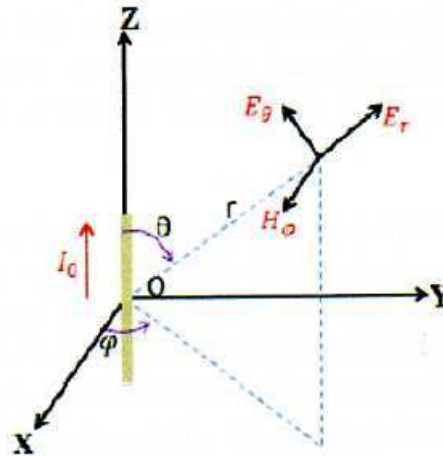


Figure I-3 : Champ rayonné par un dipôle élémentaire[1]

b) Boucle élémentaire

Les boucles constituent le deuxième type d'antenne les plus courants, constituées d'un fil conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui même .La boucle est ainsi branchée sur une ligne bifilaire reliée au générateur .Le rayonnement à grande distance ,est maximal dans le plan de la boucle est s'effectue de façon radiale .Le courant circulant dans le fil crée un champ magnétique qui se propage .Sa variation engendre le champ électrique associé, d'où le rayonnement électromagnétique associé [1].

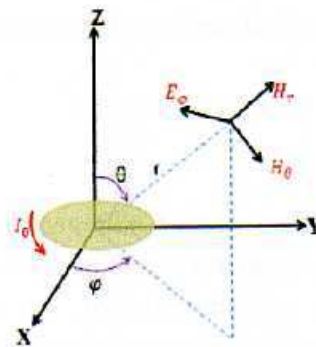


Figure I-4 : Champ rayonné par une boucle de courant [1]

I-11.2 Antenne dipolaire

L'antenne dipolaire est constituée de deux tiges cylindriques de diamètre fin ($d < \lambda/100$), reliées chacune à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire. En

émission, cette ligne est reliée à un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne. À la réception la ligne bifilaire est branchée sur un récepteur.

Dans la ligne bifilaire, les courants sont de sens contraire, alors que dans le dipôle les courants sont dans le même sens. L'influence de ces deux courants s'annule dans la ligne bifilaire. Ce sont les courants variables, de même sens, qui rayonnent et créent l'onde électromagnétique dans l'espace [1].

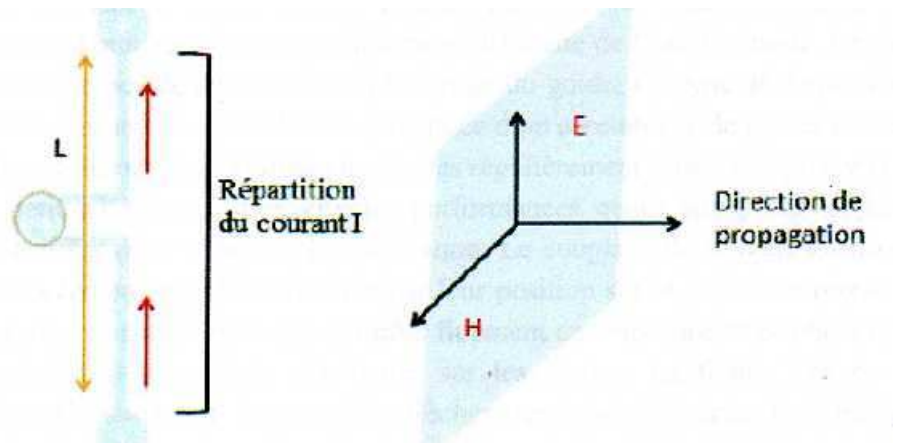


Figure I-5 : répartition du courant le long d'un dipôle et champ rayonné [1]

I-11.3 Antenne cornet

Un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées est le guide d'onde rectangulaire. Sa qualité de transmission est excellente. Pour cette raison, il est utilisé en haute fréquence. Son utilisation est très répandue en hyperfréquence. Sa forme permet de passer graduellement des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. L'onde est ainsi naturellement projetée dans l'espace libre [1].

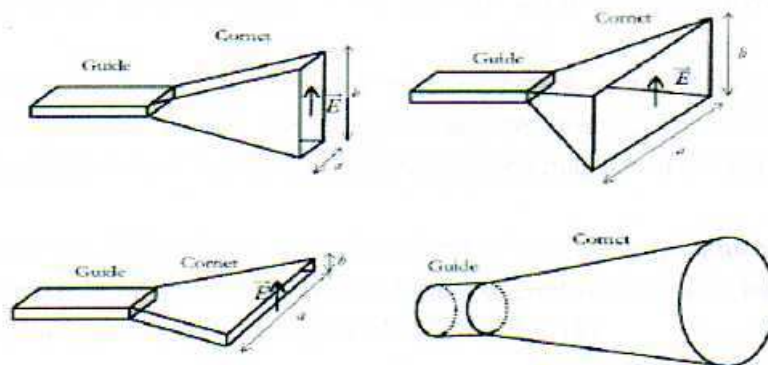


Figure I-6 : Les différents types de cornets [1]

I-11.4 Antenne à fente

Une antenne à fente est constituée d'un assemblage de guides d'ondes souvent rectangulaire, sur lesquelles sont taillées des fentes régulièrement espacées, soit sur le grand côté, soit sur le petit côté, ayant d'excellentes performances quant aux pertes et au niveau de rayonnement diffus dû aux erreurs de fabrication. Le couplage de la ligne d'alimentation (le guide) avec les fentes se règle facilement par leurs positions sur le guide. La figure suivante nous donne une représentation de l'antenne à fente (les flèches nous donnent la polarisation) [1]

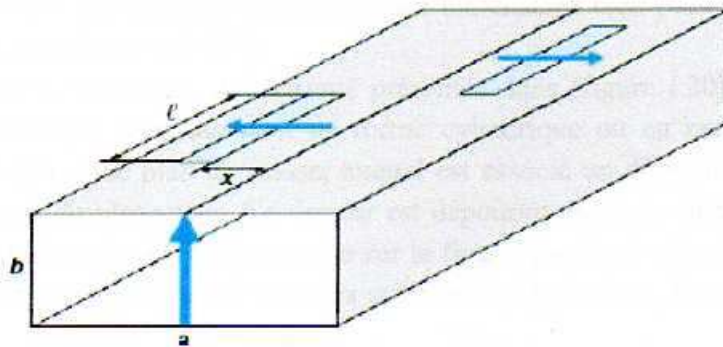


Figure I-7 : Fentes sur le grand coté du rectangulaire [1]

I-11.5 Antenne patch ou imprimée

L'antenne patch est constituée d'un plan de masse, d'une ou de plusieurs couches de substrat pouvant avoir des permittivités égales ou différentes.

La surface contient un élément rayonnant de géométrie quelconque (rectangulaire, circulaire ...). Il existe plusieurs mécanismes d'excitations qui permettent d'avoir des diagrammes de rayonnement en polarisation linéaire ou circulaire.

Les substrats diélectriques ont généralement une faible permittivité pour faciliter et favoriser le rayonnement, tout en évitant le confinement des champs dans la cavité comprise entre l'élément imprimé et le plan de masse [1]

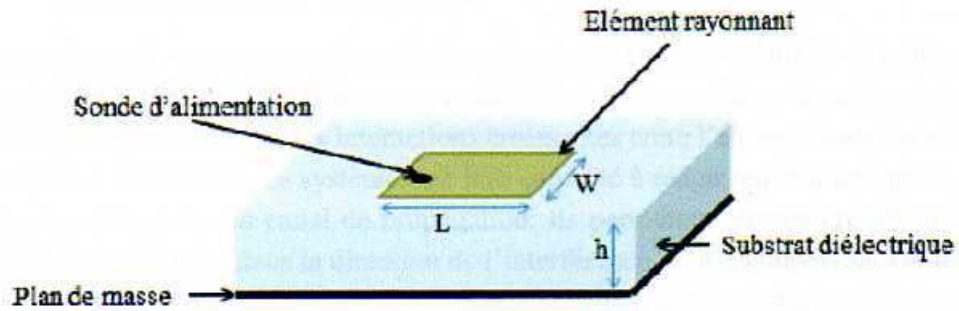


Figure I-8 : Structure d'une antenne patch [1]

I-13 Les différentes zones de rayonnement d'une antenne :

L'espace entourant l'antenne est généralement subdivisé en trois régions : la région du champ proche réactif (zone de Rayleigh), la région du champ proche rayonne (zone de Fresnel) et la région du champ lointain (zone de Fraunhofer). Ces régions sont ainsi désignées selon la structure des champs dans chacune d'elles. Bien qu'il n'existe aucun changement notable de configuration des champs a la limite de séparation entre ces régions (pas de discontinuité), les puissances rayonnées sont différentes. Comme la délimitation de ces régions n'est pas unique, différents critères ont été établis pour identifier ces trois régions.

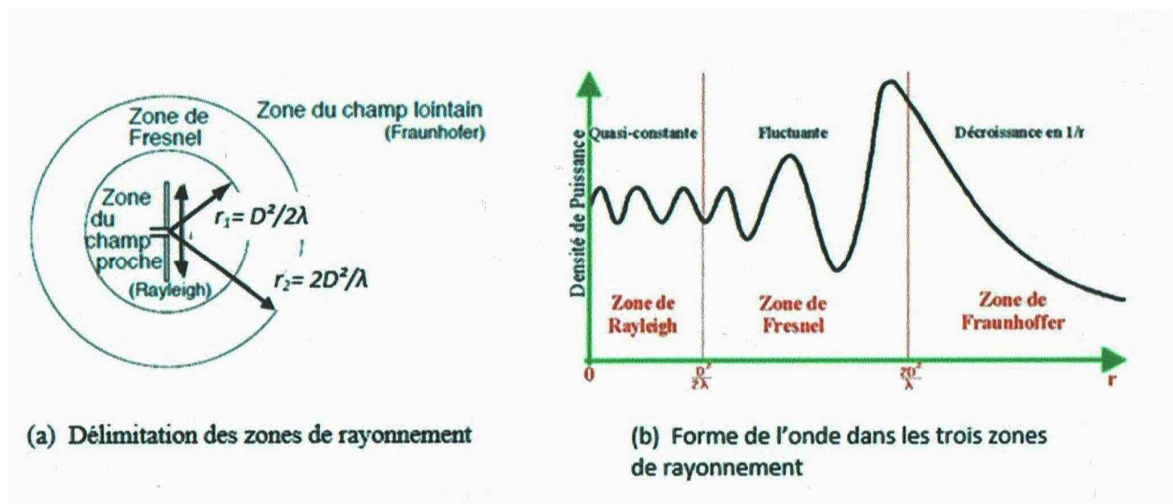


Figure I-9 : Zones de rayonnement d'une antenne

I-13.1 Région de Rayleigh

C'est la région entourant la source rayonnante ou la puissance réactive (purement imaginaire) prédomine. L'énergie électromagnétique reste confinée à l'intérieur d'un faisceau tubulaire dans

lequel il y'a échange d'énergie réactive entre l'antenne et le milieu extérieur. La densité de puissance est quasi constante. Pour la plus part des antennes, cette région est déterminée par une sphère de rayon $r_1 = D^2/2\lambda$. D étant la plus grande dimension de l'antenne et λ la longueur d'onde.

I-13 .2 Région de Fresnel

Il s'agit de la zone intermédiaire dans laquelle la densité de puissance est fluctuante et la divergence du faisceau devient appréciable. Elle est déterminée par l'intervalle de distance $r_1 \leq r \leq r_2$.

I-13 .2 Région de Fraunhofer (zone du champ lointain)

C'est la région définie par une distance radiale r supérieure à r_2 , où l'énergie électromagnétique est rayonnée dans toutes les directions de l'espace couverte par le diagramme de rayonnement de l'antenne. L'énergie rayonnée est purement réelle et indépendante de la distance radiale. Les champs ont une structure TEM par rapport à la direction radiale (onde planes) et varient en $1/r$ et la densité de puissance décroît en $\frac{1}{r^2}$

I-14 Mode d'alimentation

Pour acheminer vers l'antenne l'énergie à haute fréquence fournie par l'émetteur ou en sens inverse, amener le signal capté par l'antenne jusqu'à l'entrée du récepteur, on utilise une ligne de transmission ou un guide d'onde. Pour obtenir un fonctionnement optimal, l'impédance au point d'alimentation doit être égale à l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation. L'ordre de grandeur des impédances rencontrées est de quelques dizaines (50 ou 75 ohms pour le câble coaxial) et quelques centaines d'Ohms (300 ohms pour une ligne bifilaire). Outre l'adaptation des impédances, une antenne symétrique (comme le doublet demi-onde) doit être alimentée par une ligne symétrique (comme la ligne bifilaire) ou par un système rendant l'alimentation symétrique (balun) et une antenne asymétrique comme l'antenne verticale par une ligne asymétrique : un câble coaxial, par exemple. Une antenne peut également être alimentée par une ligne de transmission à haute impédance, constituée de deux fils parallèles en l'air, d'impédance caractéristique 600 Ohms.

I-15 Théorie de l'antenne YAGI :

L'antenne YAGI ou antenne YAGI-Uda (du nom de ses inventeurs, Hidetsugu Yagi et Shintaro Uda) est une antenne à éléments parasites utilisable des HF aux UHF. Mécaniquement simple à réaliser, elle est très utilisée en télévision terrestre, en liaisons point à point et par les radioamateurs.

I-15.1 Histoire :

Hidetsugu Yagi (28 janvier 1886 à Osaka, Japon - 19 janvier 1976) est un ingénieur électricien japonais. Travaillant à l'université du Tōhoku, il rédige plusieurs articles en anglais qui introduisent les principes d'un nouveau type d'antenne mis au point avec son collègue Shintarō Uda.

L'antenne Yagi, brevetée en 1926 au Japon, permet les communications directionnelles à l'aide d'ondes électromagnétiques. Au début du XXI^e siècle, cette antenne est installée dans des millions de résidences de par le monde, servant à la réception des ondes radio et de télévision.

I-15.2 Principe de fonctionnement :

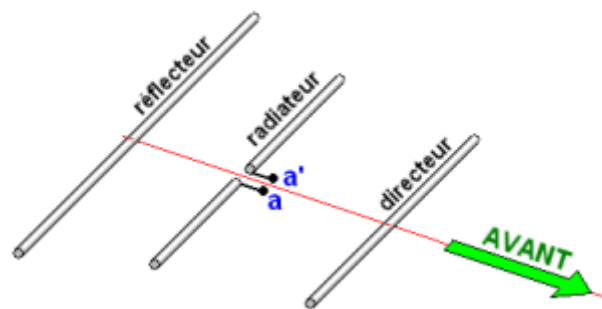


Figure I.10 : antenne Yagi-Uda

Une antenne Yagi-Uda est formée par un élément alimenté (en général un simple dipôle ou un « trombone ») plus un ou plusieurs éléments isolés (de simples baguettes métalliques) et non alimentés.

Le courant électrique qui circule dans l'élément alimenté produit un champ électromagnétique, lequel induit des courants dans les autres éléments.

Le courant induit dans les éléments parasites produit à son tour d'autres champs rayonnés qui induisent des courants dans les autres éléments y compris sur l'élément alimenté. Finalement le courant qui circule dans chaque élément est le résultat de l'interaction entre tous les éléments. Ce courant dépend de la position et de ses dimensions. Le champ électromagnétique rayonné par l'antenne dans une direction donnée sera la somme des champs rayonnés par chacun des éléments.

I-15.2.1 Le brin réflecteur :

Le fonctionnement d'un brin réflecteur peut se résumer comme suit. Etant placé à une distance $\lambda/4$ du dipôle, ce brin se trouve excité par l'onde rayonnée par l'émetteur, avec

un décalage égal à $\lambda/4$ par rapport au dipôle ayant capté celui-ci .Devenant alors le siège d'une oscillation induite, il se met alors à rayonner à son tour après avoir toutefois accepté le signal réémis vers le dipôle d'un déphasage égal à $\lambda/2$, inhérent à toute réflexion. A ce déphasage vient s'ajouter celui de $\lambda/4$ du au trajet retour du signal vers le dipôle, qui va donc recevoir celui-ci en phase avec l'onde directe reçue de l'émetteur.

On a ainsi une augmentation de l'énergie captée par le dipôle origine, qui va se traduire par une amélioration du gain de l'antenne .le schéma

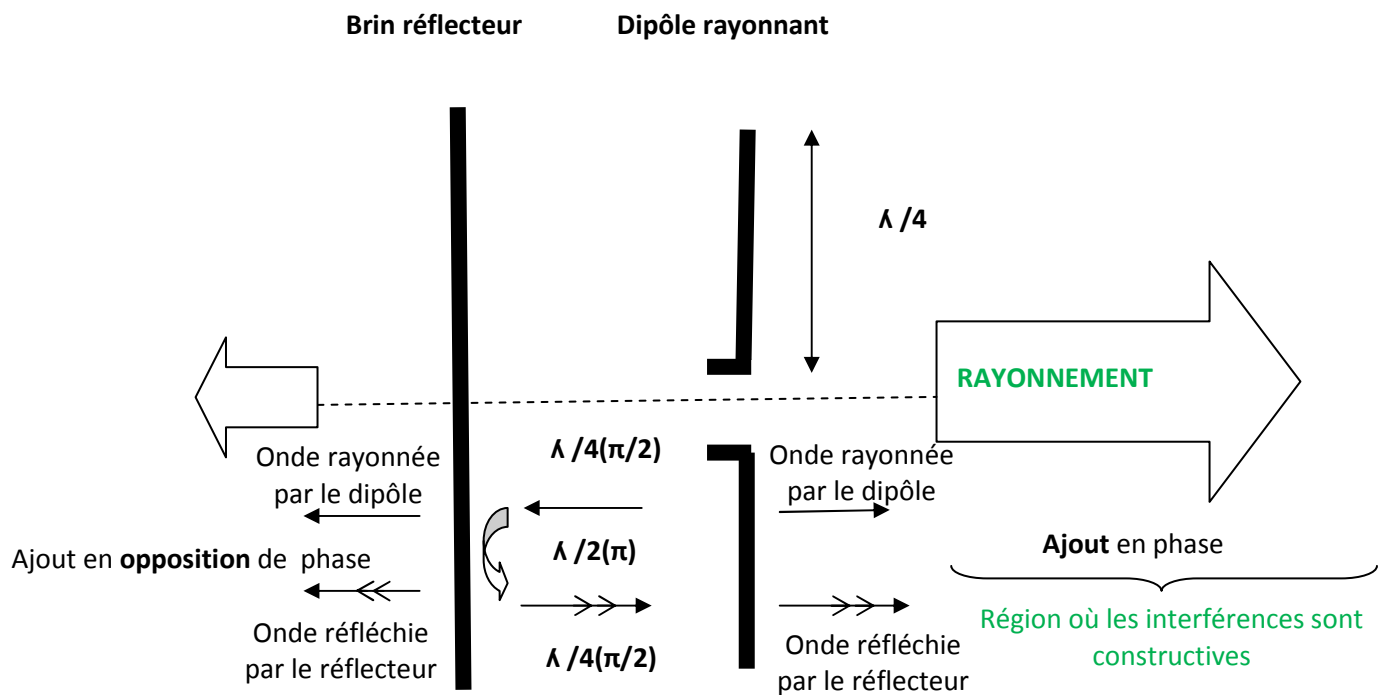


Figure I-9 : Dipôle + réflecteur

I-15.2.2 Les brins directeurs :

Ils sont placés en avant du dipôle et leurs comportement est similaire à celui du réflecteur .leurs rôle étant d'améliorer la directivité de l'antenne et donc d'augmenter l'énergie captée par le dipôle .Ils additionnent leurs rayonnements respectifs, qu'ils communiquent en phase au dipôle, avec l'onde captée directement .La différence fondamentale réside dans la taille du dipôle directeur qui est plus petite que celle du dipôle rayonnant (de 5% environ)

Les combinaisons réflecteur/directeurs sont très diversifiées, ce qui permet ainsi de jouer sur la directivité de l'antenne et d'intensifier le gain si nécessaire

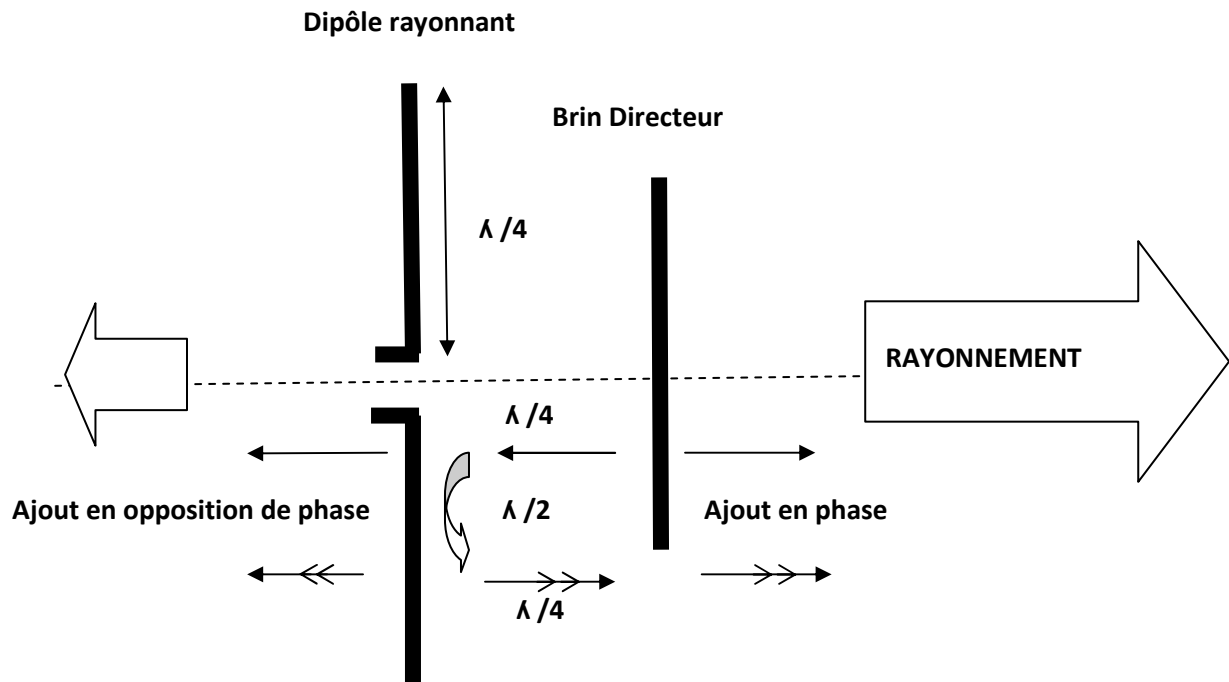


Figure I-10 : Dipôle + directeur

Pour déterminer les dimensions de l'antenne YAGI, on pourra se servir des remarques suivantes :

- ✓ Le diagramme de rayonnement est d'autant plus large, et le rapport du champ avant au champ arrière d'autant plus grand quand la distance entre les éléments rayonnants est faible.
- ✓ Pour obtenir des diagramme aigus ,il faut augmenter l'écartement des directeurs (notamment la distance du premier directeur au dipôle) mais les lobes secondaires augmentent alors en amplitude .
- ✓ Le diagramme est pratiquement indépendant de la longueur du dipôle on peut donc agir sur celle-ci pour l'adaptation des impédances.
- ✓ La longueur des directeurs doit légèrement diminuer quand leur nombre augmente, il est recommandé , dans la mise au point expérimentale d'une antenne ,de corriger d'abord l'écartement entre les directeurs quand on ajoute un , puis de diminuer un peu la longueur de ceux-ci .

I-16 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons défini les caractéristiques générales d'une antenne. Elles nous sont de grande importance lors du choix de notre dispositif rayonnant.

CHAPITRE II

Présentation du logiciel CST

II-1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE (Computer Simulation Technology) qui est l'aboutissement de nombreuses années de recherche et de développement dans les solutions informatiques les plus précises et efficaces pour les conceptions électromagnétiques.

II-2 Présentation du logiciel CST STUDIO SUITE

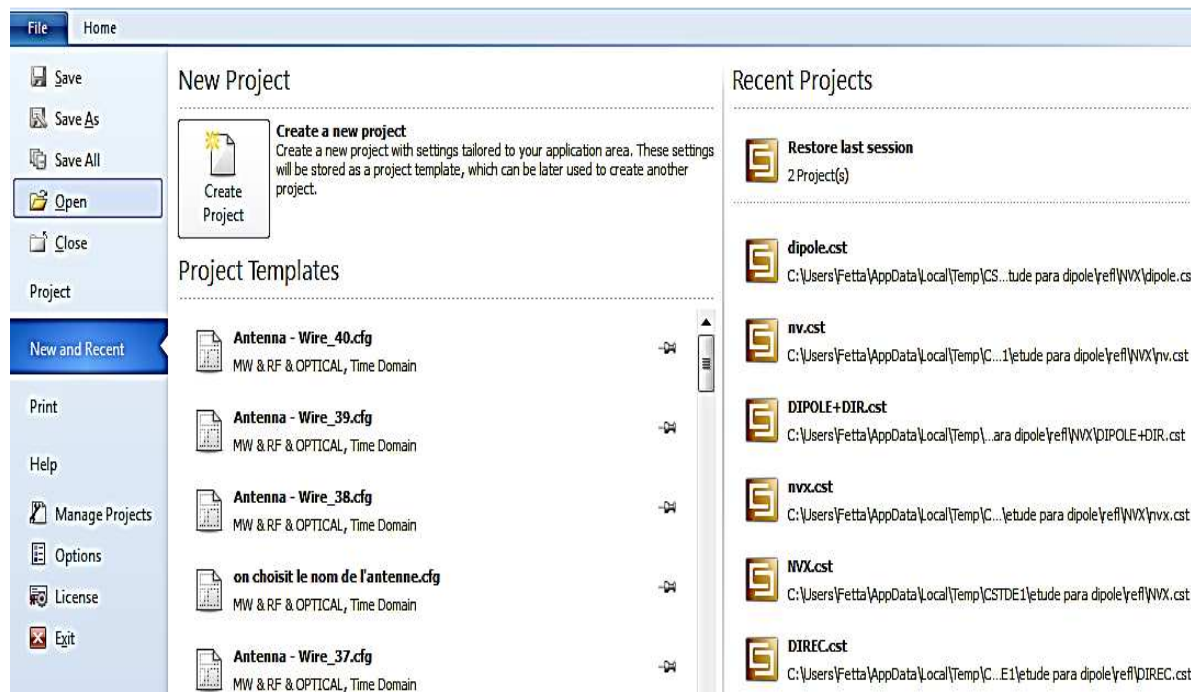
Le logiciel CST comprend les outils pour la conception et l'optimisation des appareils fonctionnant dans une large gamme de fréquences - statique à optique. Les analyses peuvent inclure des effets thermiques et mécaniques, ainsi que la simulation de circuits.

Le CST Microwave Studio est un simulateur électromagnétique basé sur la technique des intégrales finies (FIT) qui permet une analyse rapide et précise des dispositifs haute fréquence (HF) tels que des antennes, des filtres, des coupleurs...

Cette méthode numérique fournit un arrangement spatial de discrétisation, applicable à des divers problèmes électromagnétiques, s'étendant du calcul des champs statiques aux applications hautes fréquences dans le domaine temporel ou fréquentiel.

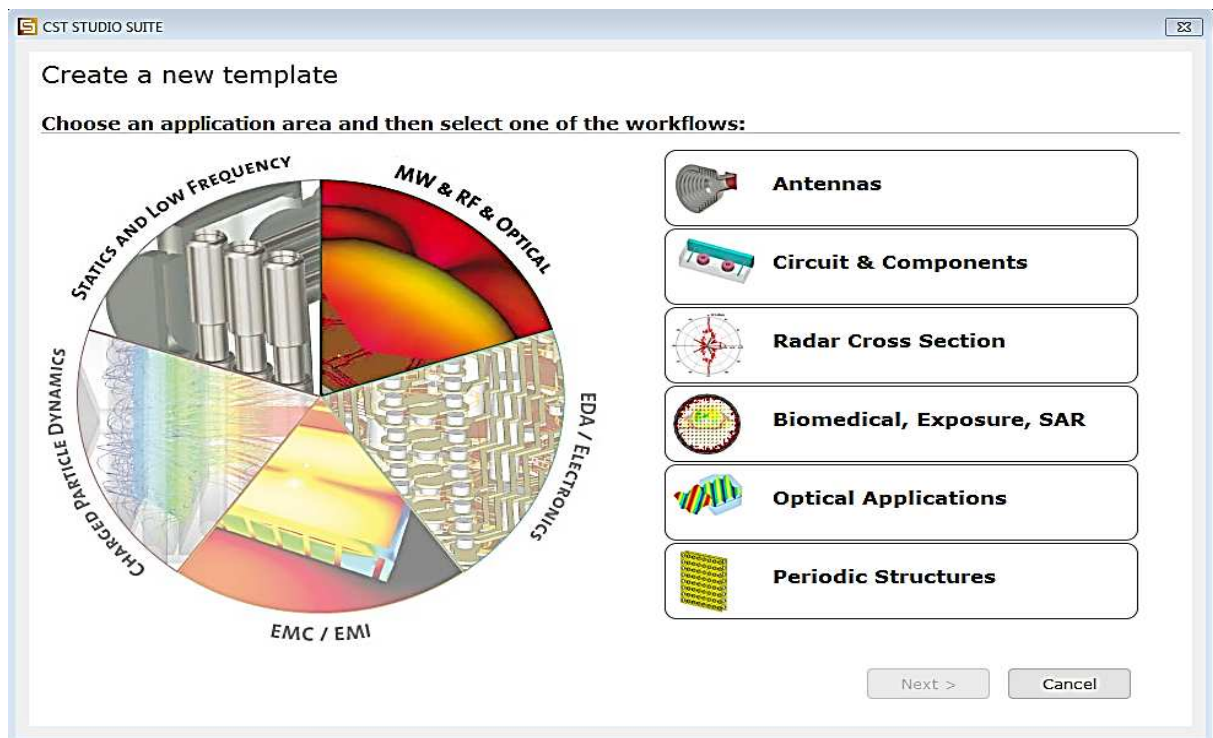
II-3 Description générale du logiciel

Après avoir lancé le STUDIO SUITE de CST, on sera invité à créer un nouveau projet ou à ouvrir un dossier existant

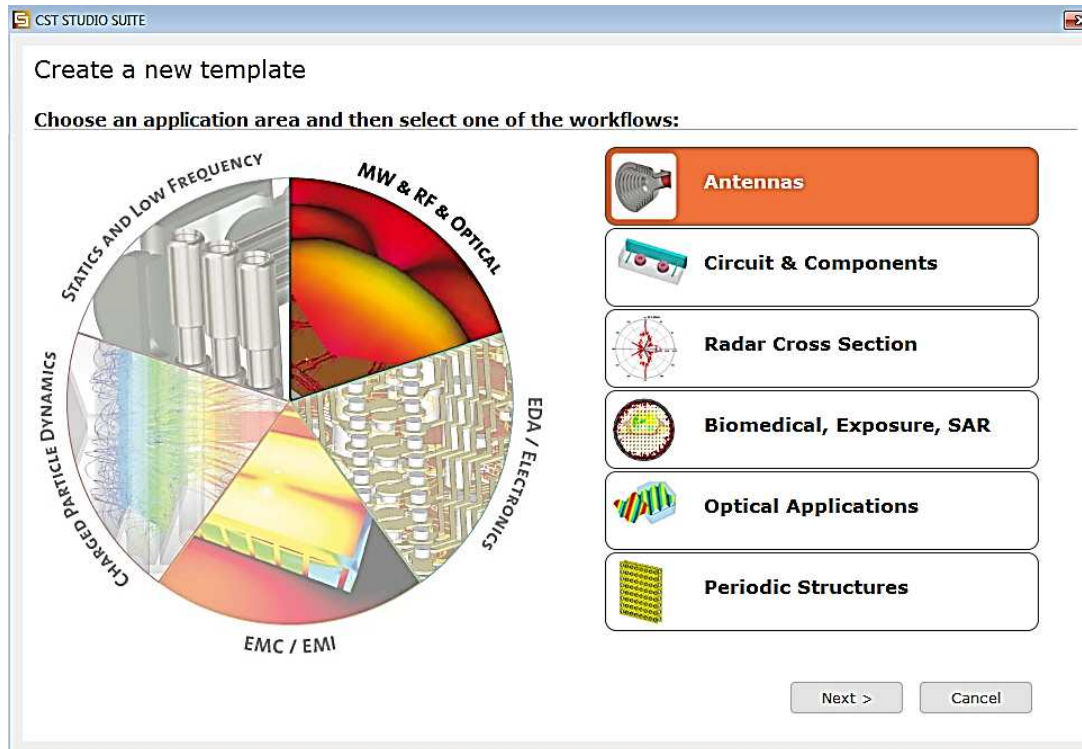


On clique sur **create a new project** pour créer un nouveau dossier .une boite de dialogue s'ouvre et on sera invité à choisir le type de projet à réaliser

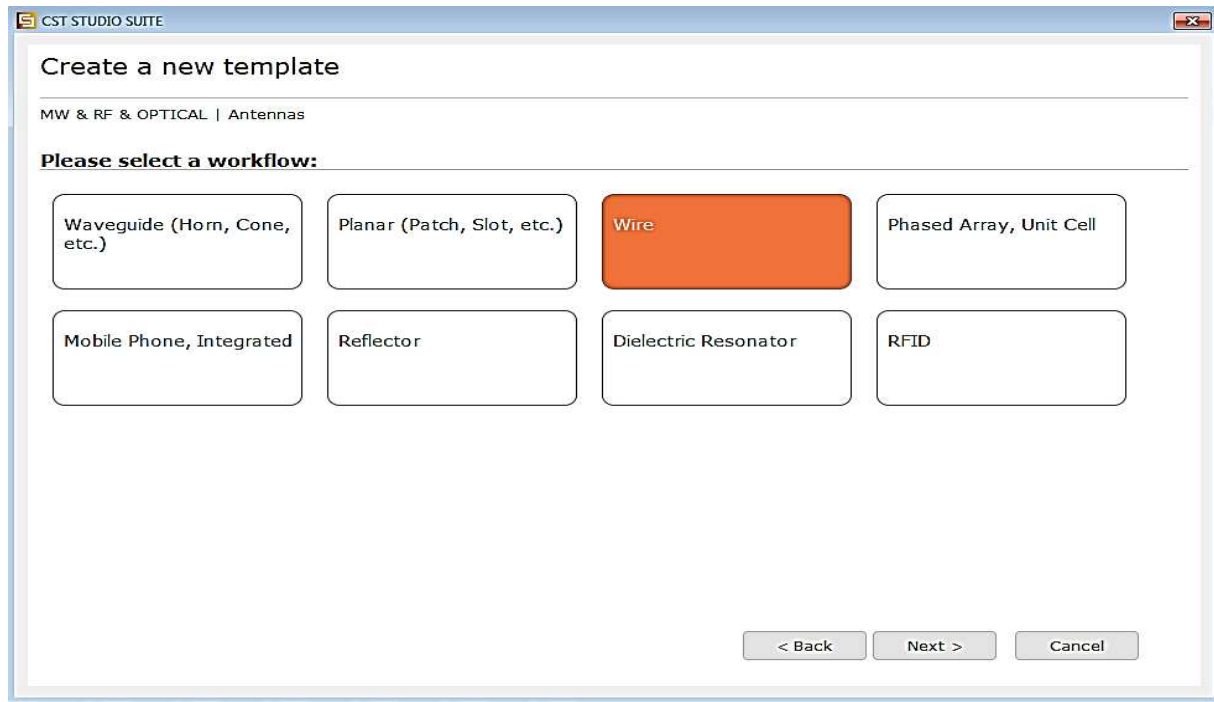
- MW & RF&OPTICAL
- EMC /EMI
- EDA/ELECTRONICS
- CHARGED PARTICAL DYNAMICS
- STATICS AND LOW FREQUENCY



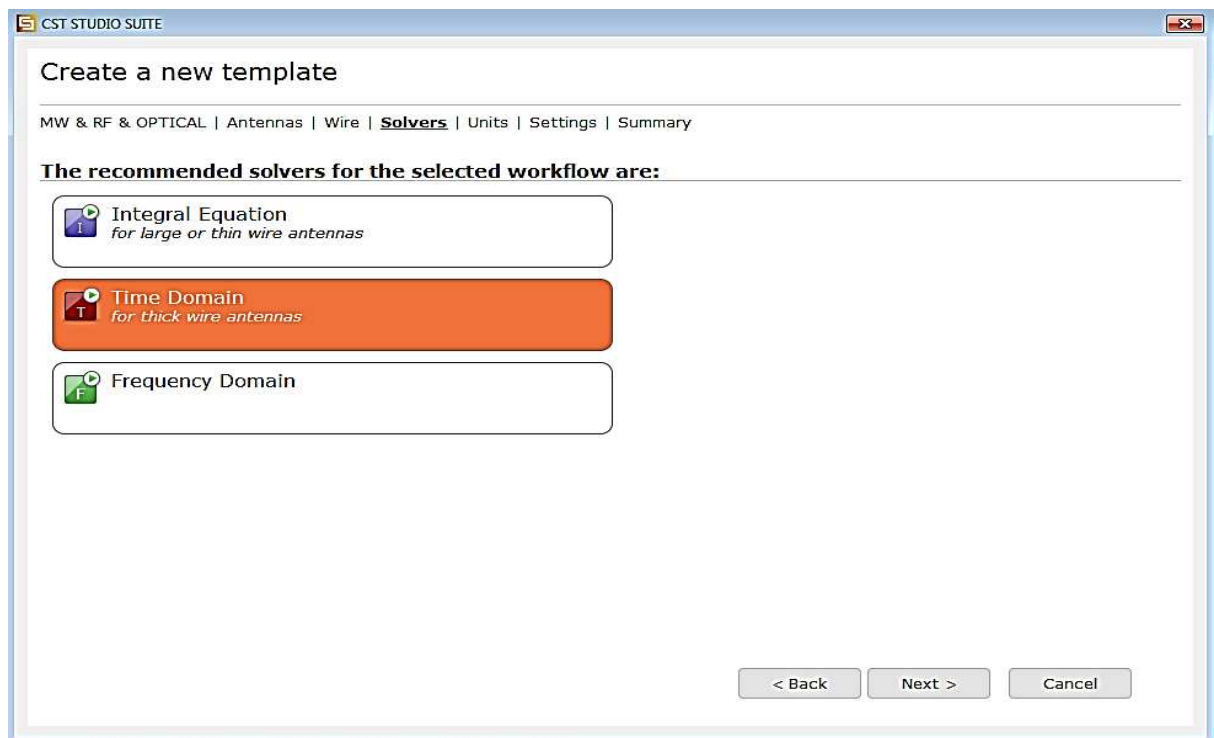
Pour les antennes et les micros on choisit **MW & RF & OPTICAL**, on choisit Antennes.



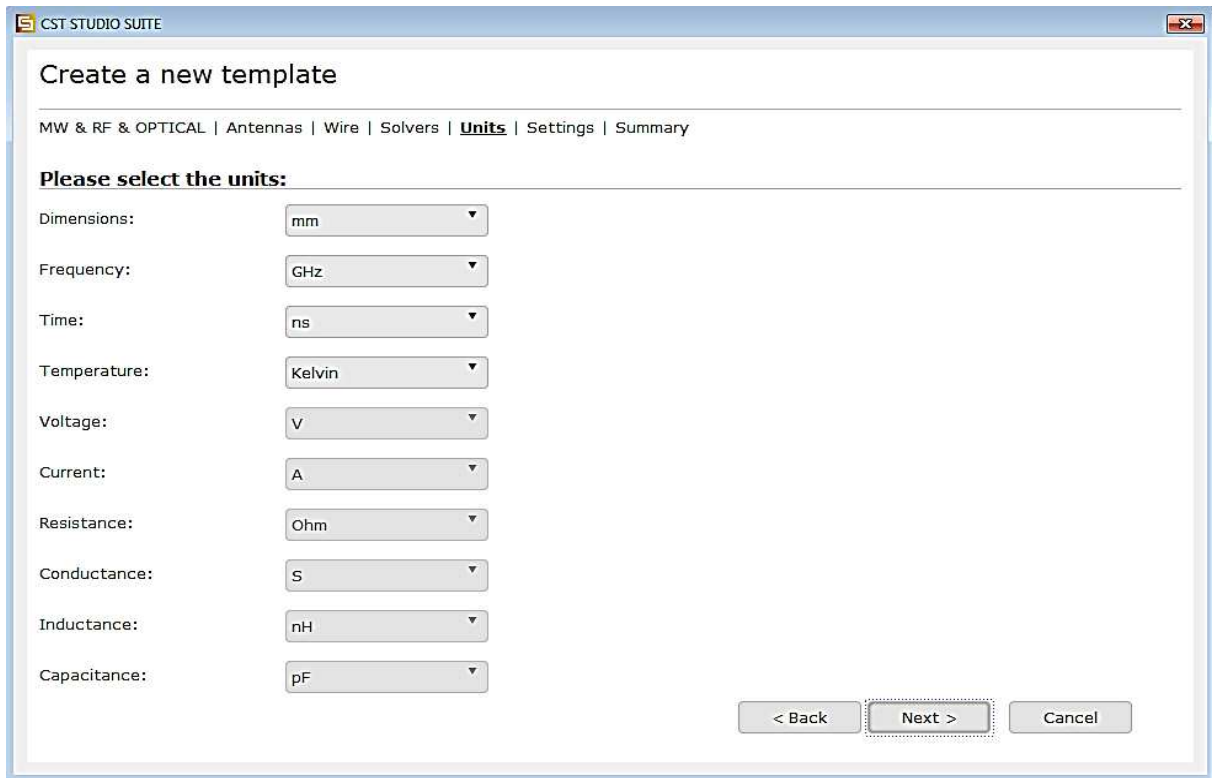
La fenêtre suivante apparait nous demandant le type d'antenne, on clique sur **Wire**




Maintenant on procède à la configuration générale du modèle commençant par le type de solver, pour notre travail on choisit **time domain**

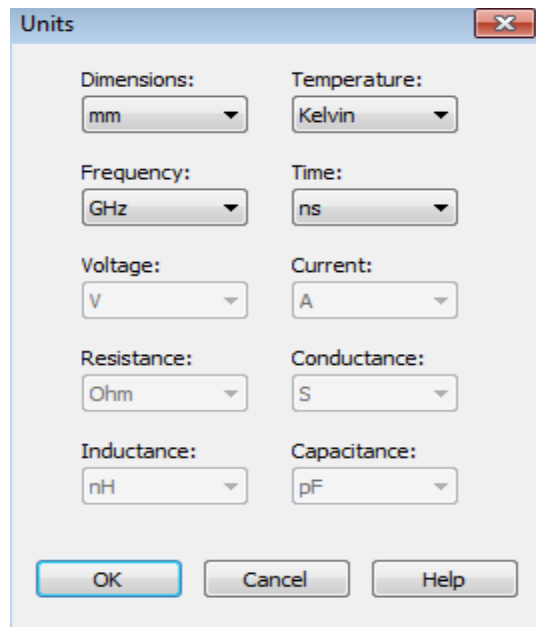


Ensuite nous serons invités à spécifier les unités utilisées, puis la plage de fréquence



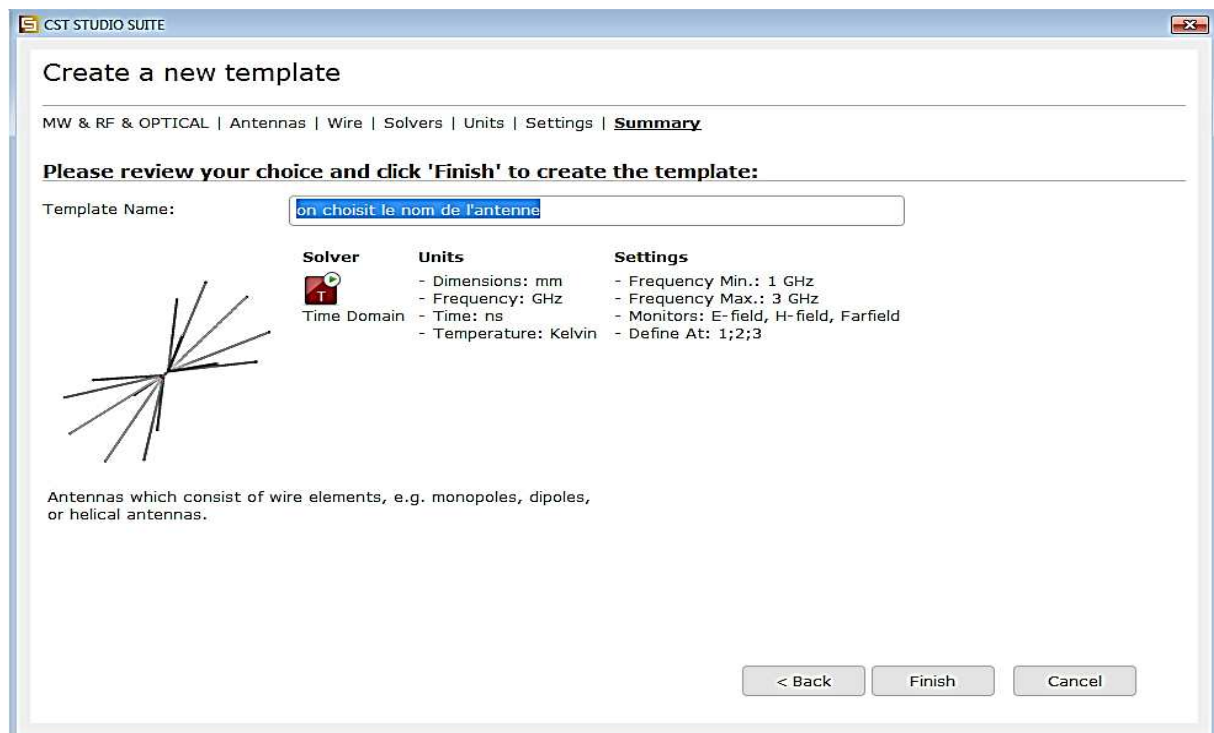
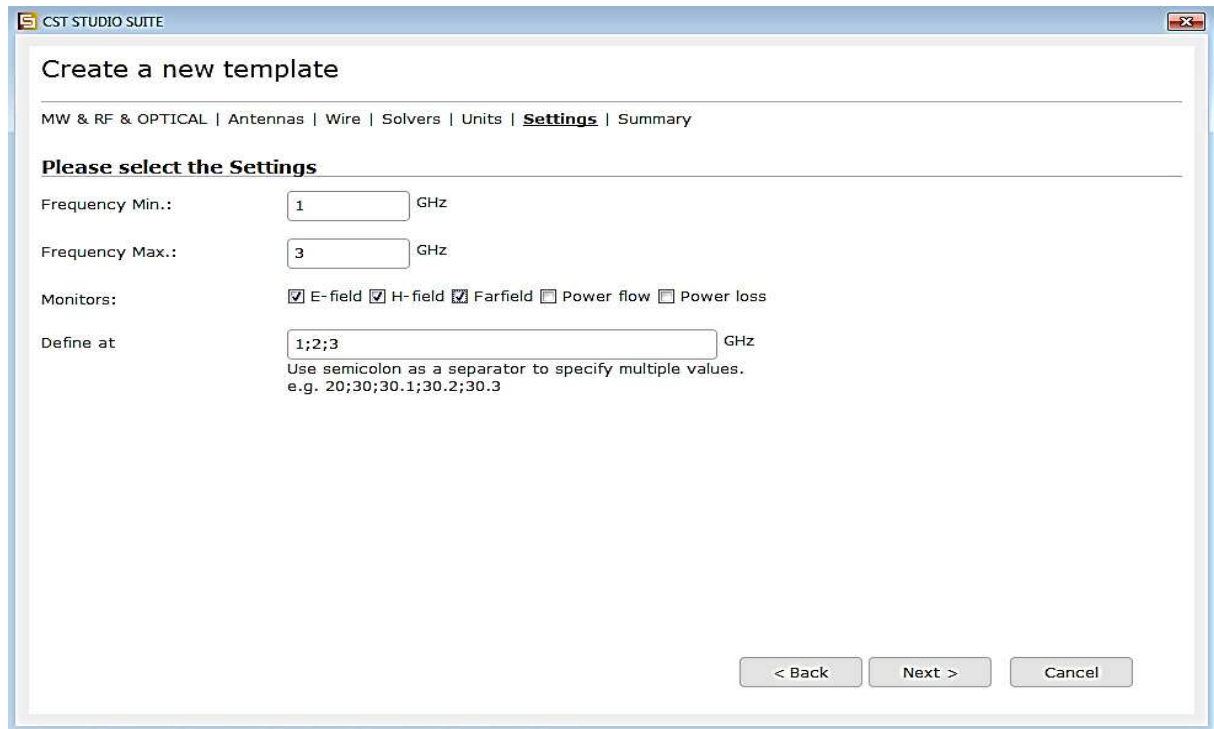
Les unités utilisées sont définies par défaut, mais on pourra les changer à partir de la barre de

menu en cliquant sur 



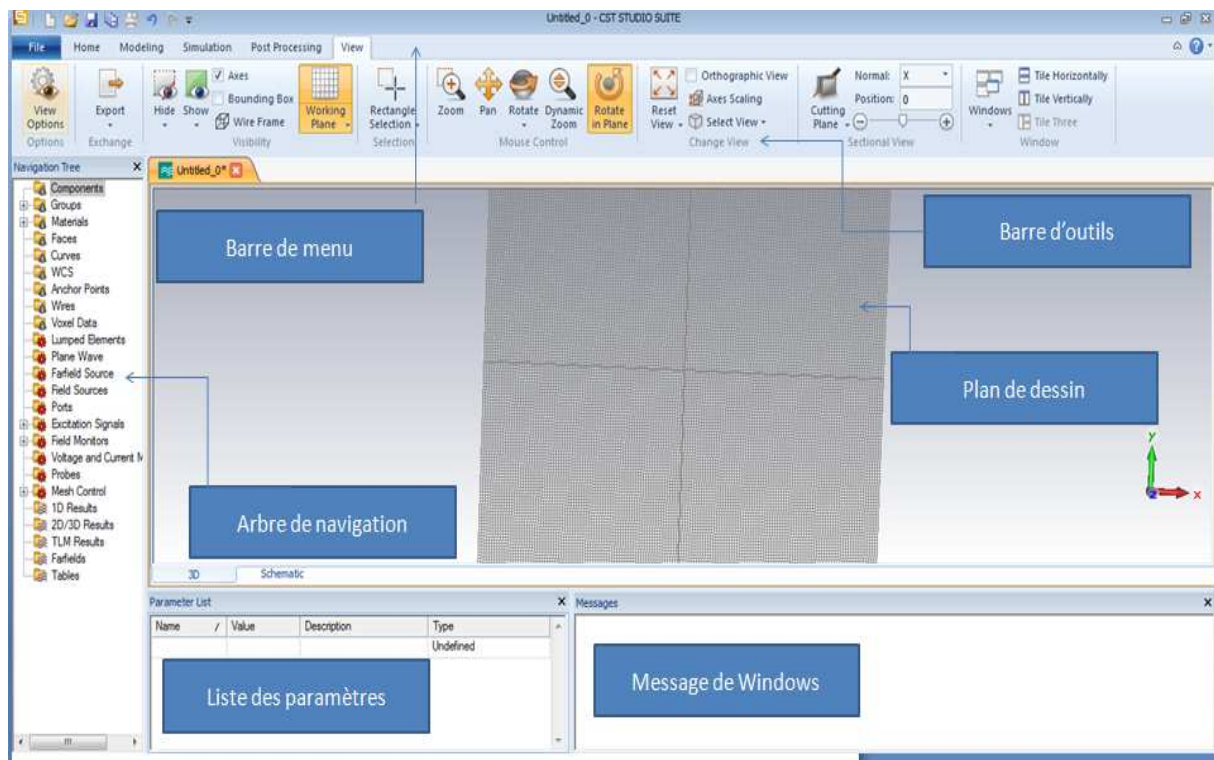
Pour chaque modèle à réaliser il est très important de définir la plage de fréquence pour la simulation.

Pour le calcul du gain en champs lointain, les moniteurs du champ doivent être définis avant le début de la simulation



Maintenant on donne un nom à notre projet, on clique sur **Finish**. ce qui nous permet d'accéder à l'interface d'utilisateur du CST.

II-4 Structure de l'interface d'utilisation :



L'arbre de navigation : est une partie essentielle de l'interface d'utilisateur. qui nous permet d'accéder aux éléments structuraux et aux résultats de simulation.

Liste des paramètres : est une liste de toutes les variables à utiliser ainsi que leurs valeurs.

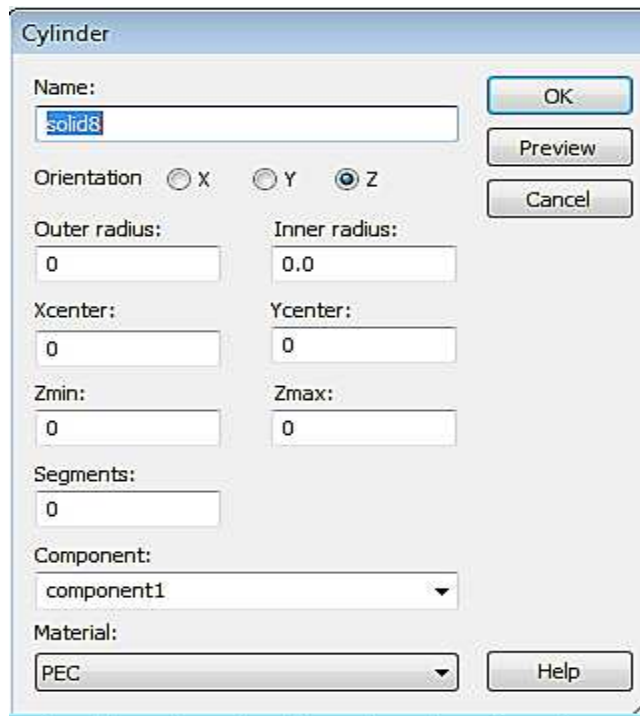
Message Windows : nous renvoi les résultats de la simulation.

Le plan de travail : est le plan sur lequel on dessine la structure en 3D.

Barre d'outils : elle contient les différentes commandes utilisées pour créer notre structure

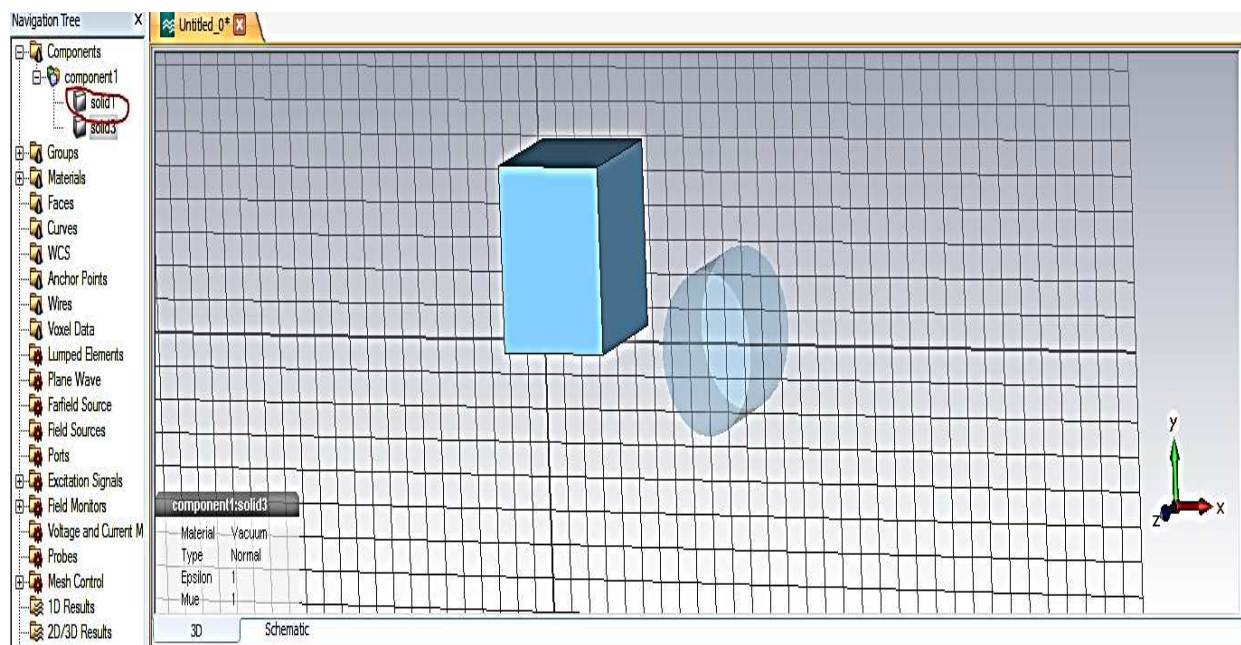


Pour créer une structure on clique sur la forme voulue, une boîte de dialogue s'ouvre pour saisir les coordonnées puis on clique sur **OK**.



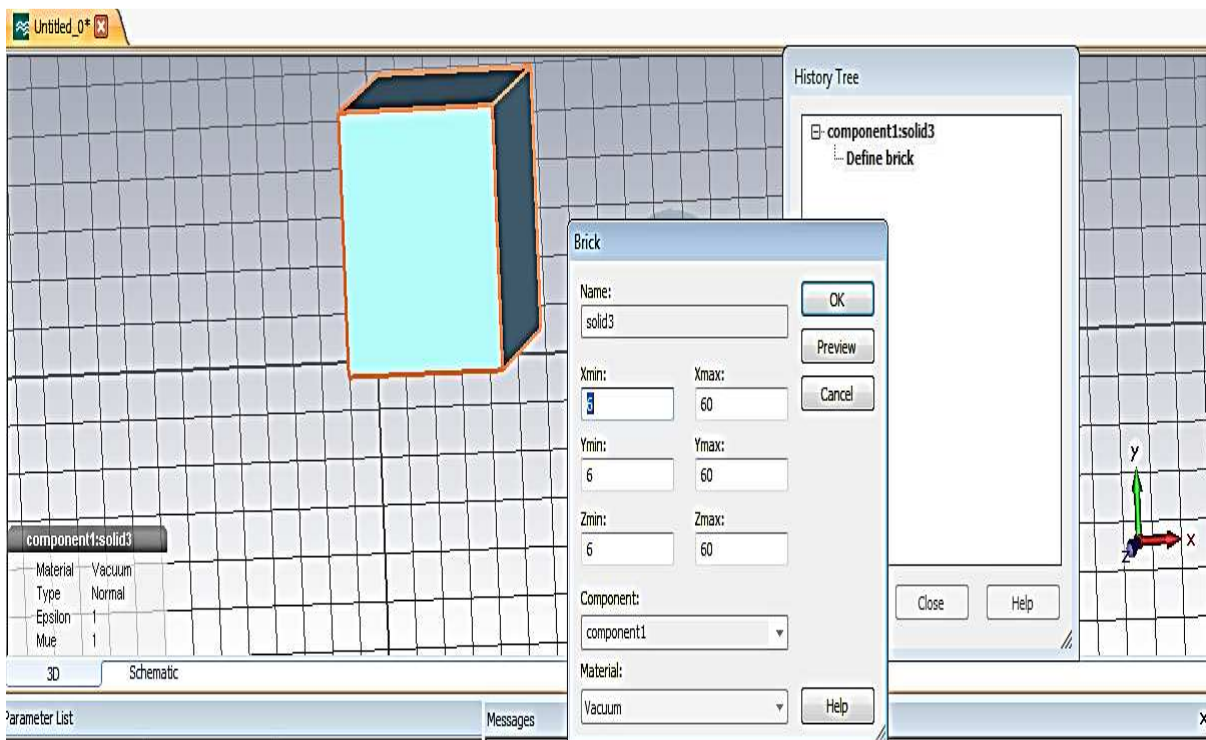
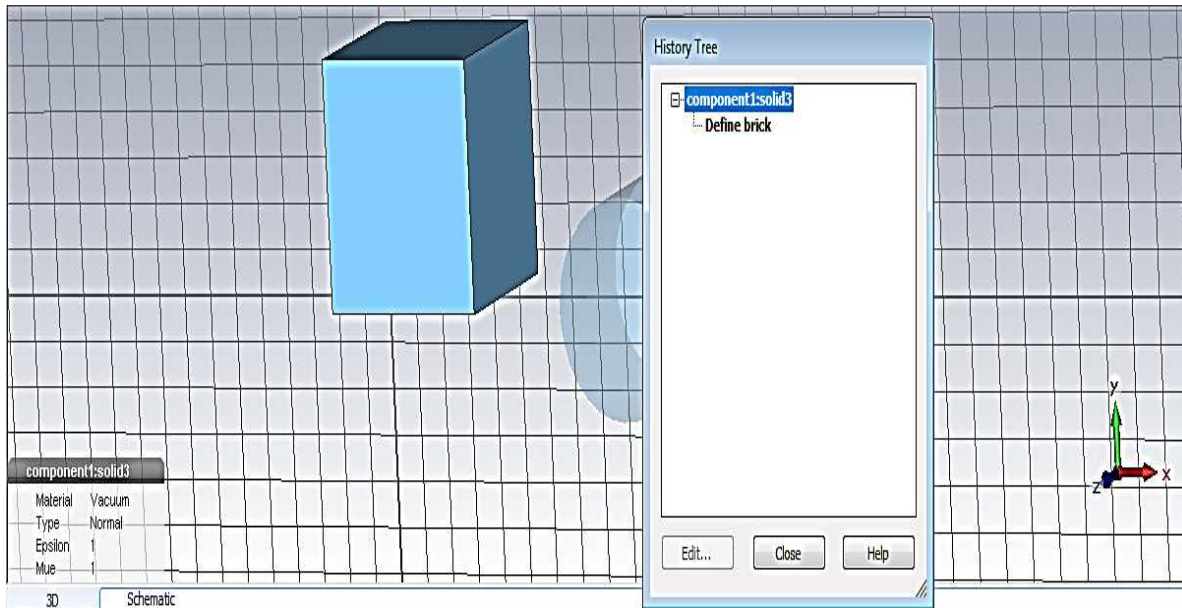
Une fois qu'une forme a été définie celle-ci sera automatiquement cataloguée dans le dossier **components**

On peut sélectionner une forme en cliquant sur la rubrique correspondante dans l'arbre de navigation.



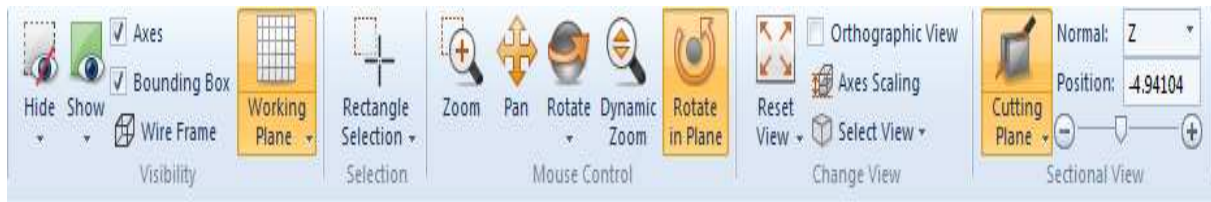
Remarque : Lorsqu'on sélectionne une forme, elle sera affichée opaque tandis que les autres seront transparentes.

On peut changer les paramètres d'une forme en double cliquant sur la rubrique correspondante, une fenêtre s'ouvre, et on clique sur **define**, puis on change les paramètres.



On peut changer l'affichage d'une forme à l'aide de quelques commandes dans le menu principal

La vue va changer à chaque fois qu'on fait glisser la souris tout en maintenant le bouton gauche enfoncé, en fonction du mode sélectionné.



Rotate : la structure sera mise en rotation autour des deux axes d'écran. Le centre de rotation sera le point de la structure ou le bouton de la souris a été pressé et indiqué par une marque rouge.

Rotate in plane : la structure sera tournée dans le plan de l'écran.

Pan : la structure sera déplacée dans le plan de l'écran suivant le mouvement du curseur de la souris.

Dynamic Zoom : En déplaçant la souris vers le haut, le facteur de zoom sera diminuer, tandis qu'en la déplaçant vers le bas, le facteur de zoom sera augmenté.

Zoom : dans ce mode, un rectangle de zoom peut être défini en faisant glisser la souris. Après qu'on relâche le bouton gauche de la souris, le facteur de zoom et l'emplacement de la vue sera mis à jour de sorte que le rectangle remplit l'écran.

Reset view: réinitialiser le facteur zoom.

En plus des options décrites ci-dessus, certains paramètres spécifiques sont disponibles pour changer la visualisation du modèle.

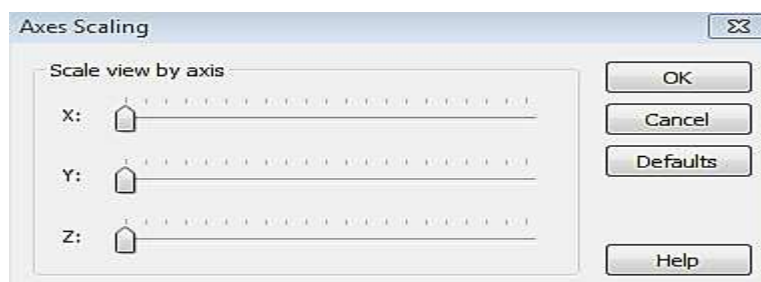
On choisissant **view** dans la barre de menu, ces paramètres peuvent être spécifiés avec l'élément correspondant

Axes : cette option spécifie si oui ou non le système de coordonnées s'affiche.

Working plane : Avec cette option, on peut spécifier si oui ou non le plan du dessin est visible.

Wireframe : cette commande indique si la forme est affichée comme des modèles de fils simples ou objets ombrés solides.

Axes scaling : cette option nous permet de changer l'échelle des trois axes



Rectangle selection: permet de sélectionner la partie définie par le rectangle.

Show /Hide : ces deux options permettent d'afficher ou non la forme sélectionnée.

Bounding box: permet de nous afficher le plan de travail sous forme d'un cube

Select view: cette option permet de choisir le vue d'affichage de la forme, vue de face, vue de gauche, de droite ...

Wcs : permet d'activer/désactiver le système de coordonnées local



II-5 Transformations géométriques :

Jusqu'à présent, on a vu comment modéliser des formes simples et comment changer la vue du modèle. Cette section concernera l'application de transformations géométriques du modèle.

On choisit la forme à laquelle une transformation sera appliquée, on ouvre la boîte de dialogue de transformation en choisissant la commande <<transform>> dans la barre d'outils, une boîte de dialogue apparaît nous demandant de sélectionner l'une des transformations suivantes

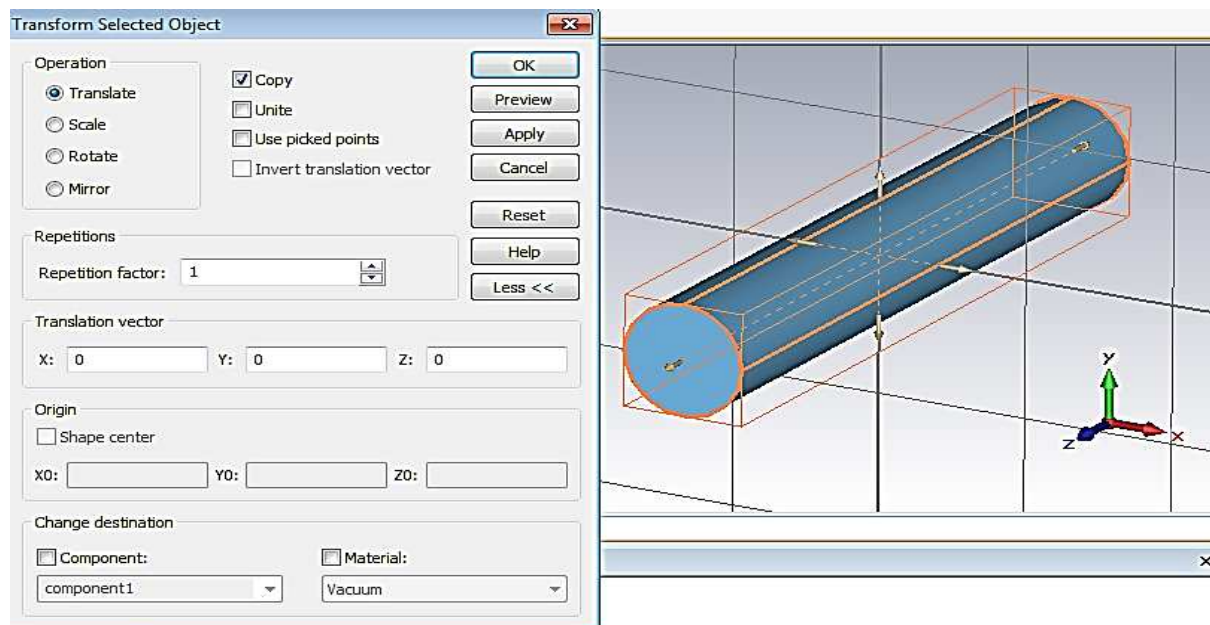
Translate : cette transformation applique une translation de vecteur à la forme sélectionnée.

Scale : pour spécifier différents facteurs d'échelle pour chaque coordonnée.

Rotate : cette transformation applique une rotation de la forme autour d'un axe d'un angle fixe. On spécifie l'angle de rotation et les paramètres de l'axe en entrant l'angle correspondant dans le champ de saisie pour l'axe correspondant (par exemple, 45 degrés) dans le champ de y, tout en laissant les autres champs mis à zéro pour effectuer une rotation autour de l'axe y de 45 degrés.

Mirror : cette transformation permet de fixer l'image d'un objet autour d'un plan spécifié et crée son double.

Pour toutes les transformations ci-dessus on peut spécifier si la forme originale doit être maintenue (option copier ou supprimer). On peut spécifier le nombre de fois la transformation sera appliquée a la forme (facteur de réception).



On peut même appliquer une translation à la forme en mettant un vecteur de translation, et à produire plusieurs copies.

De nombreuses étapes de construction exigent la sélection de points, d'arêtes ou de faces du modèle et pour cela on utilise l'outil de sélection **picken** appuyant sur **modeling** dans la barre de menu



Après avoir activé un outil de sélection, on double clique sur l'élément qu'on veut sélectionner et pour annuler le mode de sélection on appuie sur le bouton **ESC** du clavier

On a plusieurs modes de sélection :

Pick point, edge, or face : on double clique sur le modèle et l'élément correspondant sera sélectionné : un bord, un point d'une extrémité d'un bord, ou une face

Pickedge center : on double clique sur un bord, le point milieu de ce bord sera sélectionné

Pickn point : on clique sur un bord et les deux points d'extrémité seront sélectionnés

Pick face center : on double clique sur une face plane du modèle, le point central de cette face sera sélectionné

Pickn point on circle : on double clique sur un bord circulaire, un point sur le cercle sera sélectionné

Pickcircle center : on double clique sur un bord circulaire, le point central sera sélectionné

Pick point on face : on double clique sur le modèle, et un point sera sélectionné

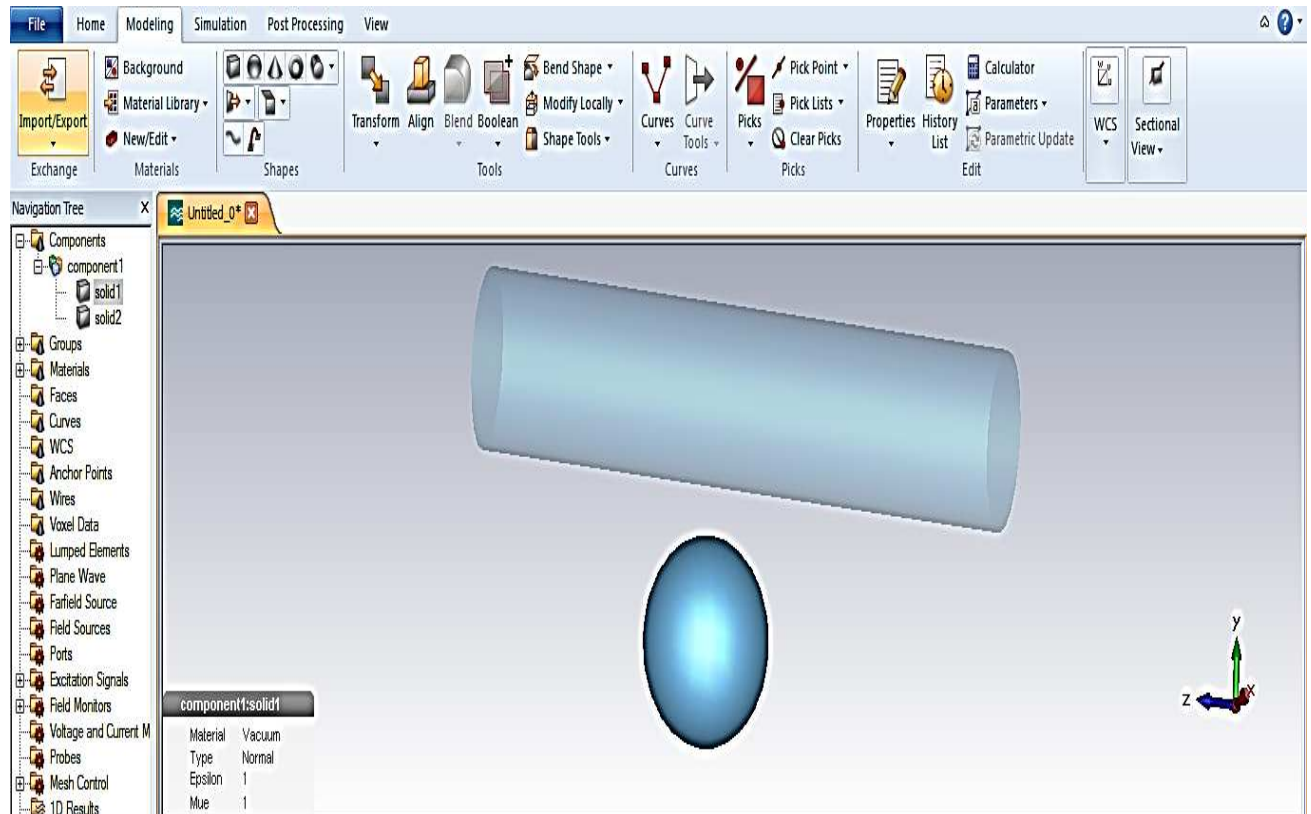
Picklists : cette opération nous donne la liste de tous les éléments sélectionnés

Clearpicks : permet de supprimer les sélections

II-6 Combiner des formes en utilisant des opérations booléennes :


Cette opération consiste à créer des formes et les combiner à l'aide des opérations booléennes. ces opérations nous permettent d'ajouter des formes, de soustraire une ou plusieurs formes d'une autre, de l'intersection de deux ou plusieurs formes.

Les opérations sont accessibles que si une forme est sélectionnée, après que l'opération **booléenne** a été activée, on doit sélectionner la deuxième forme puis on appuie sur la touche **entrer** du clavier et la combinaison sera effectuée.

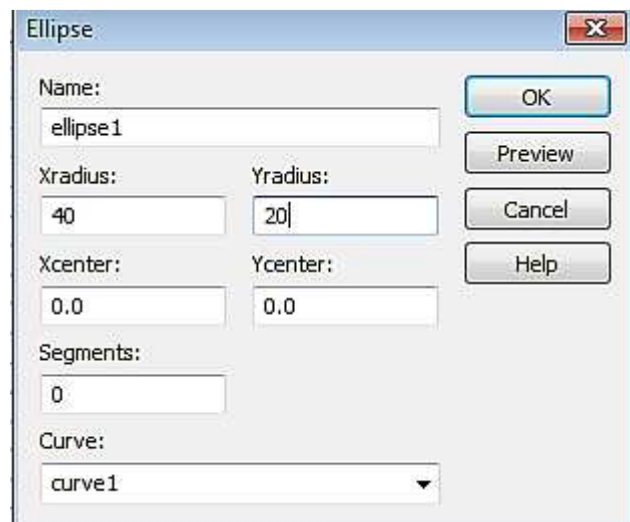


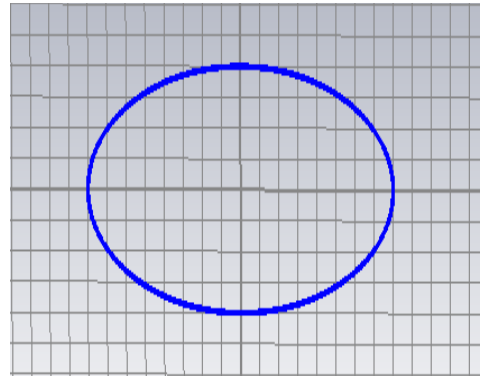
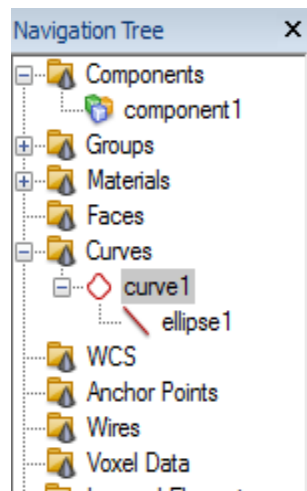
II-7 Création de courbes :

Une autre option pour la généralisation des formes est basé sur les courbes .Pour créer un


élément de la courbe on clique sur  dans la barre d’outils après avoir appuyer sur **modeling** dans la barre de menu plusieurs formes sont disponibles en 2D ou on 3D : ligne, sinusoïde, arc ellipse, cercle....

On prend l’exemple d’une ellipse on choisit Ellipse, on introduit les paramètres sur la fenêtre qui apparait puis on clique sur **OK**




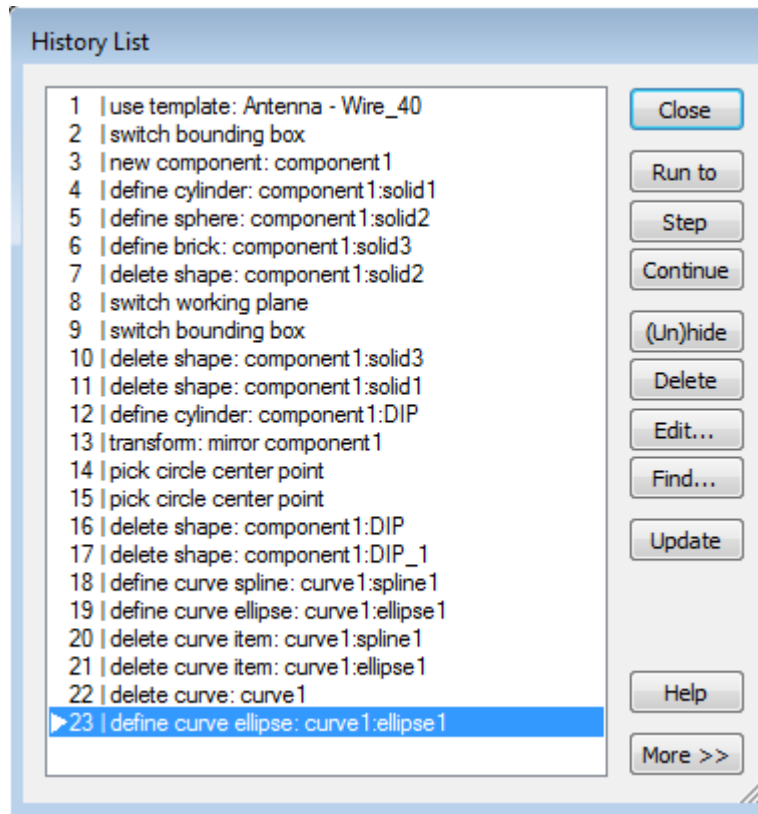


On remarque que la courbe est automatiquement cataloguée dans le dossier **curves** dans l'arbre de navigation.

On peut modifier cette courbe en utilisant l'option  dans la barre d'outils

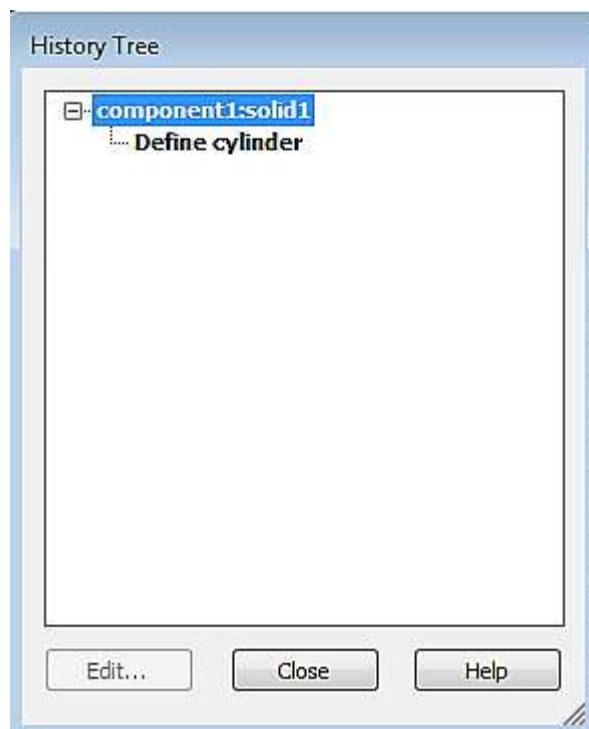
II-8 Liste historique

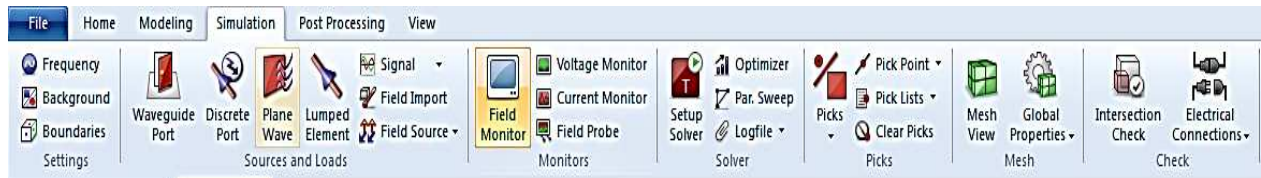
On peut toujours corriger les erreurs faites lors de la génération de la structure, revenir à l'étape précédente modifier ou insérer d'autres opérations et cela en cliquant sur 



II-9 L'arbre historique

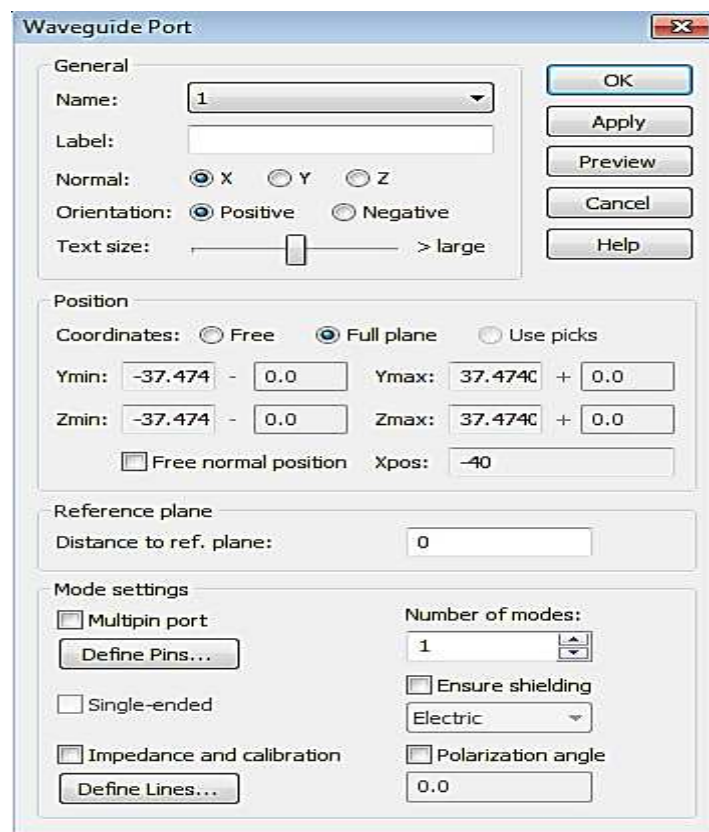
L'arbre historique est un autre outil utilisé pour éditer un objet déjà existant ,pour cela on double clique sur l'objet dans le dossier **COMPONENTS** dans l'arbre de navigation ,une boite de dialogue apparait nous donnant l'historique






Le calcul des paramètres S nécessite la définition des ports par lesquels l'énergie entre et sort de la structure

Pour définir un port on clique sur **simulation** puis sur **waveguide port**



II-10 La maille

La génération du maillage de la structure est réalisée automatiquement, mais pour changer les paramètres de la maille en clique sur le bouton  dans la barre d'outils.

II-11 La simulation

CST MICROWAVE STUDIO nous offre le choix de plusieurs modules du solveur puissants : transientsolver, eigenmodsolver, integralequationsolver, asymptoticsolver, TLM solver

Dans nos simulations on s'intéresse au **transientsolver**

Transientsolver

C'est un module de simulation très flexible qui est capable de résoudre n'importe quel genre de paramètre S ou de problème d'antenne. Il simule la structure à un port précédemment défini en utilisant un signal à large bande. La simulation à large bande nous permet de recevoir les paramètres S pour une gamme de fréquence désirée, les modèles de champ électromagnétique à de diverses fréquences désirées.

II-12 Conclusion

Nous avons fait une description générale du logiciel CST Microwave Studio, ainsi que les différentes étapes de simulation.

Le logiciel CST présente une interface très évoluée et puissante. Nous sommes maintenant prêts pour entamer la conception de n'importe quelle antenne

CHAPITRE III

Etude paramétrique de
l'antenne Yagi-Uda sous CST
Studio

III-1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristiques de chaque élément constituant l'antenne Yagi en fonction de la longueur, du gap et du rayon.

III-2 Simulation d'une antenne dipôle (demi-onde) sous CST

La plus connue des antennes filaires, historiquement très ancienne mais toujours très utilisée est l'antenne dipôle. Cette antenne est composée de deux brins métalliques alignés selon un même axe, alimentés au centre. Le mode fondamental de l'antenne dipôle est donc le mode demi-onde.

Le dipôle demi-onde, appelé "doublet", est un doublet de Hertz dont la longueur est théoriquement égale à la moitié de la longueur d'onde du signal à émettre ou à recevoir. D'un point de vue rayonnement, on trouve deux caractéristiques principales : cette antenne ne rayonne aucun champ suivant son axe et présente un rayonnement à symétrie de révolution autour de son axe. De fait cette antenne est dite omnidirectionnelle, c'est-à-dire qu'elle rayonne un niveau de champ parfaitement équivalent, quelle que soit la direction considérée dans un plan perpendiculaire à son axe.

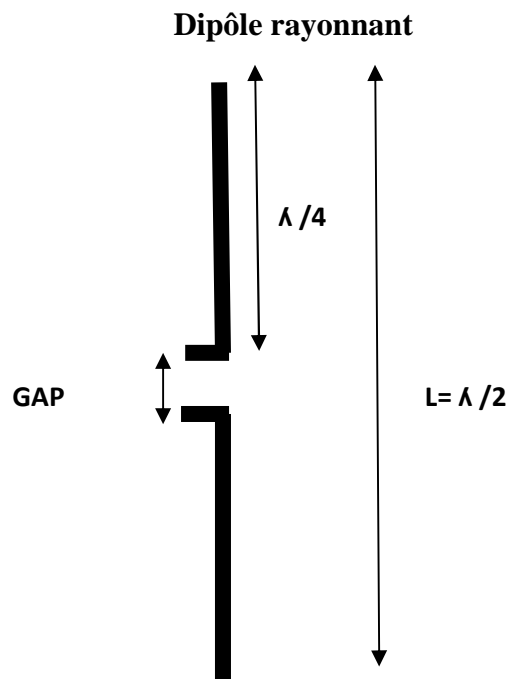


Figure III-1: antenne demi-onde

III-3 Etude paramétrique du dipole demi-onde :

Fréquence =2.5Ghz

$$\lambda = c / f = 300 / f = 300 / 2.5 = 120\text{mm}$$

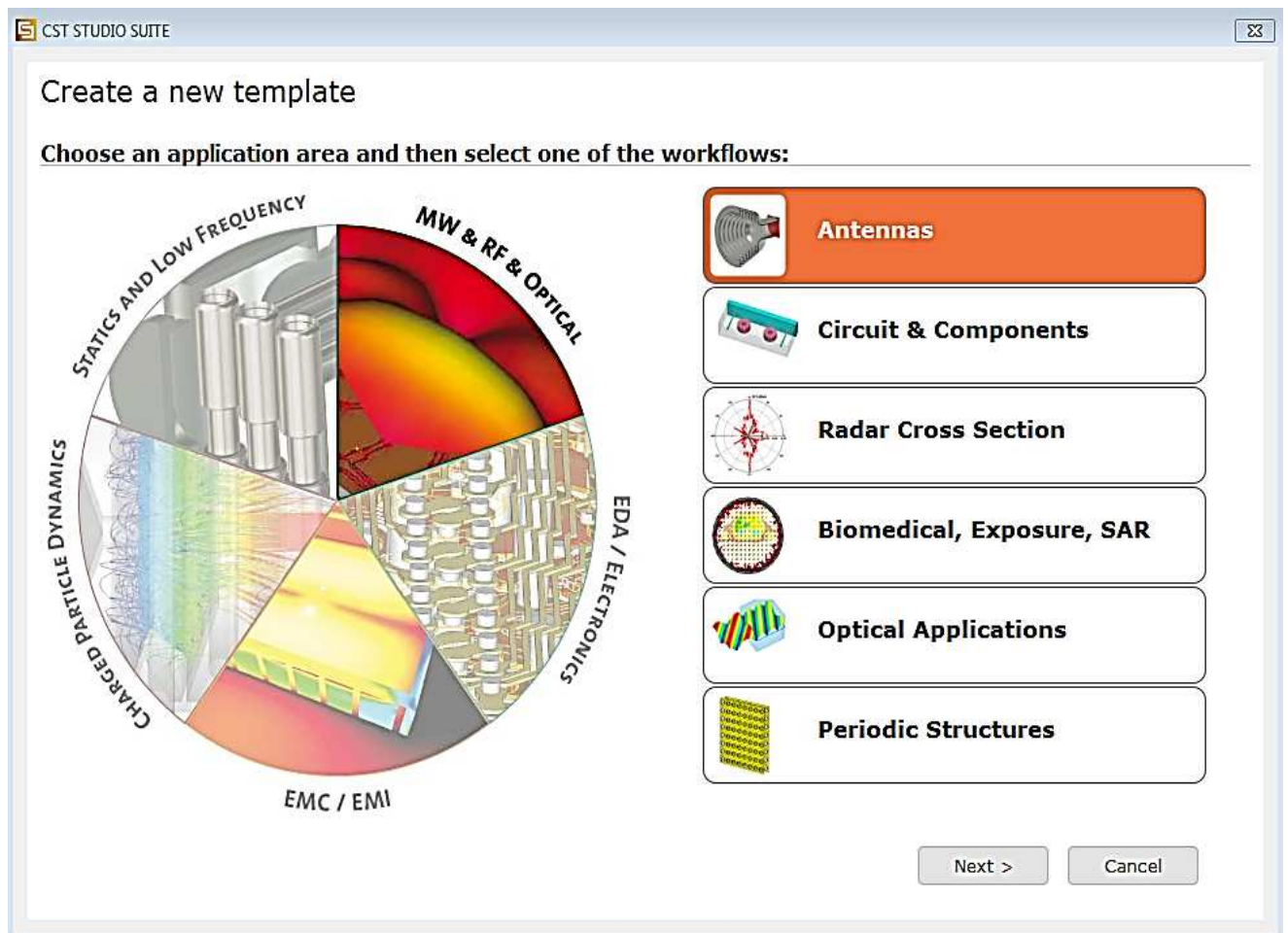
Le gap = 2 ($< \lambda / 10$)

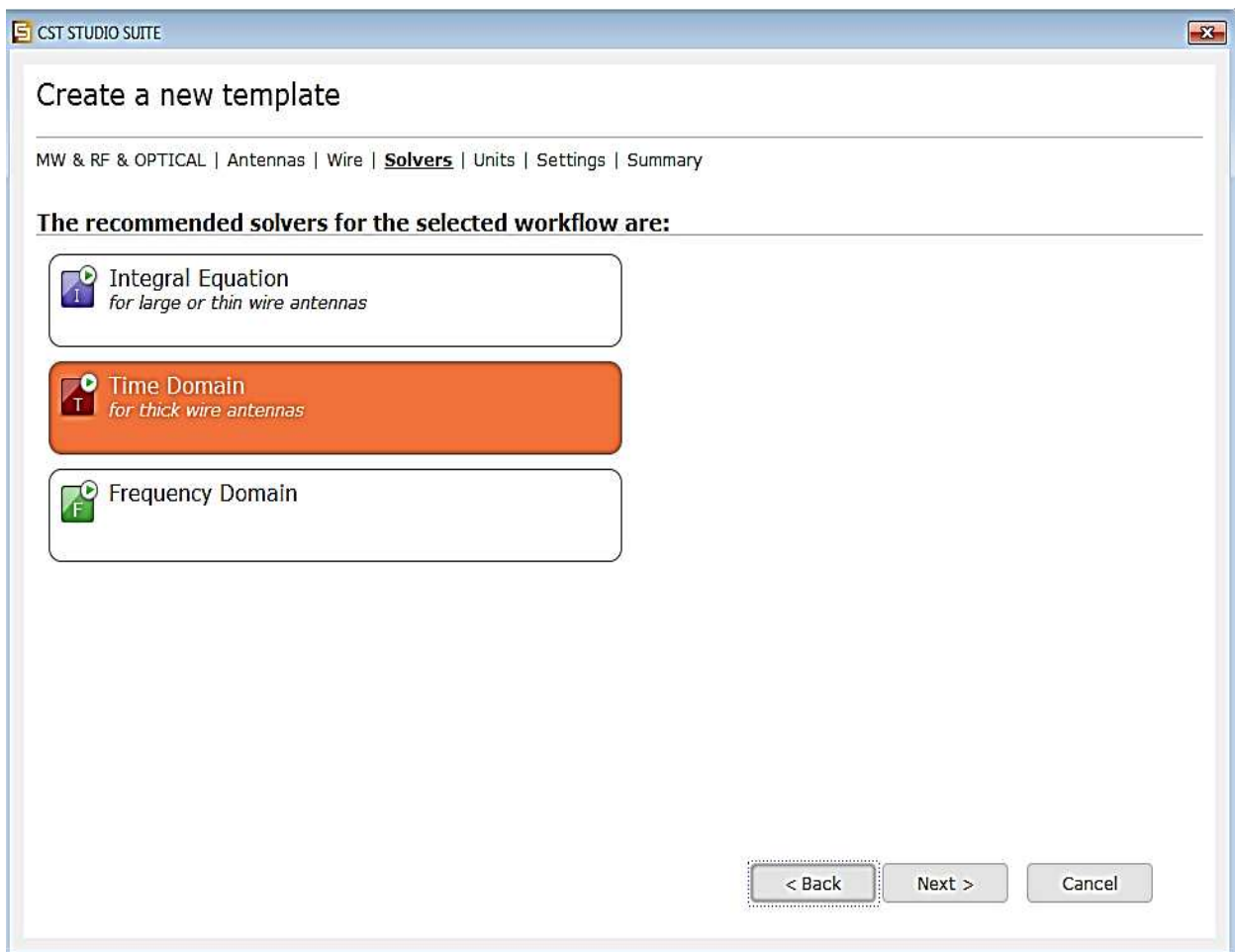
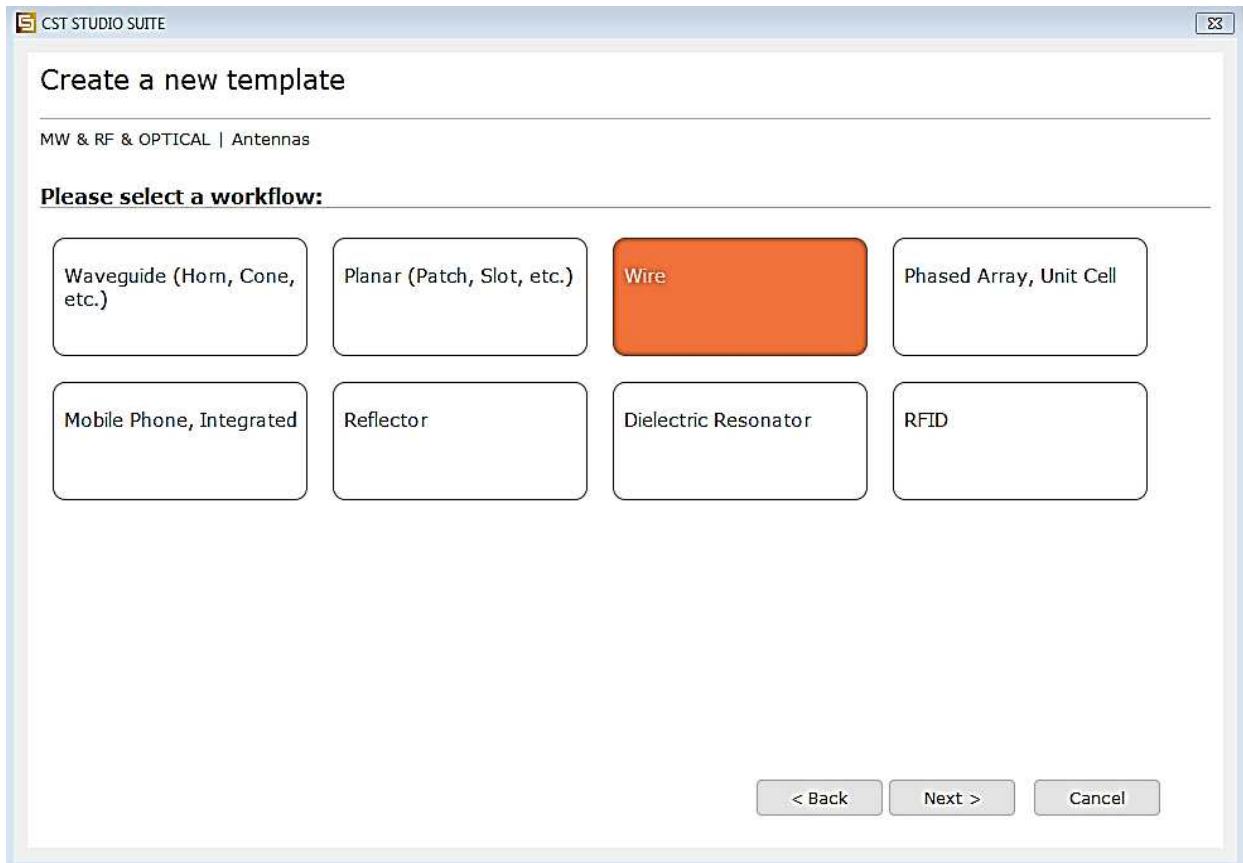
R =0.2mm ($< \lambda / 10$)

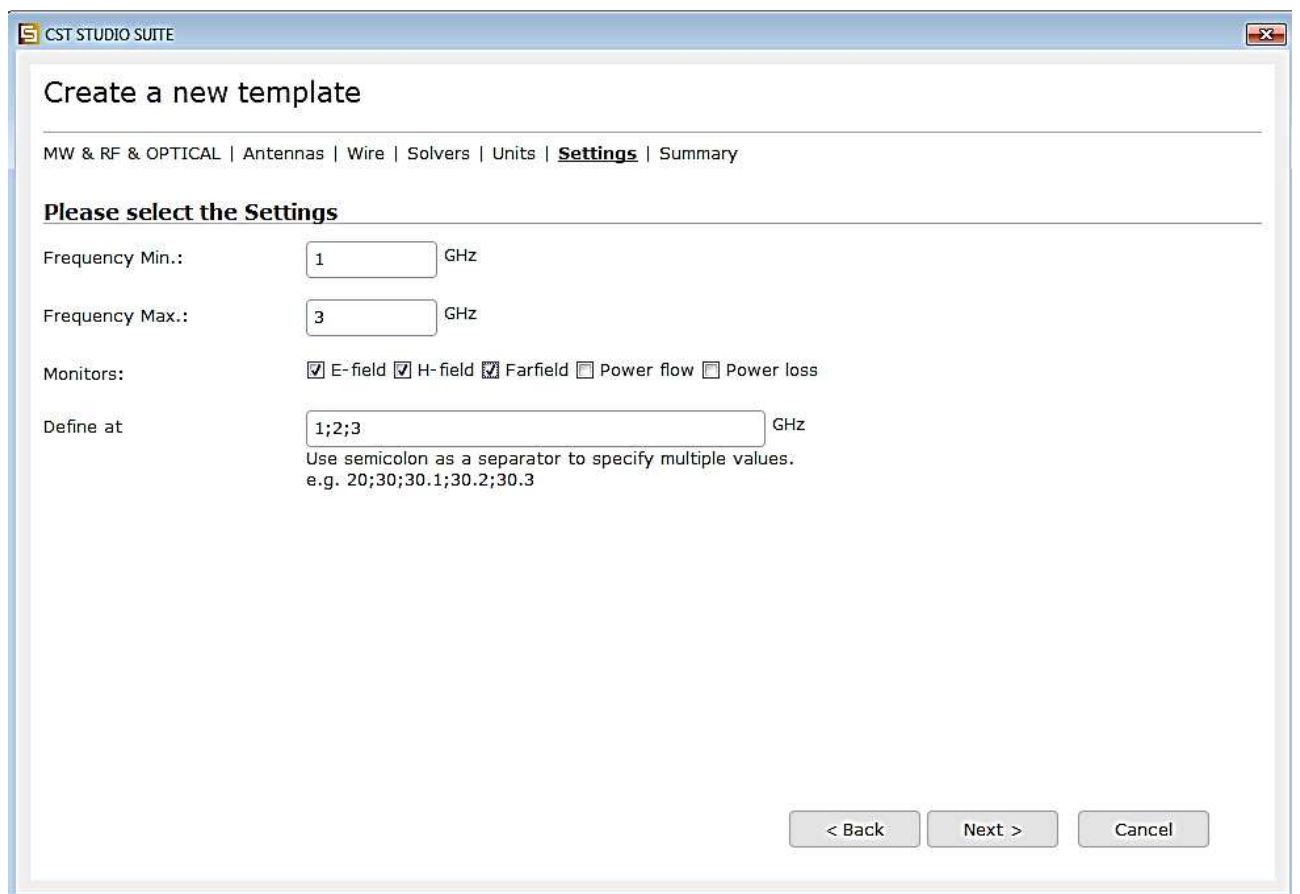
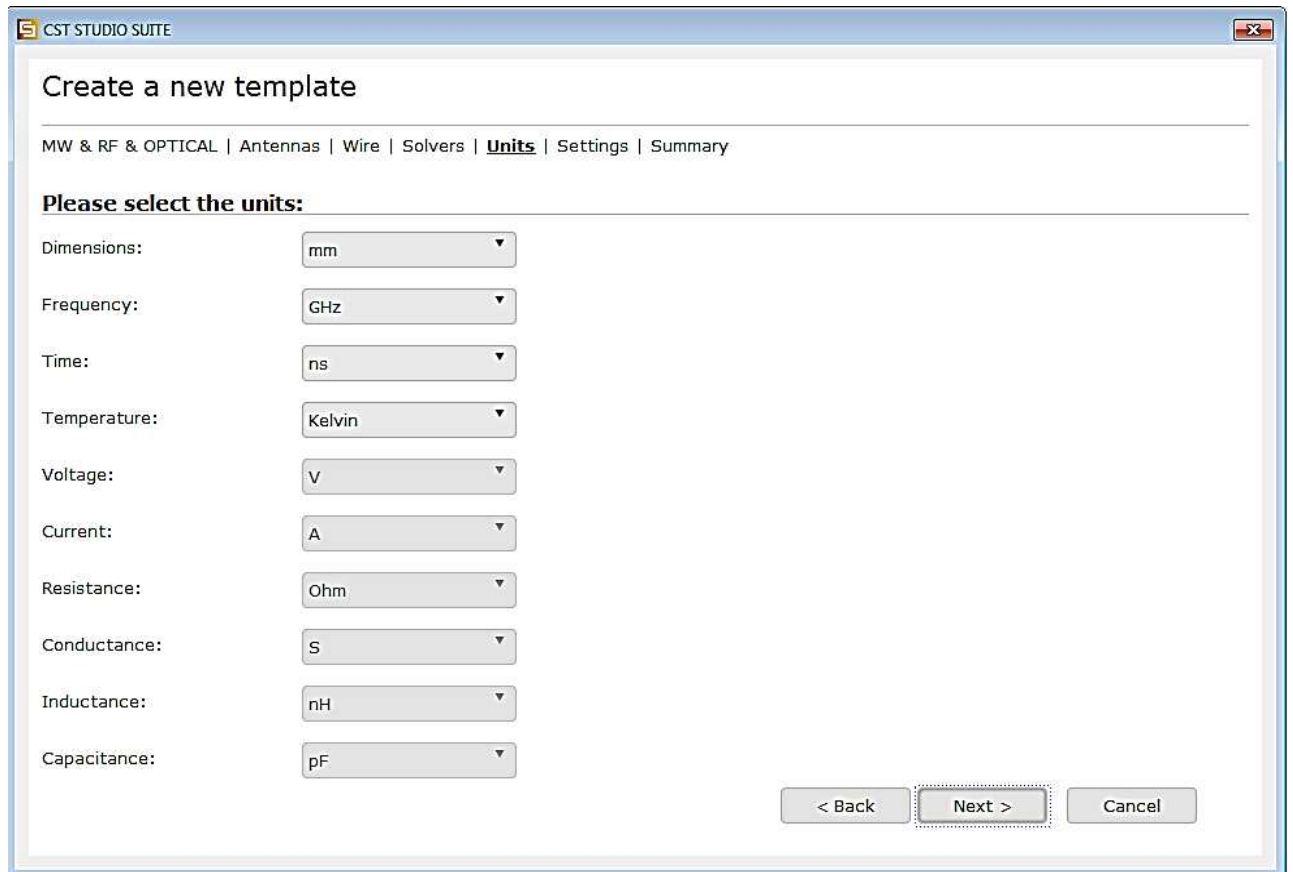
La simulation de cette antenne avec le CST peut être divisée en 3 étapes :

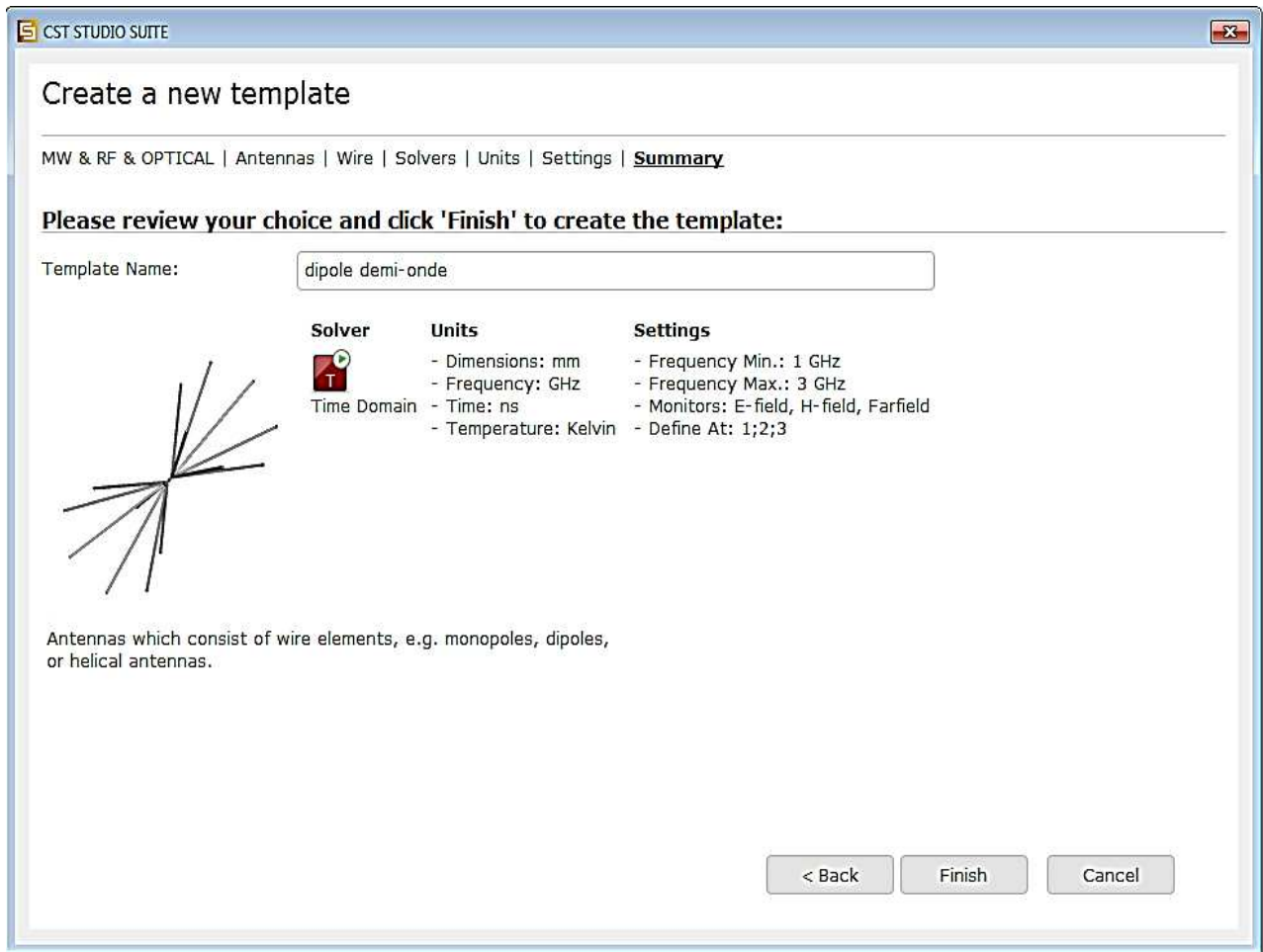
- a. Configuration générale du modèle
- b. Construction du modèle
- c. Simulation du modèle

La première étape à faire est de créer un nouveau projet et configurer le modèle





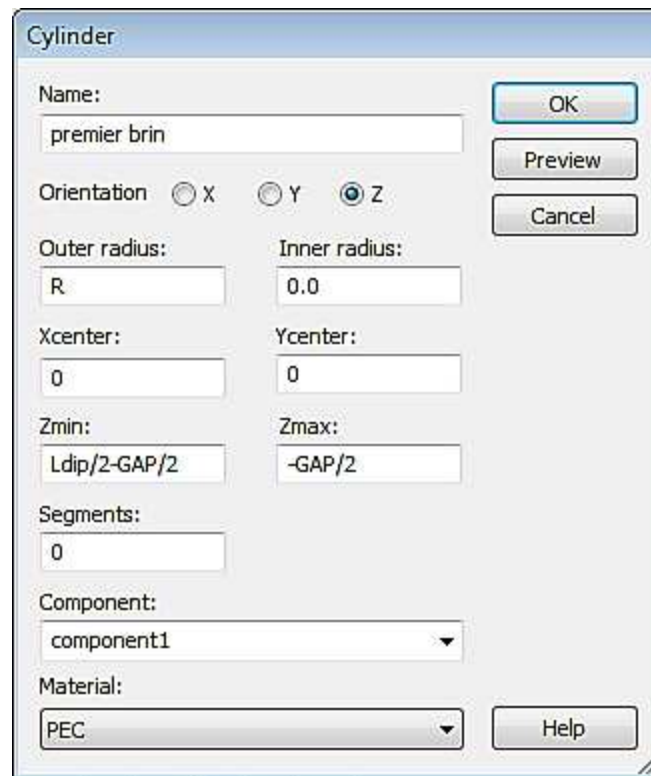




Pour la construction du modèle on fait entrer les variables dans la liste des paramètres

Name	Value	Description	Type
F	2.5	fréquence	Length
GAP	2	gap	Length
lambda	120	longueur d'onde	Length
Ldip	lambda/2	longueur du dipole	Length
R	0.2	rayon	Length

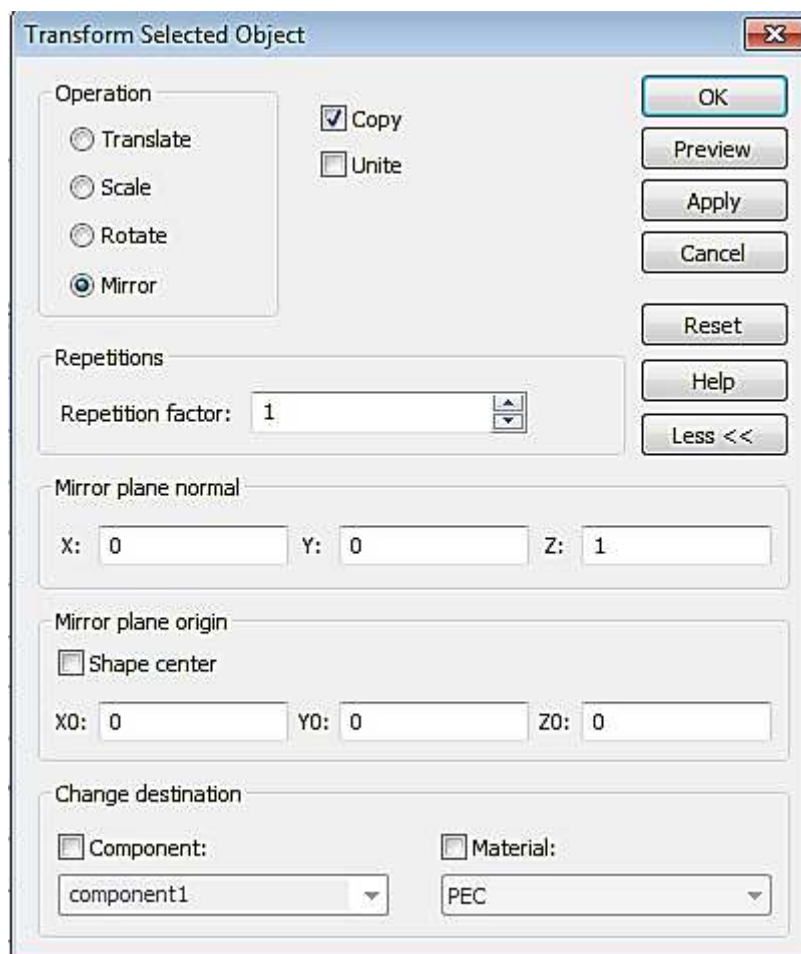
Pour créer notre premier brin, on clique sur **modeling** dans la barre de menu ensuite sur **circular cylinder** puis sur le bouton **ESC**, on obtient la boîte de dialogue suivante, dans laquelle on introduit nos paramètres



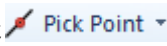
Maintenant que le premier brin est créé, il suffit de le translater tout en gardant le premier brin

On clique sur **premier brin** dans le dossier **components** dans l'arbre de navigation puis sur **transform**

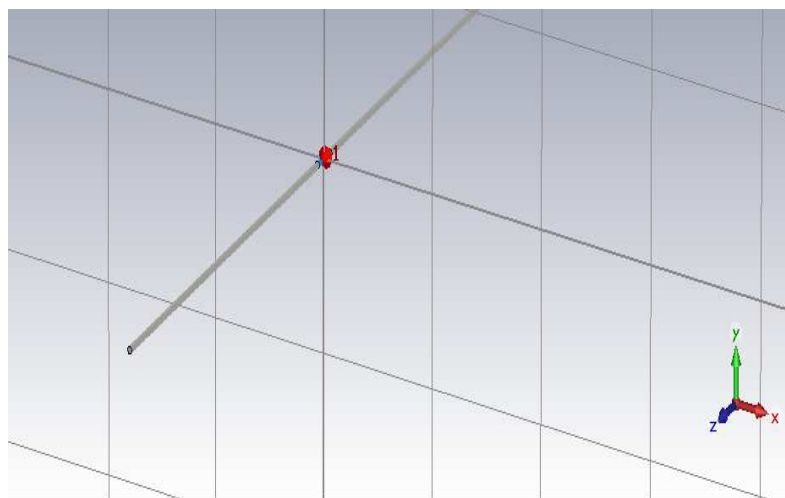
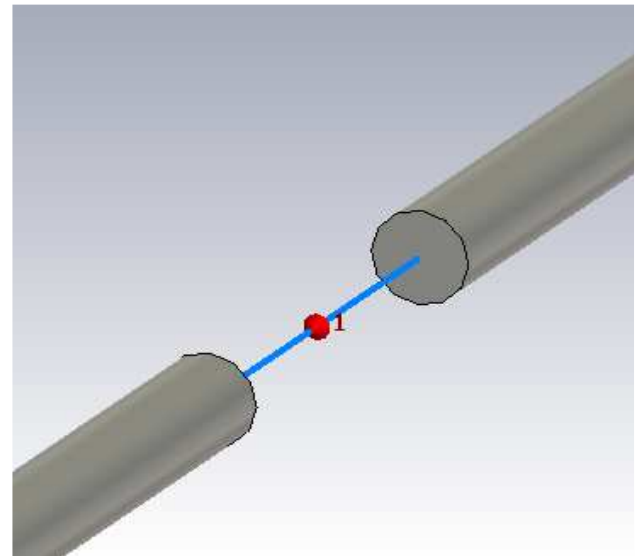
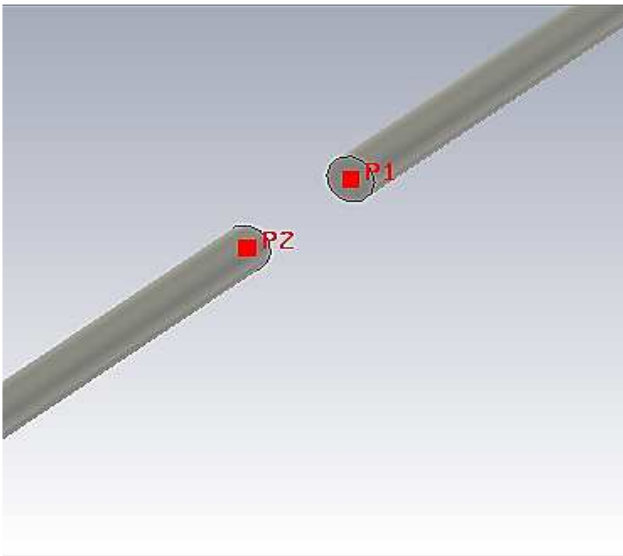
On choisit **mirror** on clique sur **ok**



Excitation du modèle

On va vers **simulation** dans la barre de menu on choisit **pick point**  puis **pick circle center**.

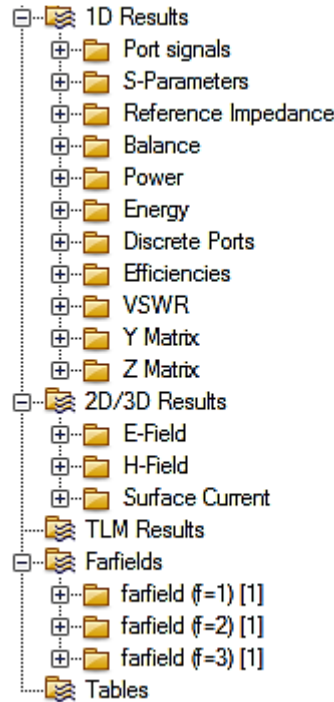
Ensuite discrete port  puis **OK**



b.Simulation du modèle

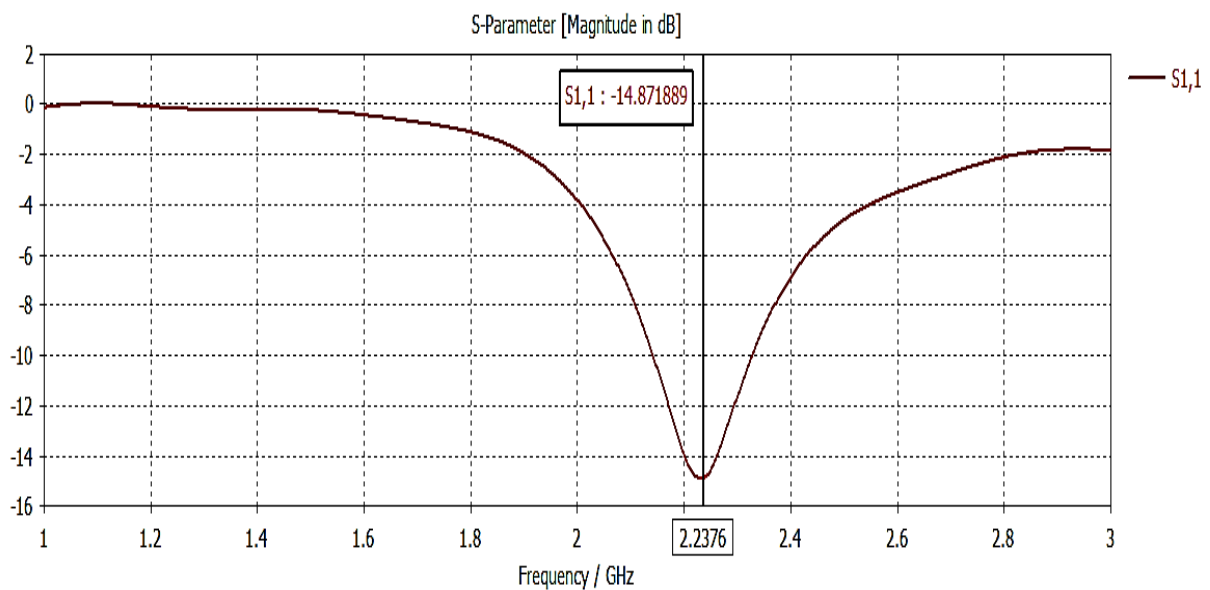
On lance la simulation en appuyant sur **setup solver**  dans la barre d'outils.

Après avoir effectué notre simulation, on peut observer les résultats à partir du répertoire de projet. on peut aussi obtenir de nouvelles courbes à partir du menu **Results**.

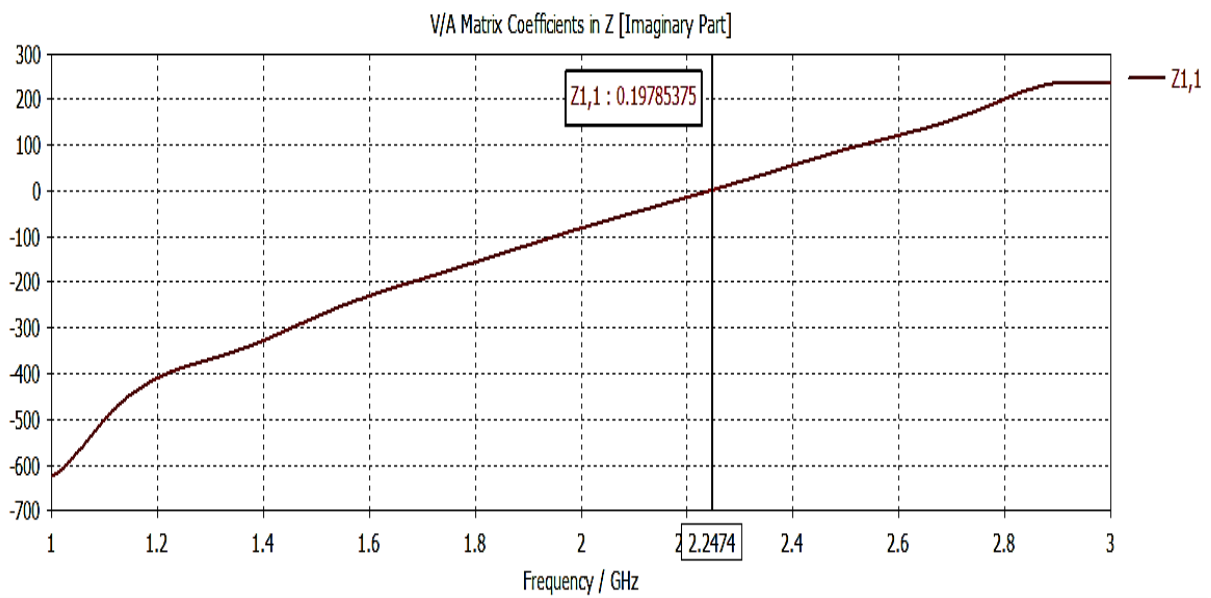
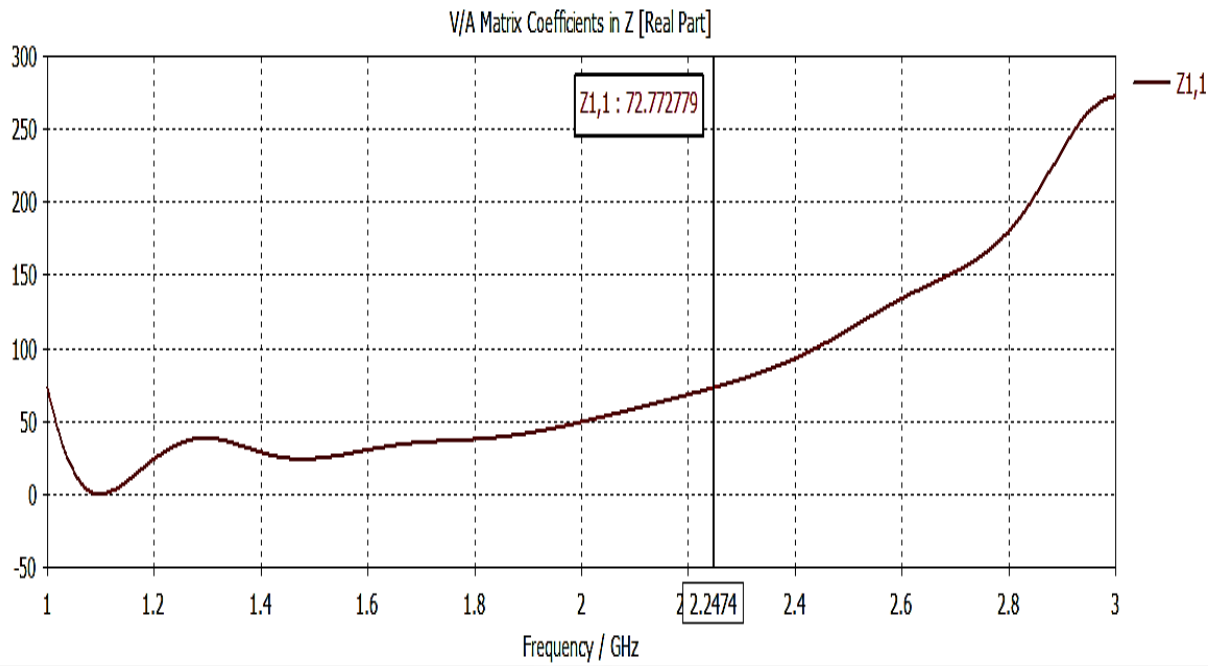


III-3.1 Effet de la longueur du dipole

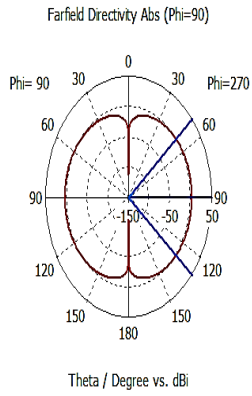
Résultats de la simulation :



Coefficient de reflexion S11

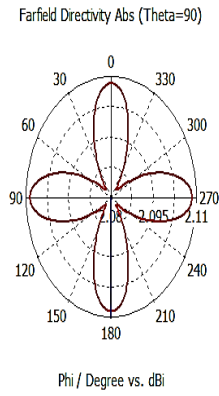


Impédance d'entrée Z_{11}



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.11 dB
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 80.5 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.11 dB
 Main lobe direction = 180.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

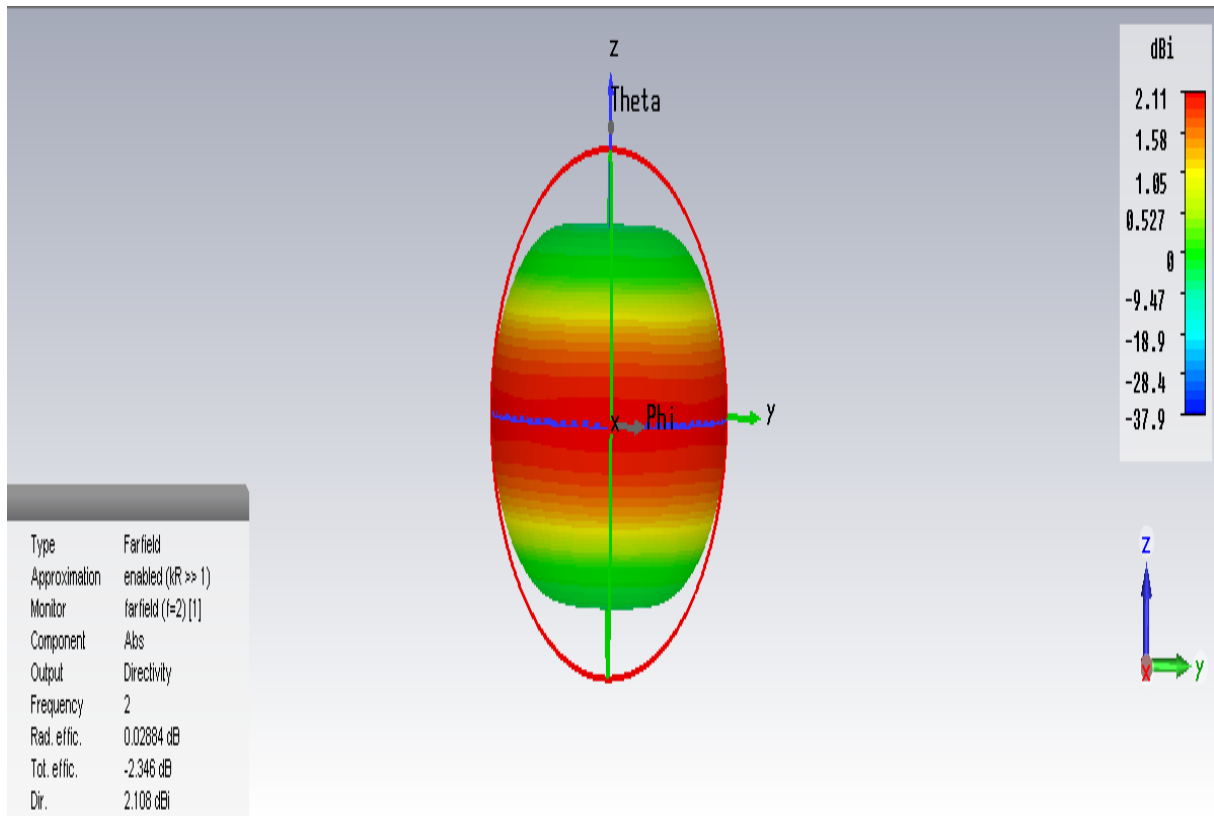


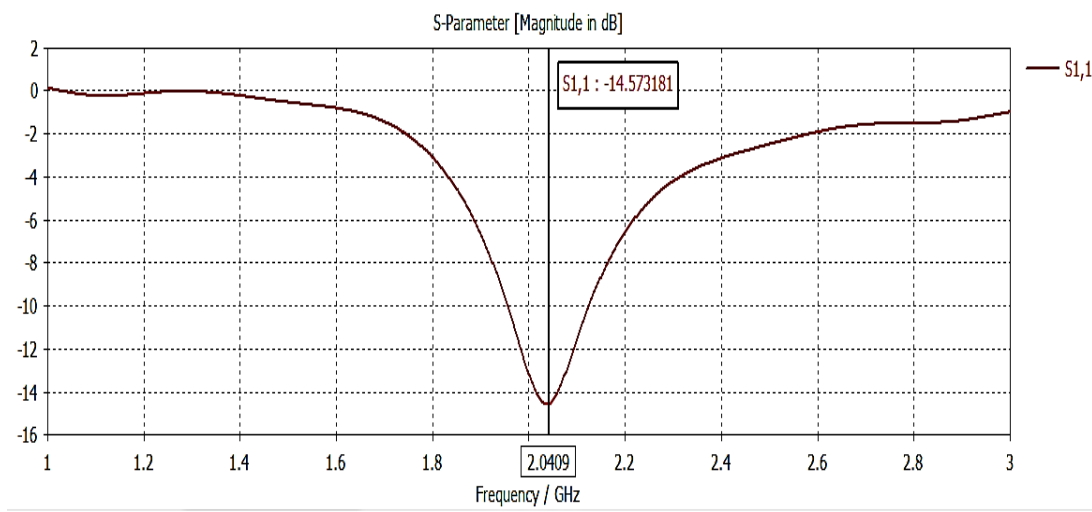
Diagramme de rayonnement 3D

Résultat 01 :

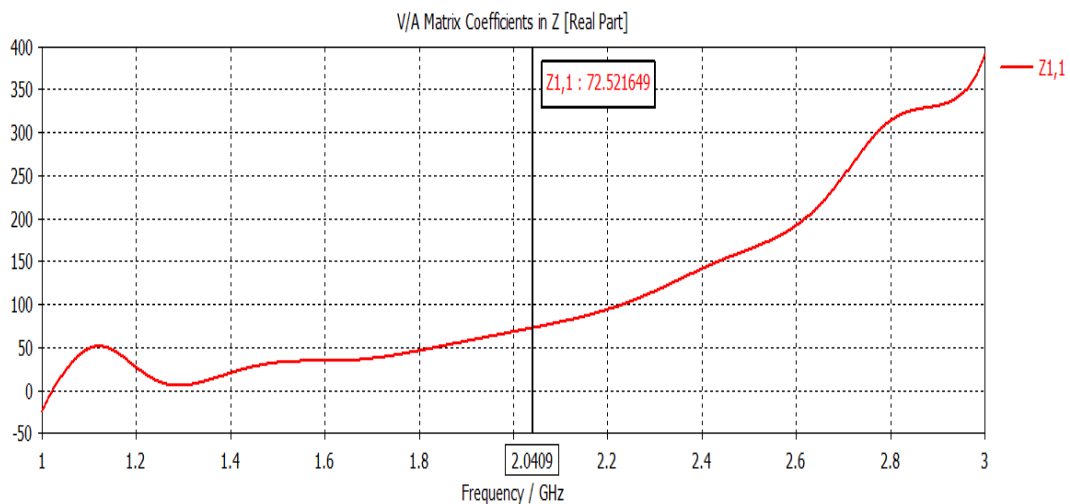
- La courbe du S11 montre que le dipôle résonne à la fréquence $f=2.24\text{GHz}$, avec un coefficient de réflexion $S_{11} = -14.87$.
- La partie réelle de l'impédance d'entrée Z_{11} égale à 50Ω à la fréquence $f=2.25\text{GHz}$.
- la partie imaginaire de l'impédance d'entrée Z_{11} s'annule à la fréquence $f=2.25\text{GHz}$.
- Du diagramme de rayonnement on déduit que celui-ci est nul à $\Theta = 0$ et maximal à $\Theta = \pi/2$.

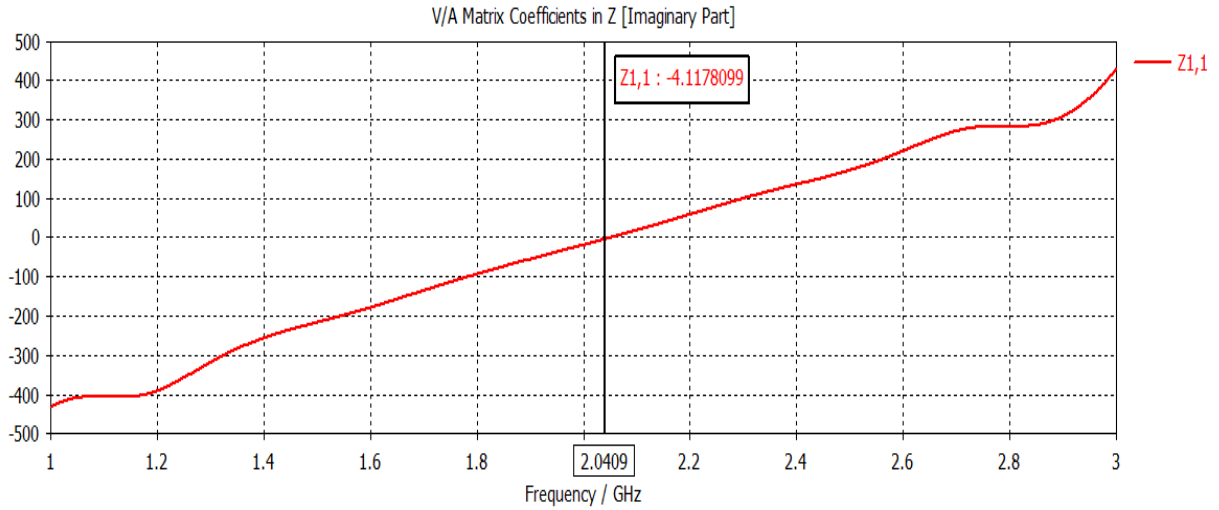
Prenons une longueur L_{dip0} supérieure à L_{dip} :

Soit $L_{dip0} = L_{dip} + \lambda/10$



Coefficient de reflexion S11





Impédance d'entrée Z_{11}

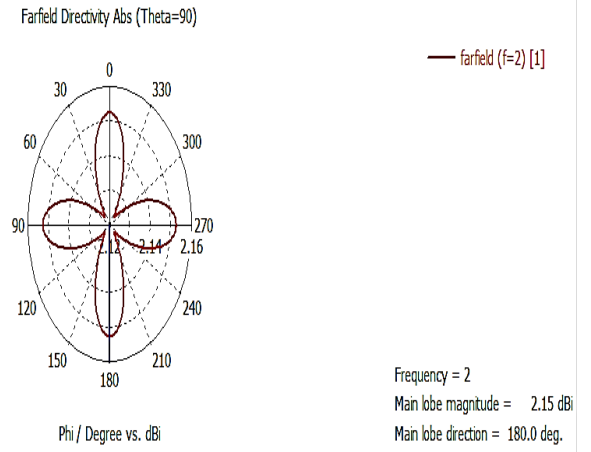
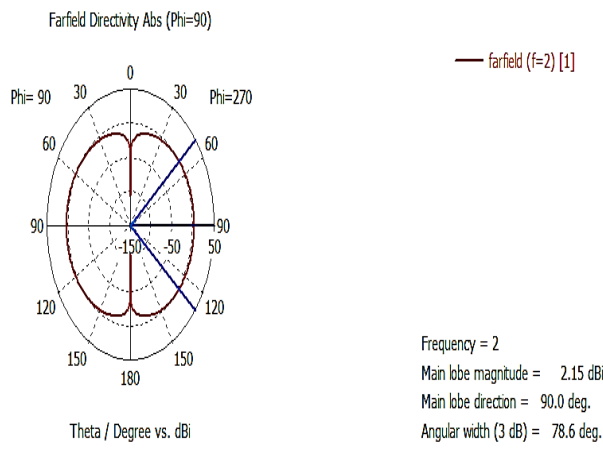


Diagramme de rayonnement 2D

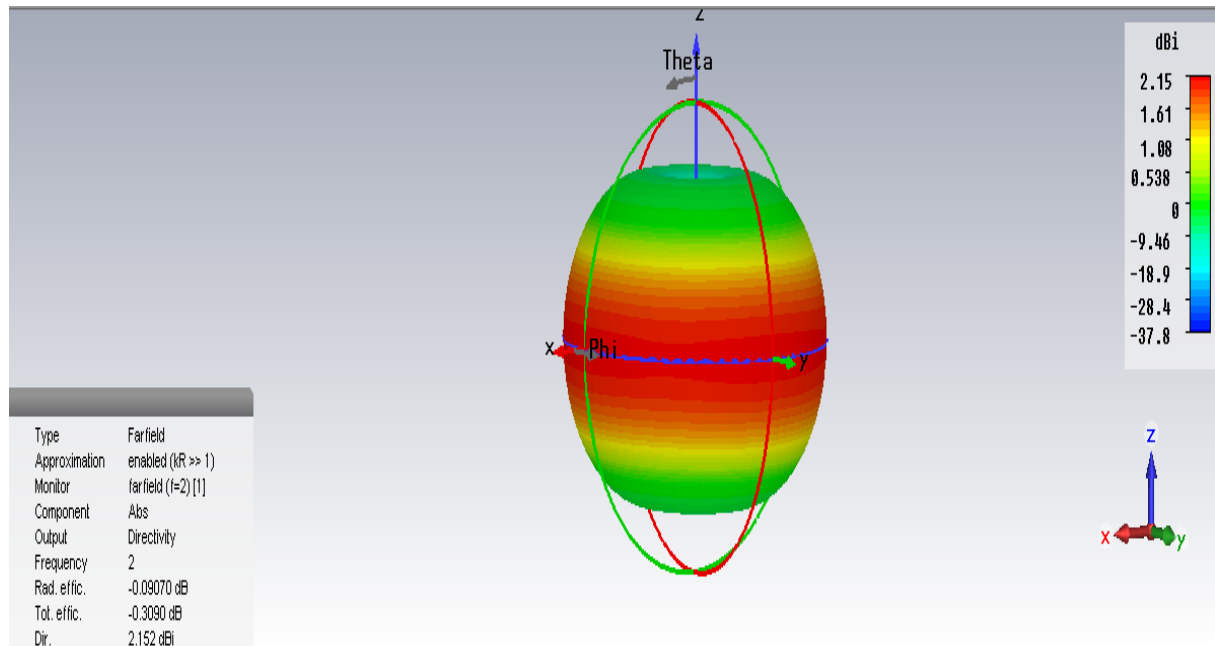


Diagramme de rayonnement 3D

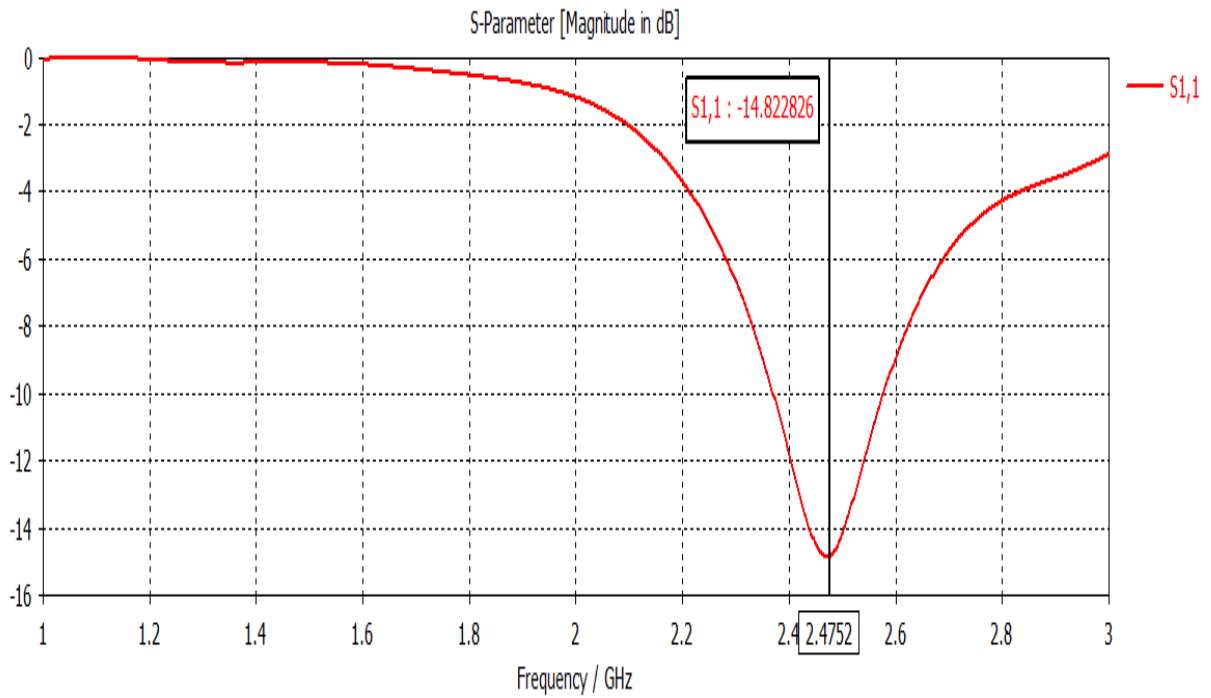
Résultat 02 :

- La courbe du S11 montre que le dipôle résonne à la fréquence $f=2.05\text{Ghz}$, avec un coefficient de réflexion $S11=-14.41$.
- La partie réelle de l'impédance d'entrée $Z11$ égale à 50Ω à la fréquence $f=1.85\text{Ghz}$.
- la partie imaginaire de l'impédance d'entrée $Z11$ s'annule à la fréquence $f=2.25\text{Ghz}$.
- Du diagramme de rayonnement on déduit que celui-ci est nul à $\Theta=0$ et maximal à $\Theta=\pi/2$.

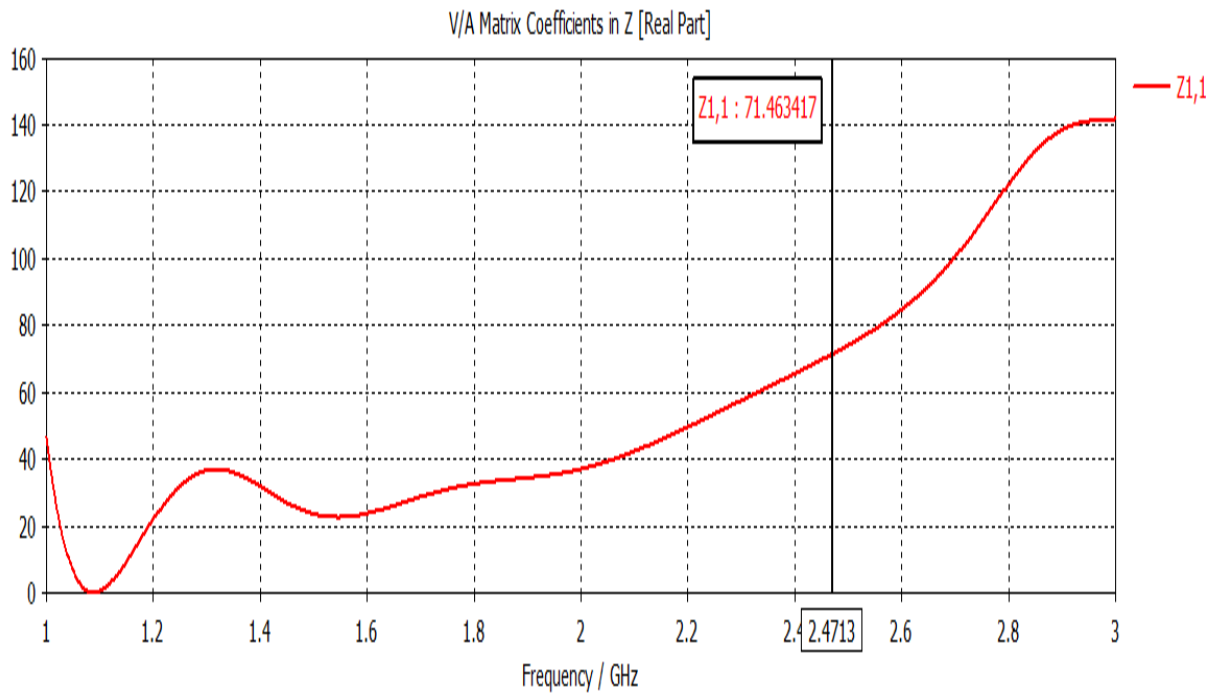
Remarque : lorsque la longueur du dipôle augmente, la fréquence de résonance de celui-ci diminue

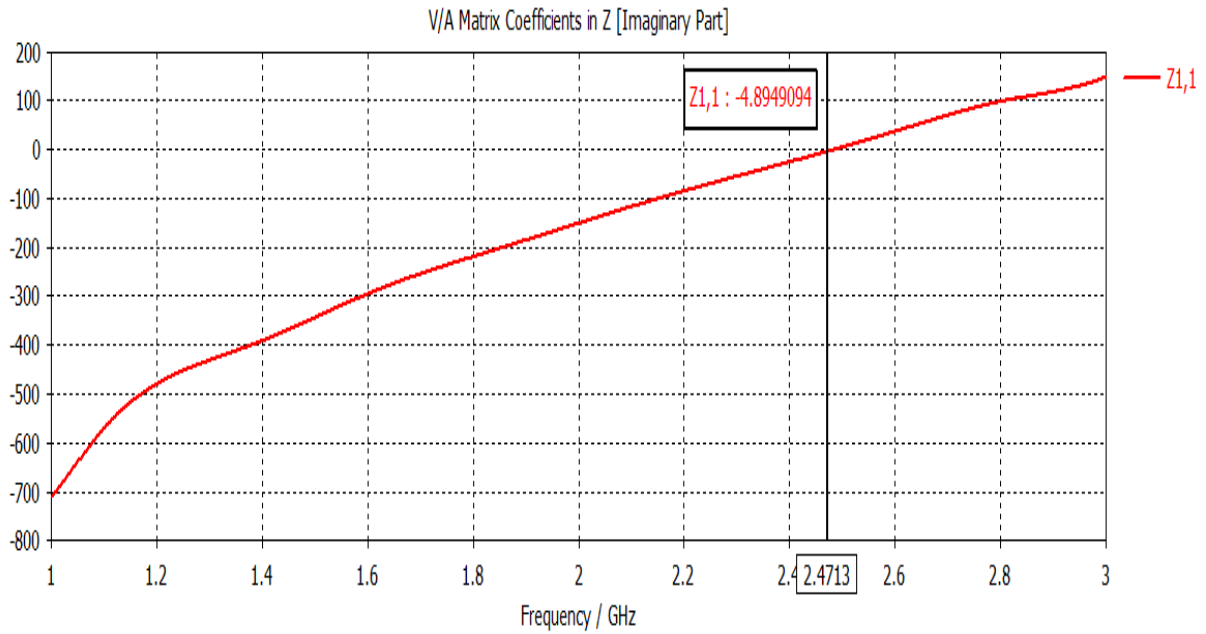
Prenons cette fois une longueur L_{dip1} inférieure à L_{dip0} :

Soit $L_{dip1} = L_{dip0} - \lambda / 10$:

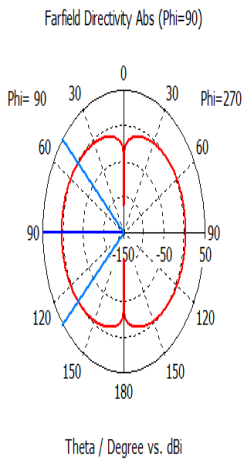


Coefficient de reflexion S11





Impédance d'entrée Z_{11}



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.04 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.1 deg.

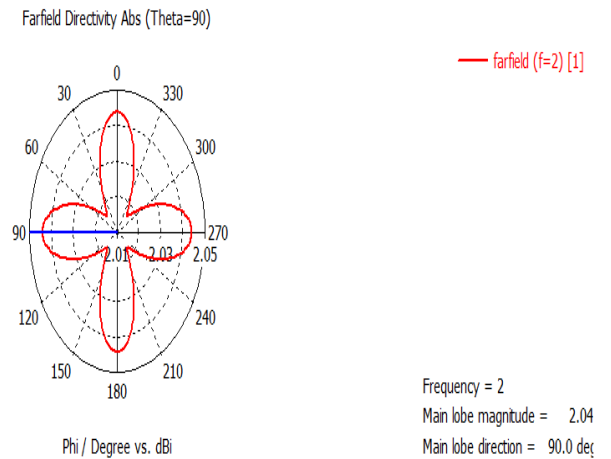


Diagramme de rayonnement 2D

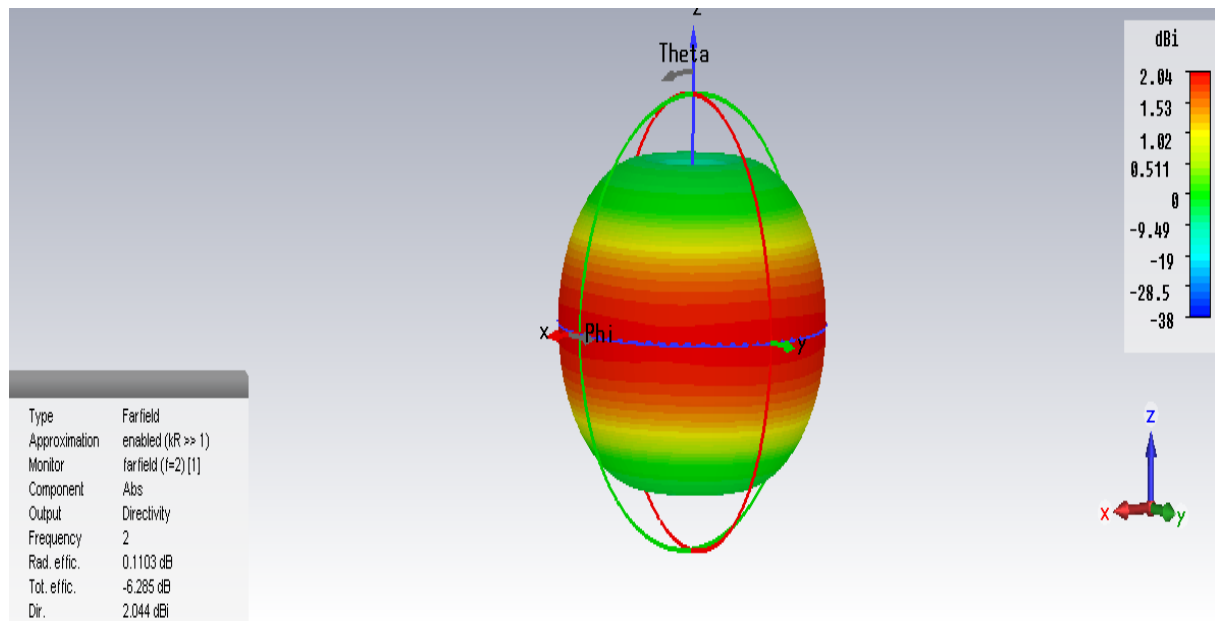


Diagramme de rayonnement 3D

Résultat 03 :

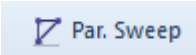
- La courbe du S11 montre que le dipôle résonne à la fréquence $f=2.48\text{Ghz}$, avec un coefficient de réflexion $S_{11}=-14.51$.
- La partie réelle de l'impédance d'entrée Z_{11} égale à 71.48Ω à la fréquence $f=2.24\text{Ghz}$.
- la partie imaginaire de l'impédance d'entrée Z_{11} s'annule à la fréquence $f=2.5\text{Ghz}$.
- Du diagramme de rayonnement on déduit que celui-ci est nul à $\Theta=0$ et maximal à $\Theta=\pi/2$.

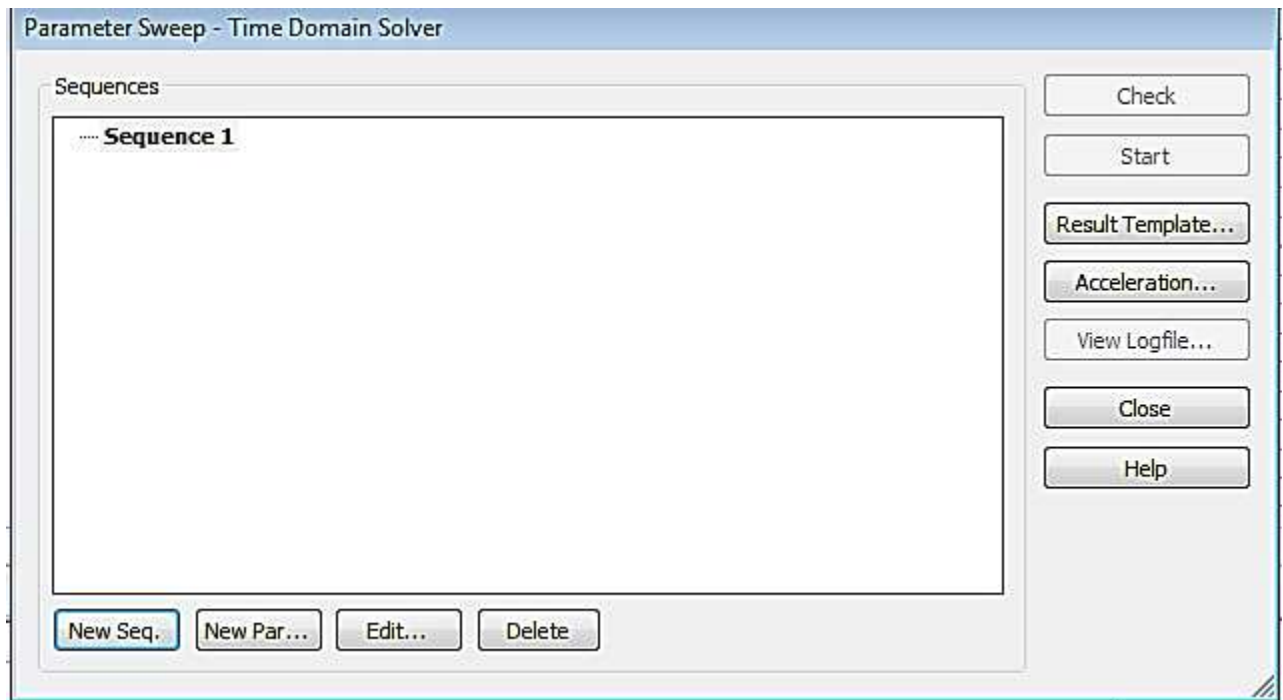
Remarque 2 :

On faisant diminuer la longueur du dipôle la fréquence a augmenté.

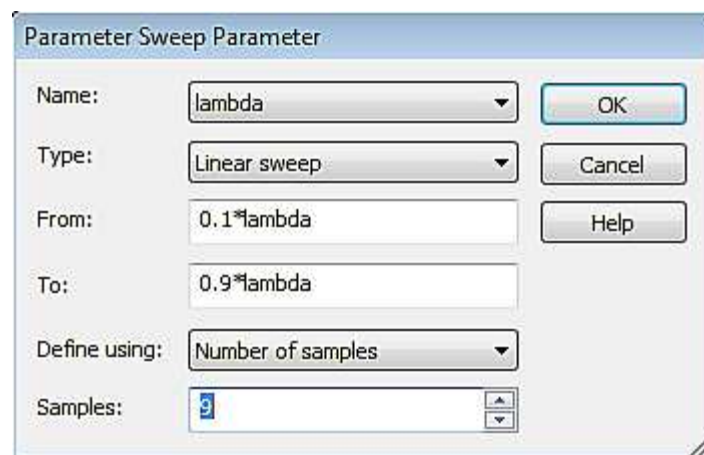
III-3.2 Optimisation du radiateur

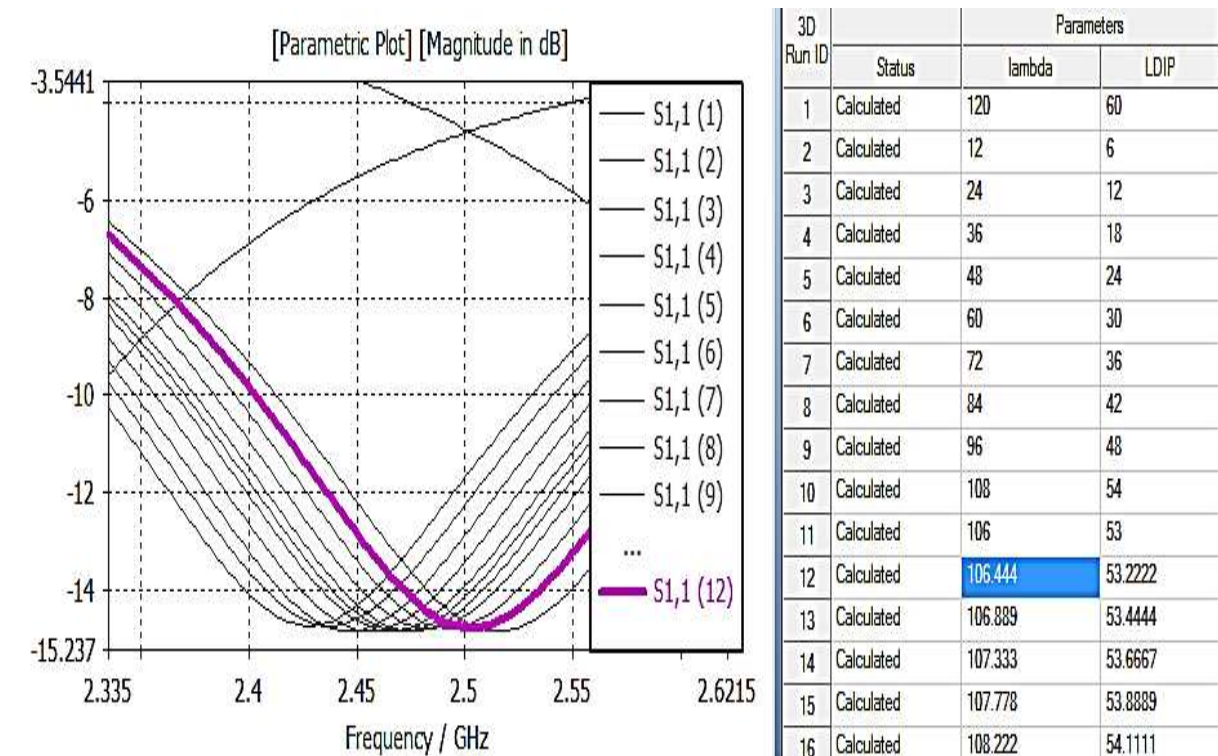
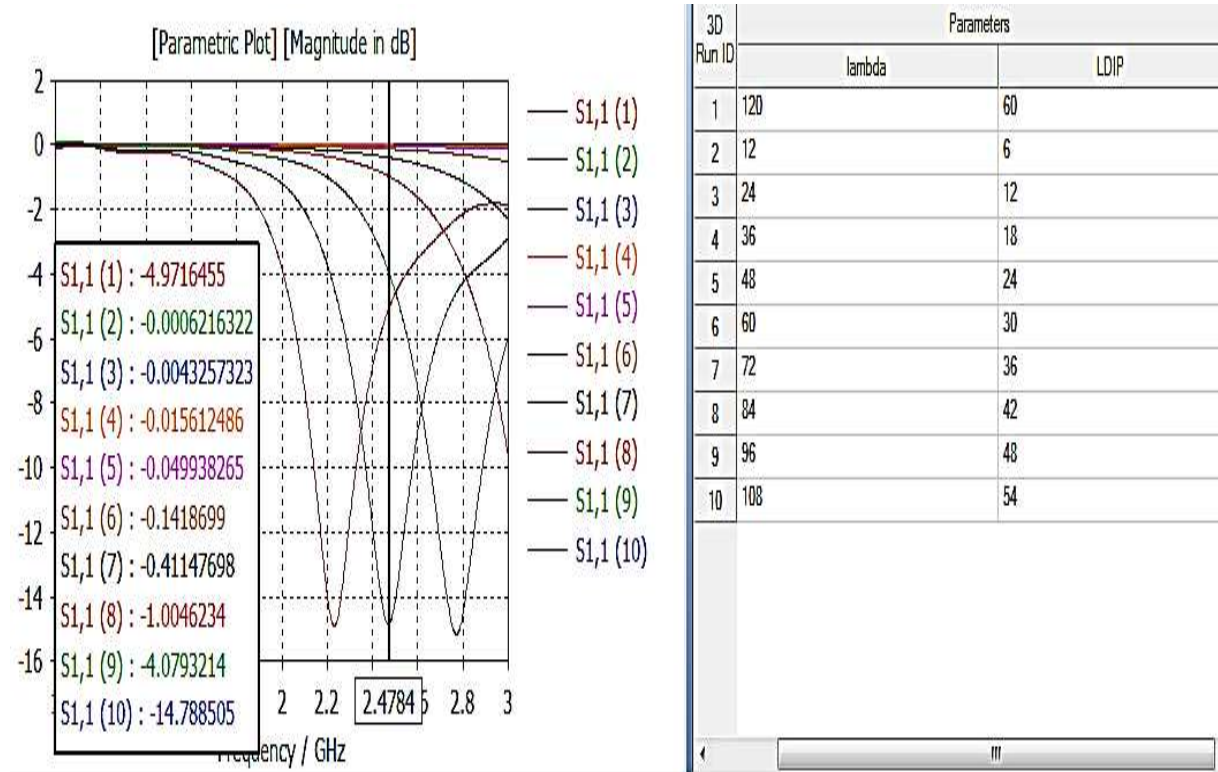
Pour avoir exactement la fréquence de 2.5Ghz on utilise l'option **paramétersweep** qui nous permet d'avoir différents résultats de simulation en fonction de plusieurs valeurs de longueur du dipôle

On clique sur  une fenêtre s'ouvre

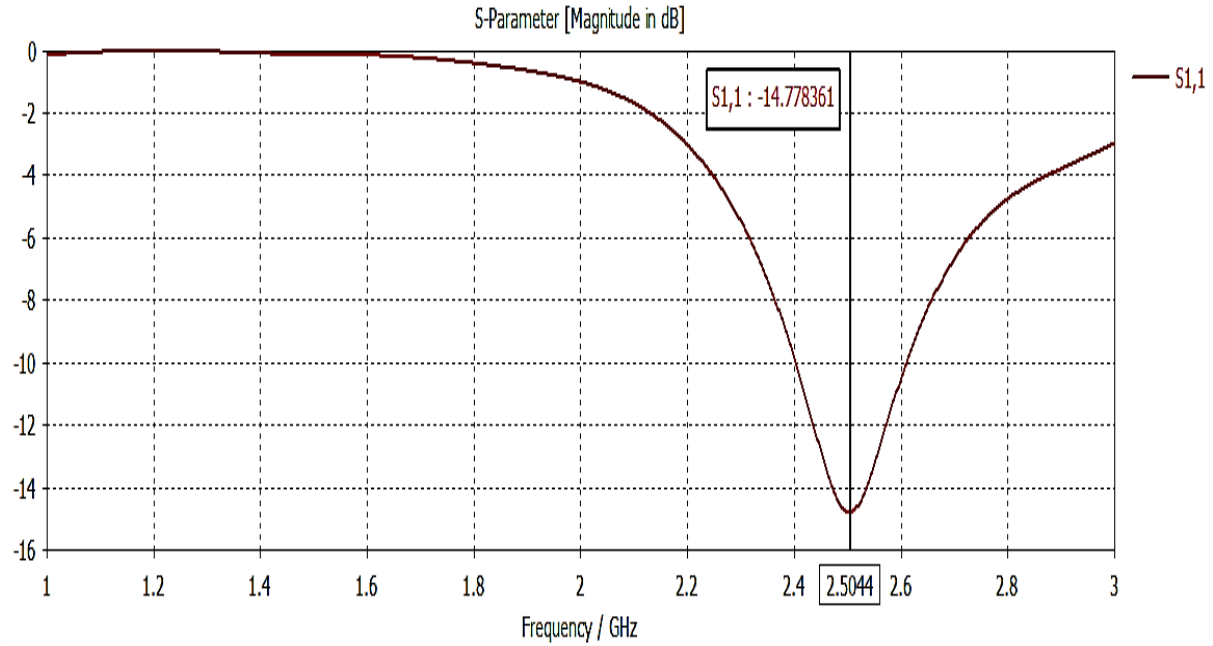


On clique sur **new seq** puis sur **new par**, maintenant on choisit **lambda** ensuite on introduit les valeurs minimum et maximum en introduisant le nombre de pas puis on clique **sur OK**

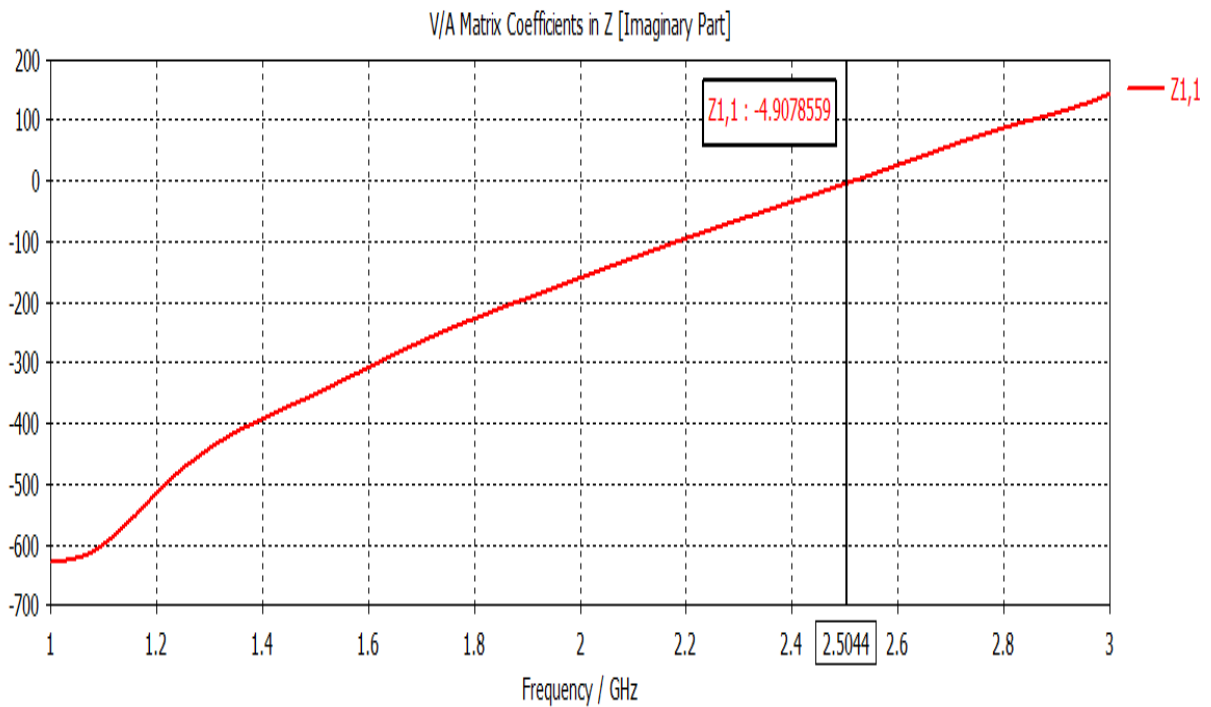
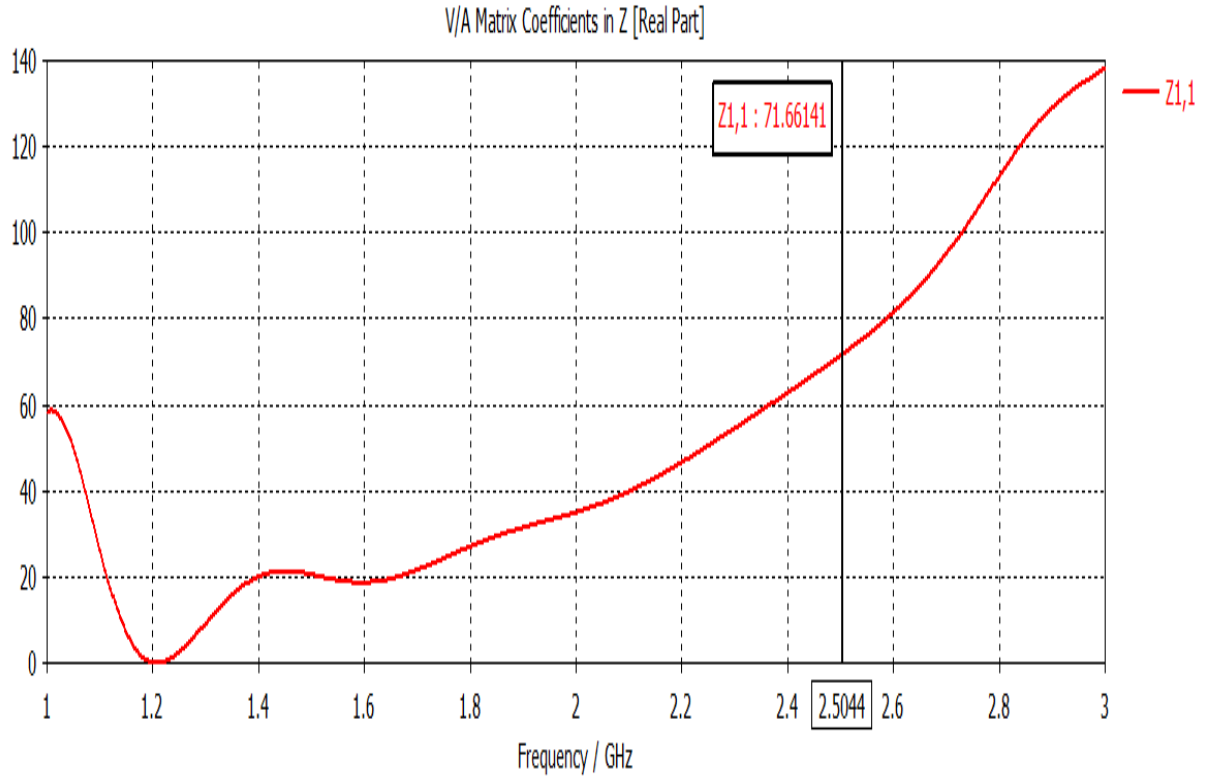




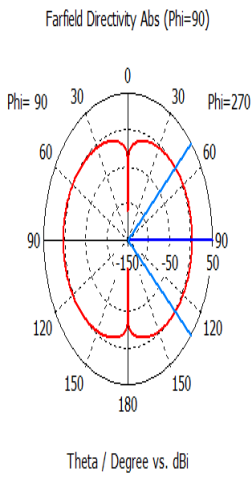
Soit $L_{dip} = 53.222\text{mm}$



Coefficient de reflexion S11

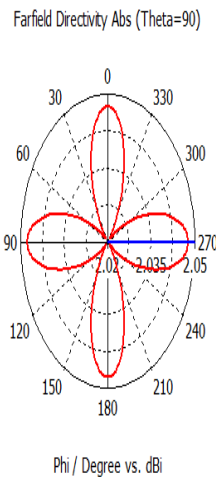


Impédance d'entrée Z_{11}



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.05 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.3 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.05 dBi
 Main lobe direction = 270.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

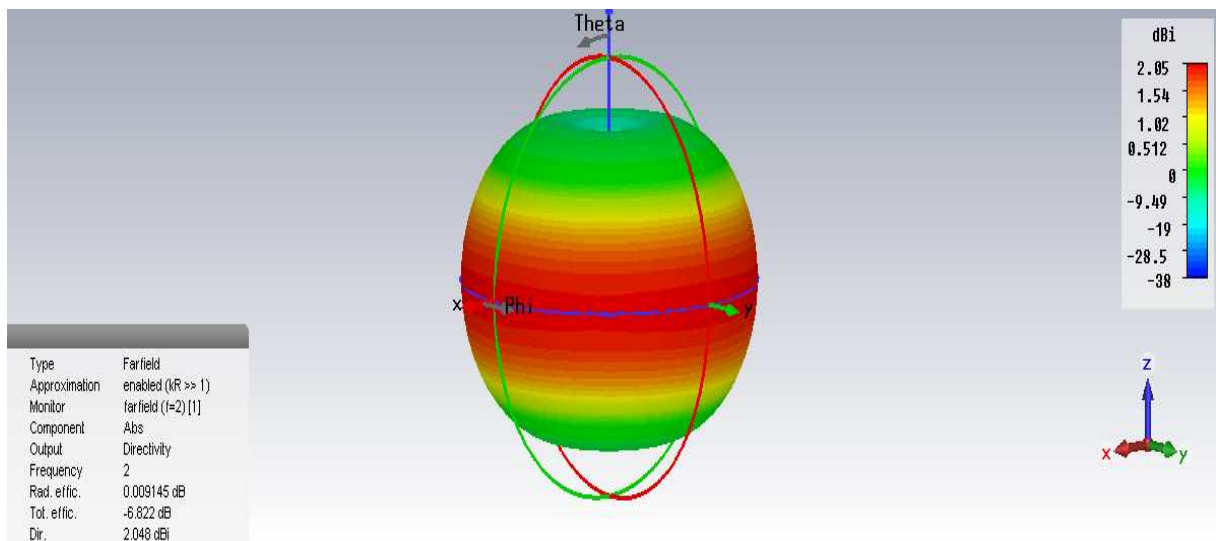


Diagramme de rayonnement 3D

Conclusion :

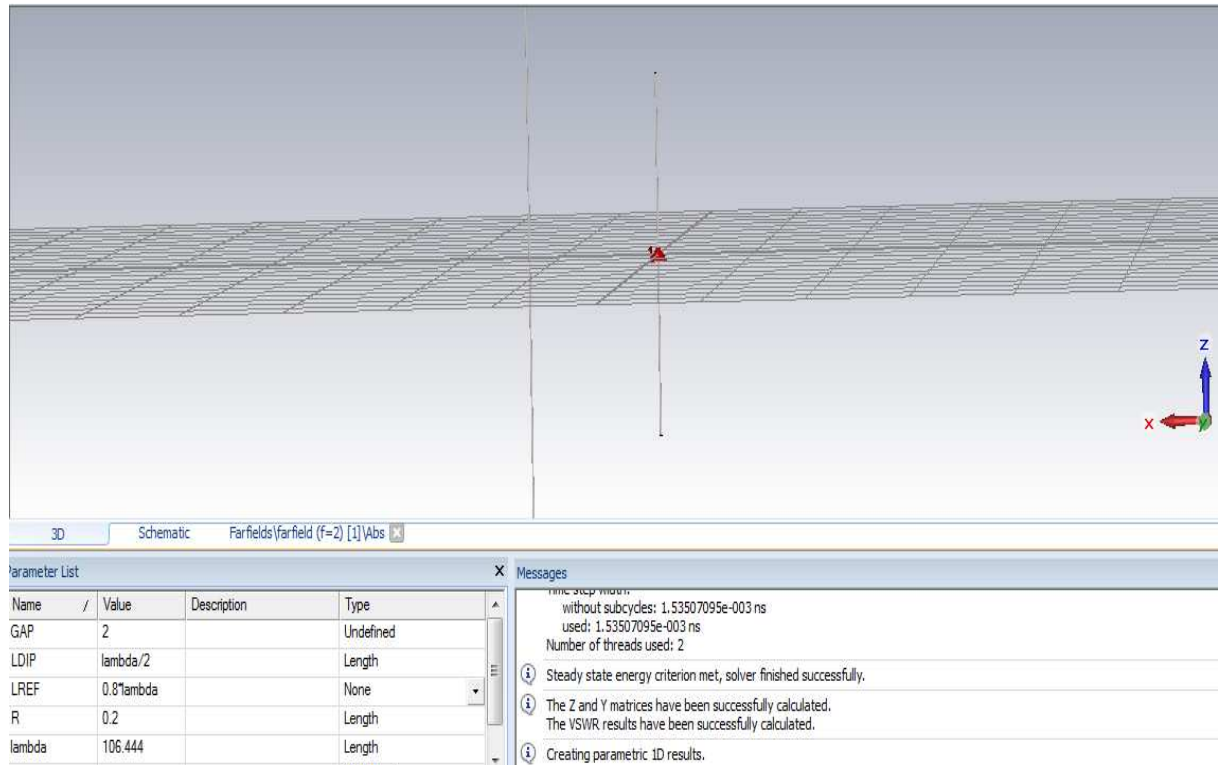
La longueur du dipôle influence sur la fréquence de résonance, et varie inversement avec cette dernière. Si $L_1 > L_0$ on aura $F_1 < F_0$.

La longueur optimale pour avoir une fréquence de résonance de 2.5Ghz est $L_2 = 53.222\text{mm}$

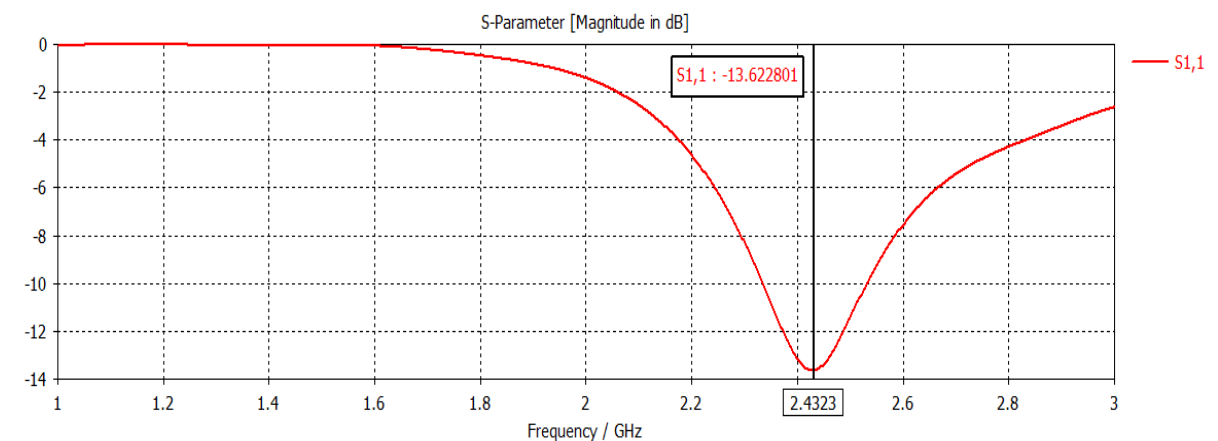
III-4 Etude du réflecteur

III-4.1 Effet de la longueur du réflecteur

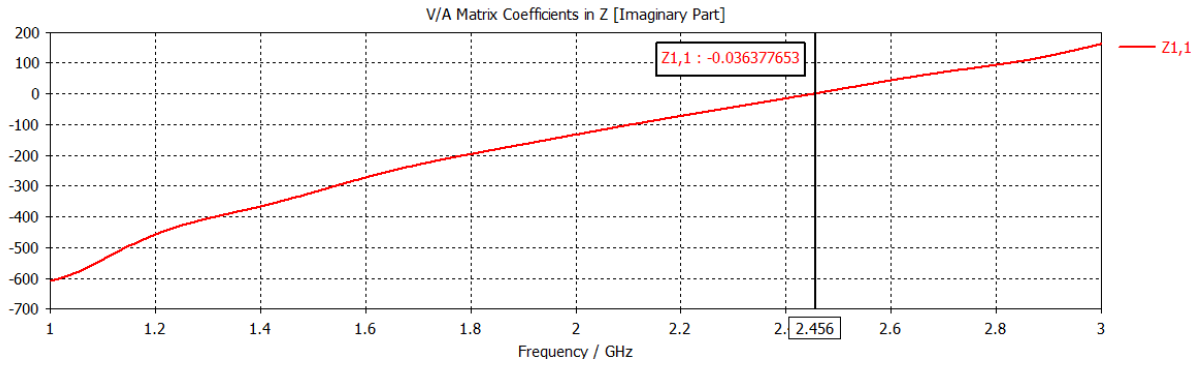
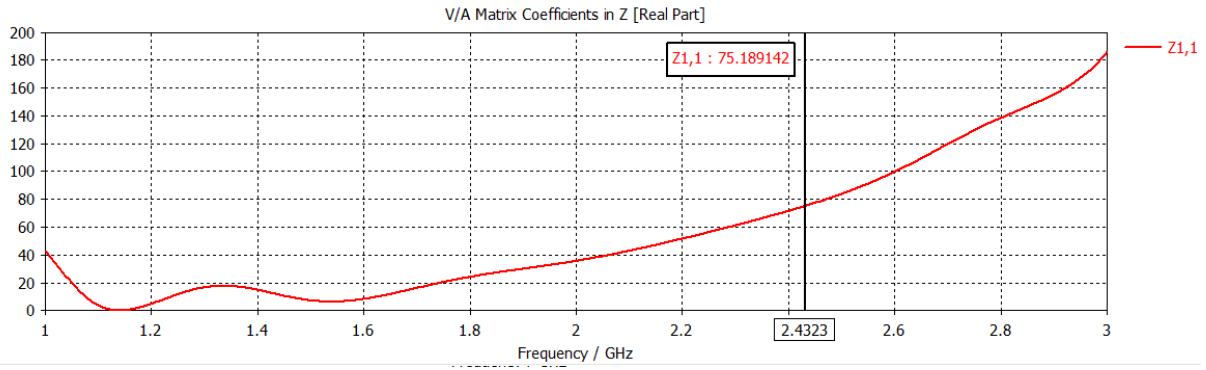
On ajoute un brin non alimenté de longueur $L_{REF}=0.8*\lambda$ à une distance $d=0.5*\lambda$



Résultats de simulation :



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z_{11}

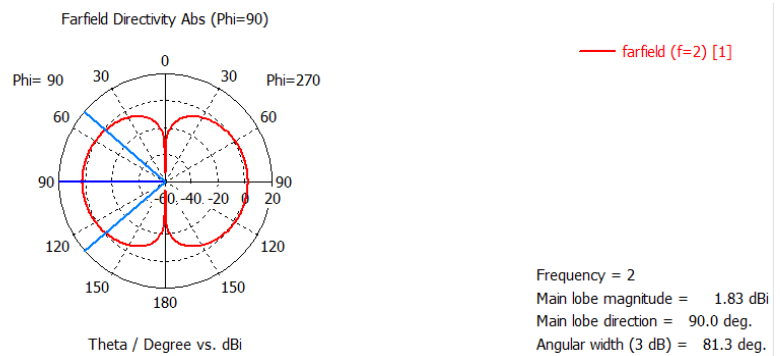
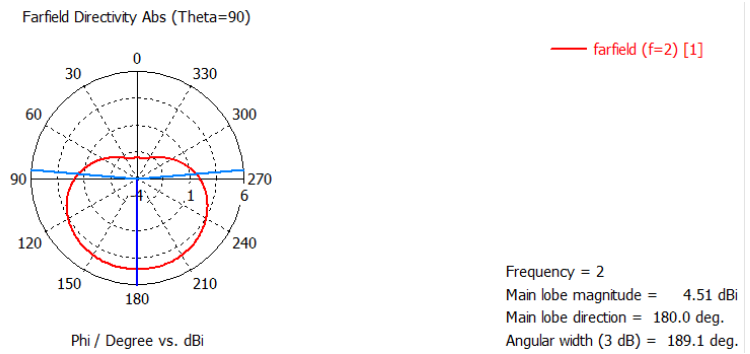


Diagramme de rayonnement 2D

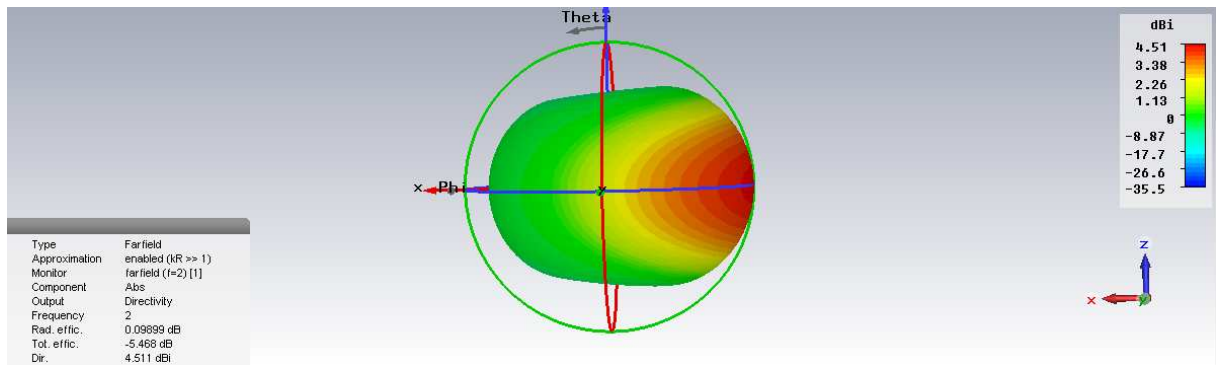
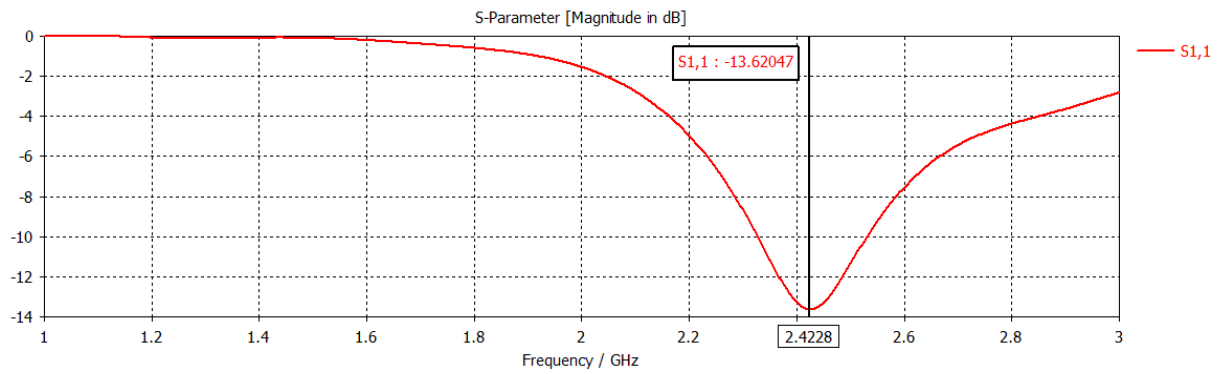
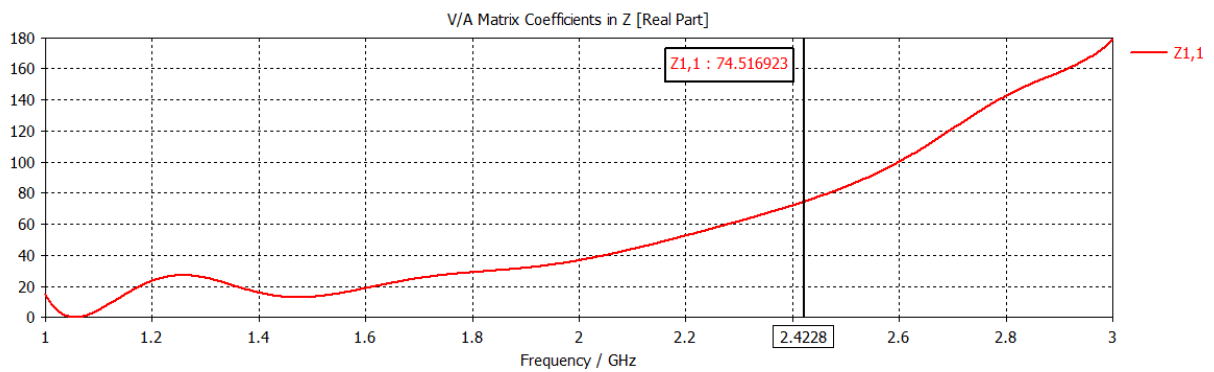


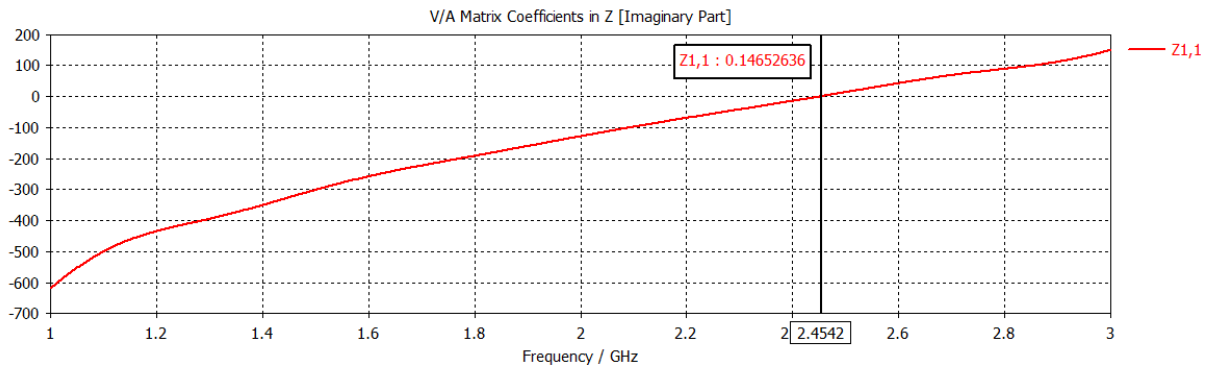
Diagramme de rayonnement 3D

LREF=0.9*lambda :



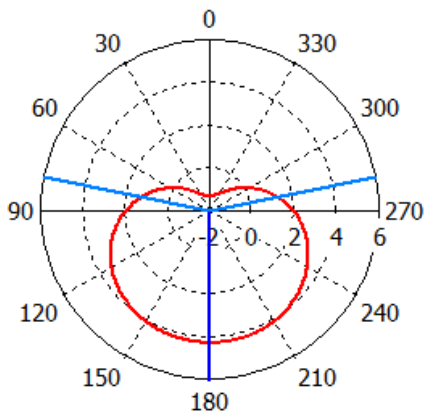
Coefficient de reflexion S11





Impédance d'entrée Z11

Farfield Directivity Abs (Theta=90)

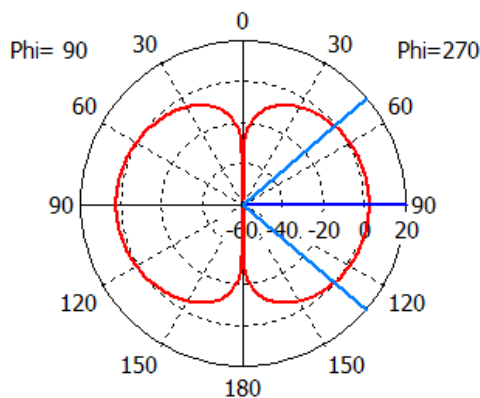


Phi / Degree vs. dBi

— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 4.23 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 202.4 deg.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 1.92 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 80.7 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

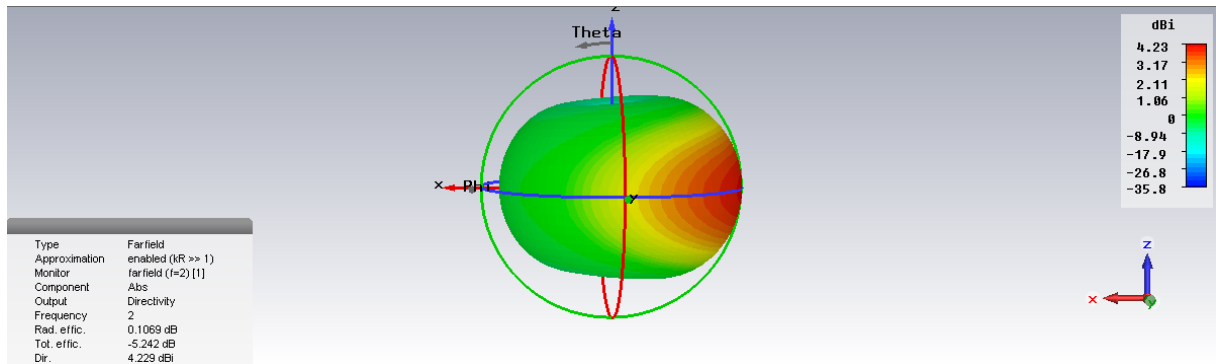
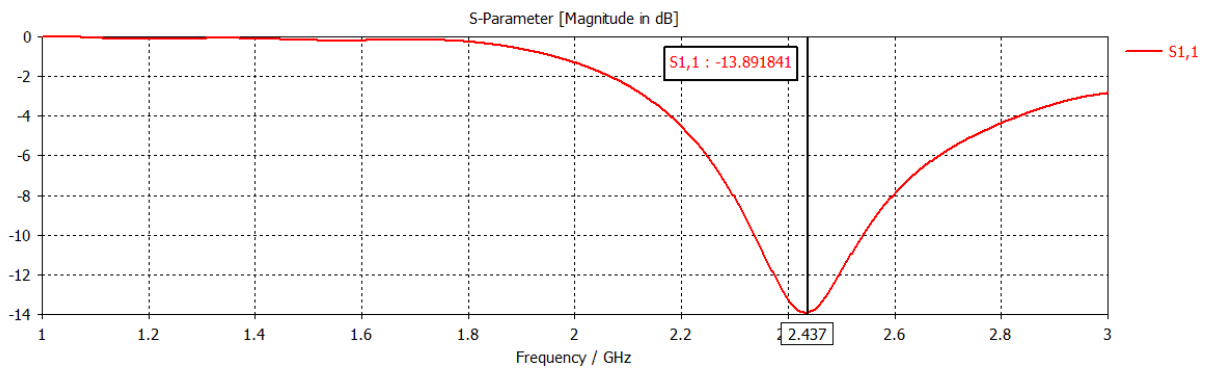
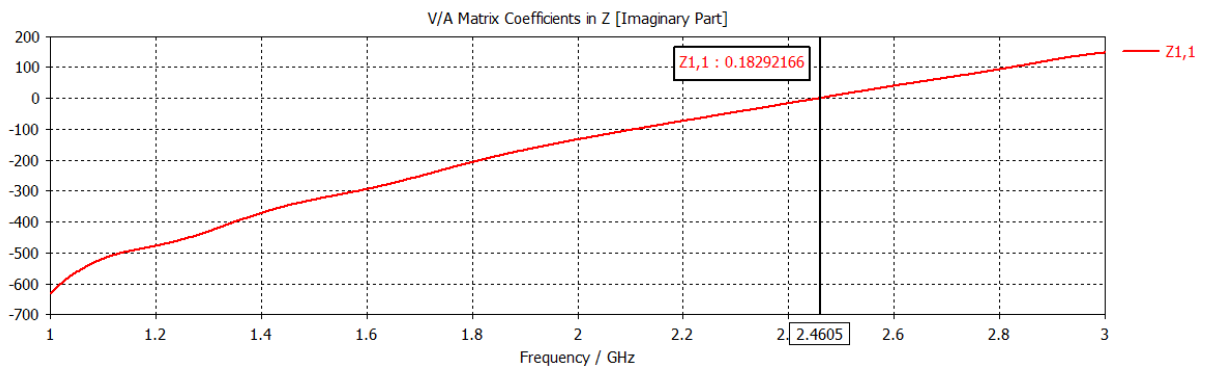
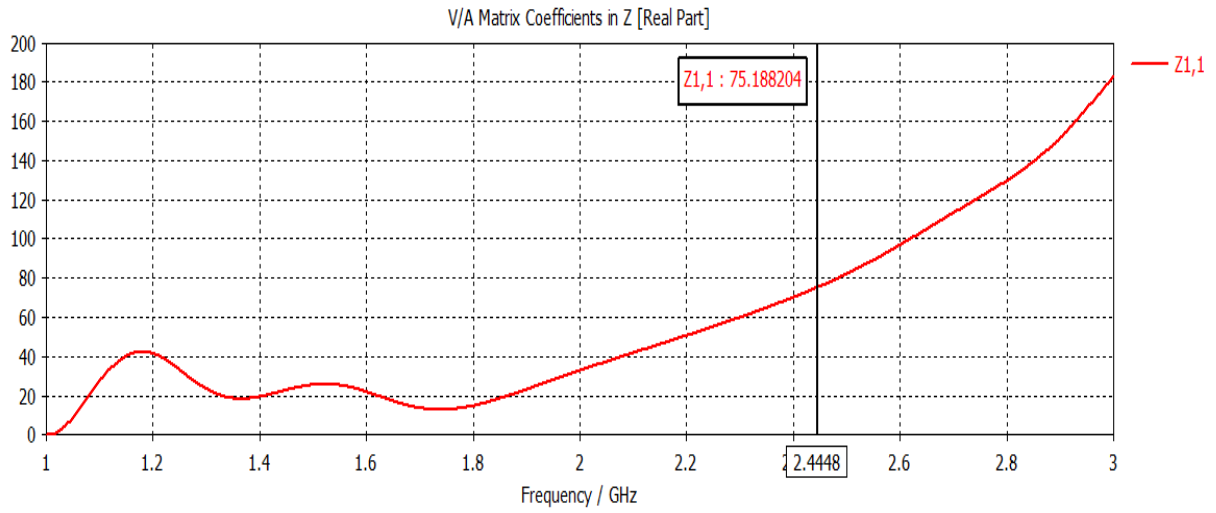


Figure : Diagramme de rayonnement 3D

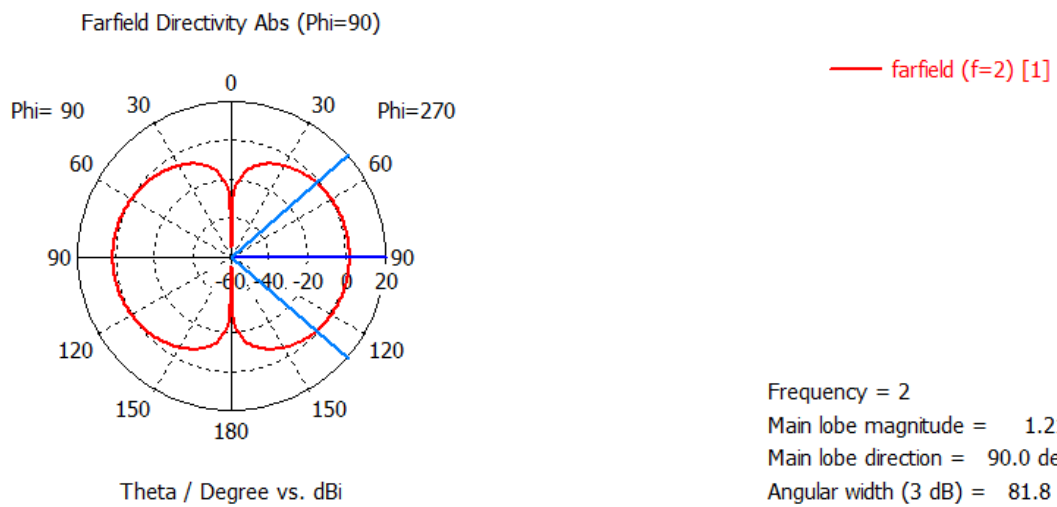
LREF=0.7*lambda :



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z_{11}



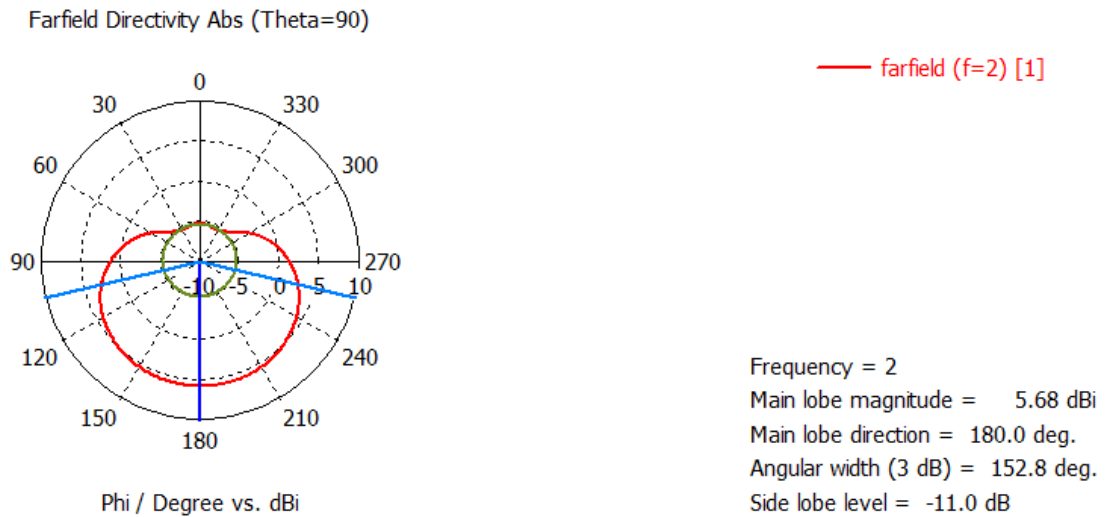


Diagramme de rayonnement 2D

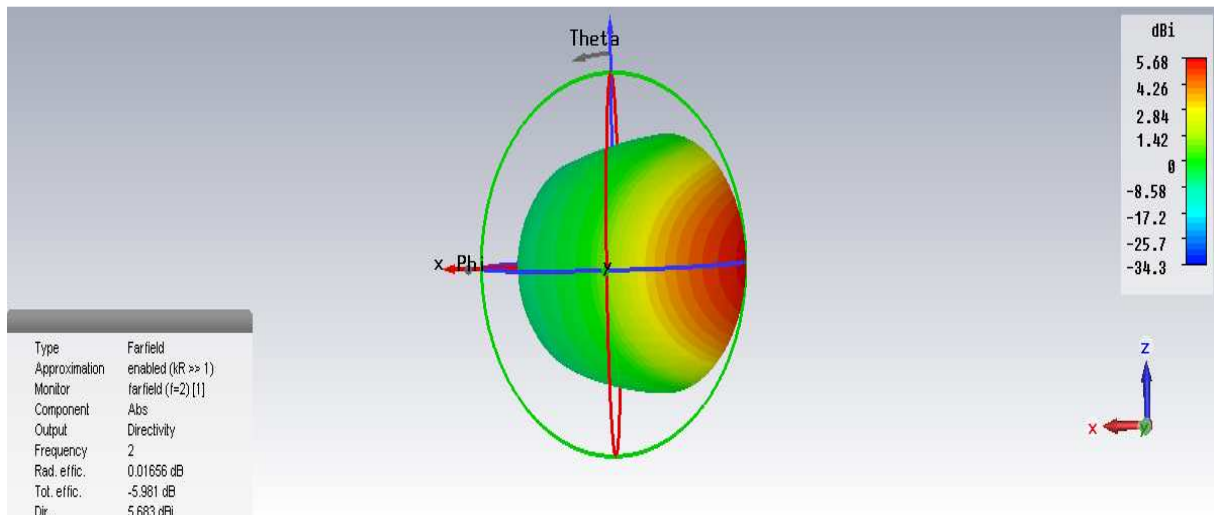
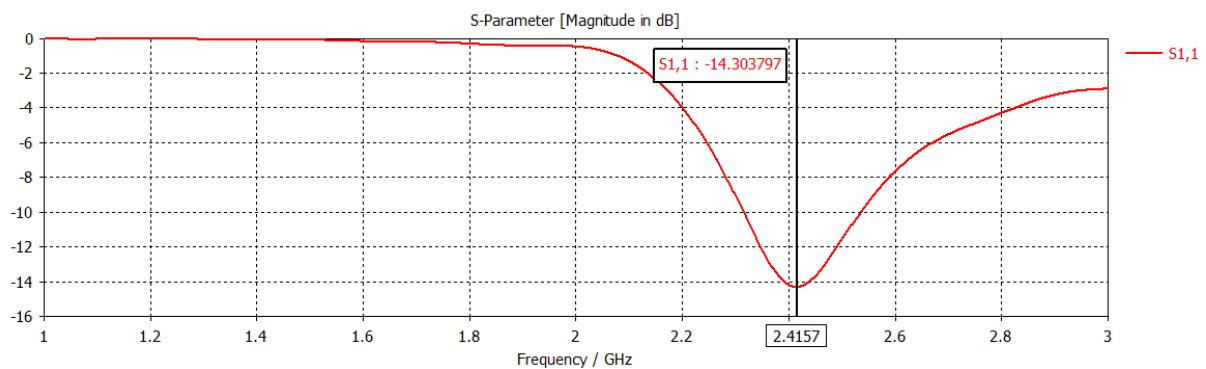
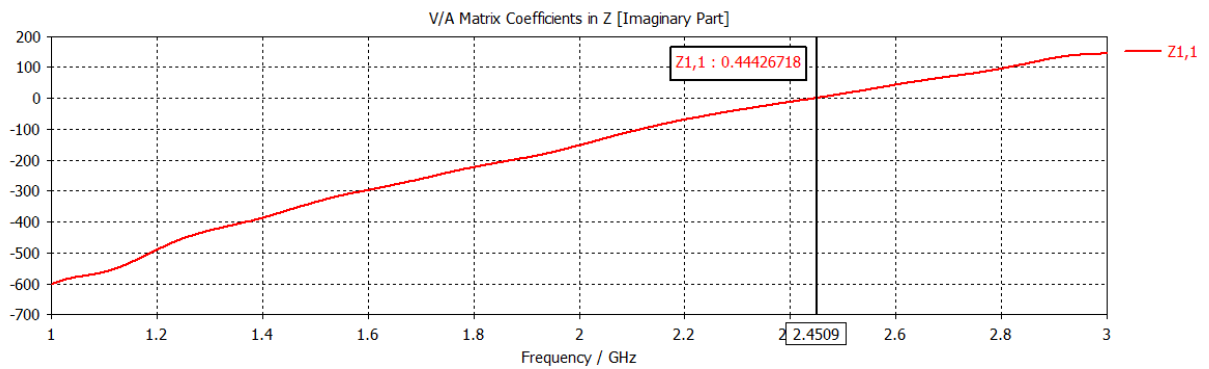
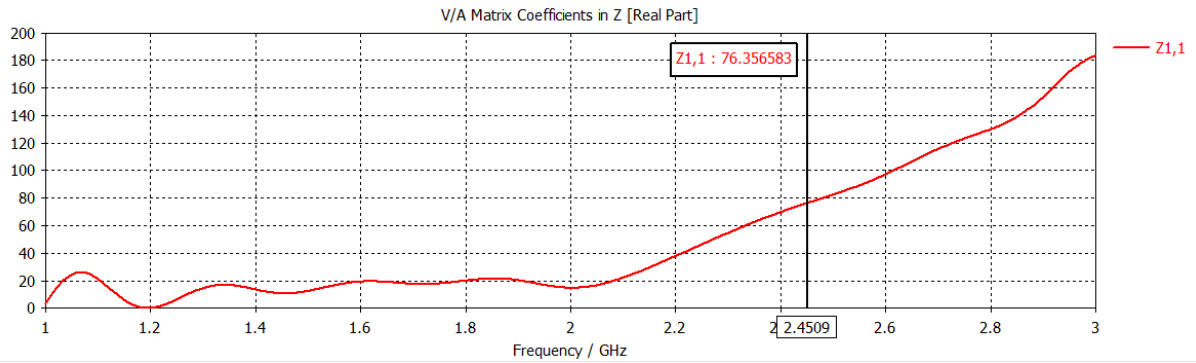


Diagramme de rayonnement 3D

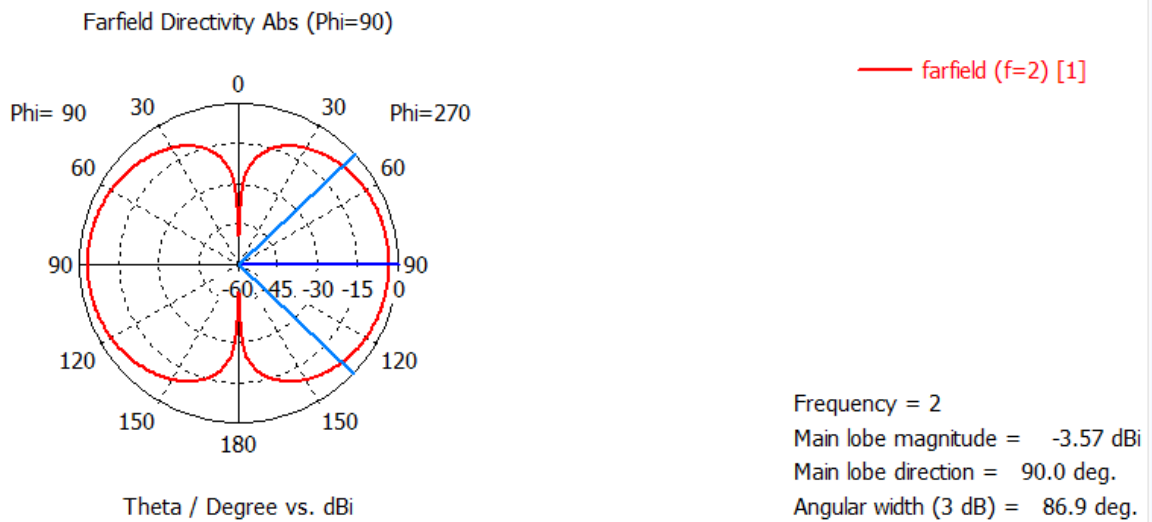
LREF=0.6*lambda :



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z11



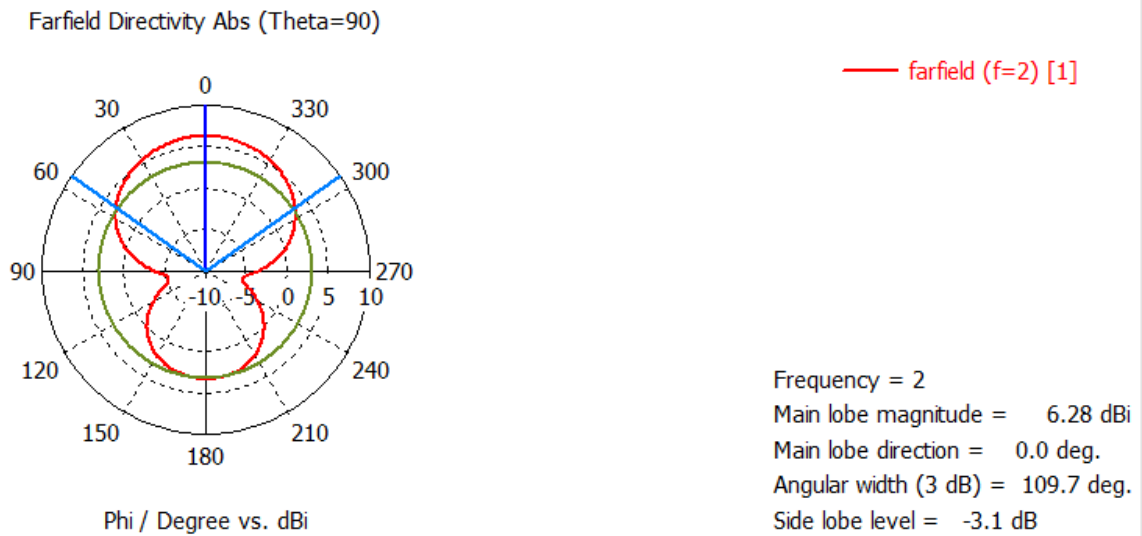


Diagramme de rayonnement 2D

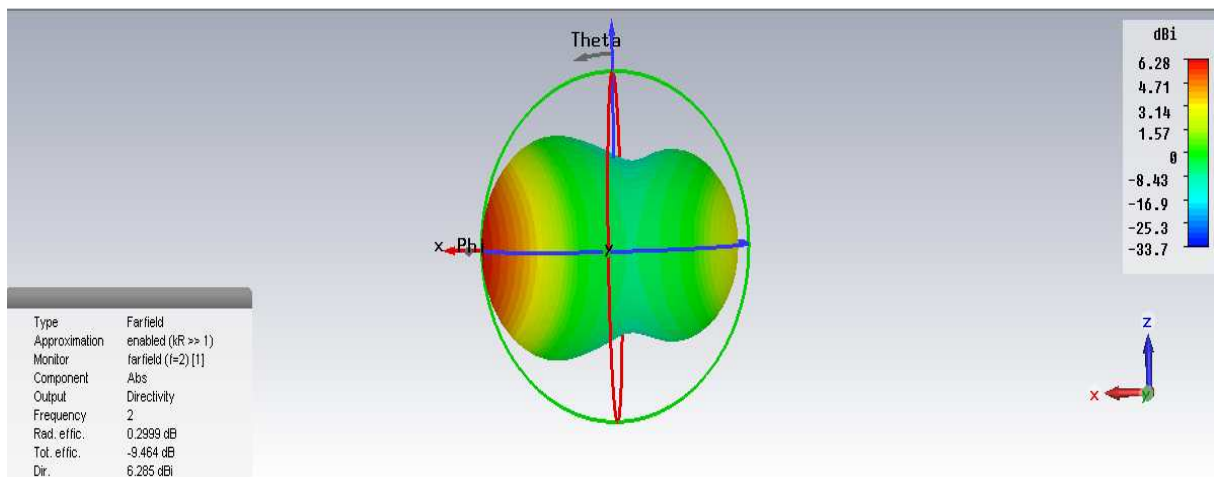


Diagramme de rayonnement 3D

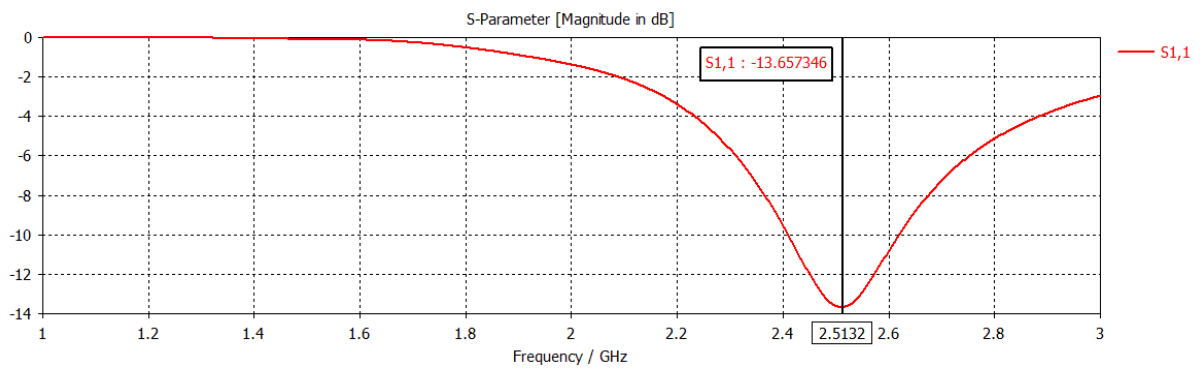
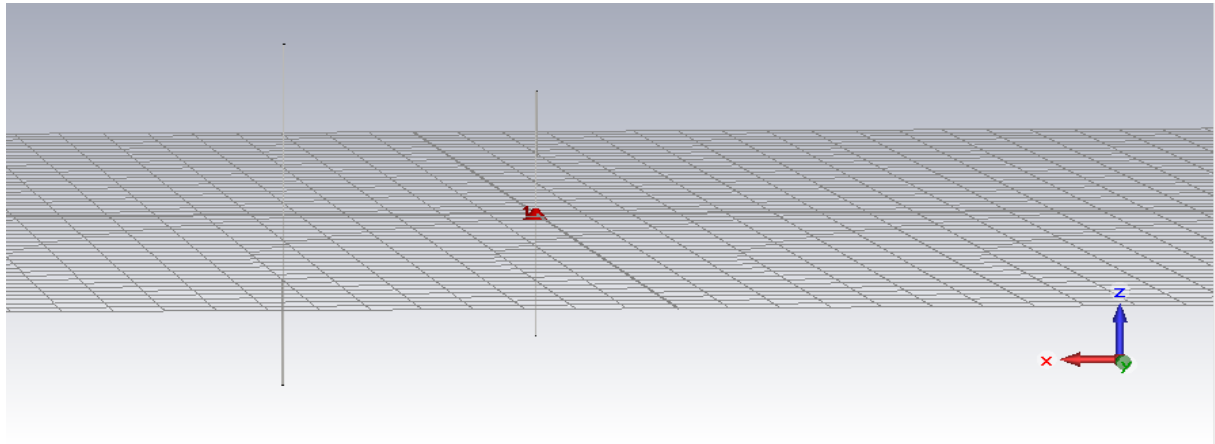
Conclusion

Le diagramme de rayonnement est directif.

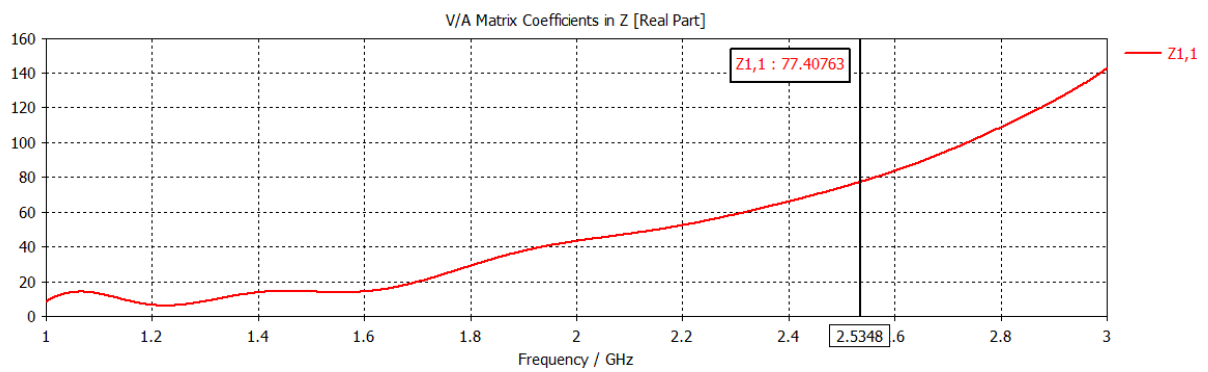
La longueur optimale du réflecteur est $L_{REF}=0.7*\lambda$

III-4.2 Effet de l'espace entre le radiateur et le brin réflecteur

DREF=0.5*lambda



Coefficient de reflexion S11



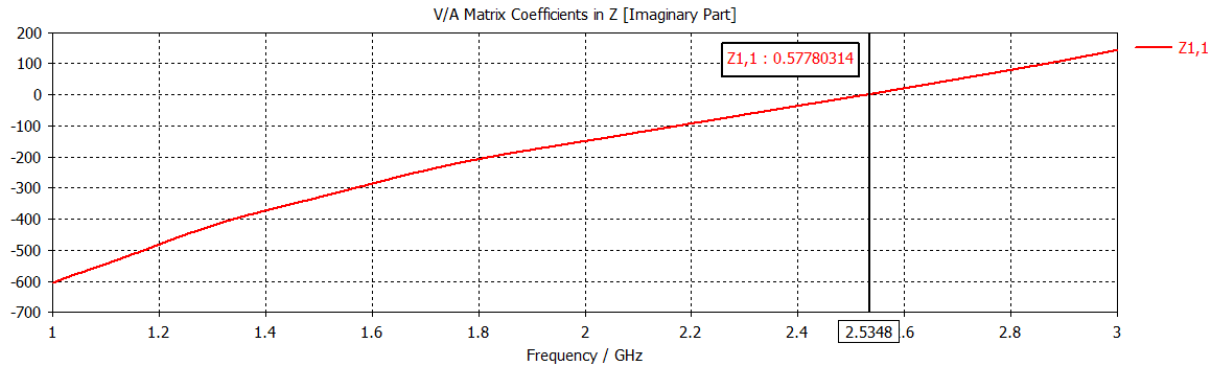


Figure : Impédance d'entrée Z11

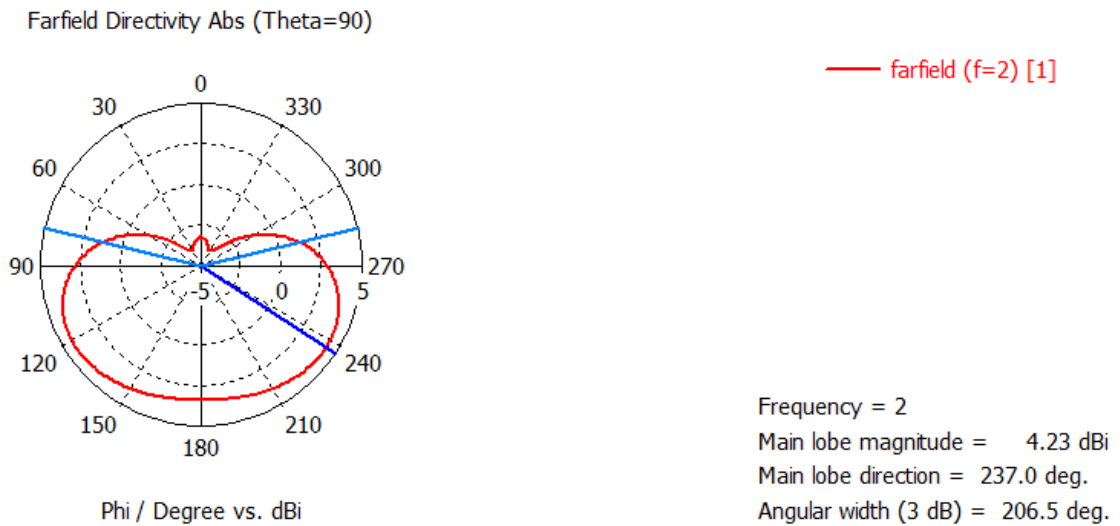
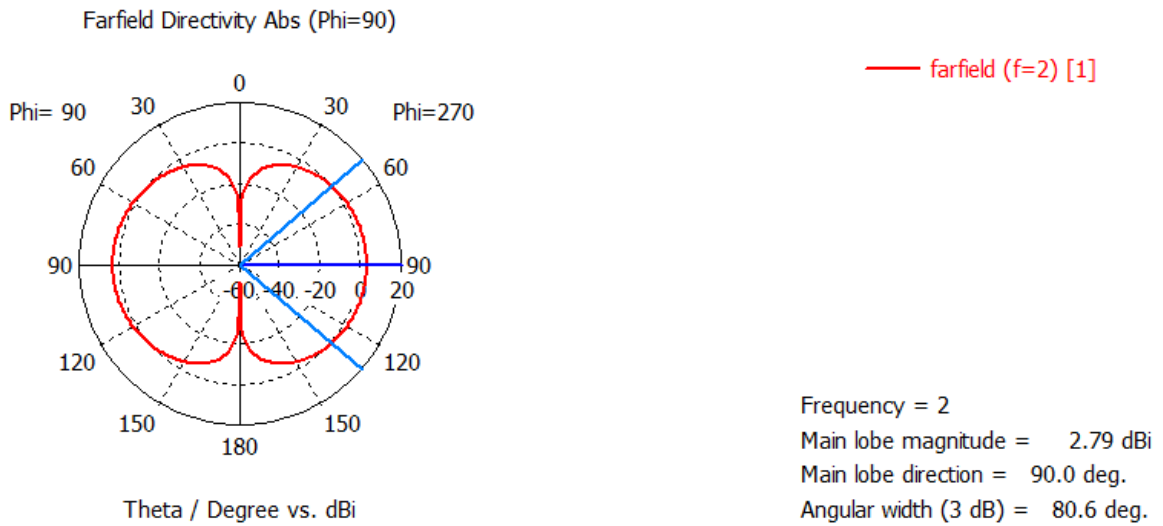


Diagramme de rayonnement 2D

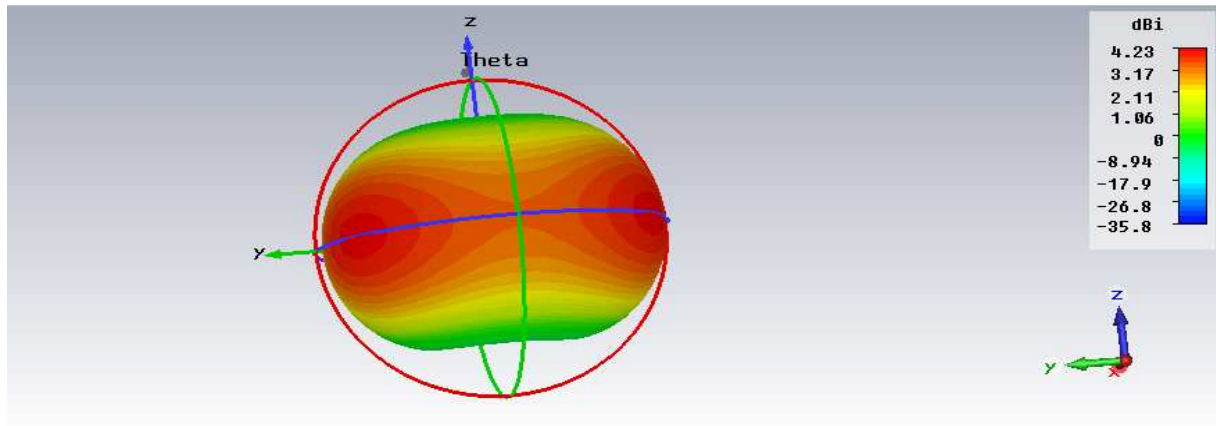
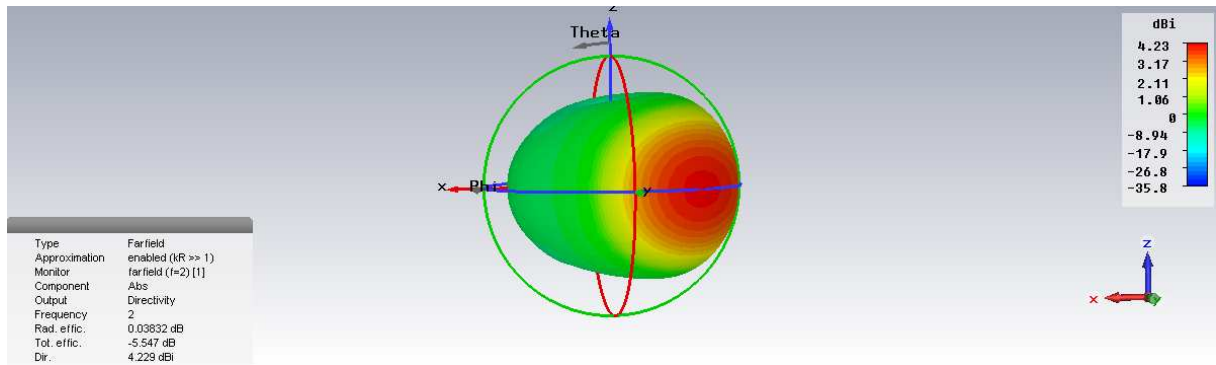
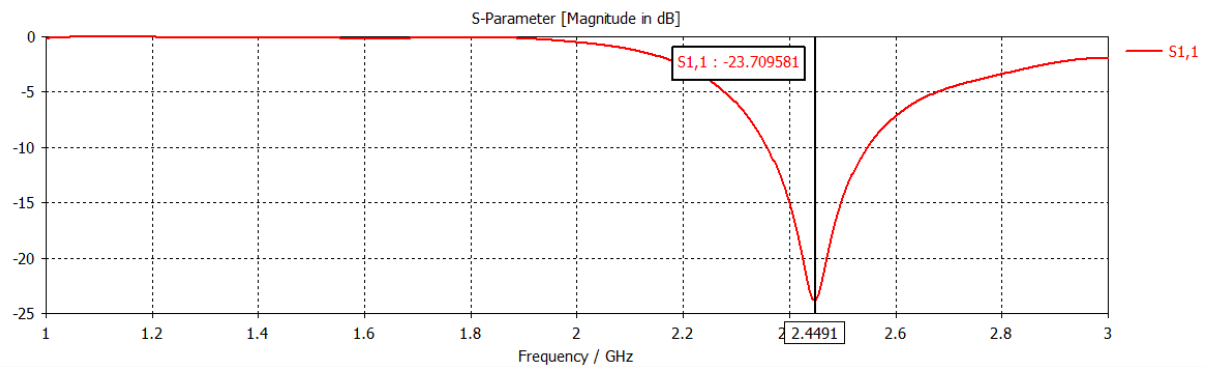
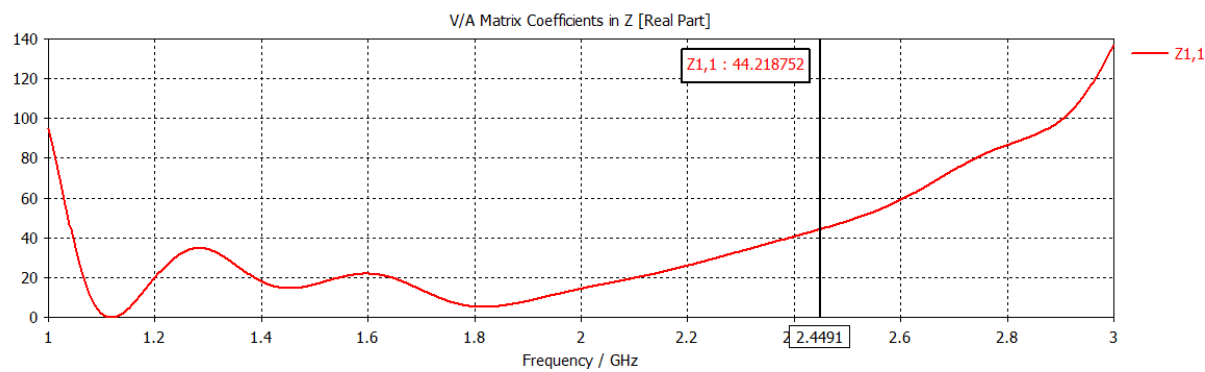


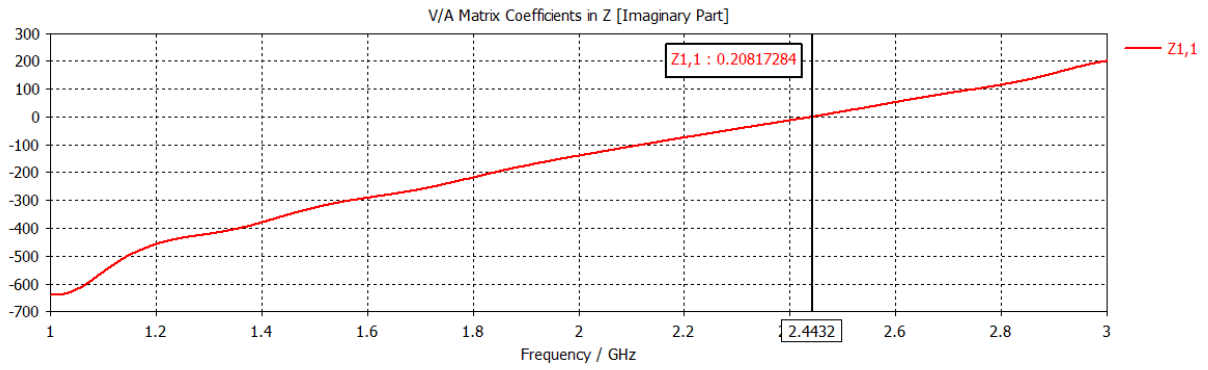
Diagramme de rayonnement 3D

DREF=0.1*lambda



Coefficient de reflexion S11





Impédance d'entrée Z11

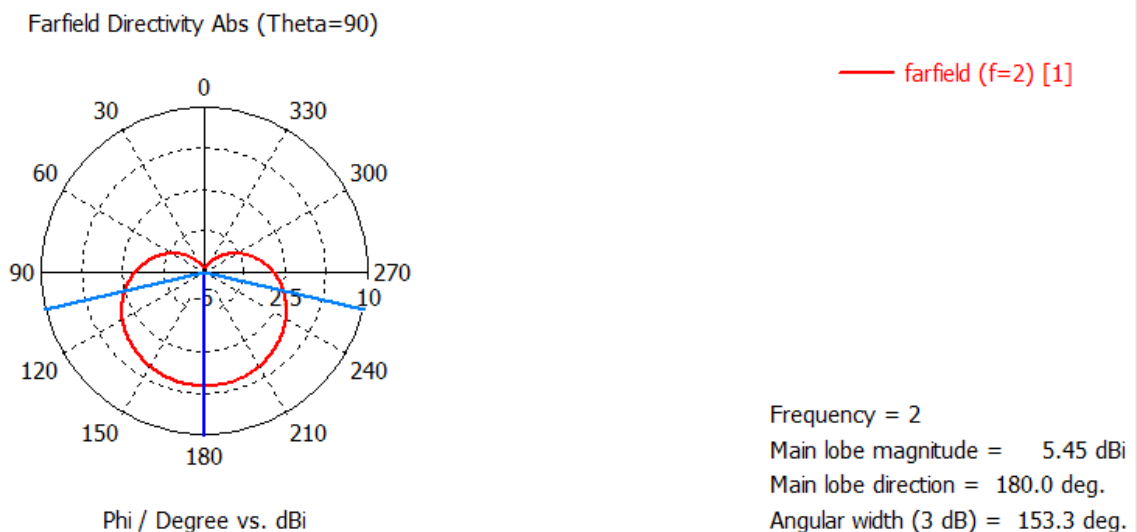
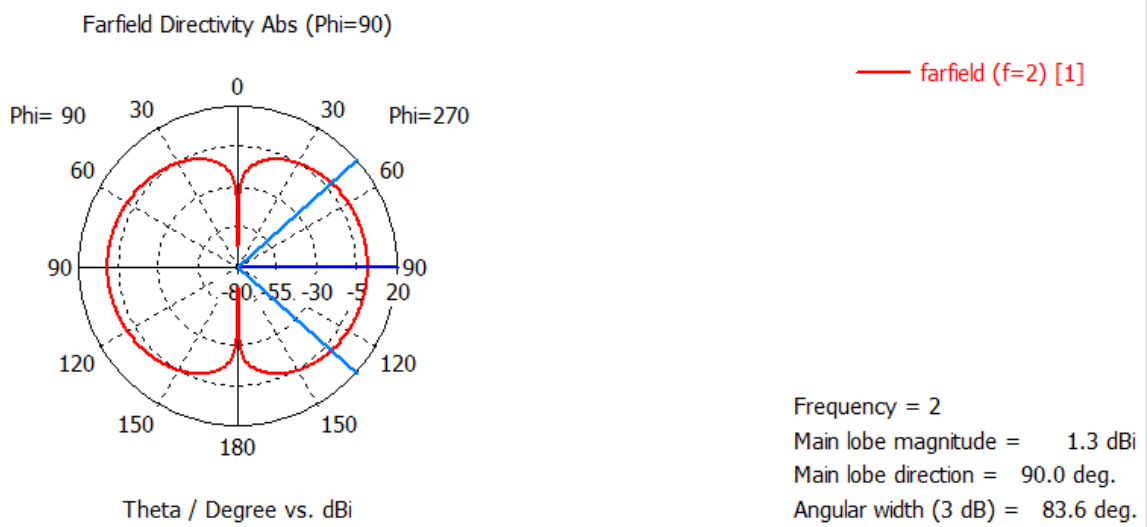


Figure : Diagramme de rayonnement 2D

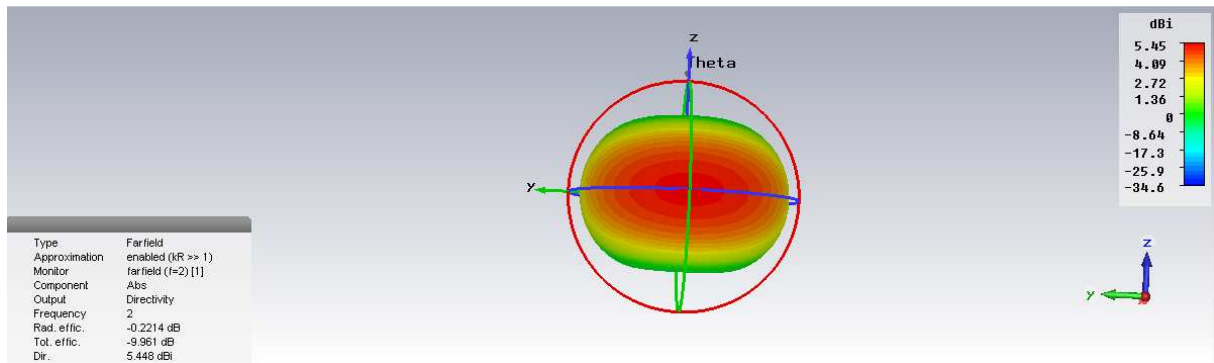
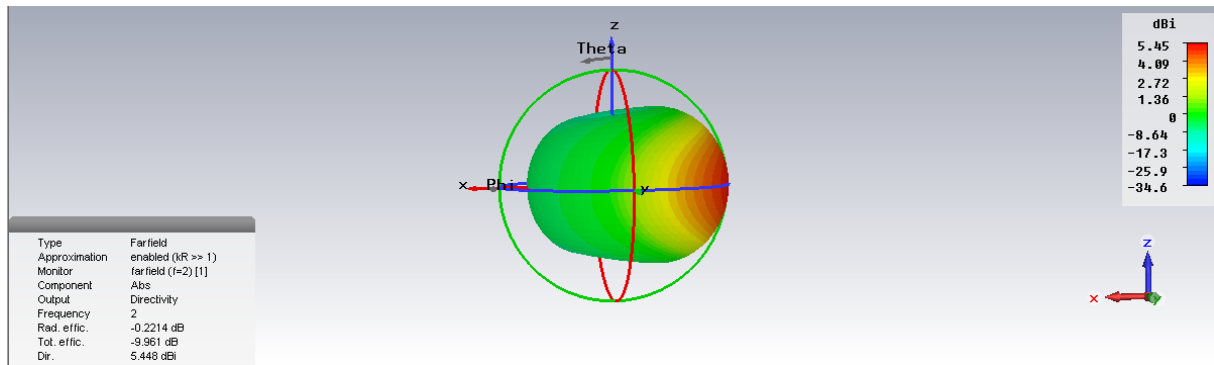
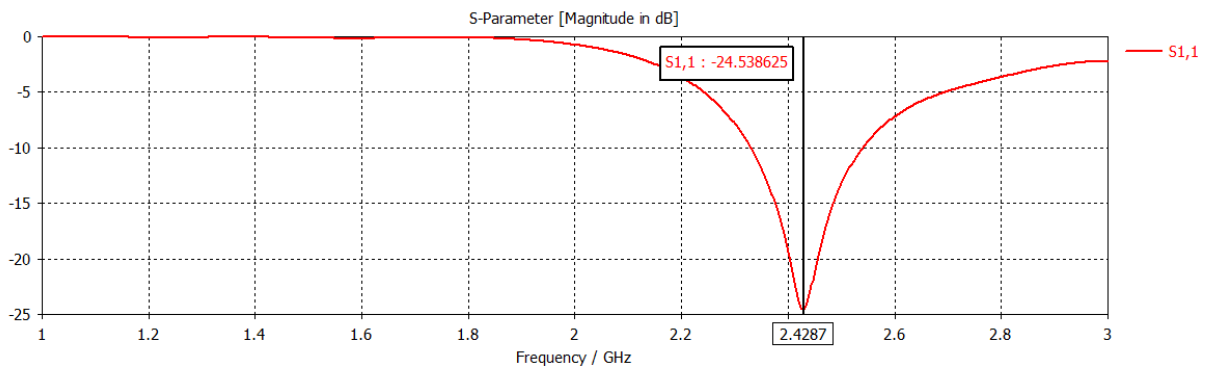
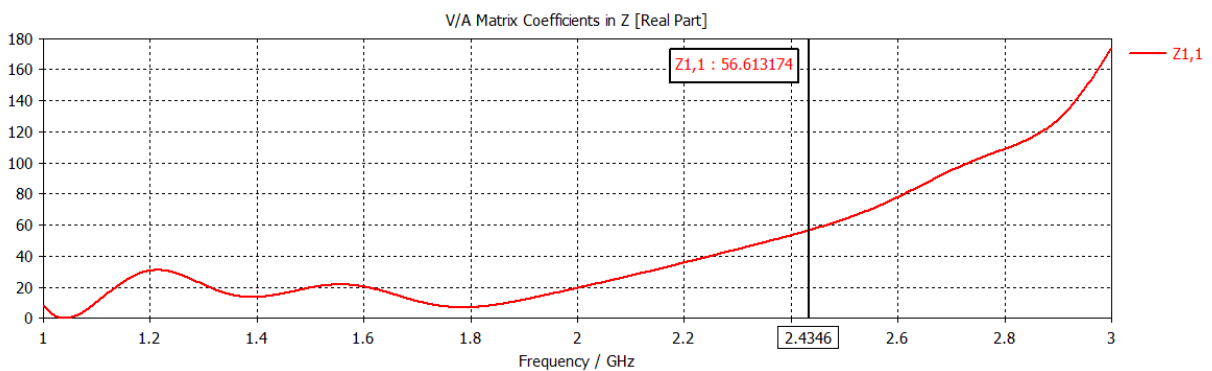


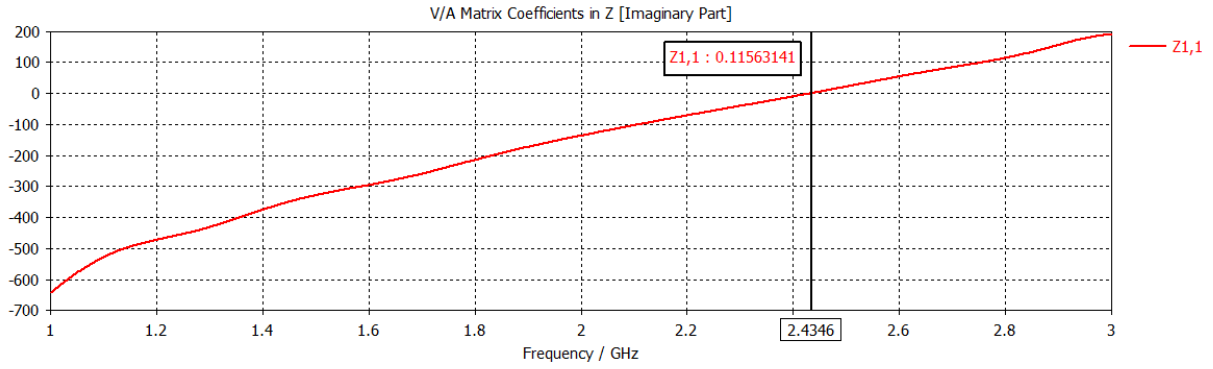
Diagramme de rayonnement 3D

DREF=0.15*lambda

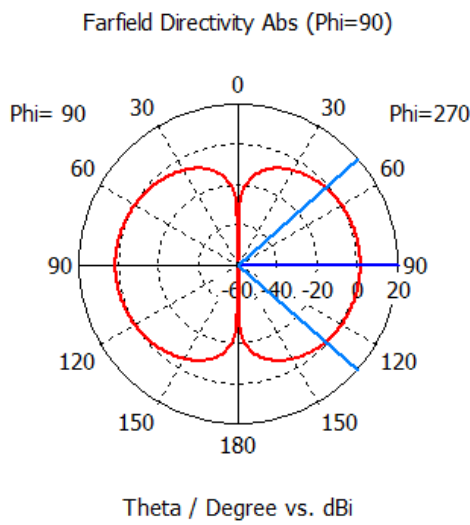


Coefficient de reflexion S11



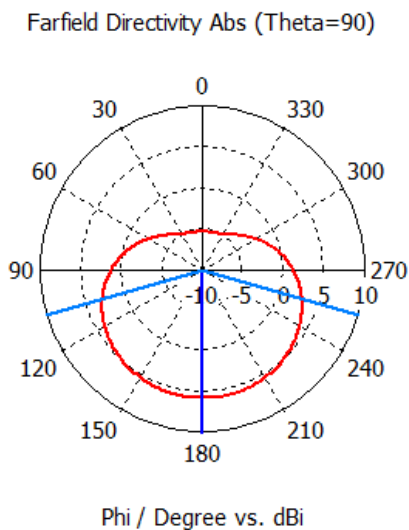


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 1.16 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.6 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 5.73 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 147.9 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

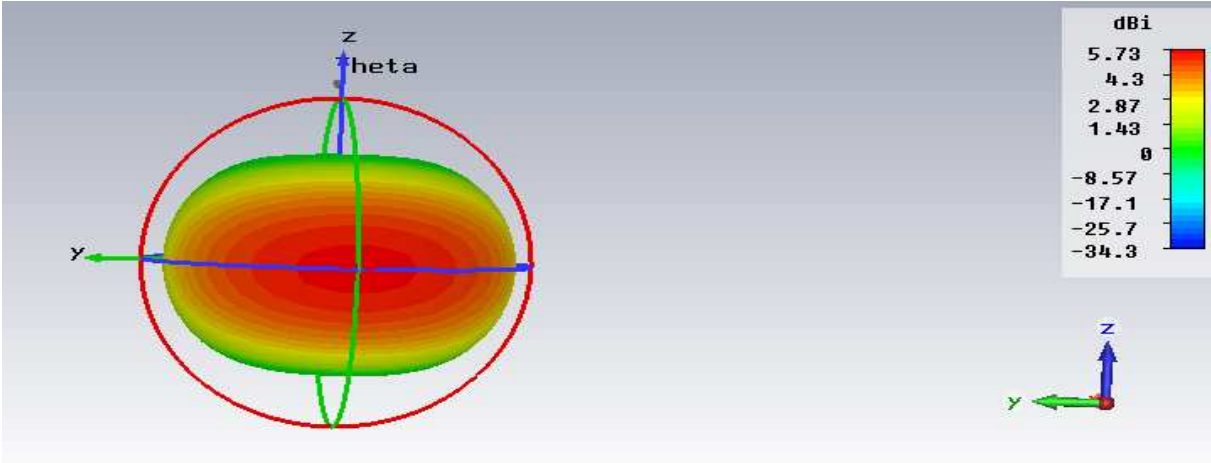
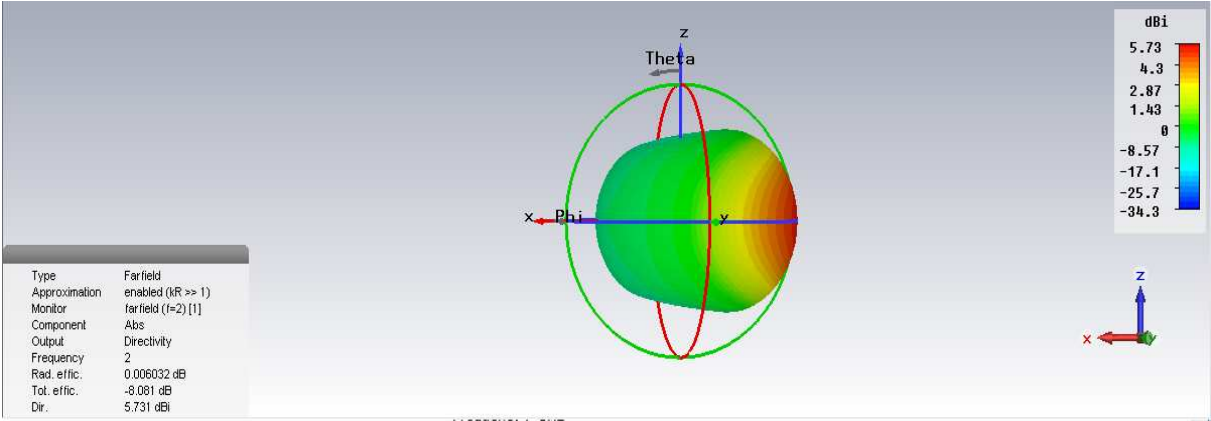
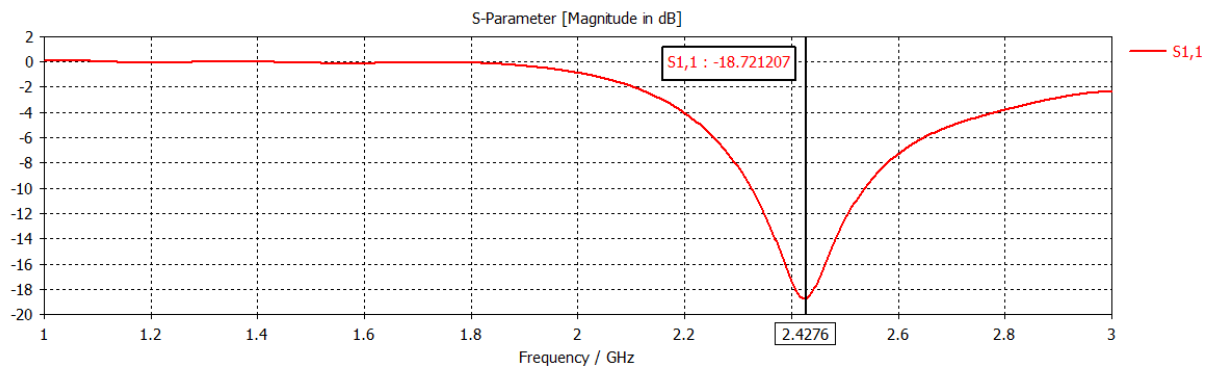
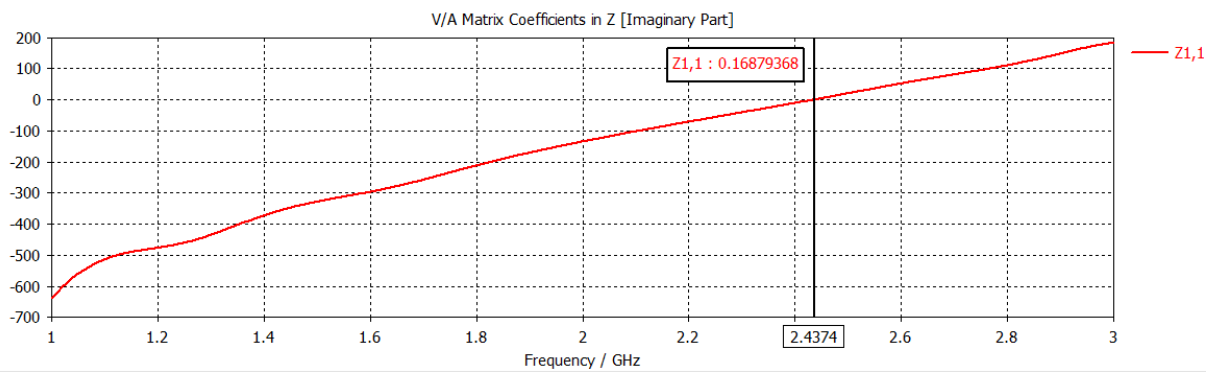
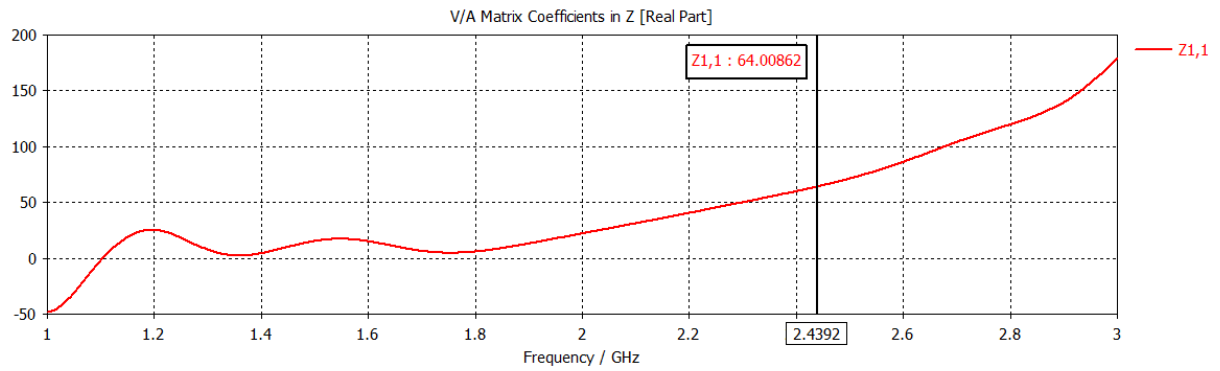


Diagramme de rayonnement 3D

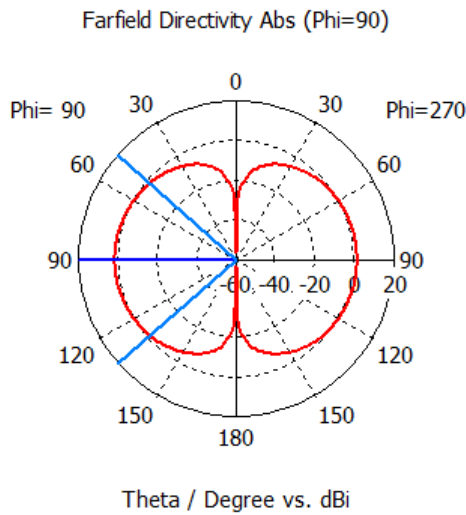
DREF=0.18*lambda



Coefficient de reflexion S11

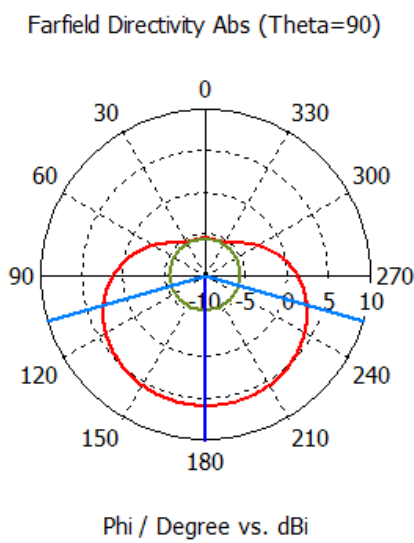


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

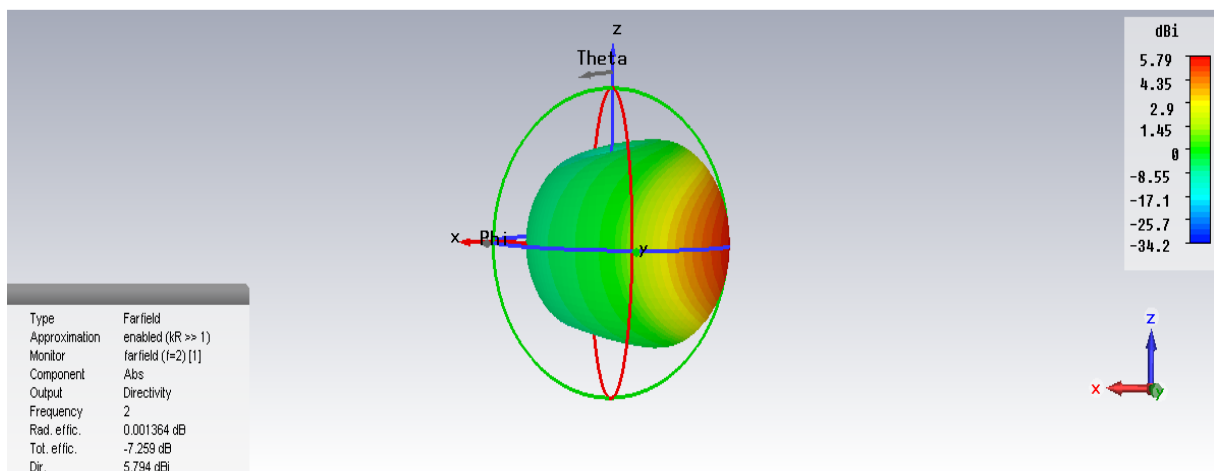
Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 1.11 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.5 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 5.79 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 147.2 deg.
 Side lobe level = -11.4 dB

Diagramme de rayonnement 2D



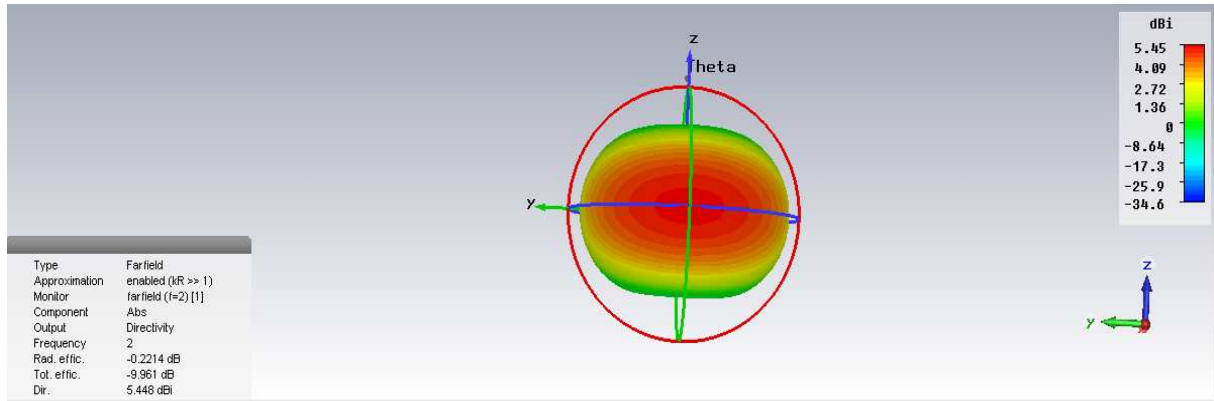
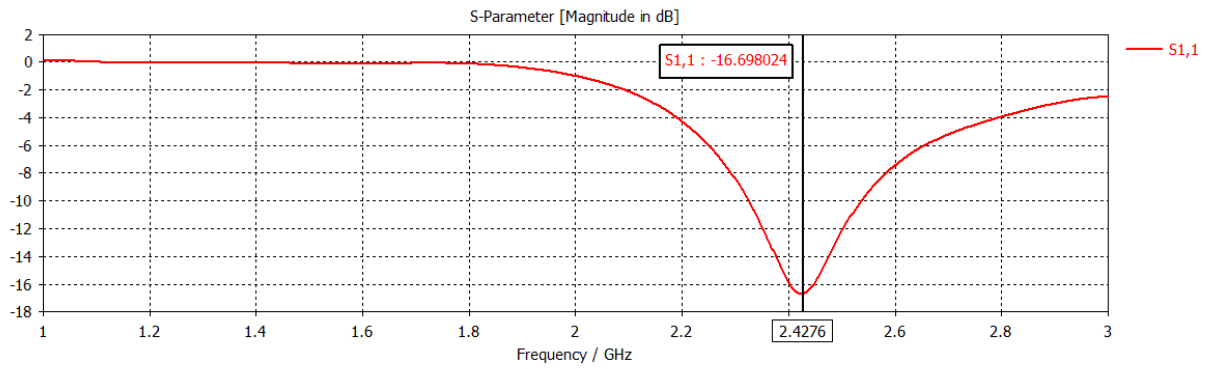
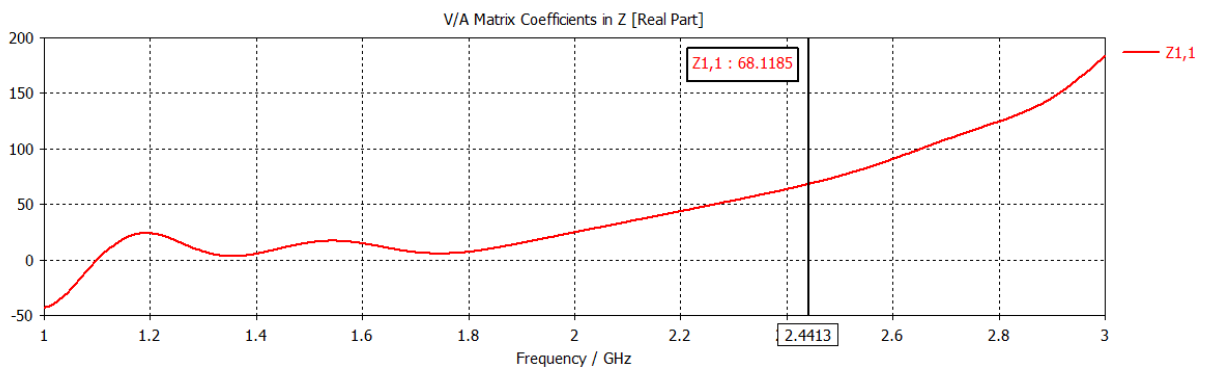


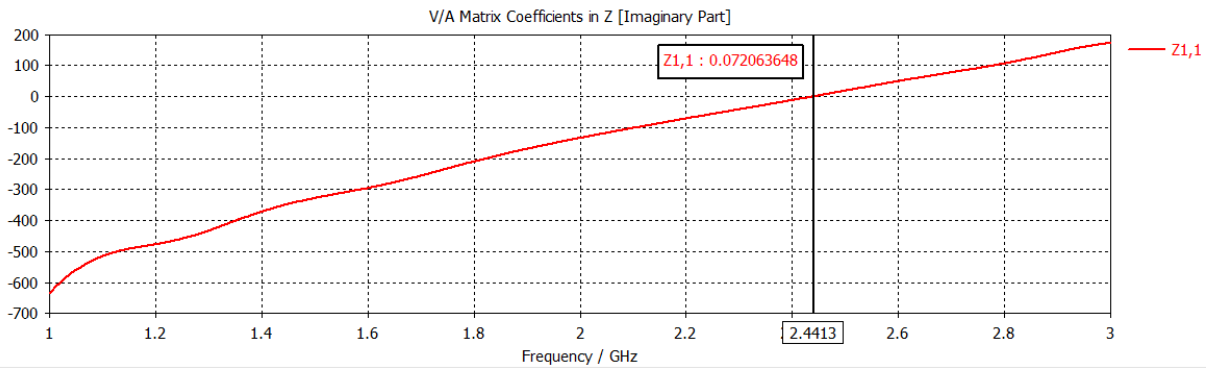
Diagramme de rayonnement 3D

DREF=0.2*lambda



Coefficient de reflexion S11





Impédance d'entrée Z11

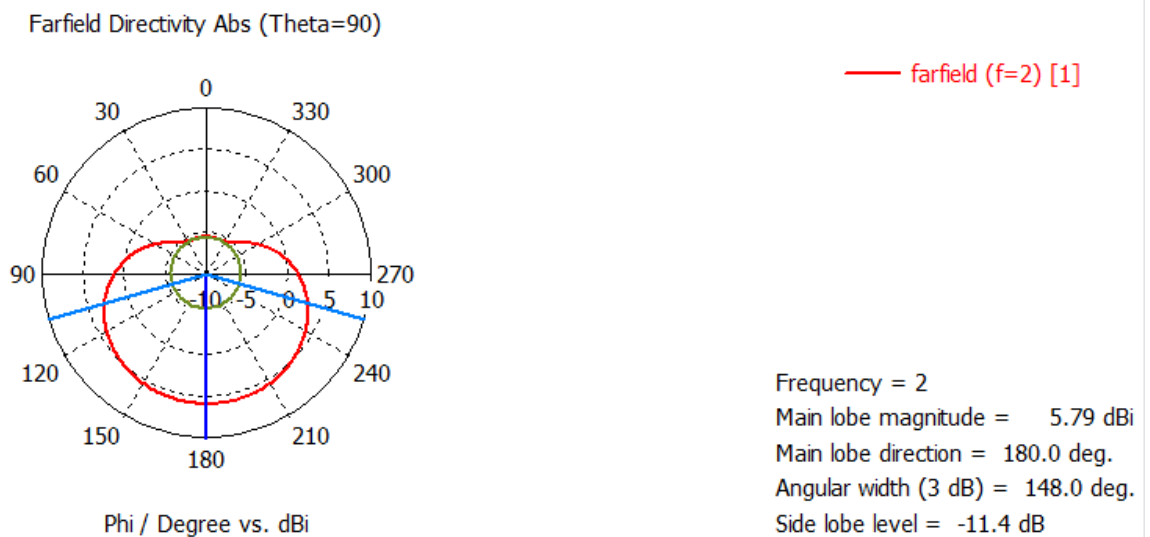
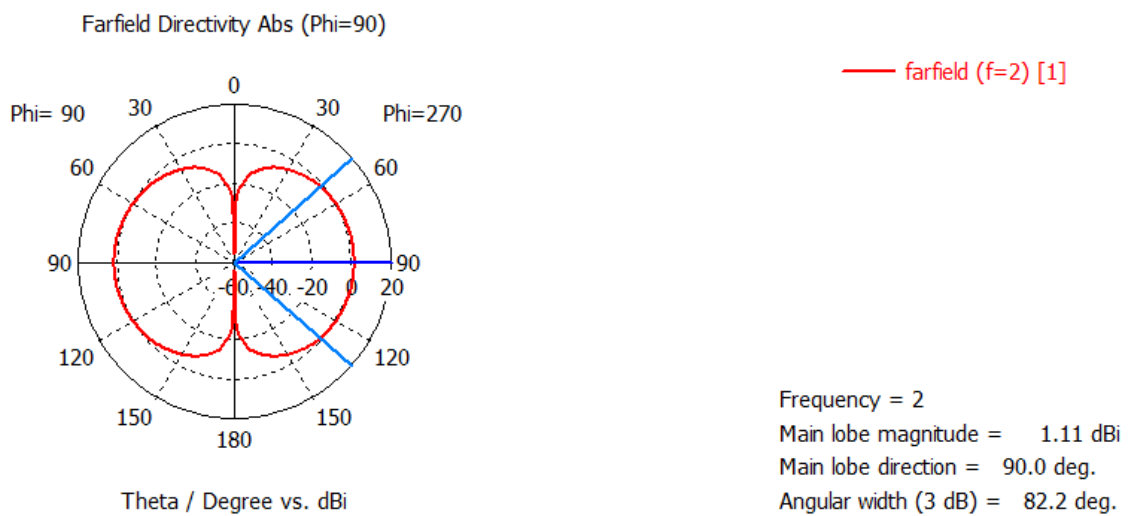


Diagramme de rayonnement 2D

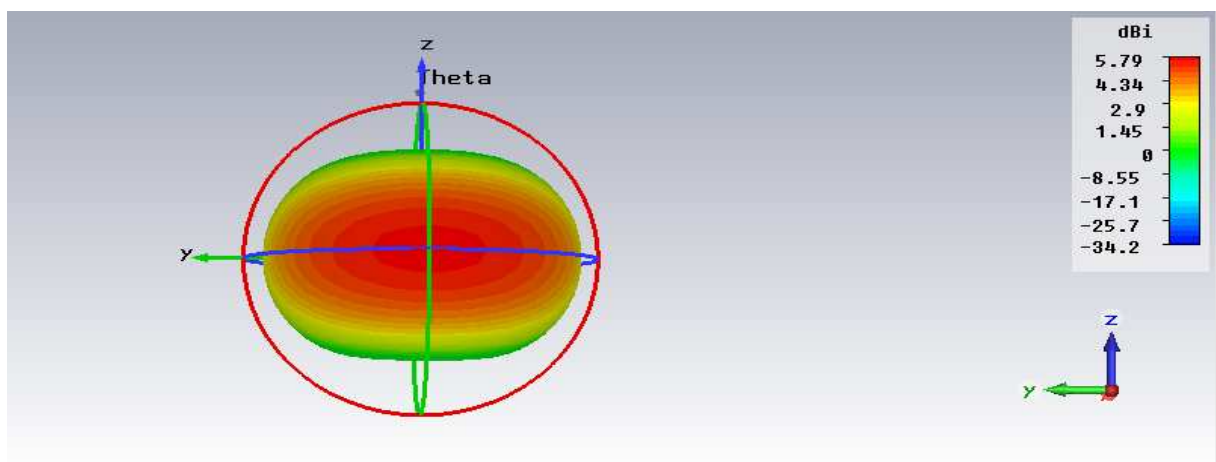
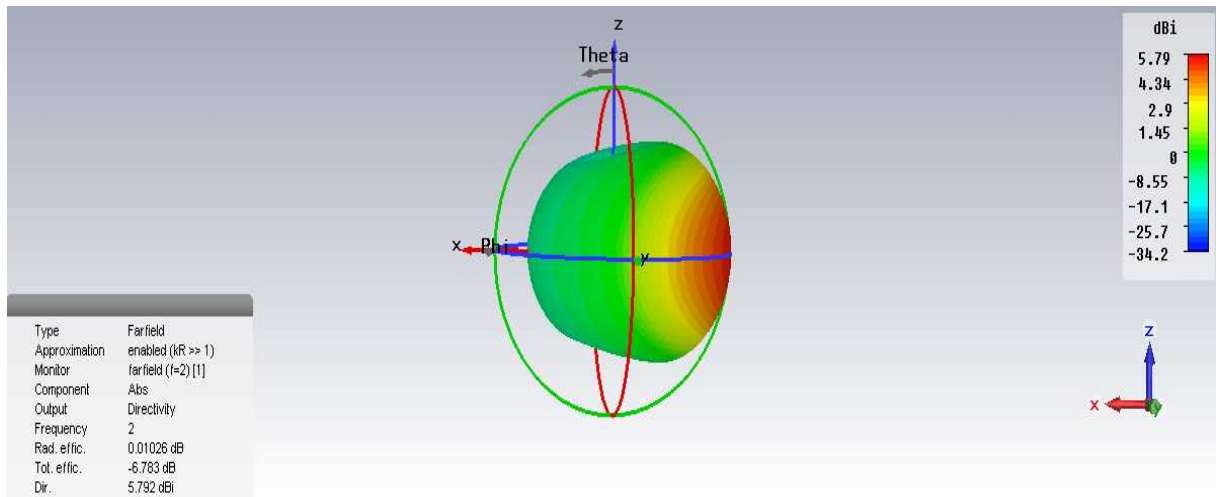


Diagramme de rayonnement 3D

DREF=0.3*lambda

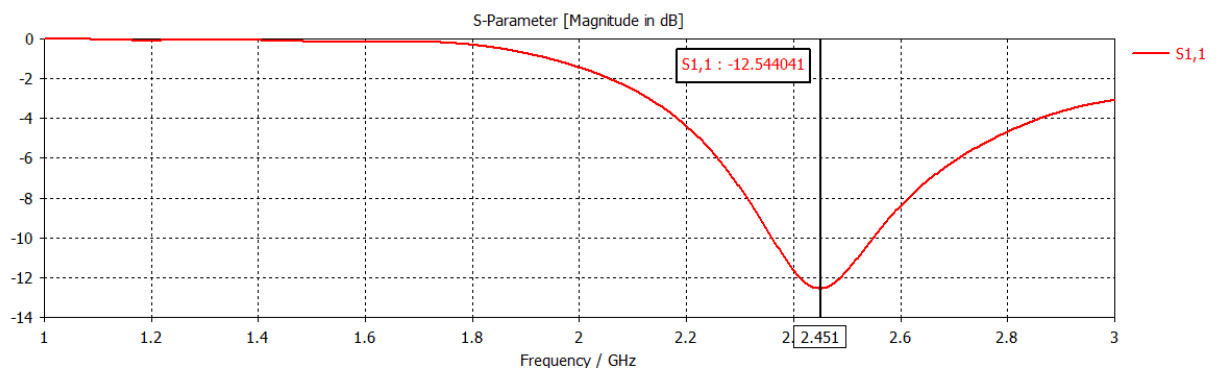
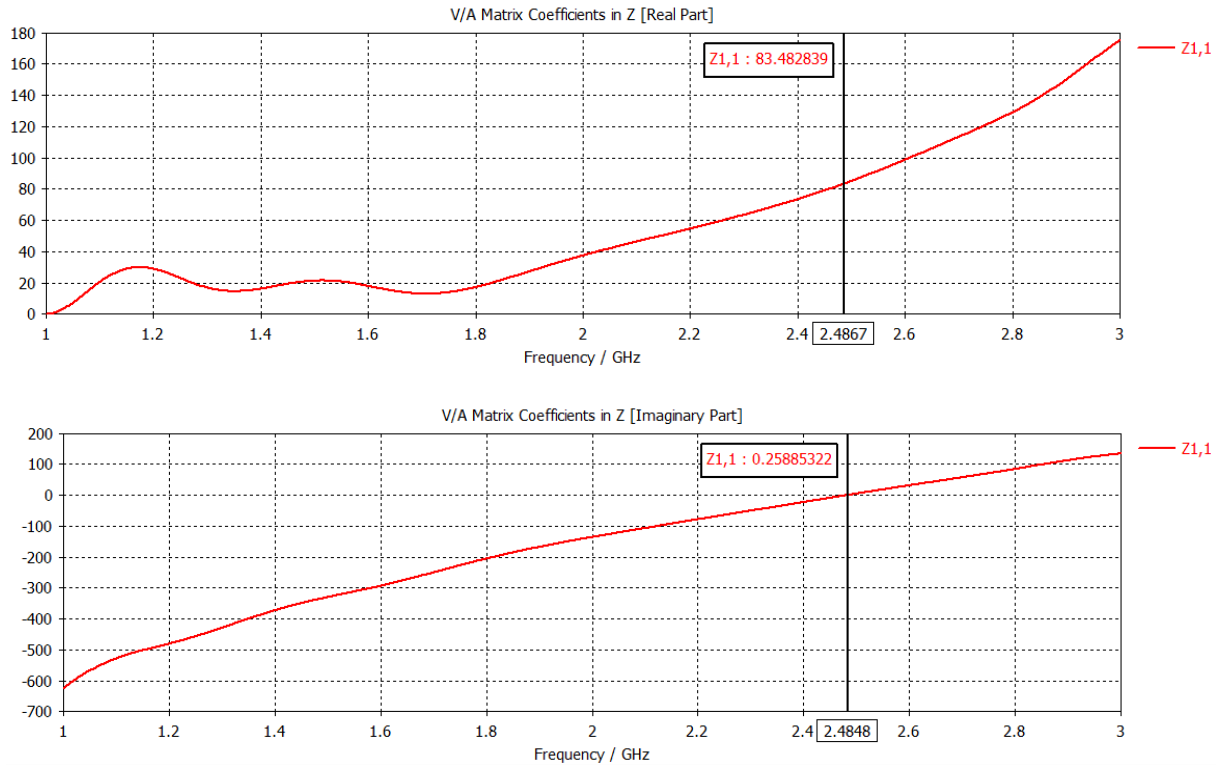
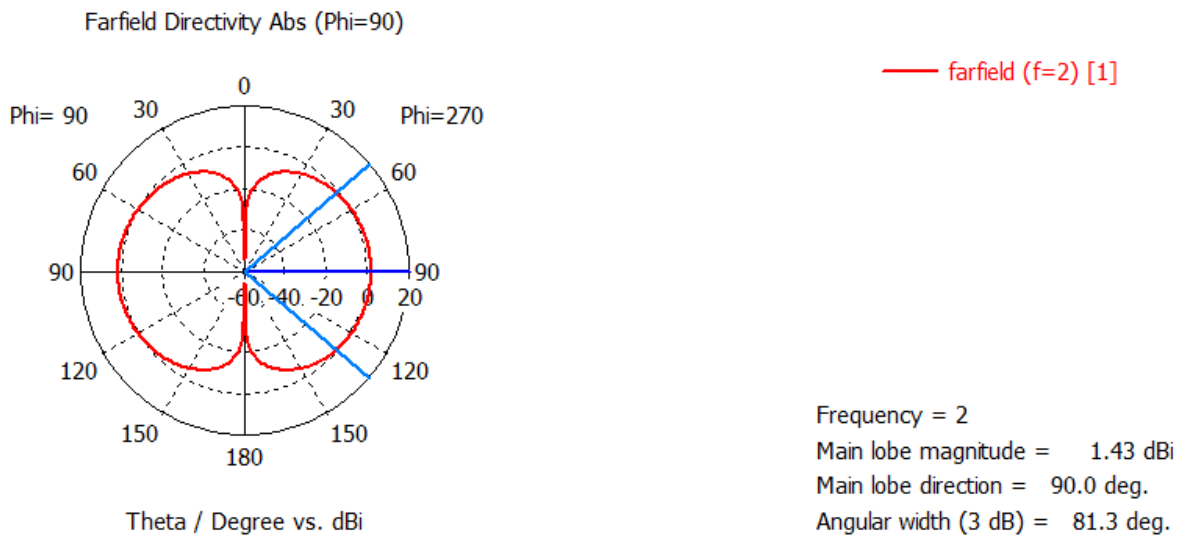


Figure : Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z11



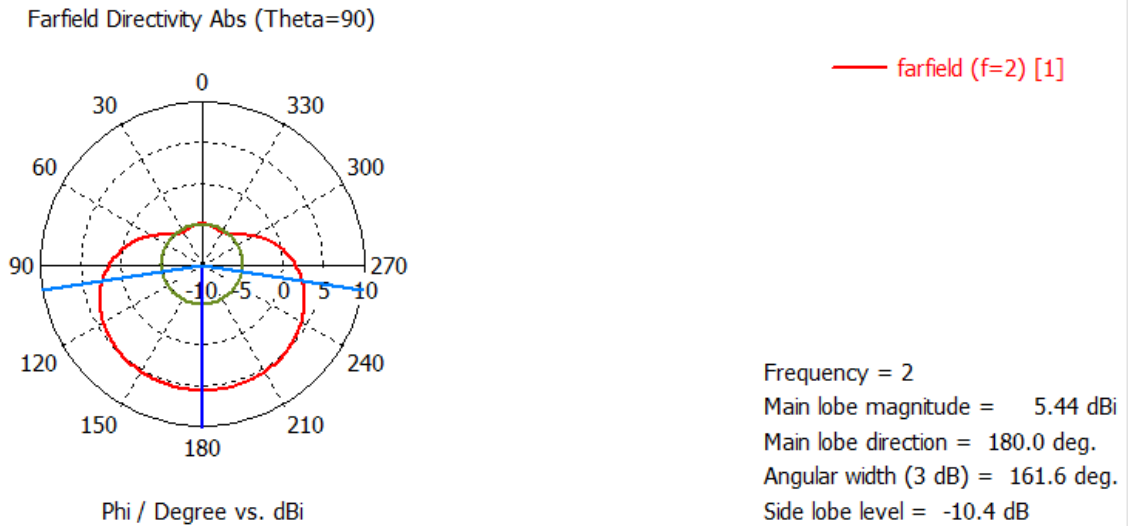


Diagramme de rayonnement 2D

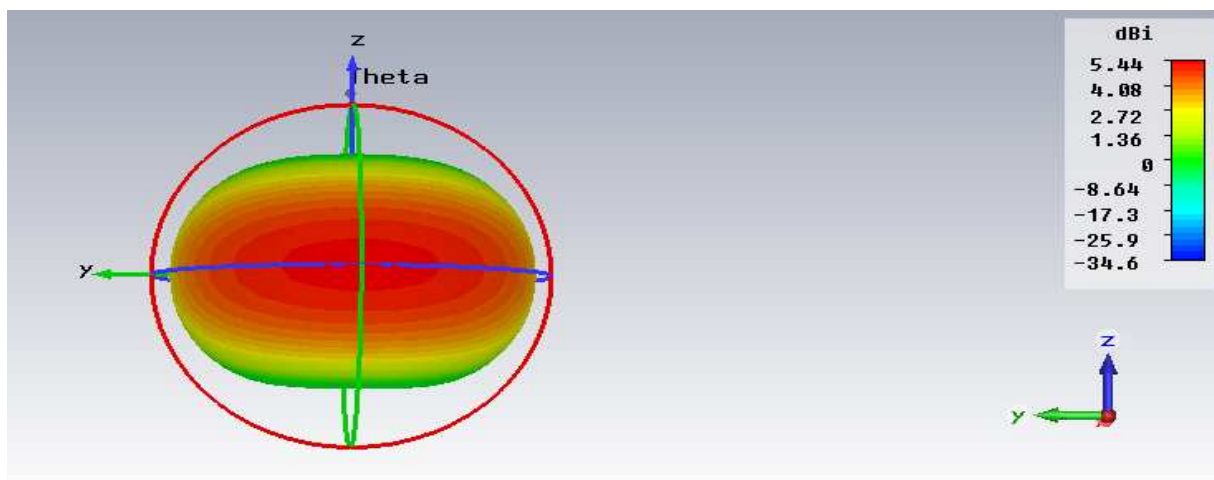
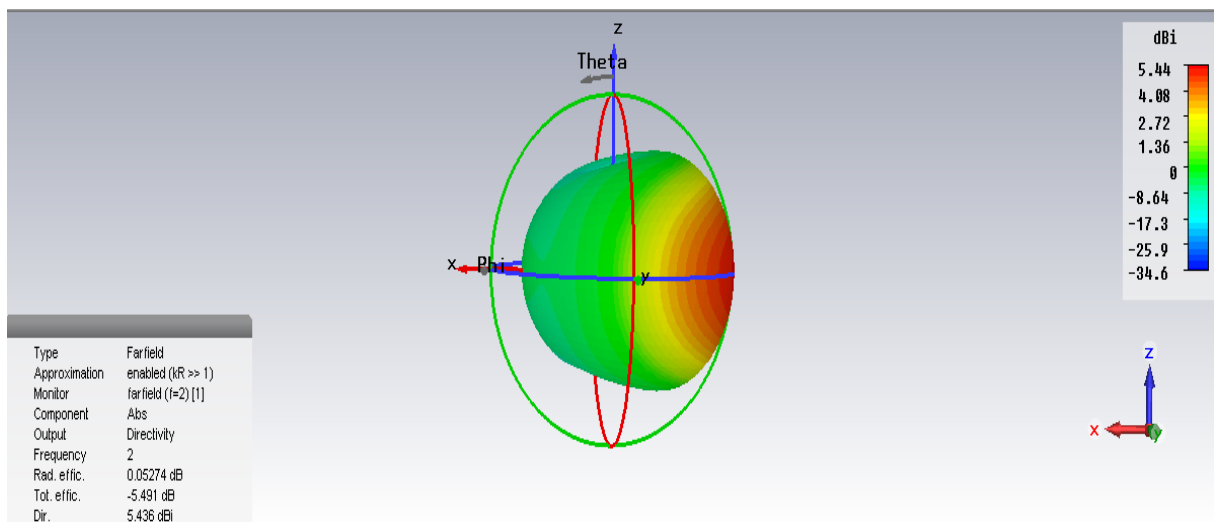
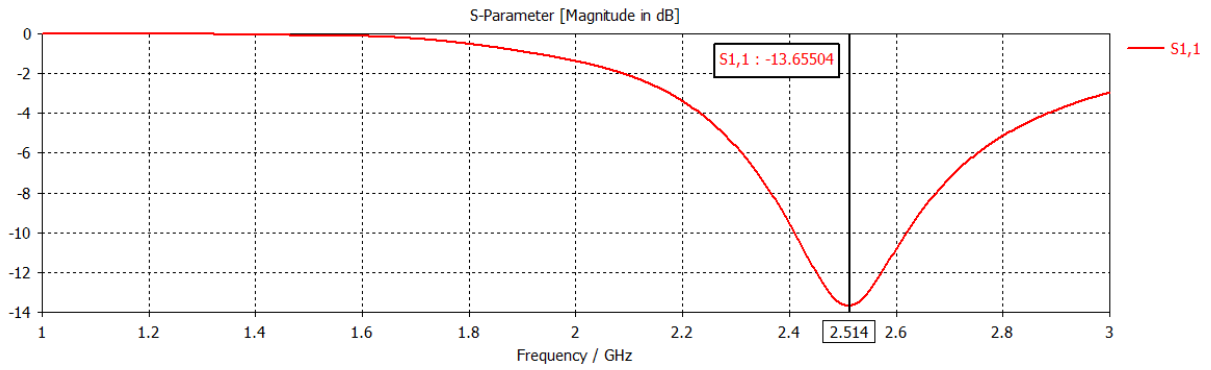
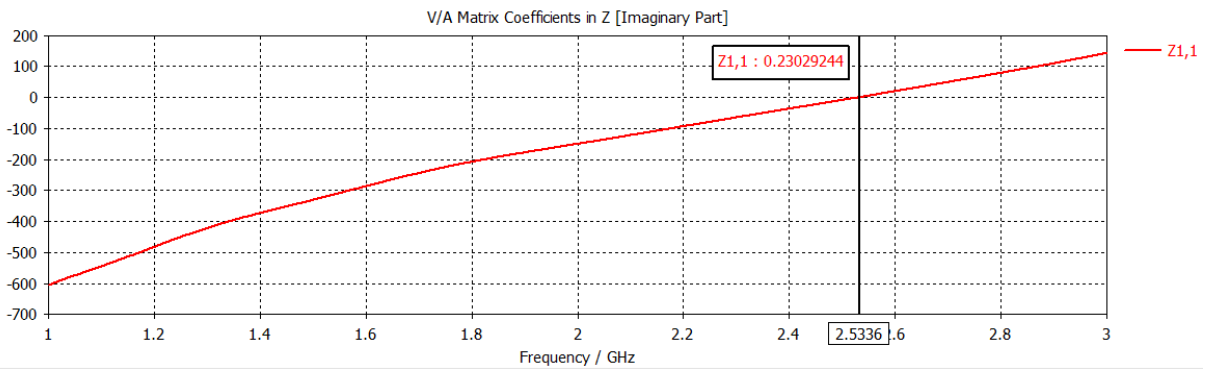
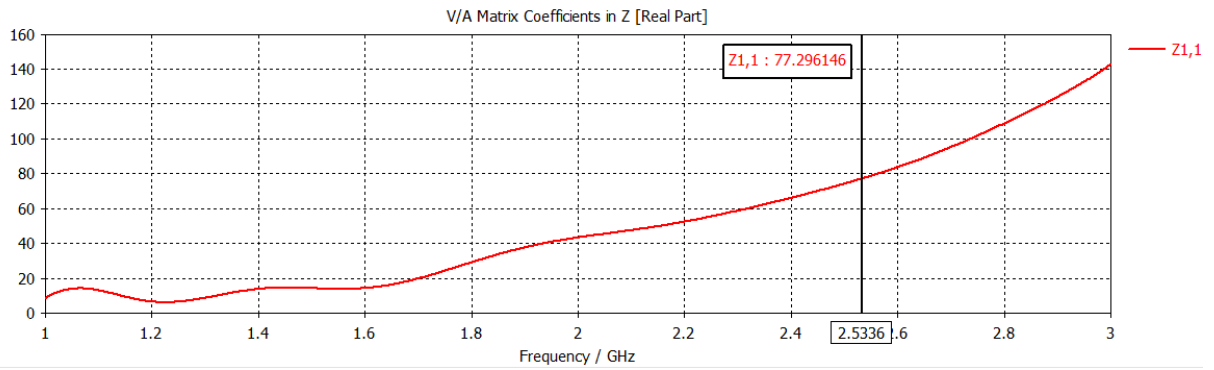


Diagramme de rayonnement 3D

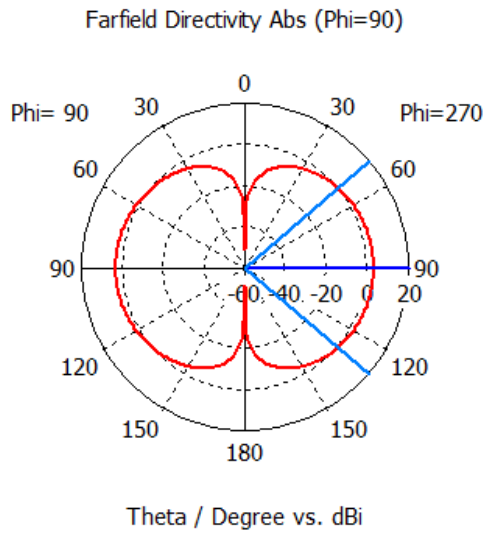
DREF=0.5*lambda



Coefficient de reflexion S11

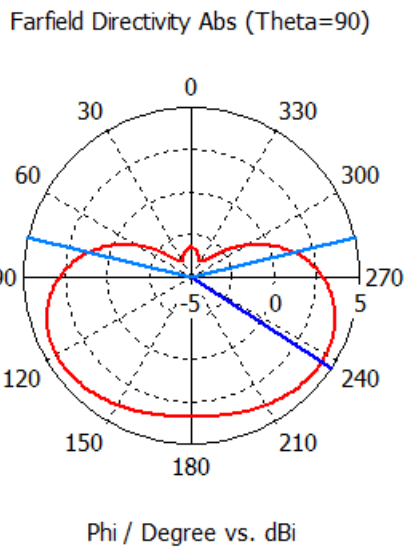


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

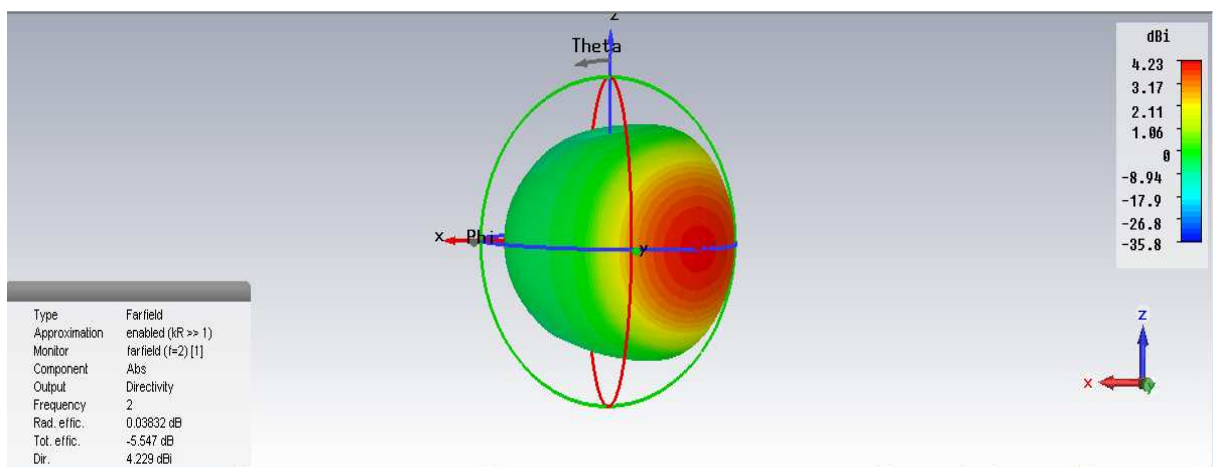
Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.79 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 80.6 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 4.23 dBi
 Main lobe direction = 237.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 206.5 deg.

Diagramme de rayonnement 2D



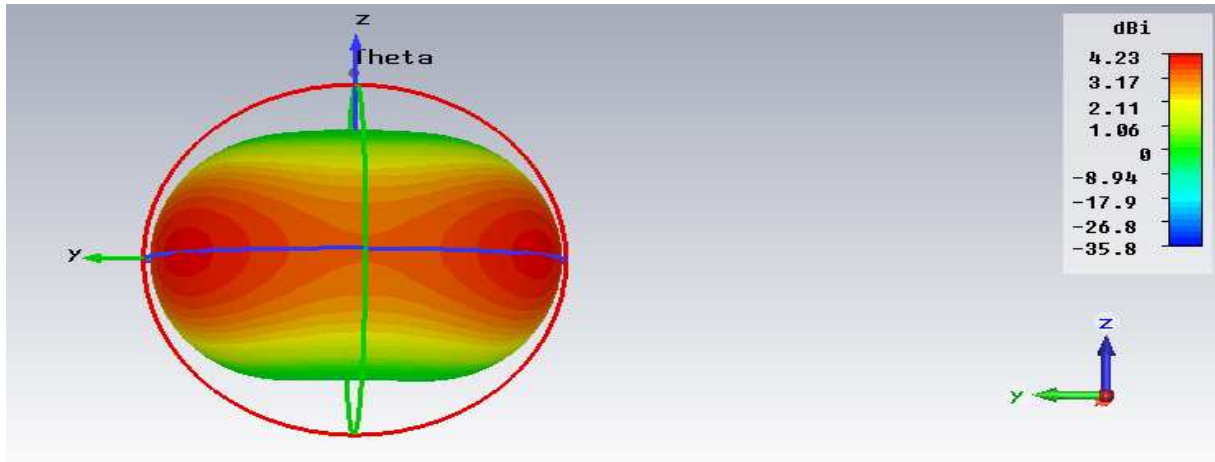
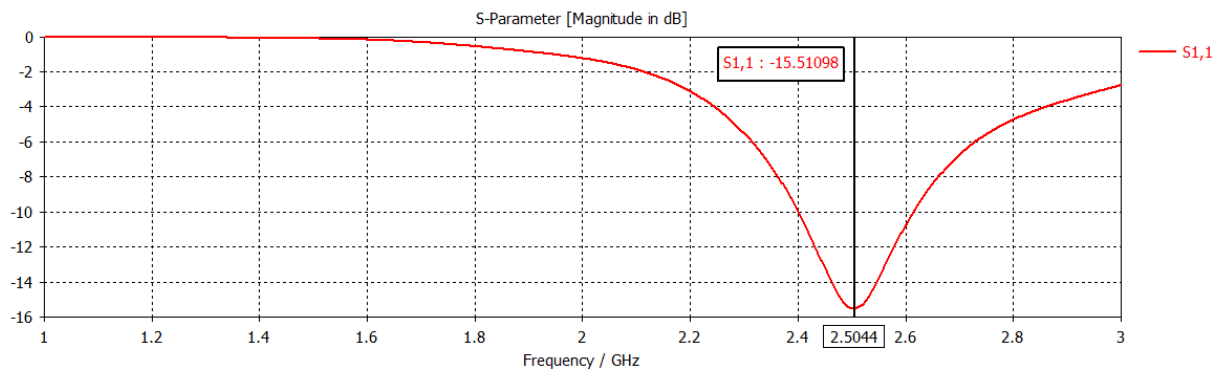
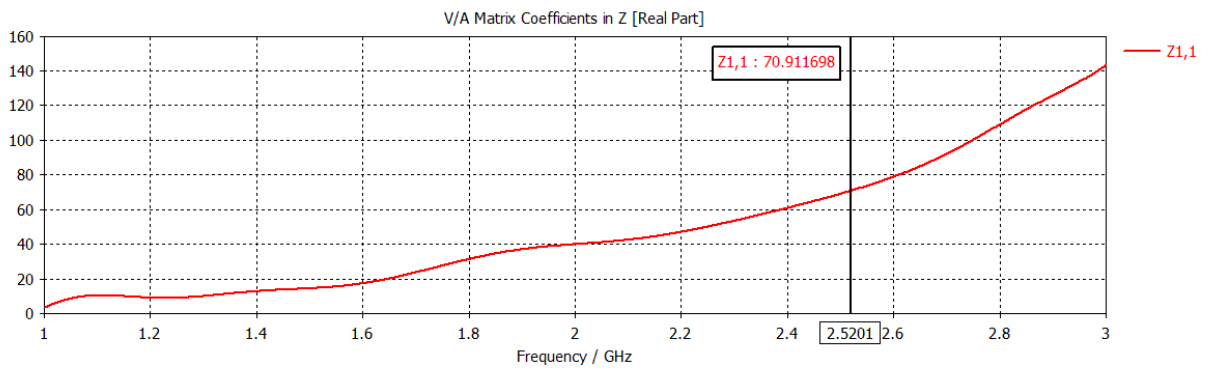


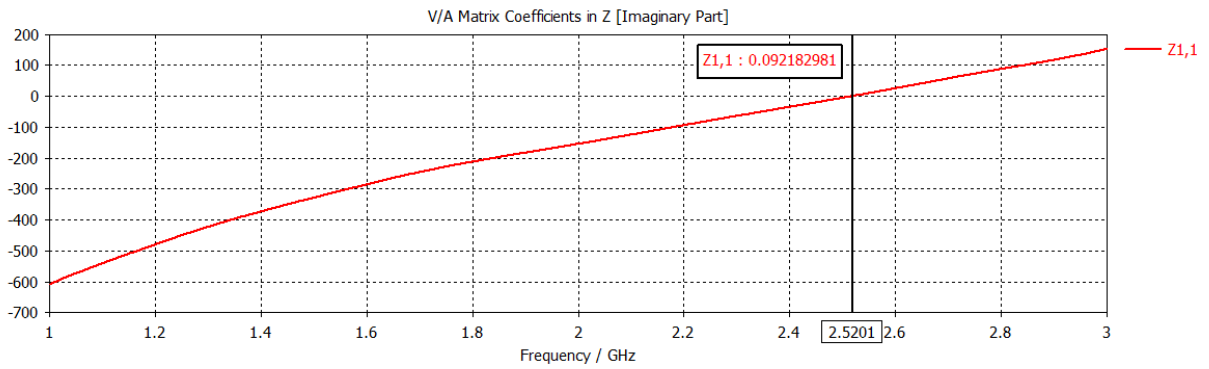
Diagramme de rayonnement 3D

DREF=0.6*lambda

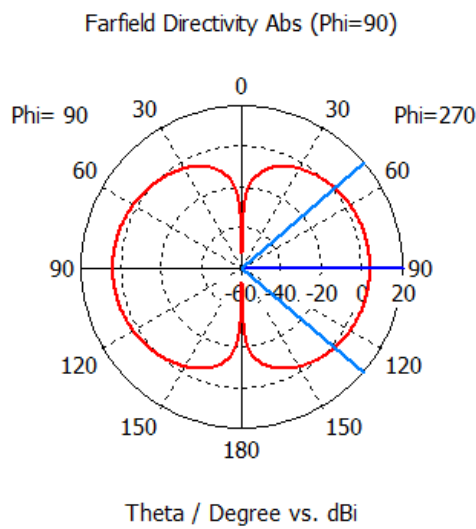


Coefficient de reflexion S11



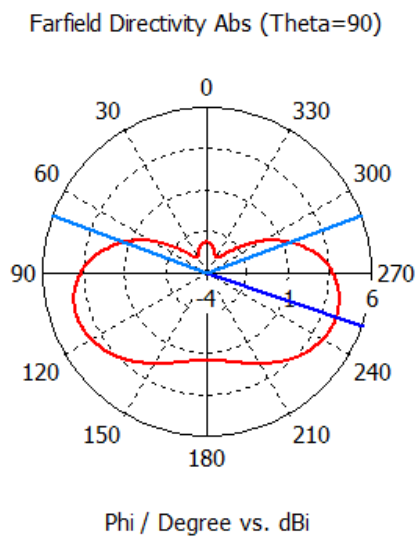


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 3.62 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 80.6 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 4.29 dBi
 Main lobe direction = 251.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 220.7 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

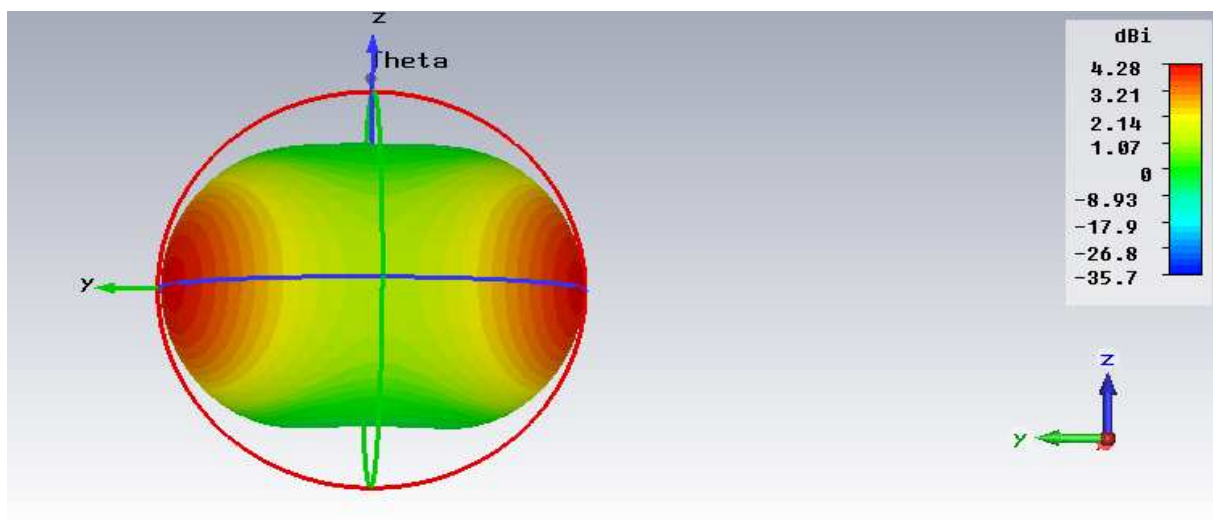
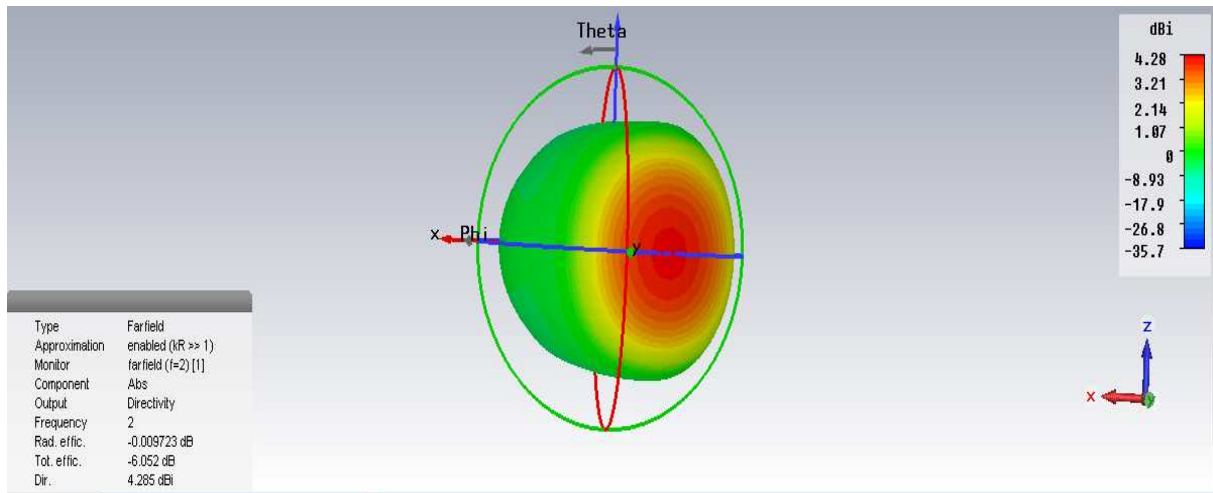
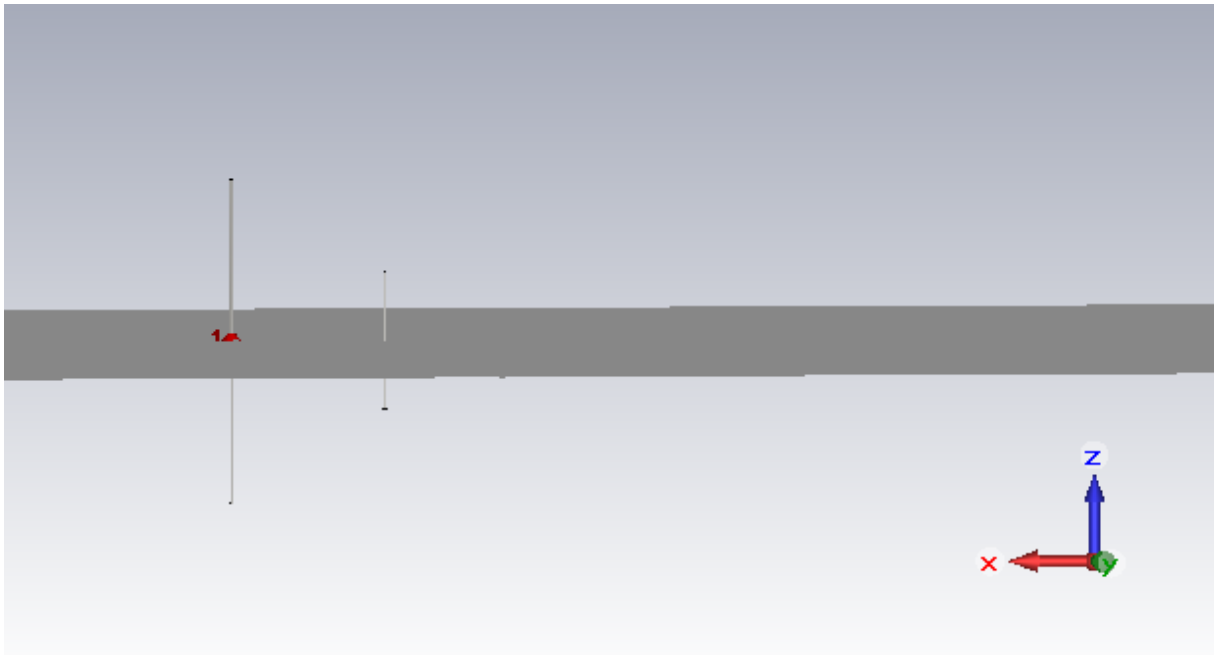


Diagramme de rayonnement 3D

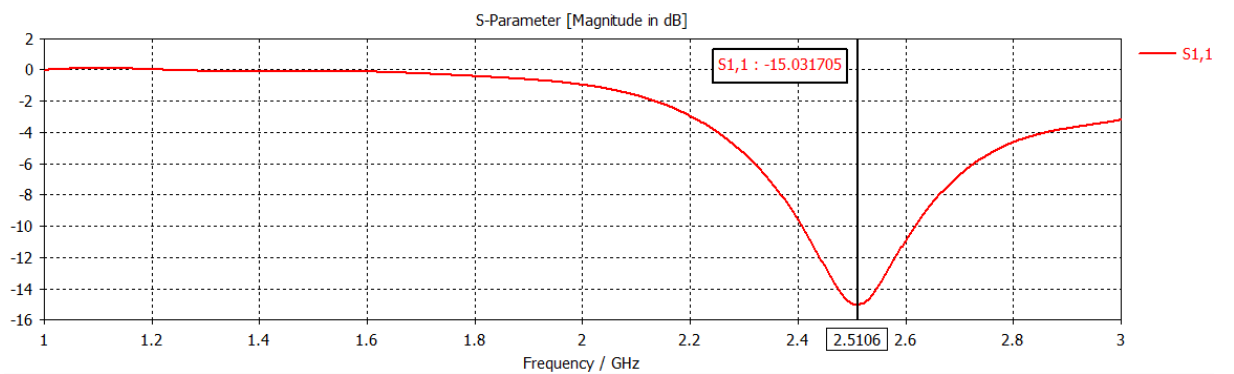
III-5 Etude du directeur

III-5.1 Effet de la longueur du directeur

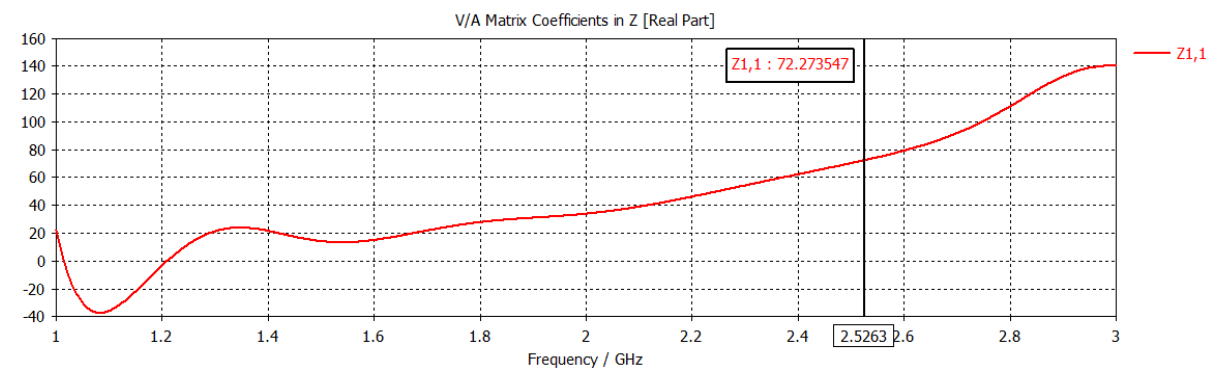
Pour une longueur $L_{dir1} = 0.1 * \lambda$ à une distance $D1 = 0.25 * \lambda$

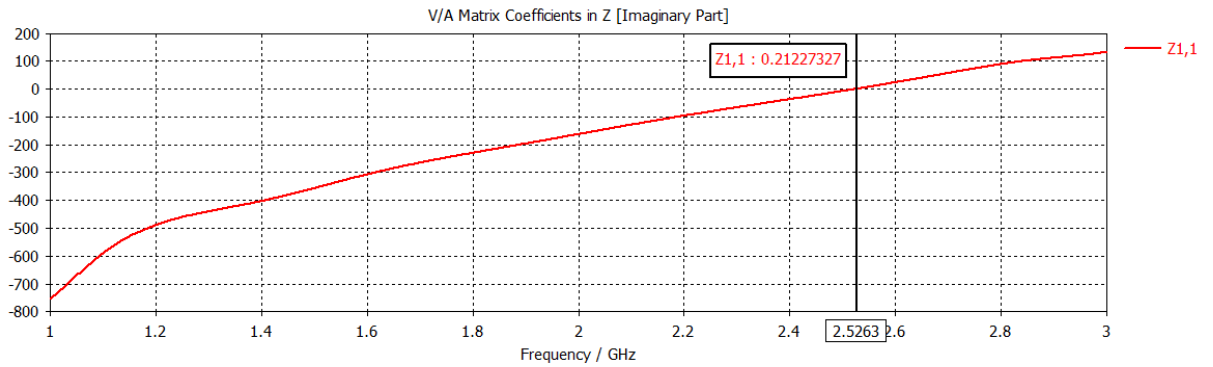


Résultats de simulation

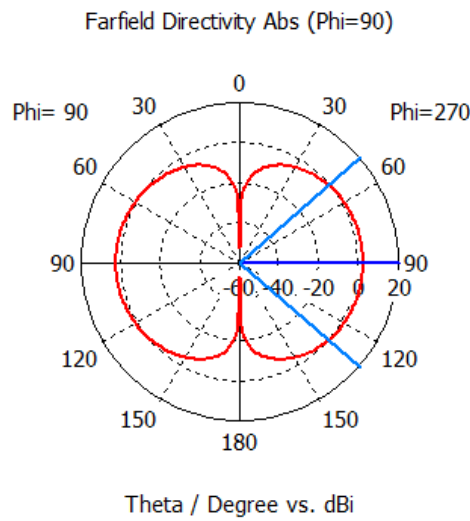


Coefficient de reflexion S11



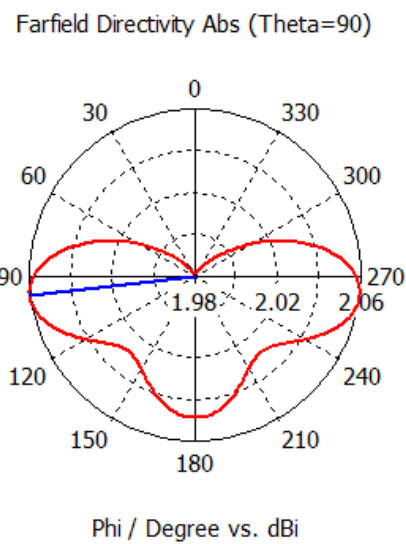


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.06 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.0 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.06 dBi
 Main lobe direction = 97.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

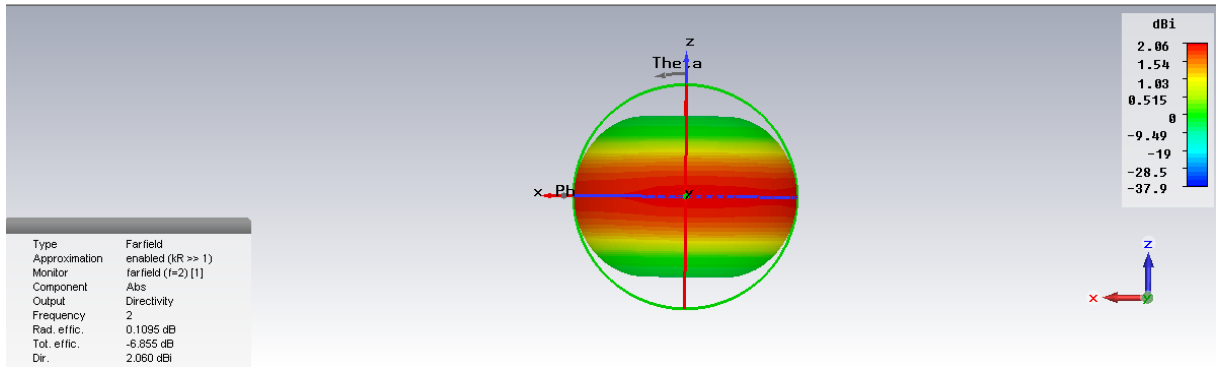
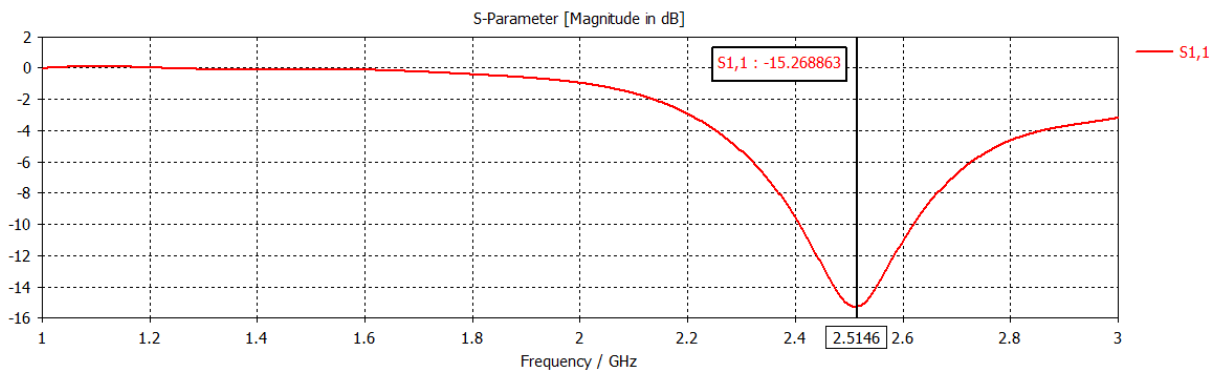
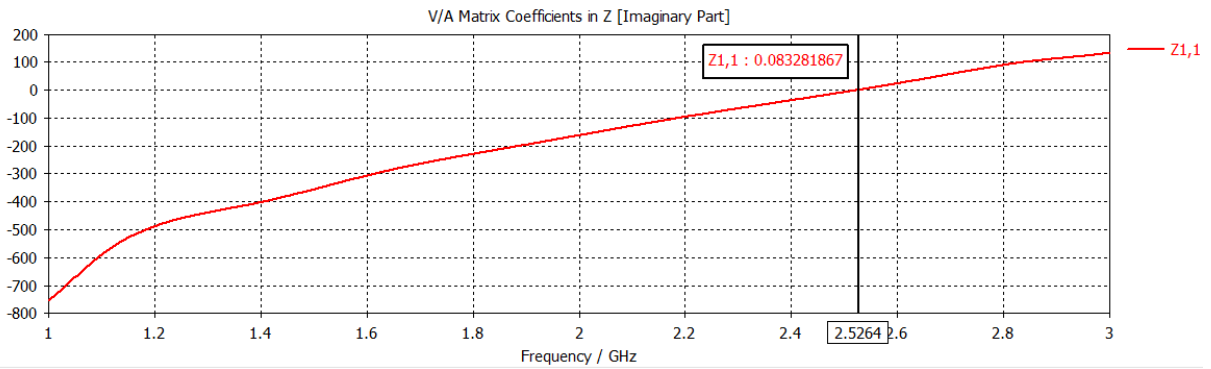
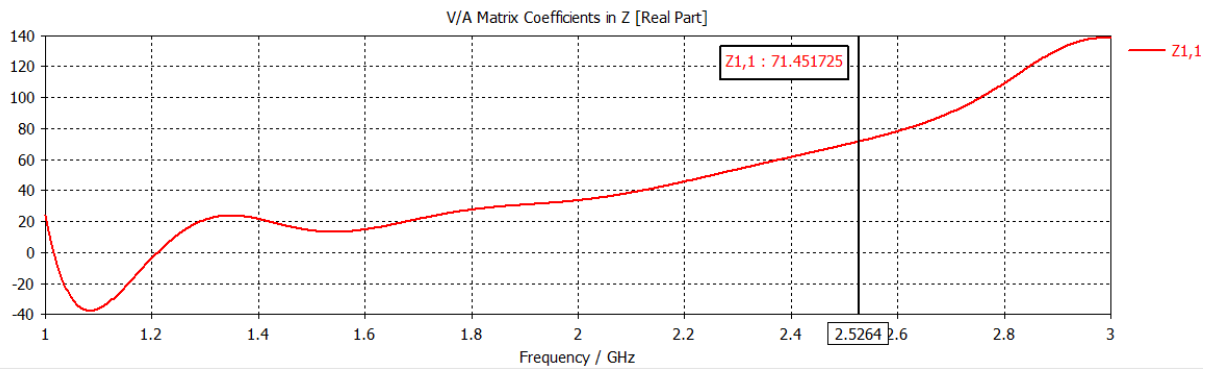


Figure : Diagramme de rayonnement 3D

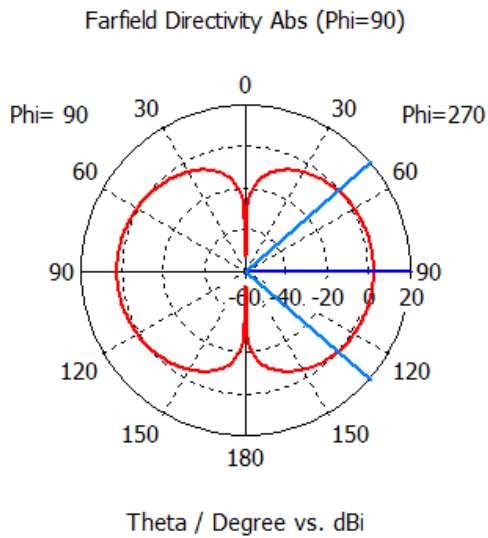
$L_{dir1} = 0.2 * \lambda$



Coefficient de reflexion S11

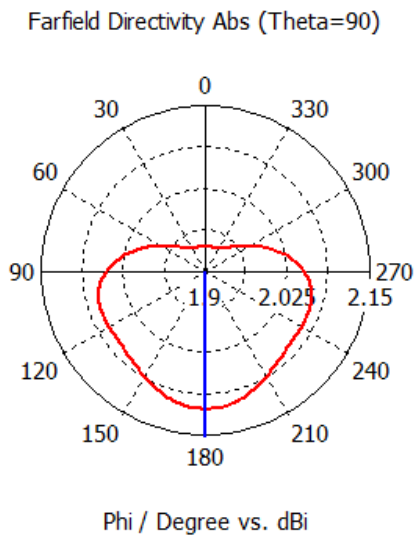


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.05 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.0 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.11 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.

: Diagramme de rayonnement 2D

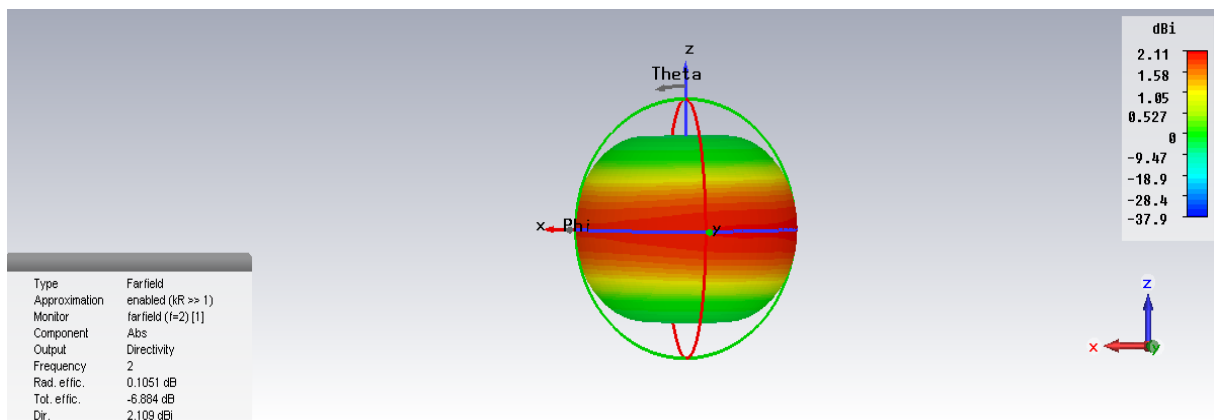
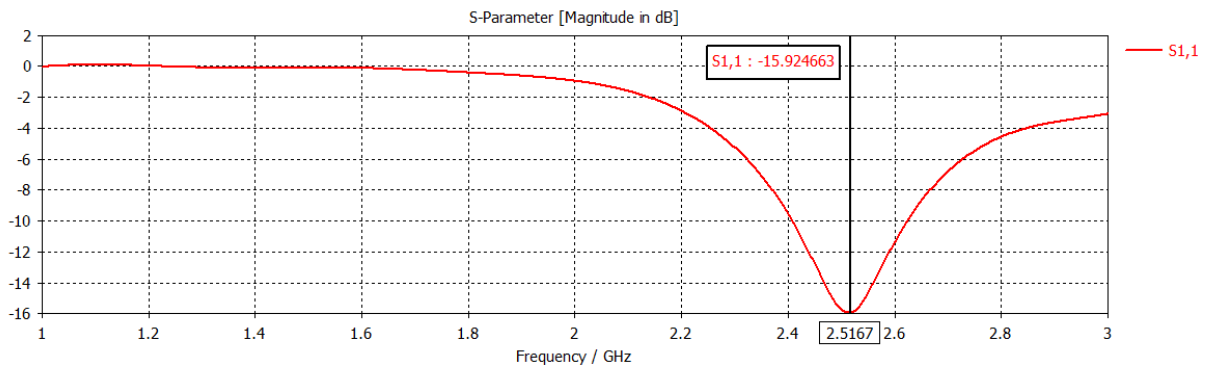
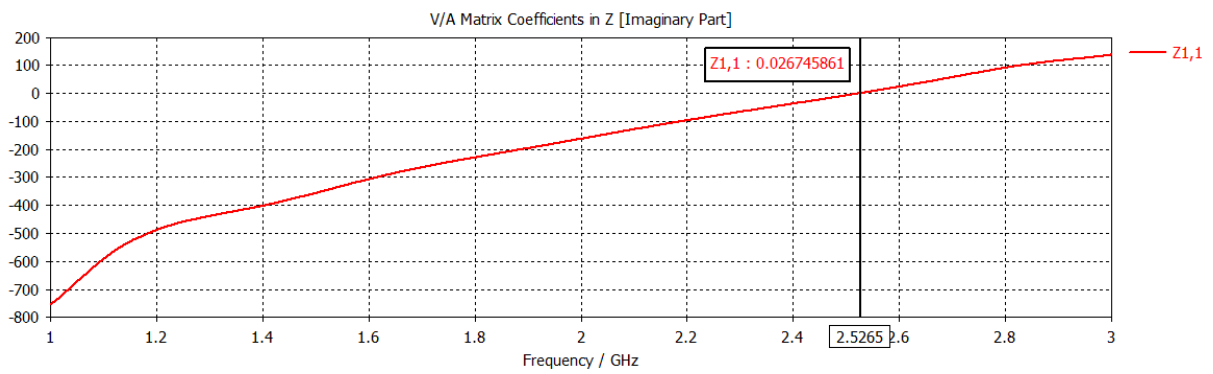
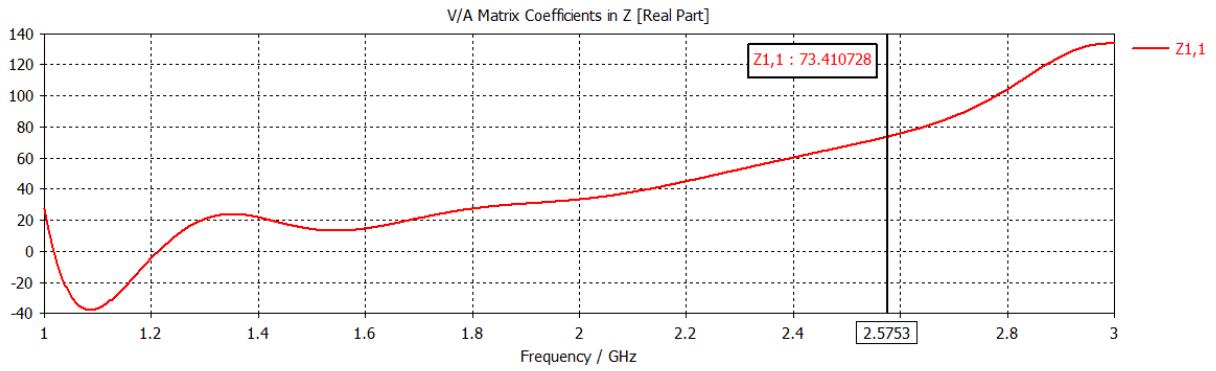


Diagramme de rayonnement 3D

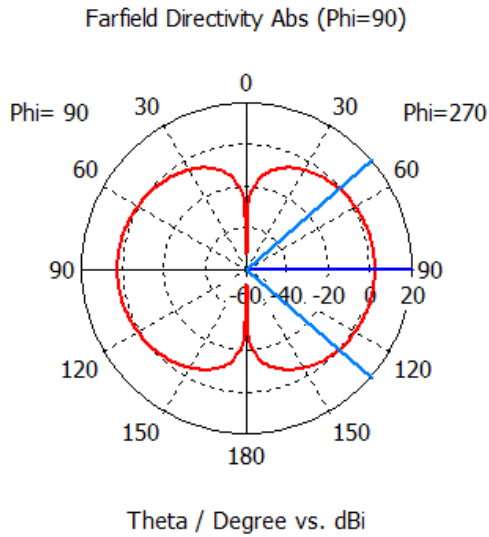
$L_{dir1} = 0.3 * \lambda$



Coefficient de reflexion S11

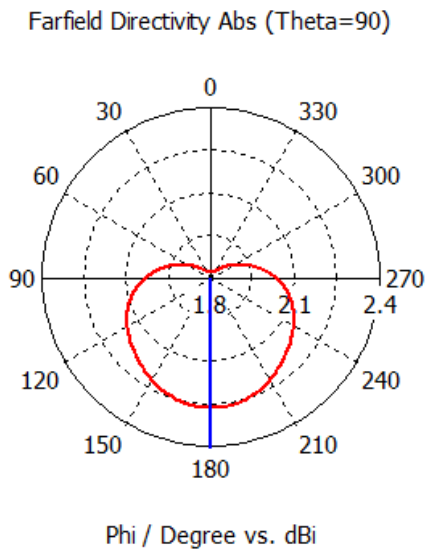


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

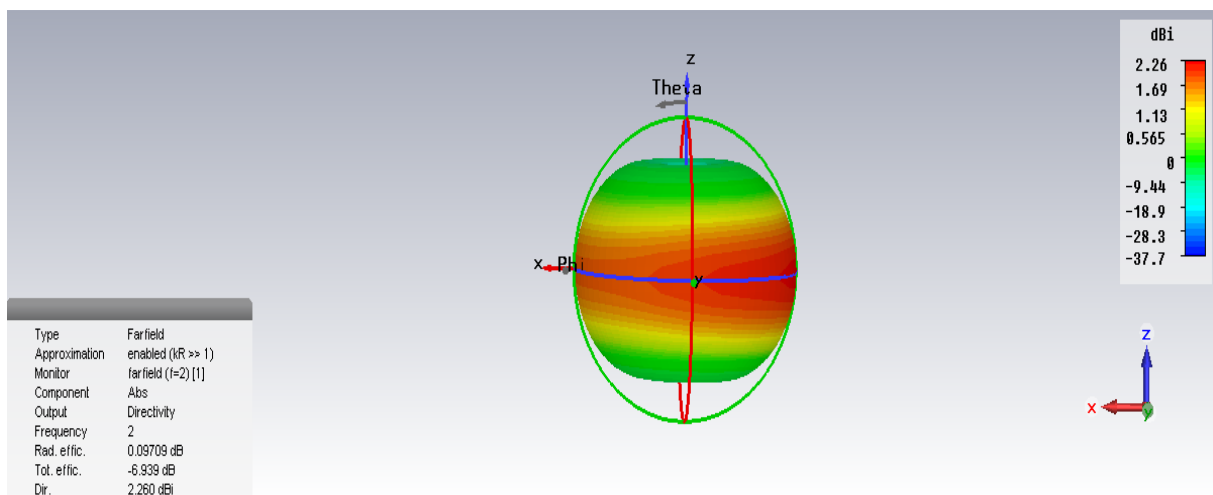
Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.03 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.1 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.26 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D



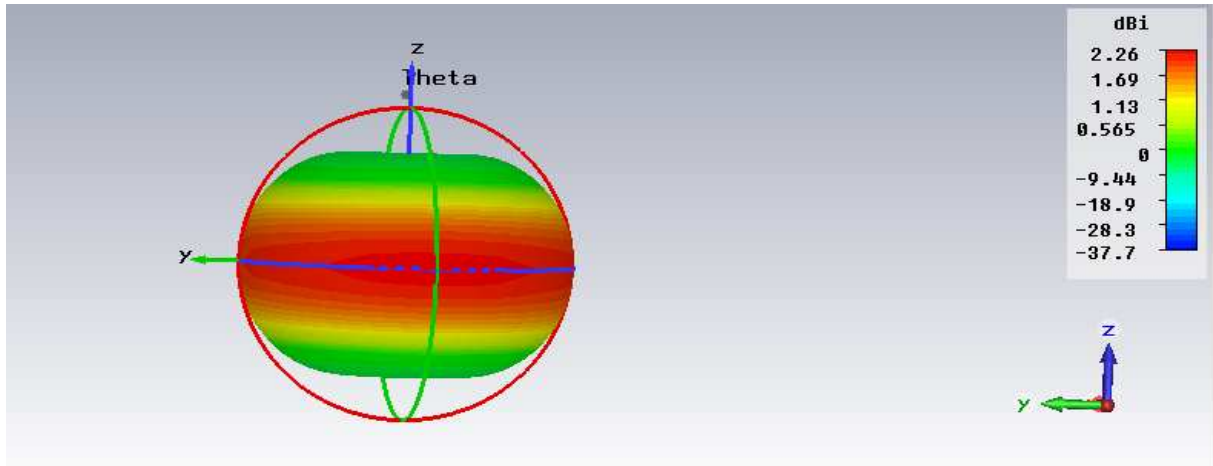
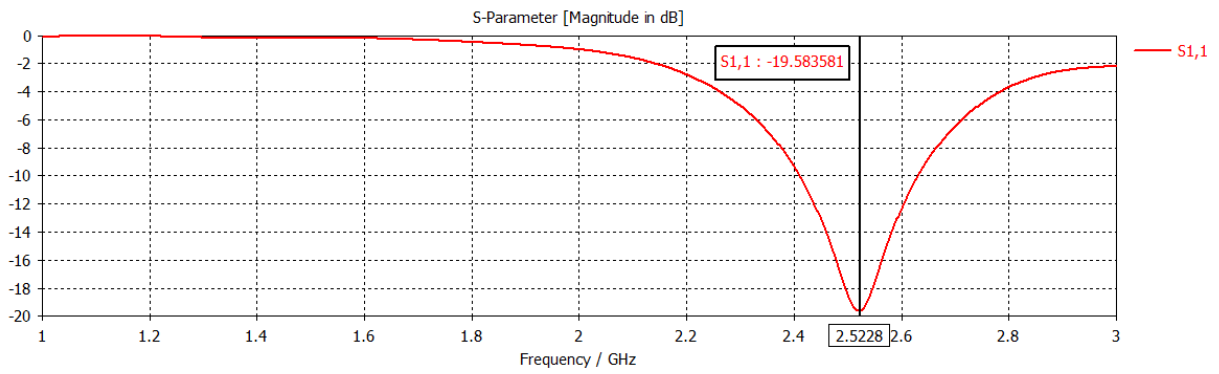
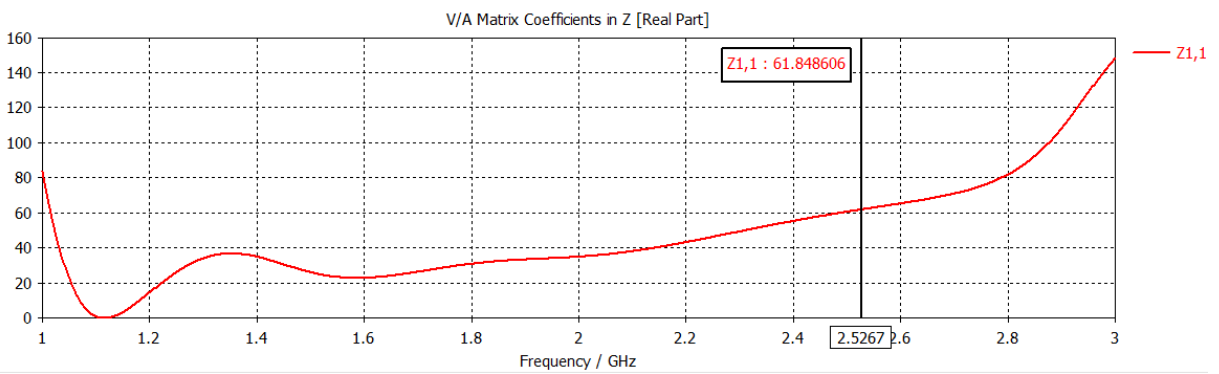


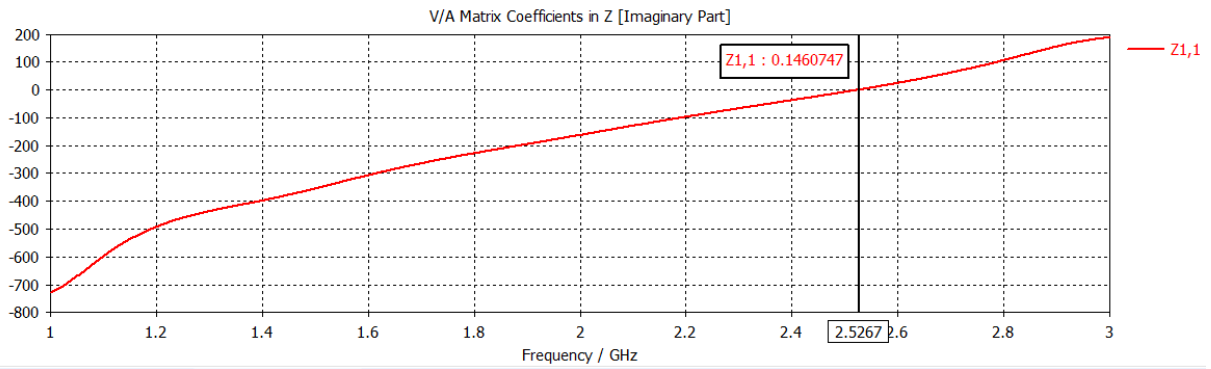
Diagramme de rayonnement 3D

$L_{dir1} = 0.4 * \lambda$

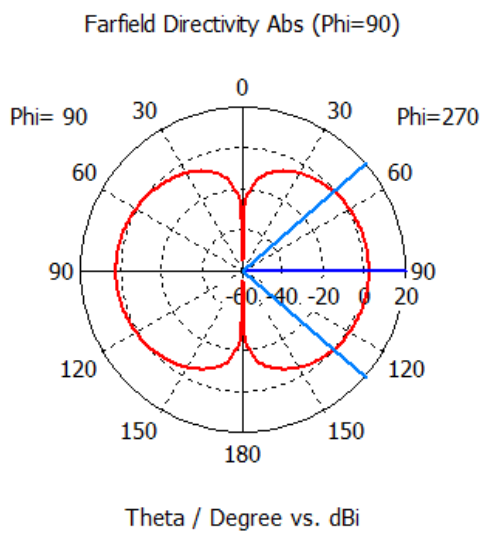


Coefficient de reflexion S11



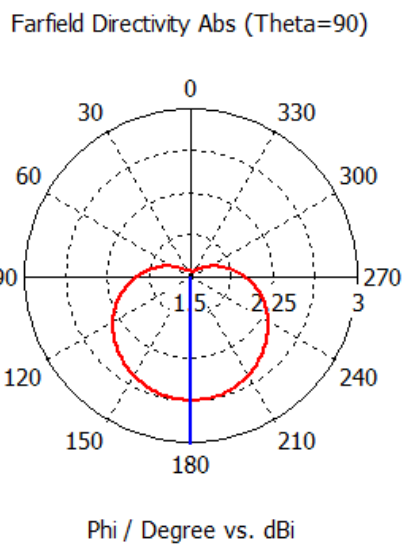


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 1.98 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.1 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.61 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

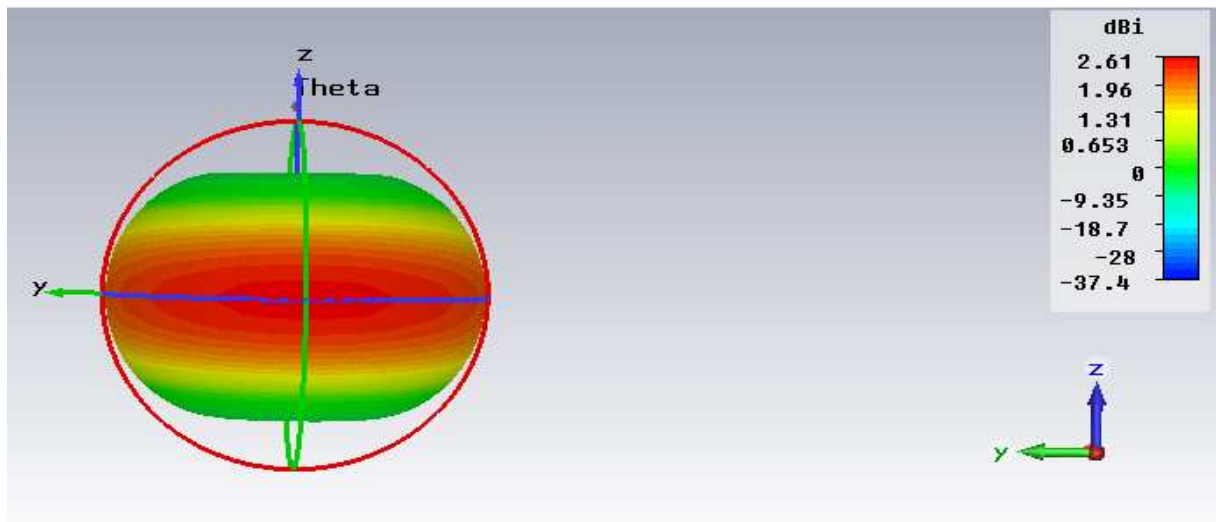
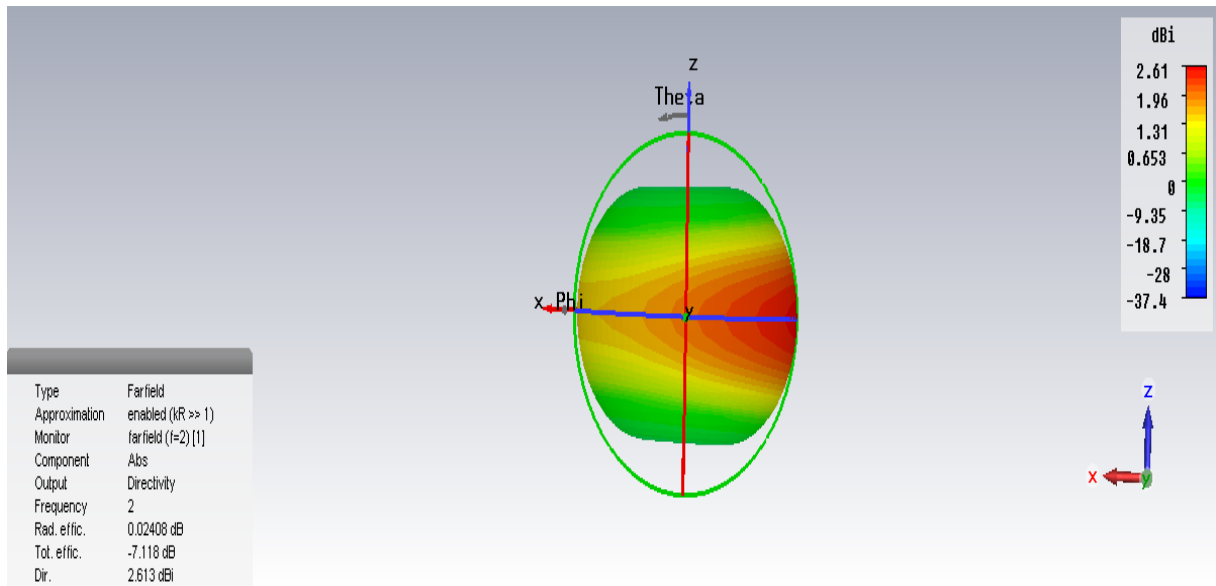
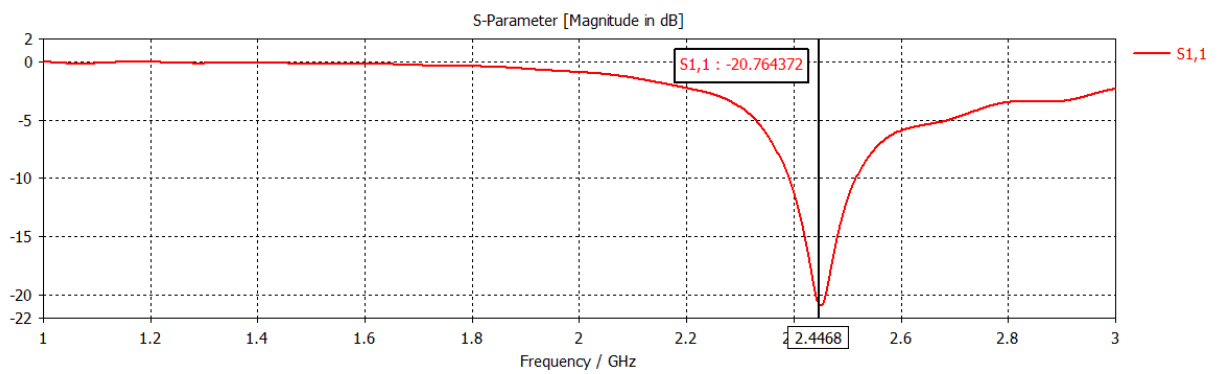
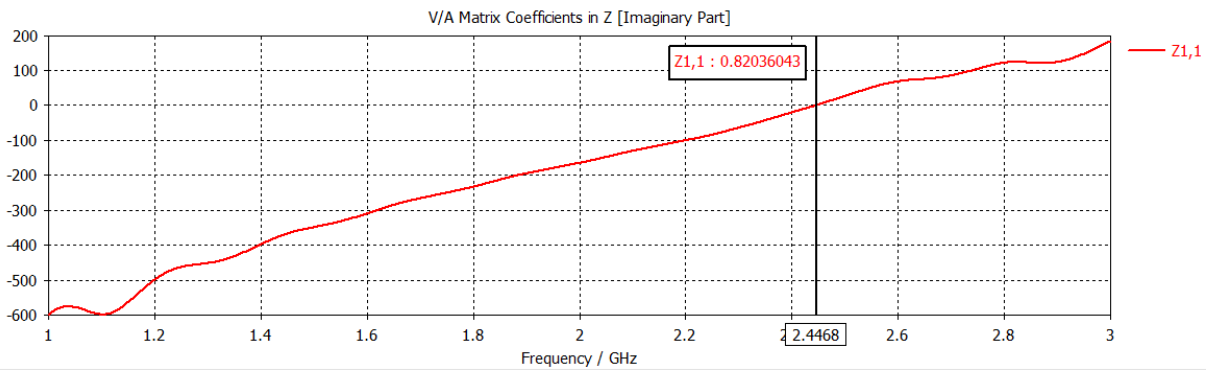
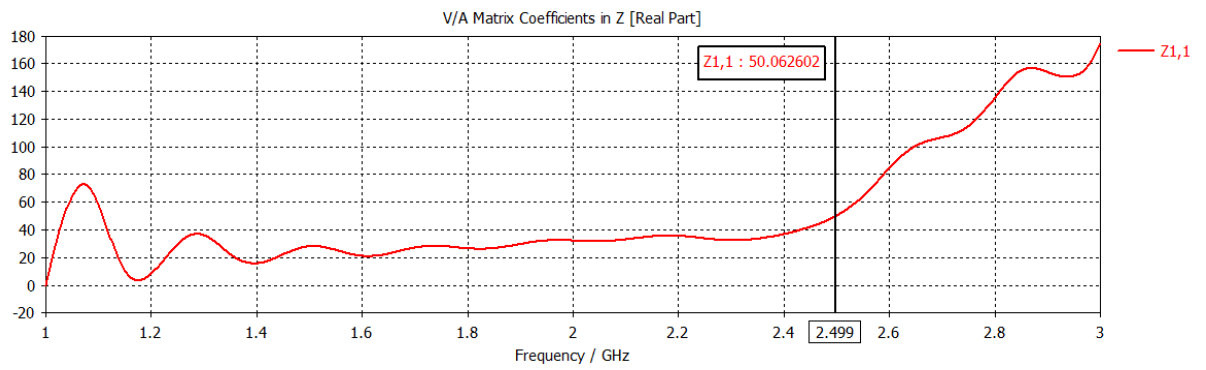


Diagramme de rayonnement 3D

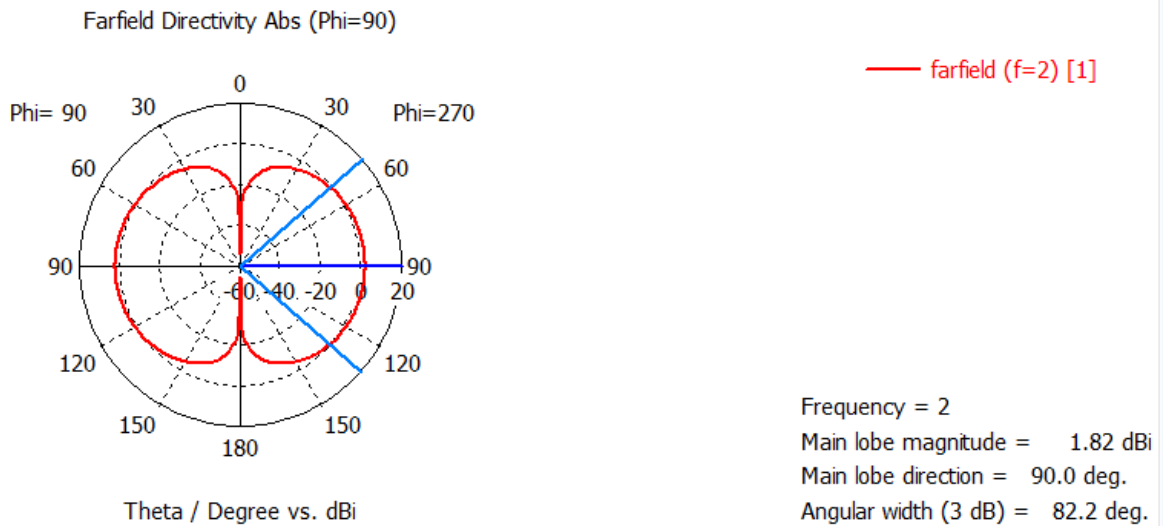
$L_{dir1} = 0.5 * \lambda$



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z_{11}



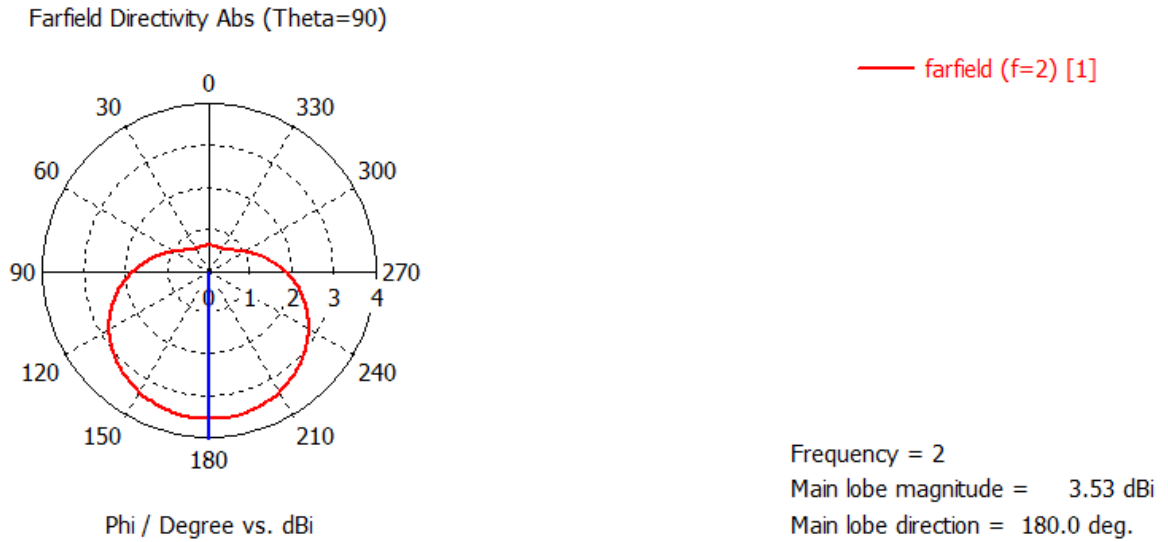


Diagramme de rayonnement 2D

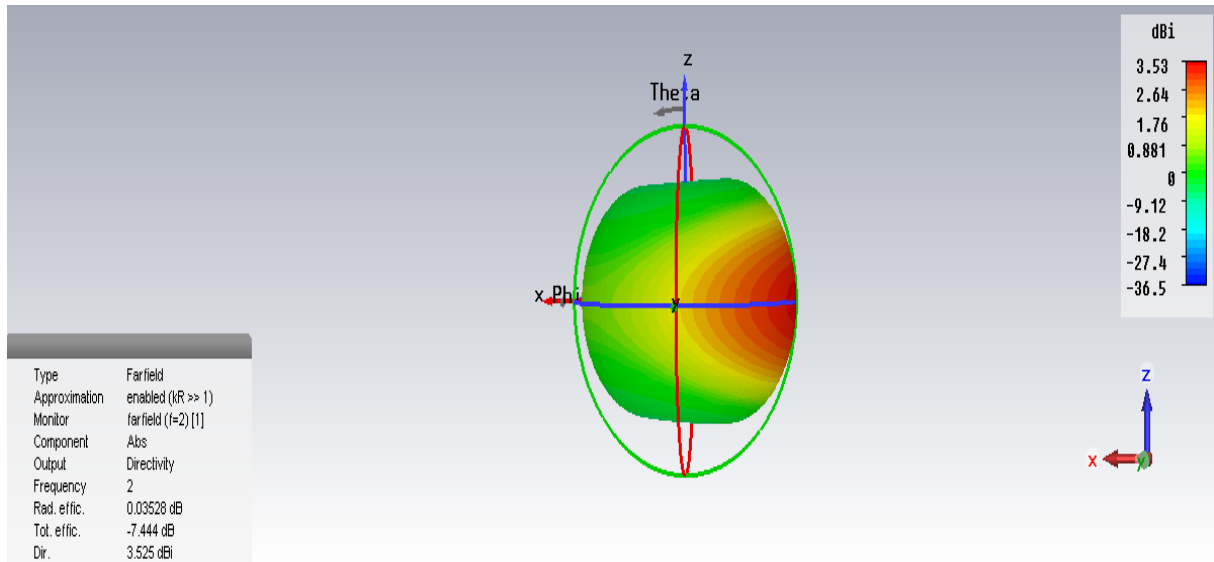
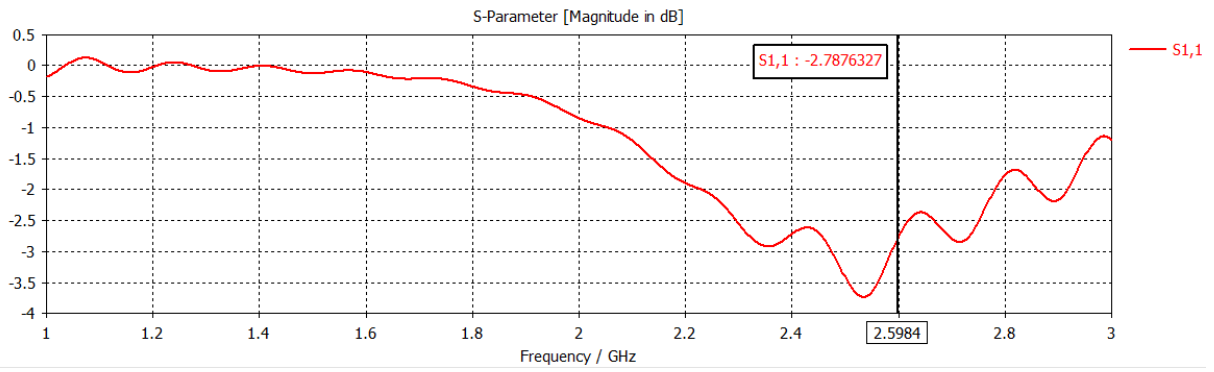


Diagramme de rayonnement 3D

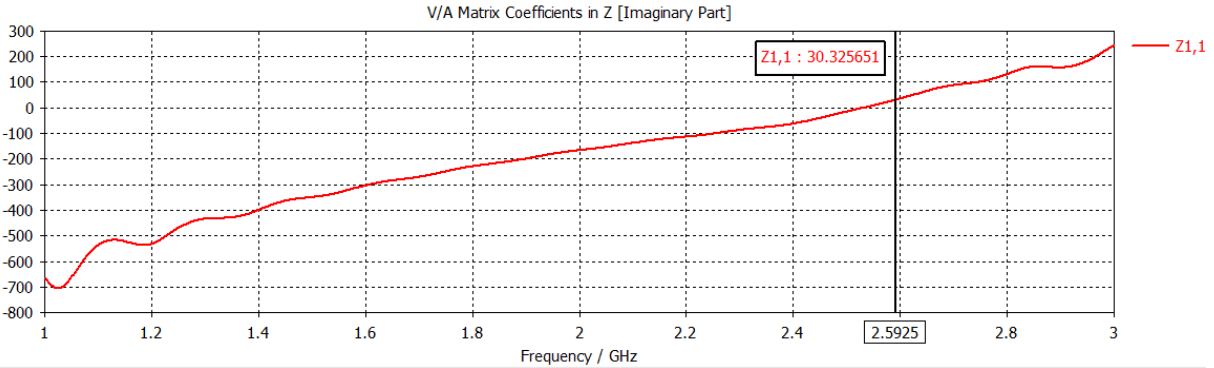
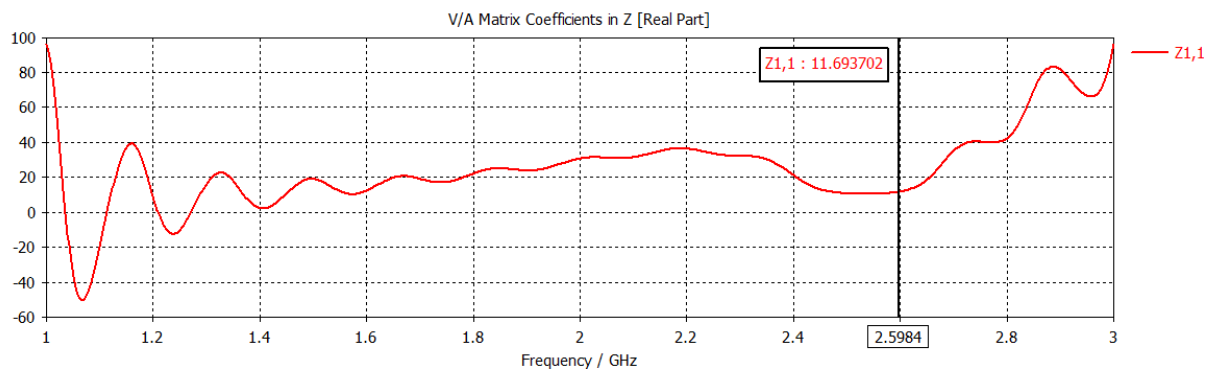
Conclusion : La longueur optimale du directeur est $L_{dir1} = 0.5 * \lambda$

III-5.2 Effet de l'espacement entre le radiateur et le brin directeur

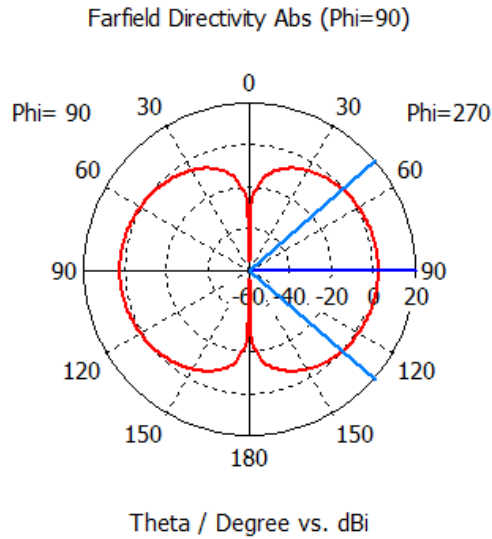
$D1 = 0.1 * \lambda$



Coefficient de reflexion S11



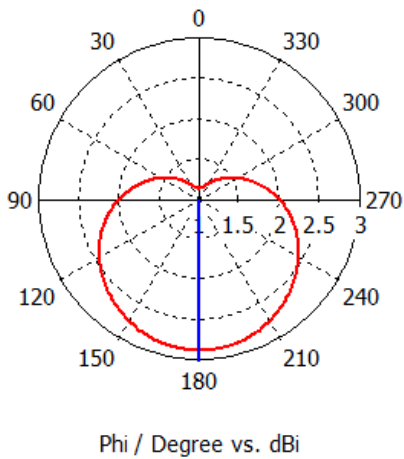
Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.2 deg.

Farfield Directivity Abs (Theta=90)



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 2.87 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

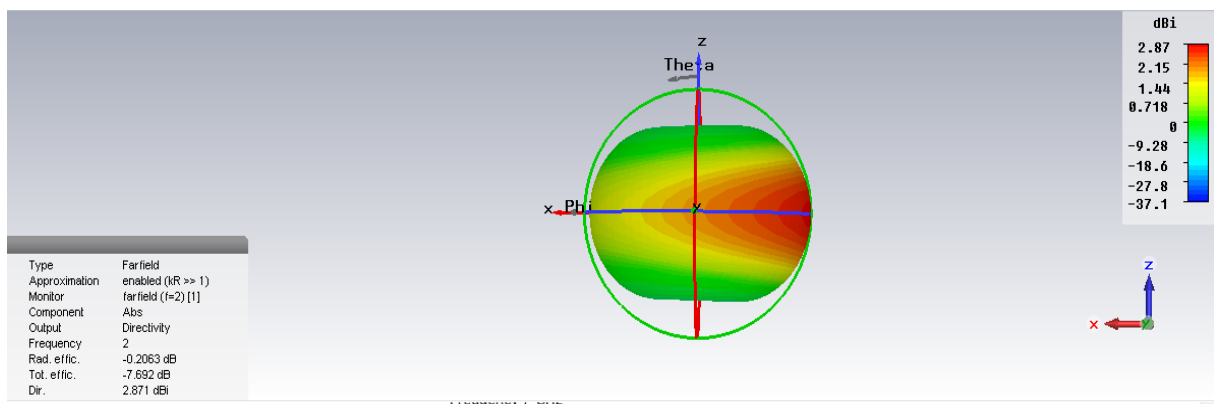
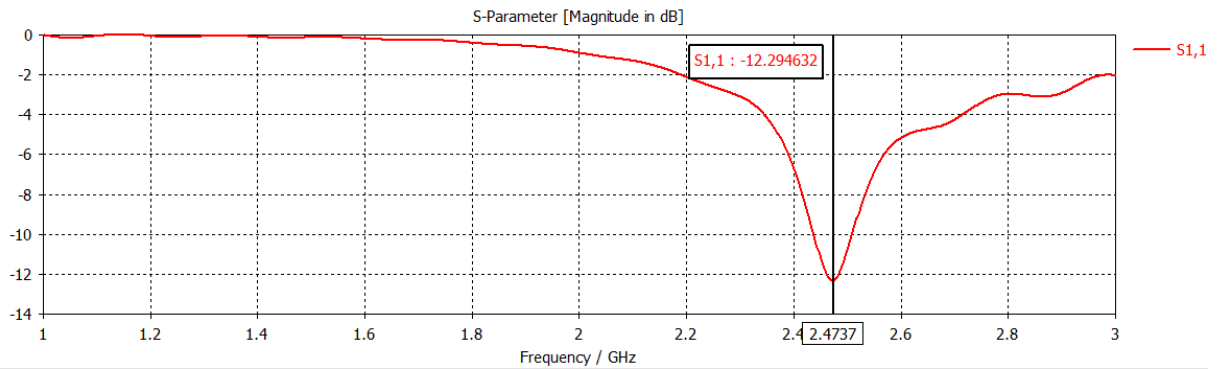
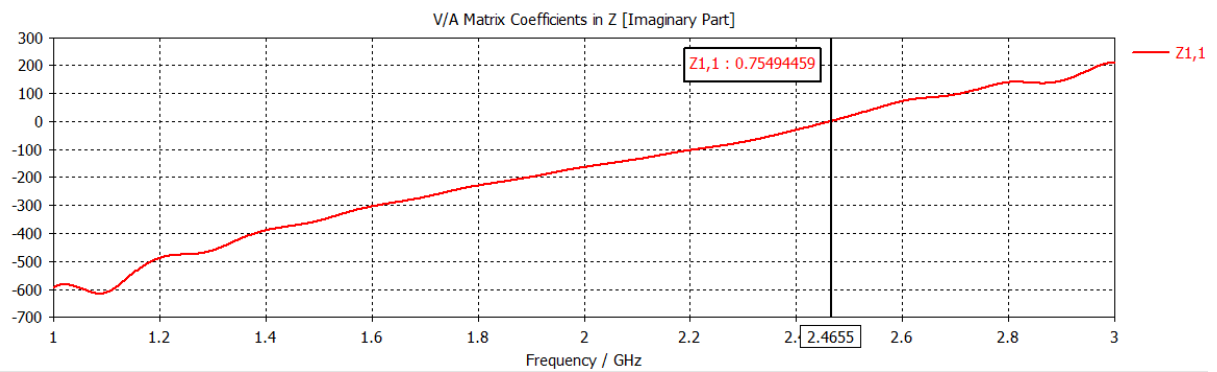
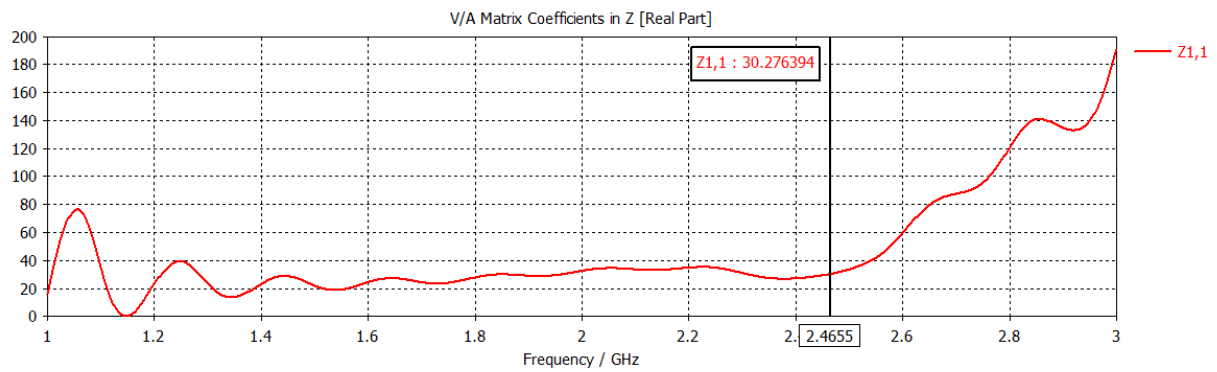


Diagramme de rayonnement 3D

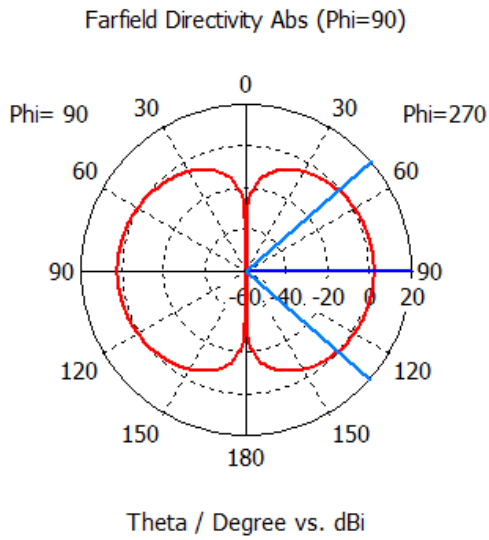
$D1=0.2*\lambda$



Coefficient de reflexion S11

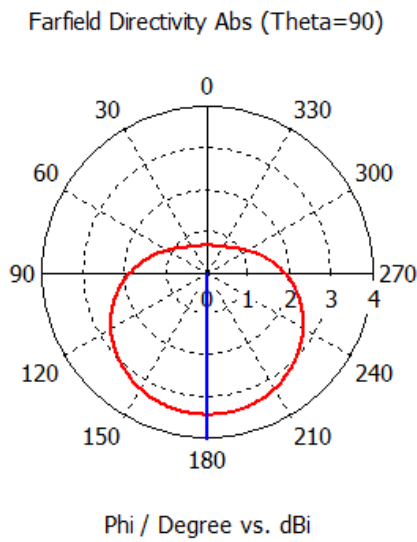


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 1.86 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.2 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 3.41 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

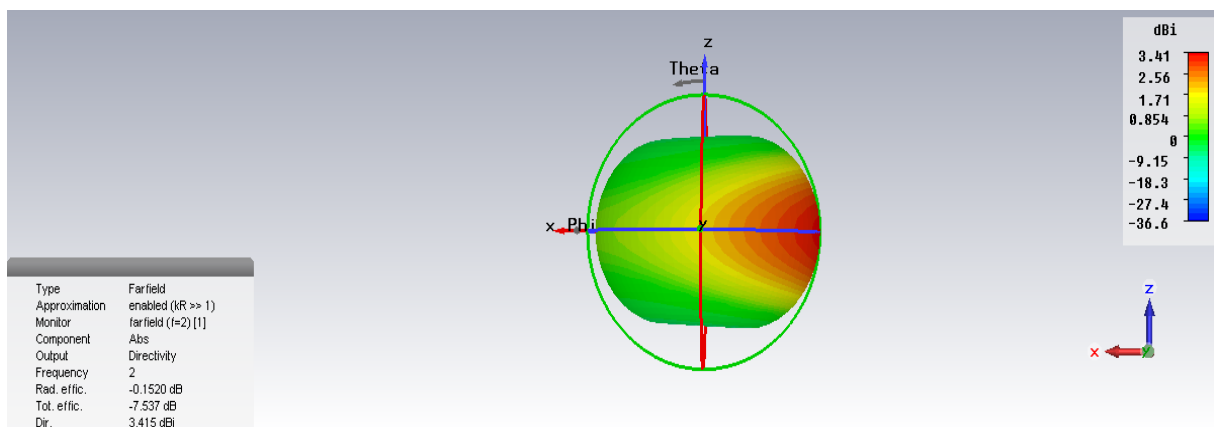
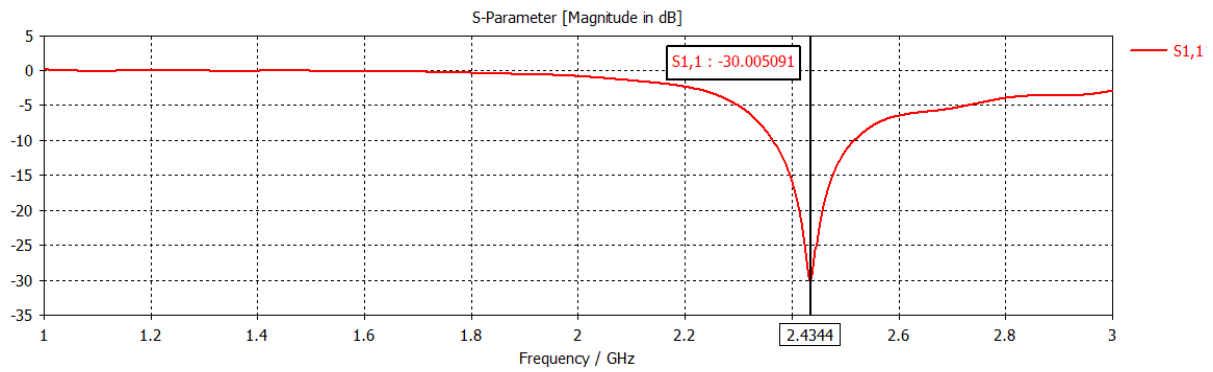
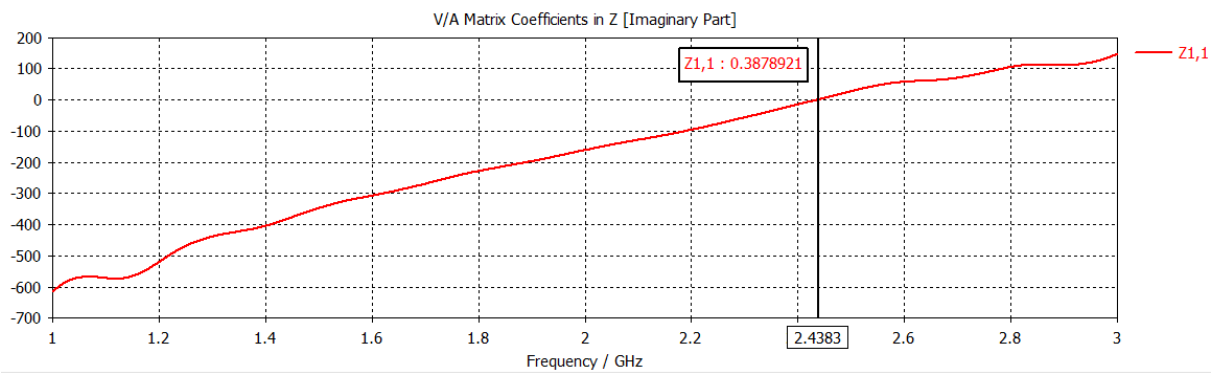
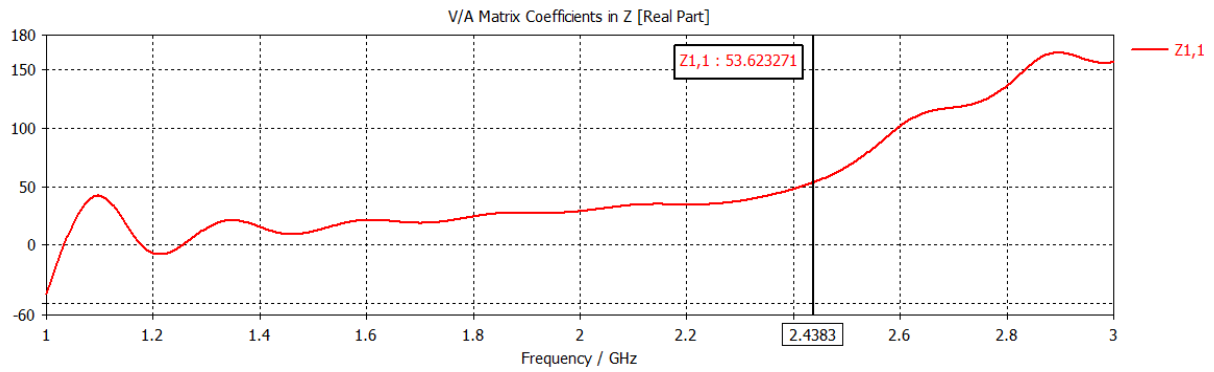


Diagramme de rayonnement 3D

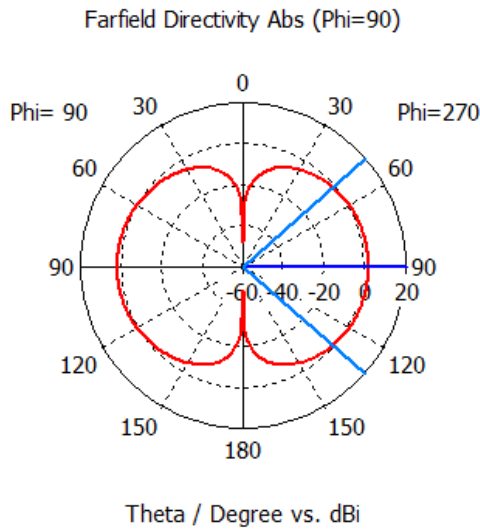
$D1=0.3*\lambda$



Coefficient de reflexion S11

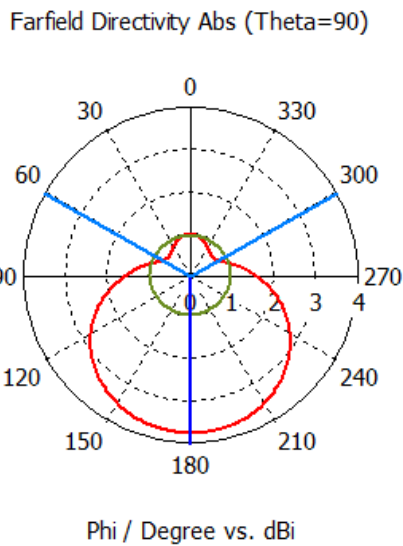


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 1.56 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.2 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 3.74 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 238.6 deg.
 Side lobe level = -2.8 dB

Diagramme de rayonnement 2D

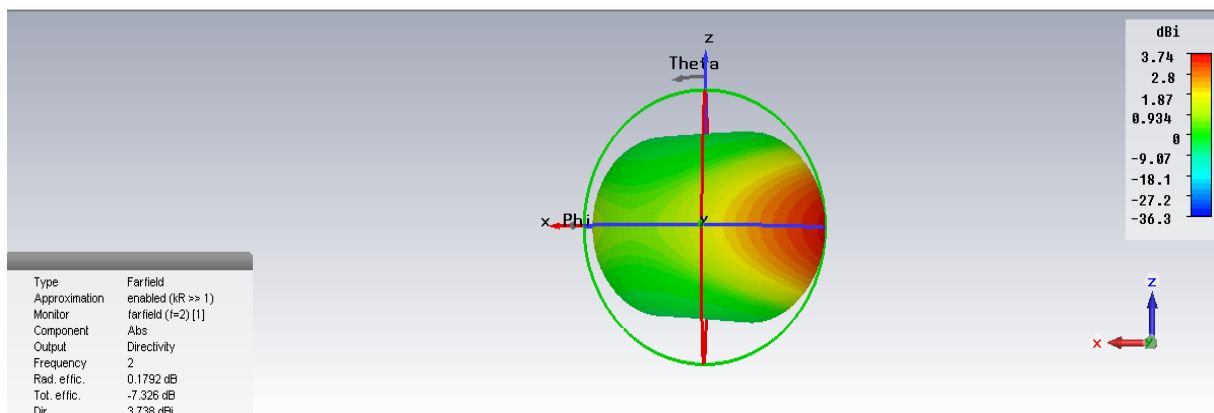
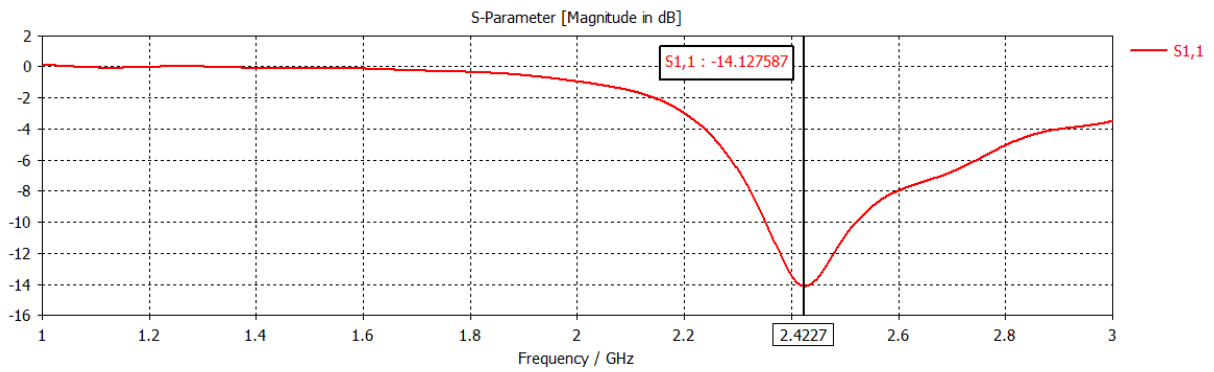
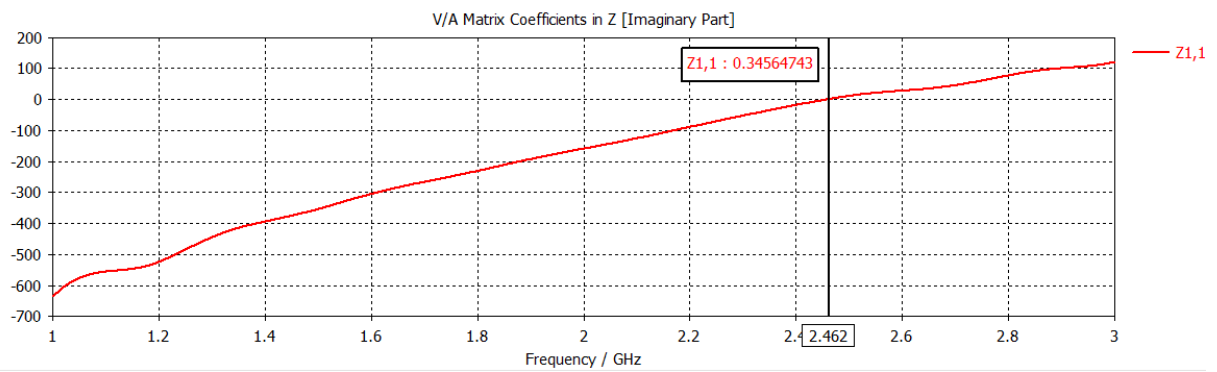
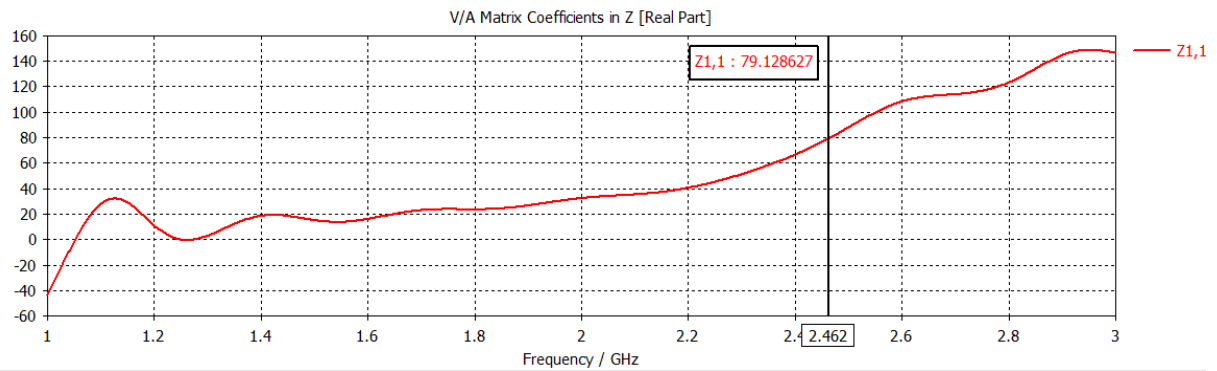


Diagramme de rayonnement 3D

$D1=0.4*\lambda$

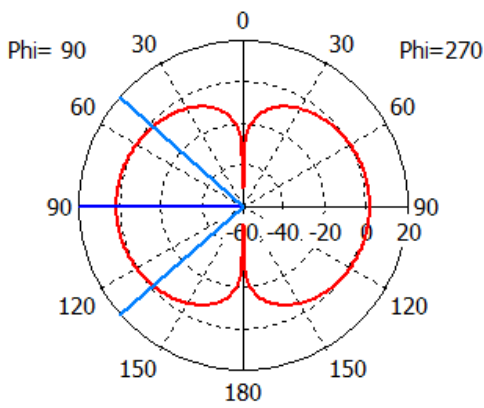


Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z11

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

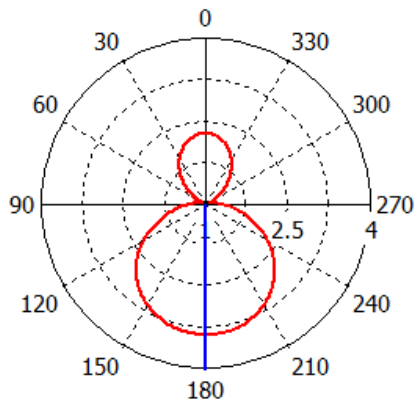


Theta / Degree vs. dBi

— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 1.25 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.3 deg.

Farfield Directivity Abs (Theta=90)

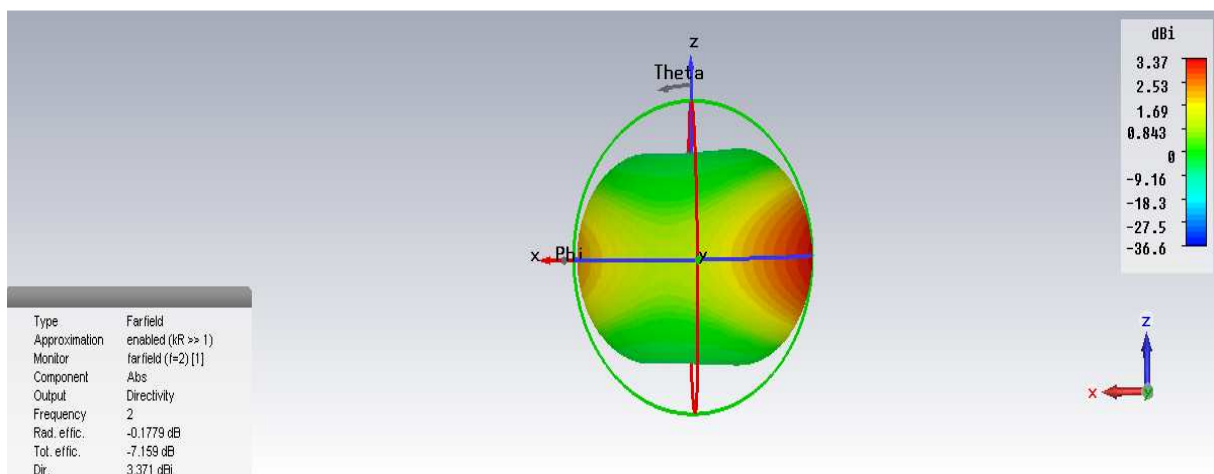


Phi / Degree vs. dBi

— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 3.37 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D



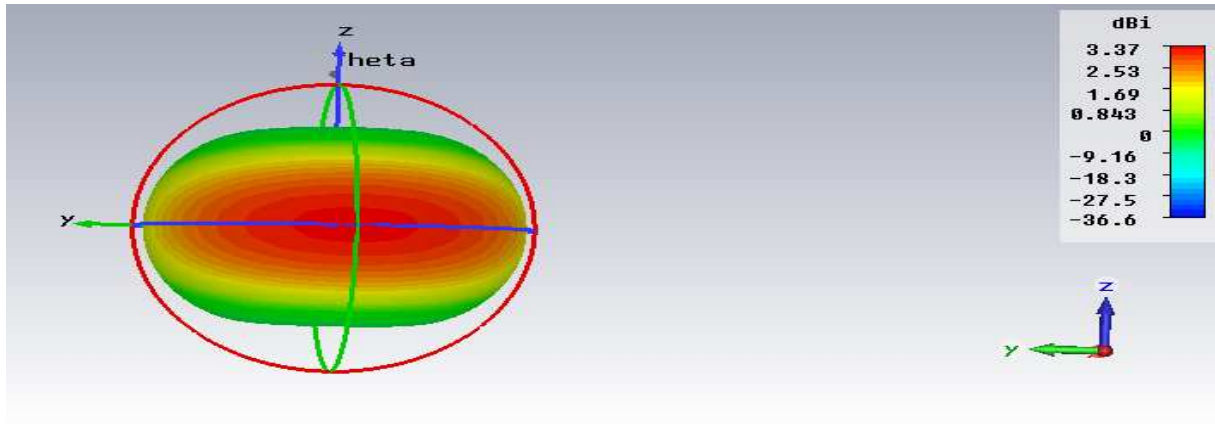
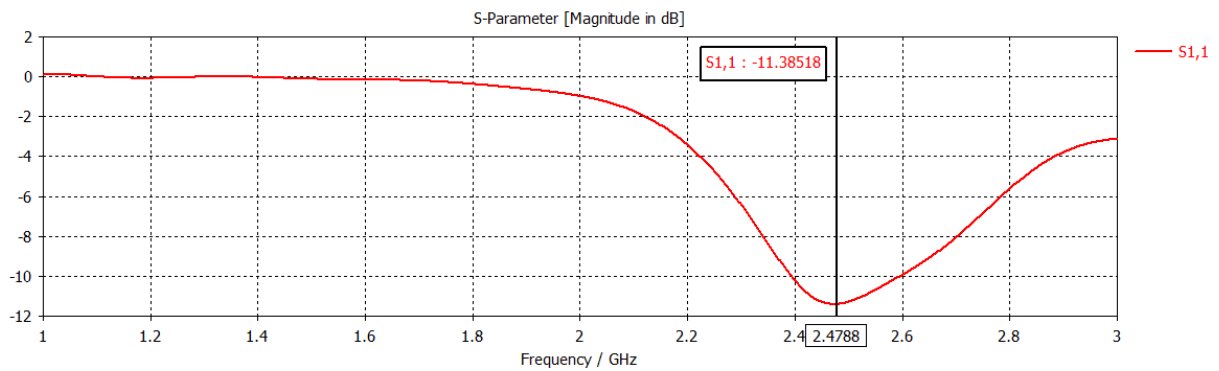
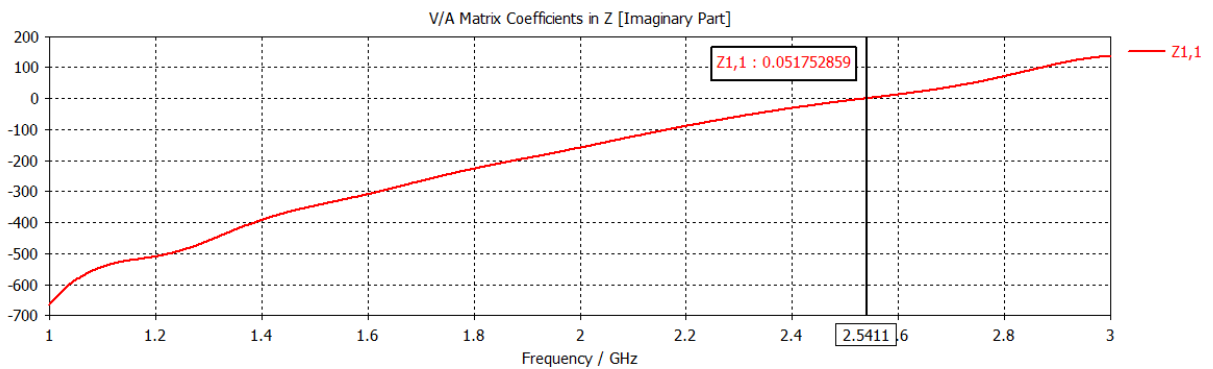
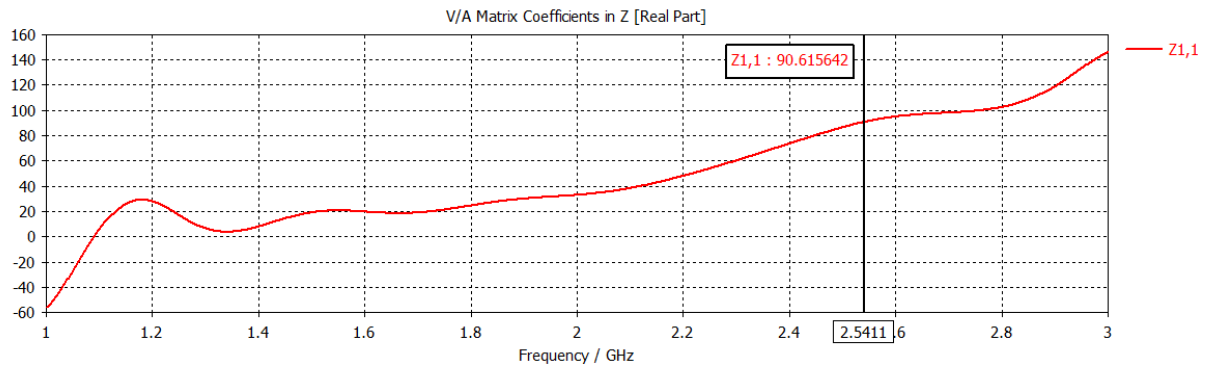


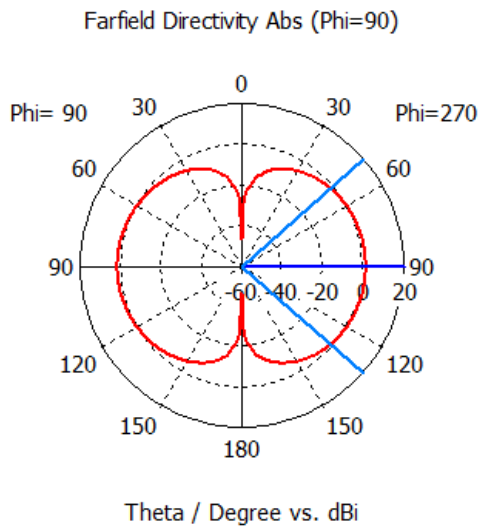
Figure : Diagramme de rayonnement 3D



Coefficient de reflexion S11

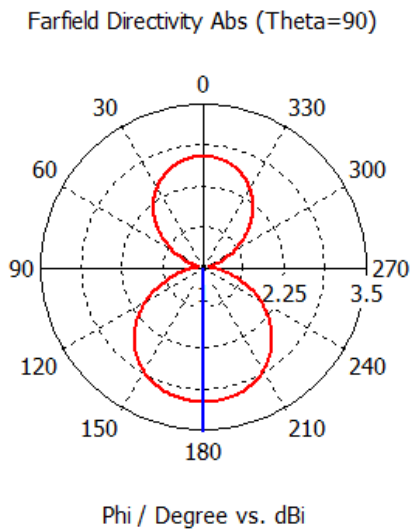


Impédance d'entrée Z11



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 1.11 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.2 deg.



— farfield (f=2) [1]

Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 3.06 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

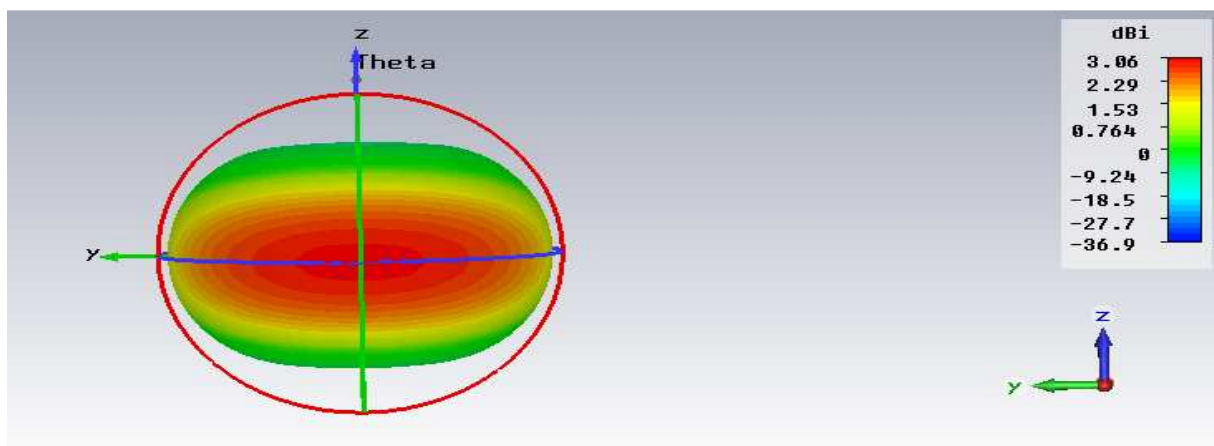
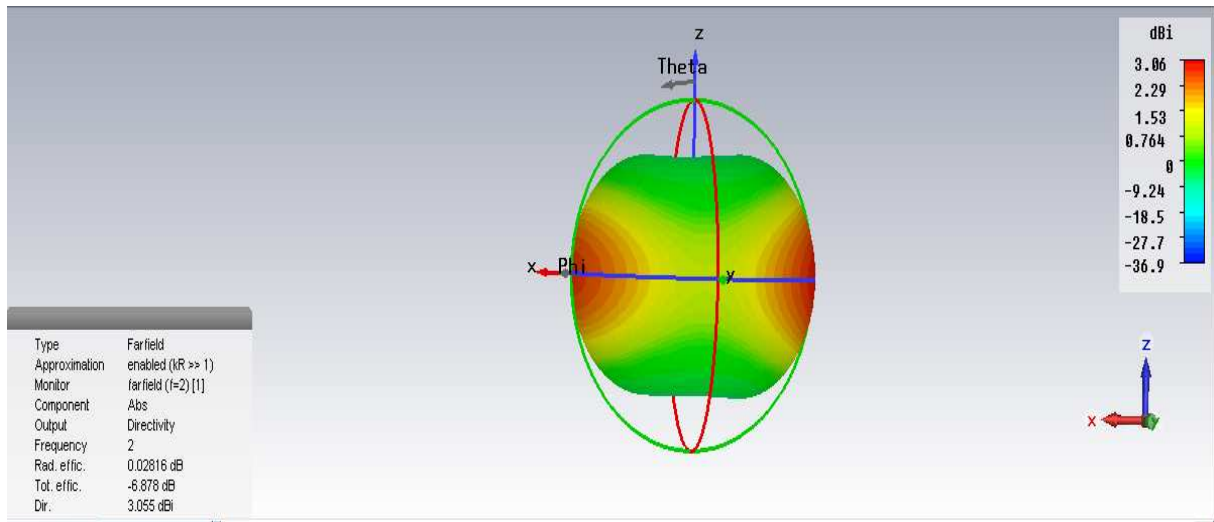


Diagramme de rayonnement 3D

$D1=0.6*\lambda$

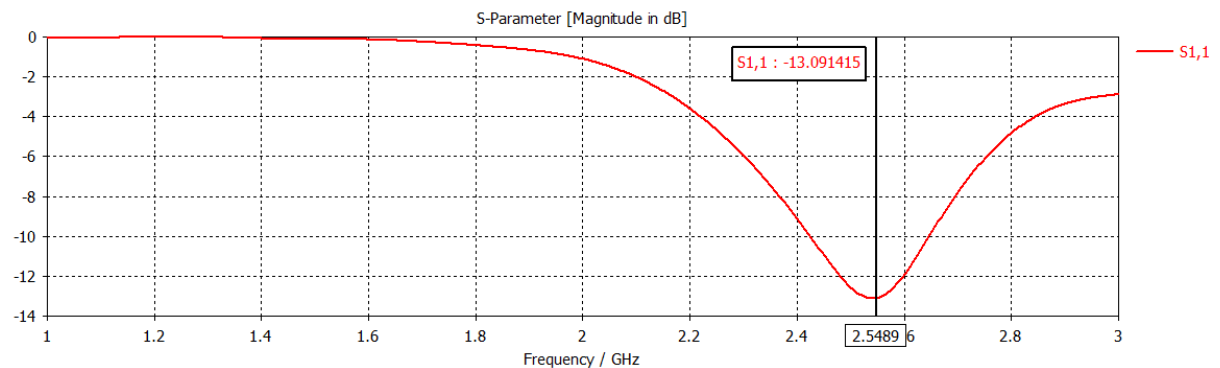
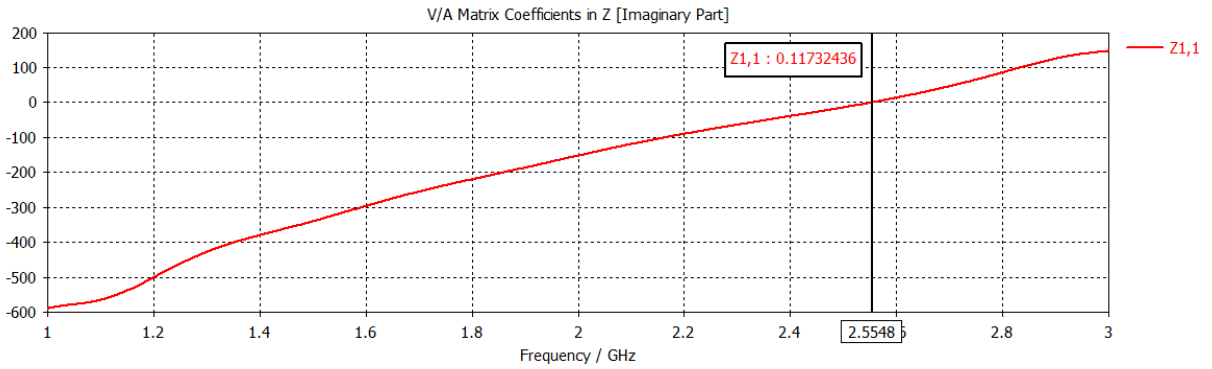
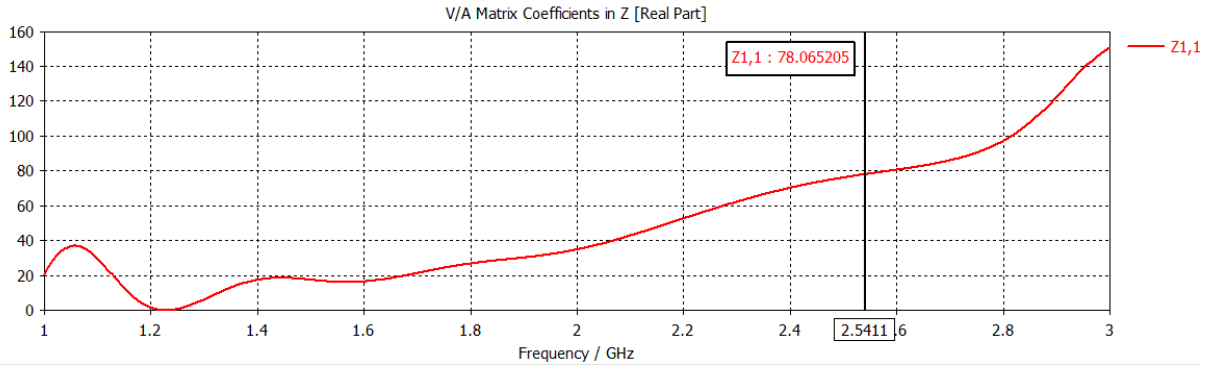
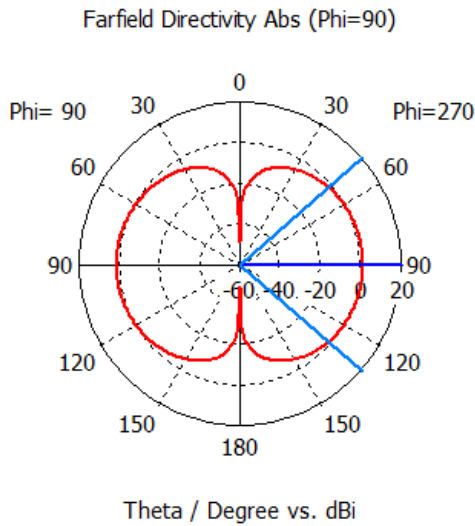


Figure : Coefficient de reflexion S11

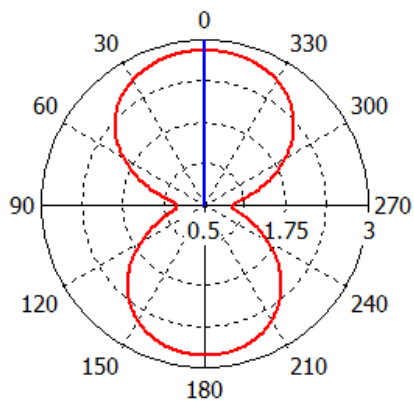


Impédance d'entrée Z11



Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 0.933 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 82.1 deg.

Farfield Directivity Abs (Theta=90)



— farfield (f=2) [1]

Phi / Degree vs. dBi

Frequency = 2
Main lobe magnitude = 2.84 dBi
Main lobe direction = 0.0 deg.

Diagramme de rayonnement 2D

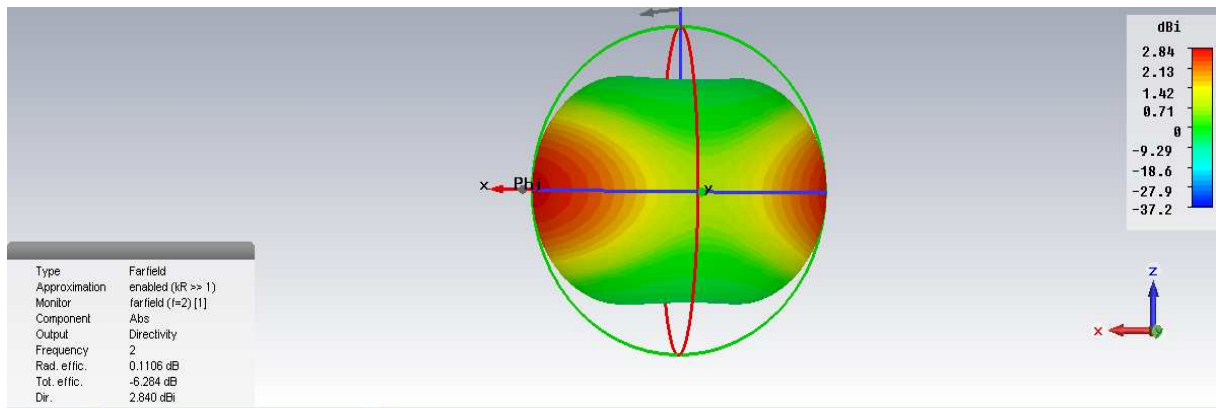
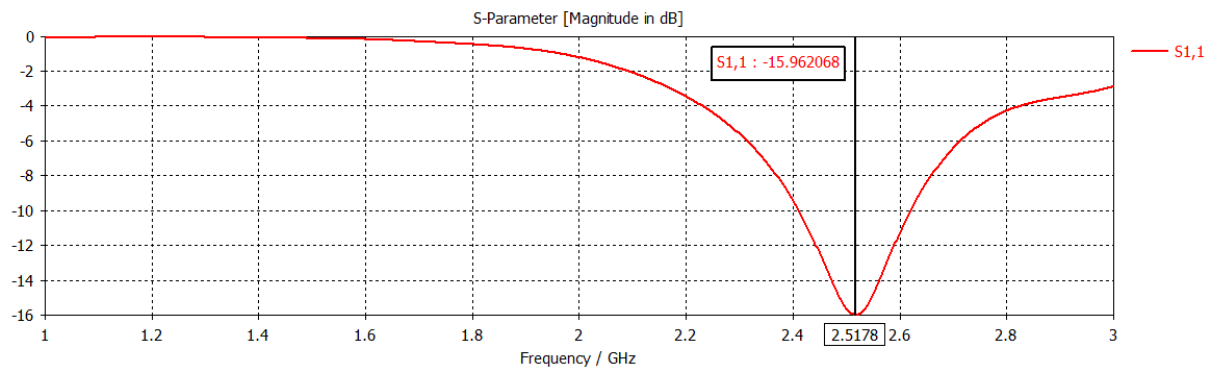
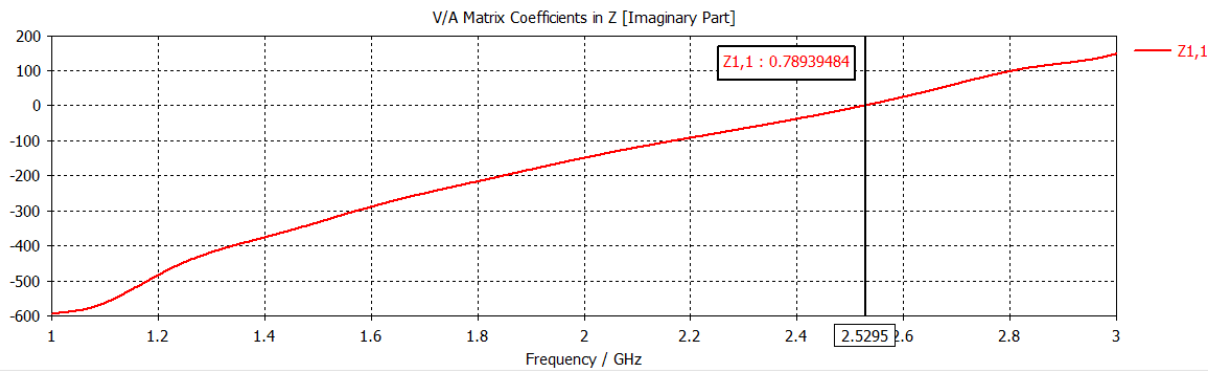
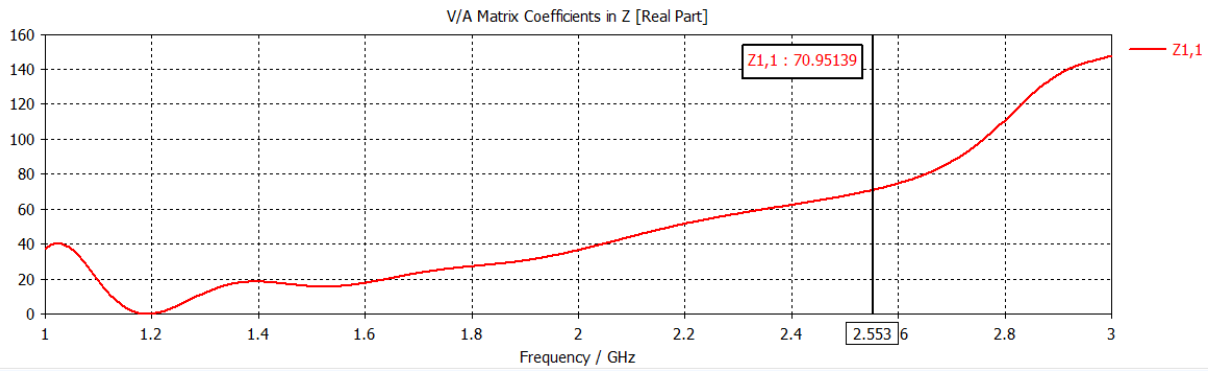


Diagramme de rayonnement 3D

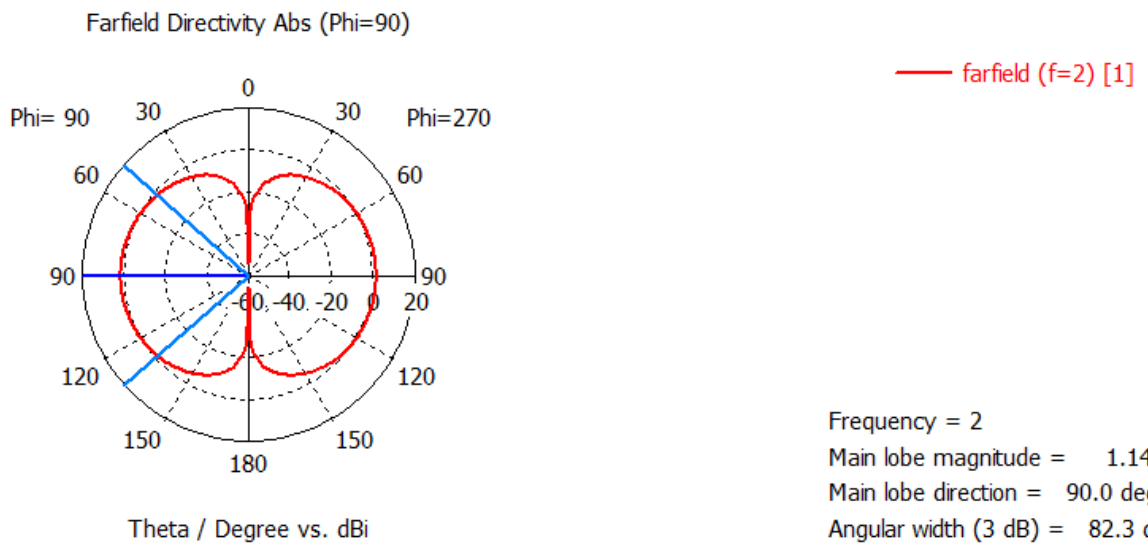
$D1=0.7*\lambda$



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z_{11}



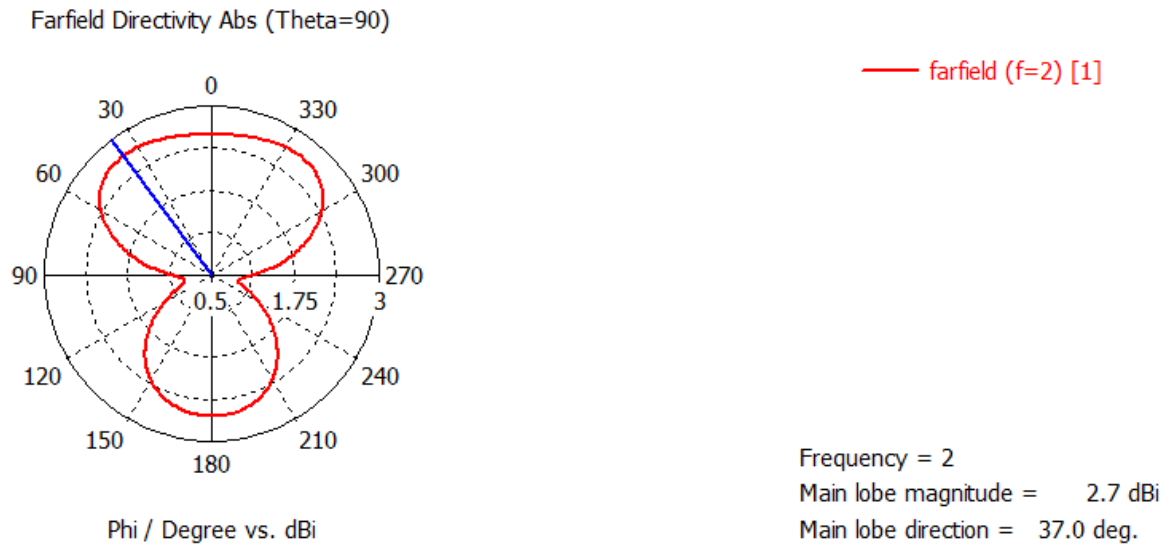


Diagramme de rayonnement 2D

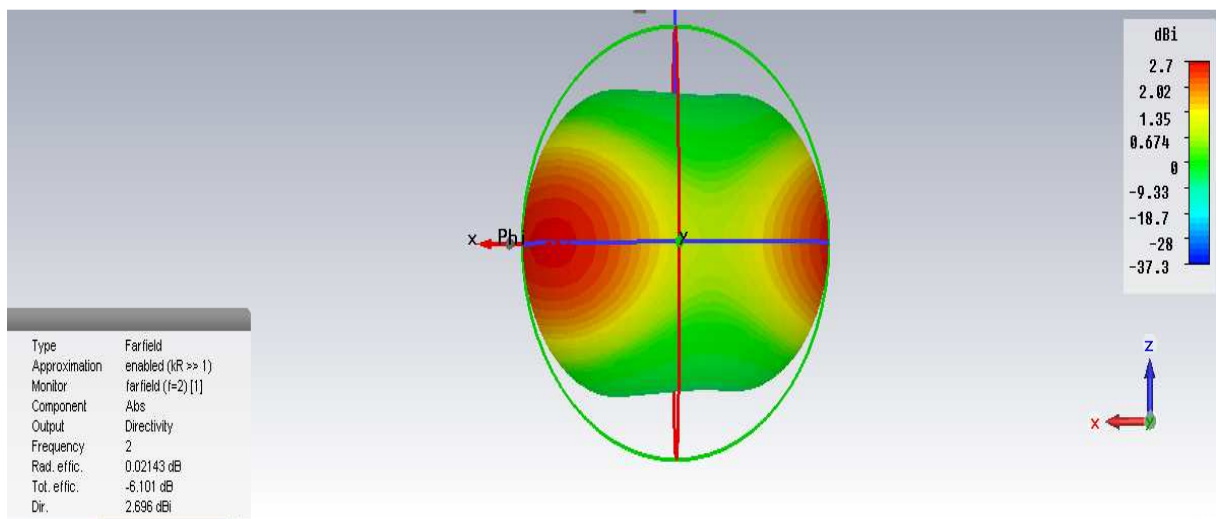
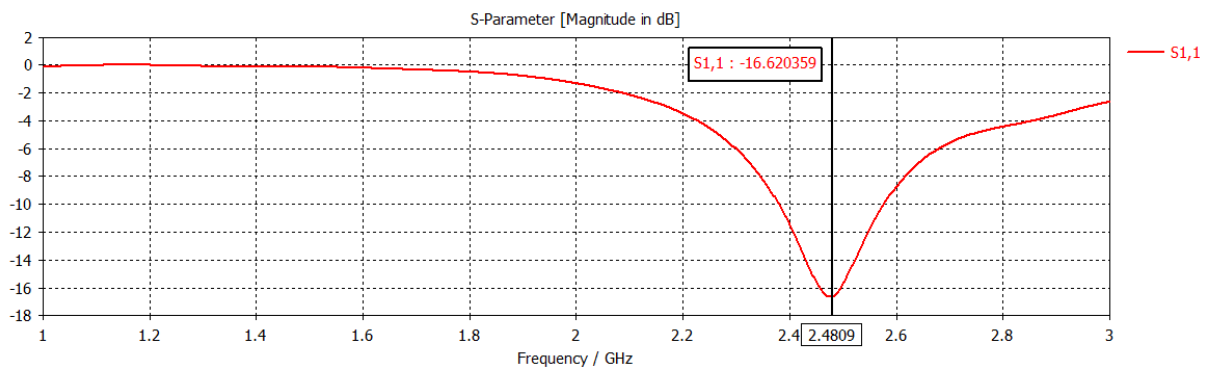
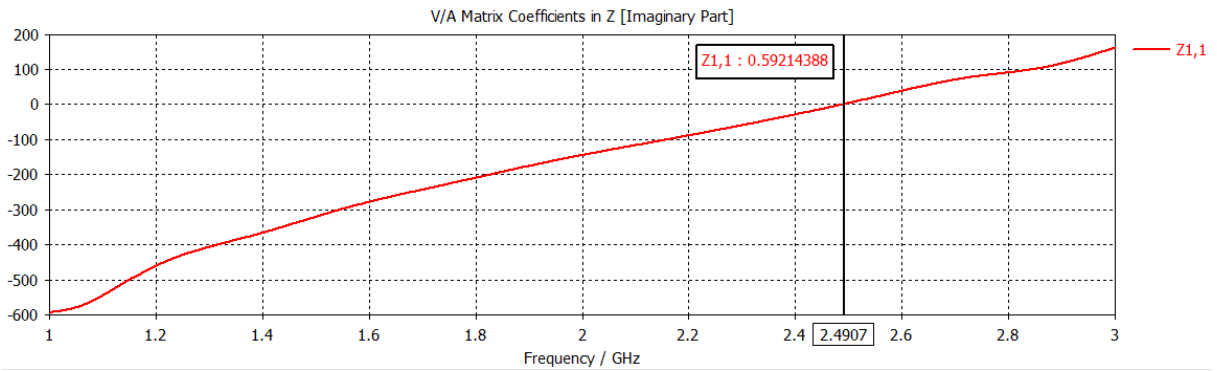
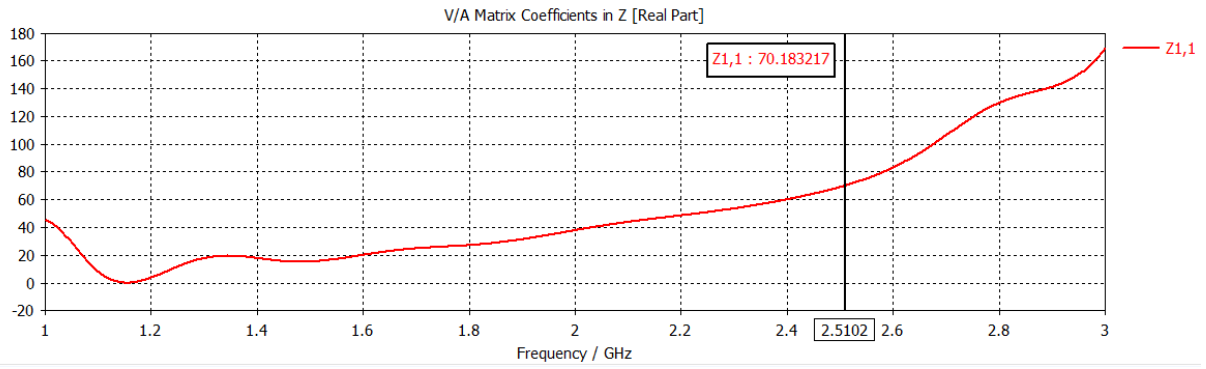


Diagramme de rayonnement 3D

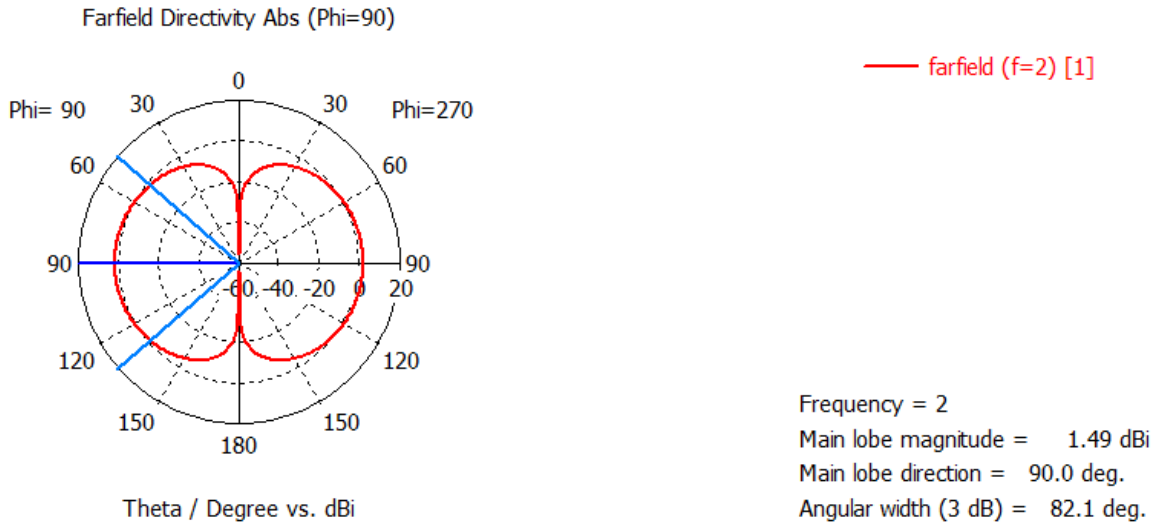
$D1=0.8*\lambda$



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z11



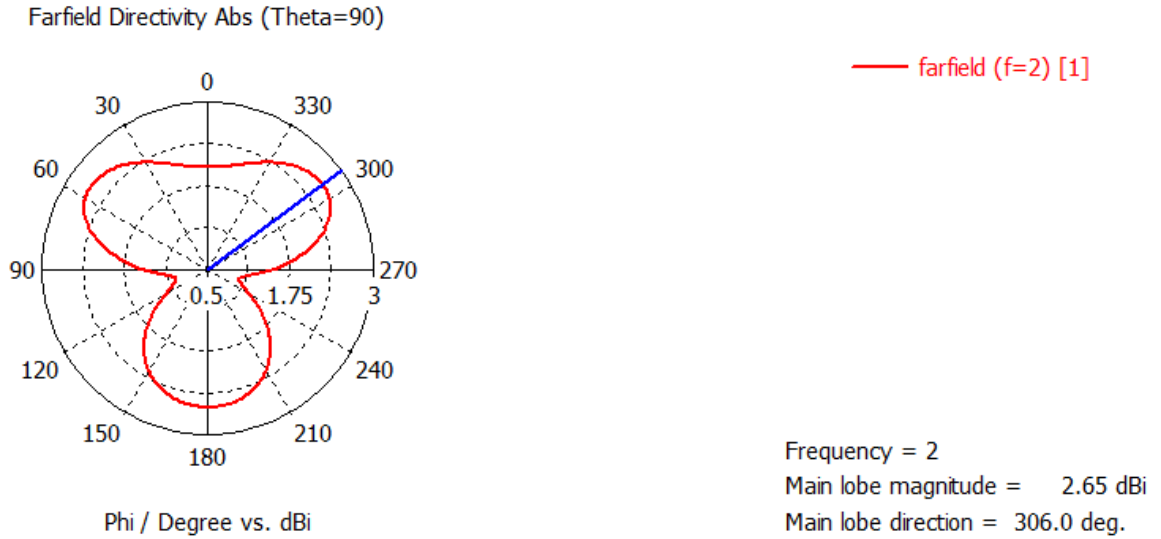
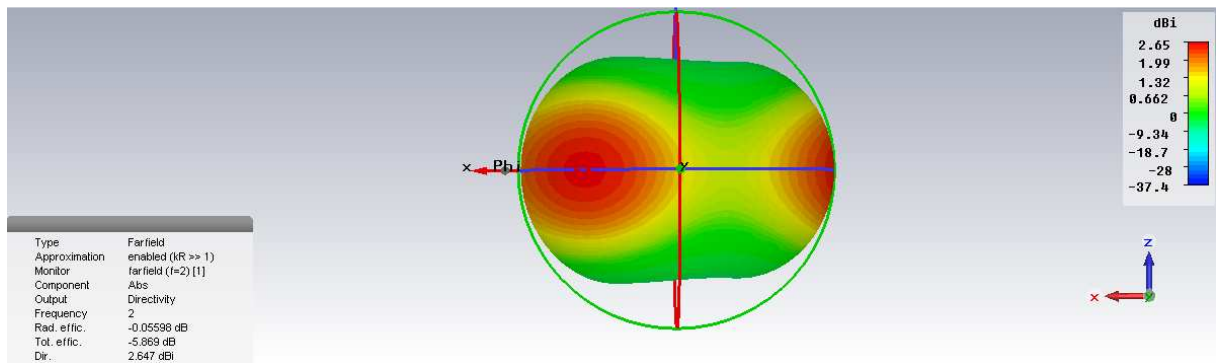
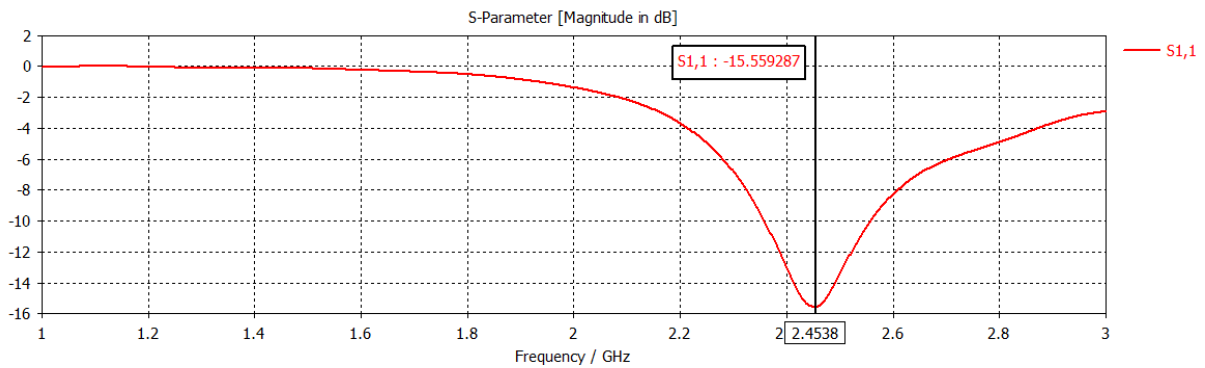


Diagramme de rayonnement 2D

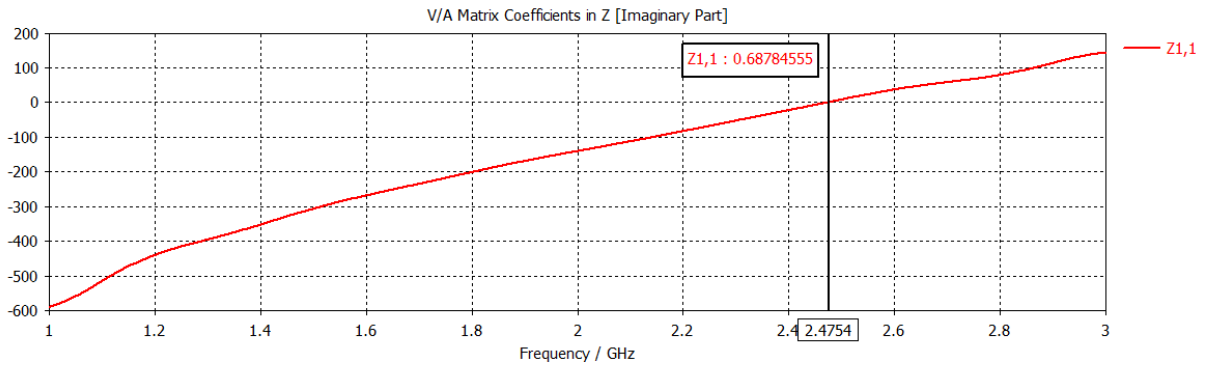
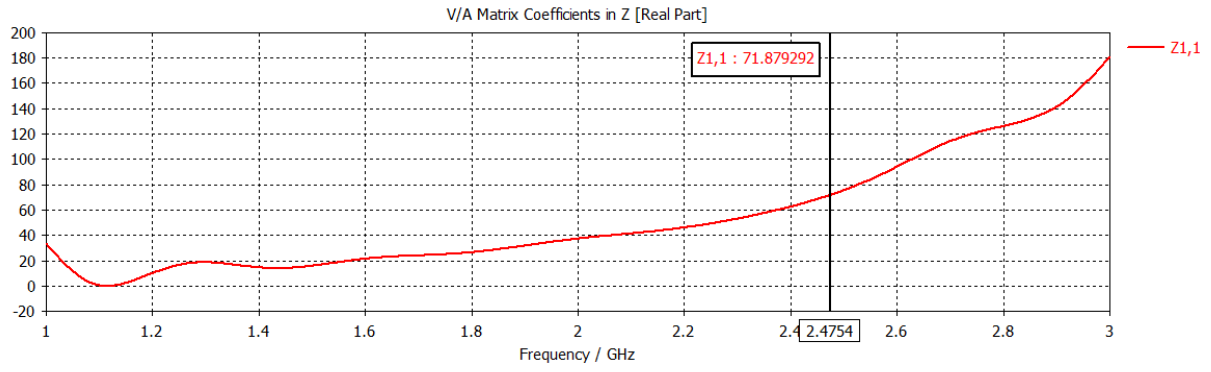


: Diagramme de rayonnement 3D

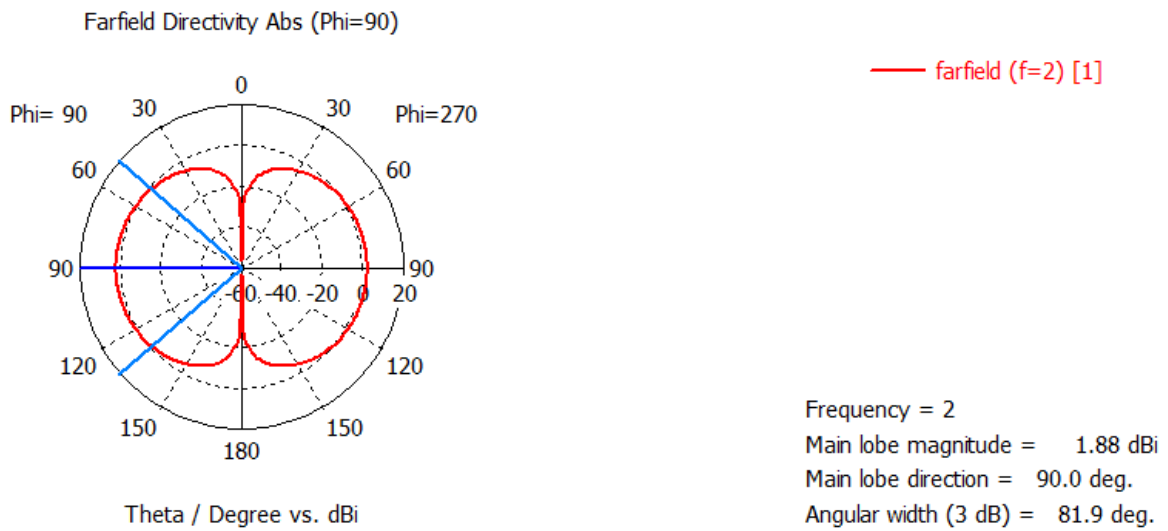
$D1=0.9*\lambda$



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z_{11}



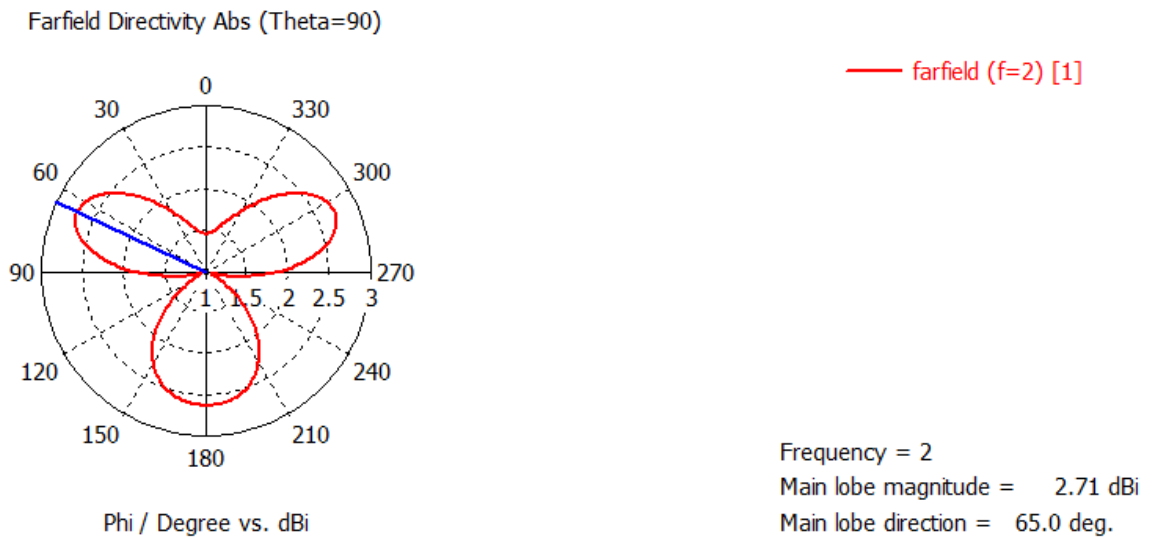


Diagramme de rayonnement 2D

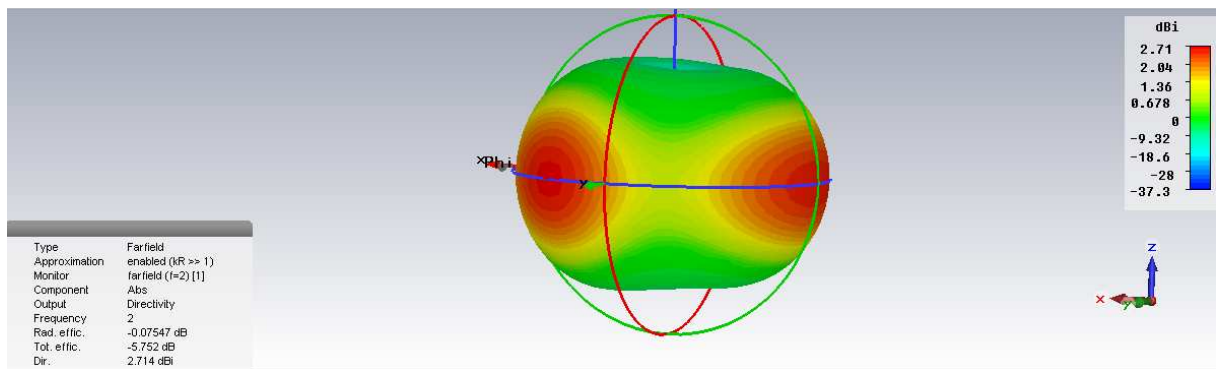
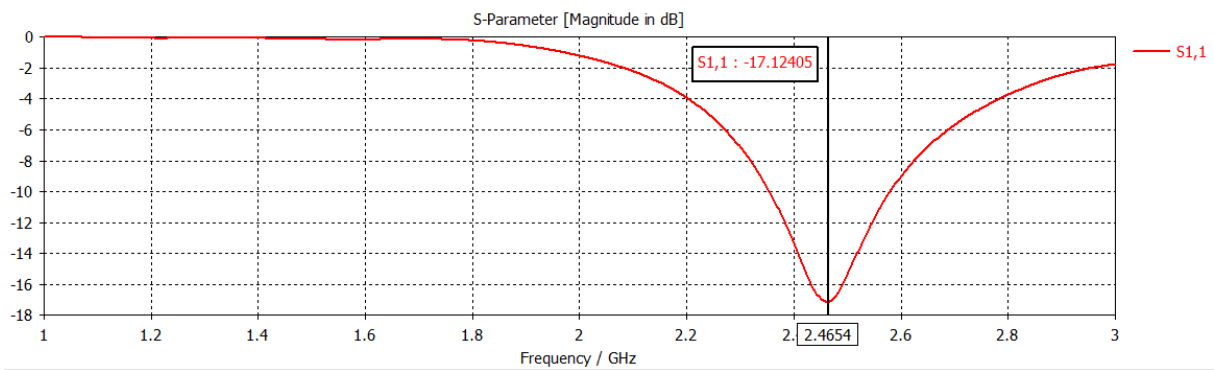
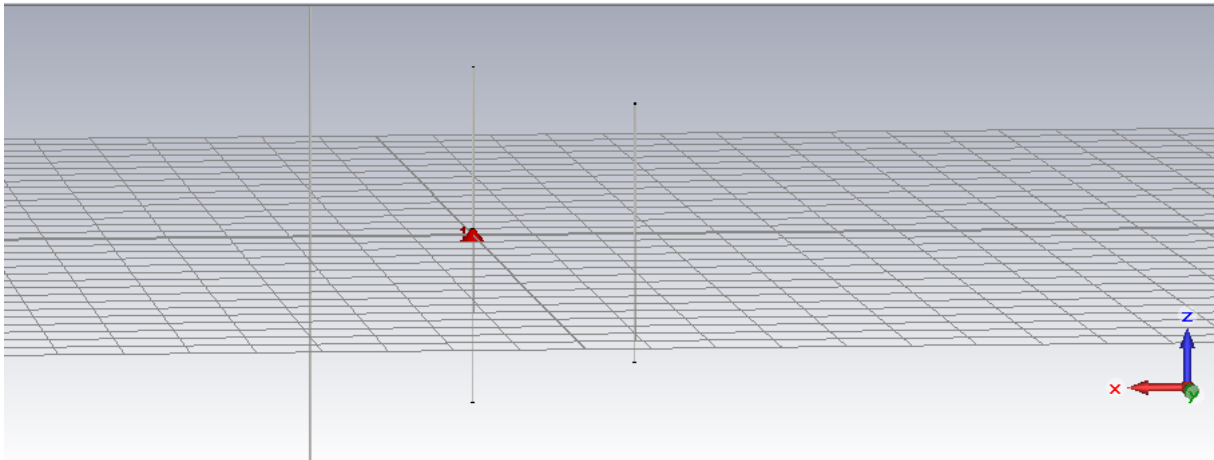


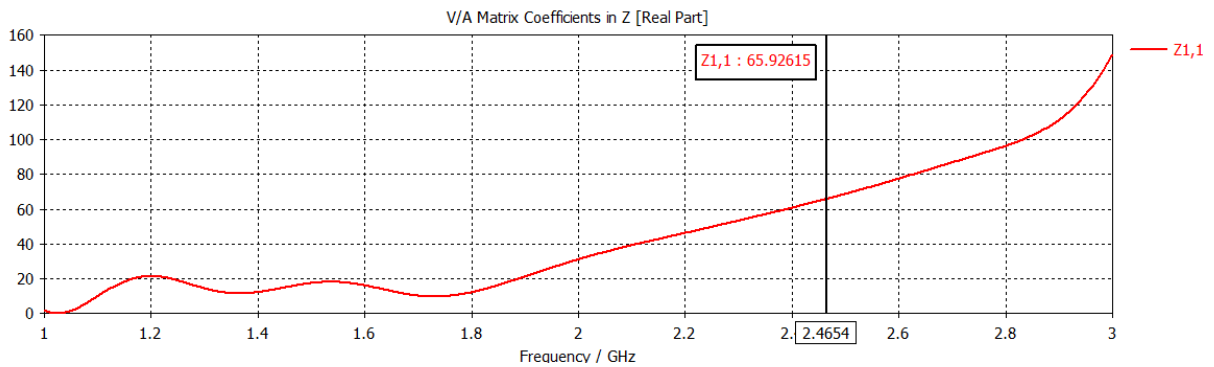
Diagramme de rayonnement 3D

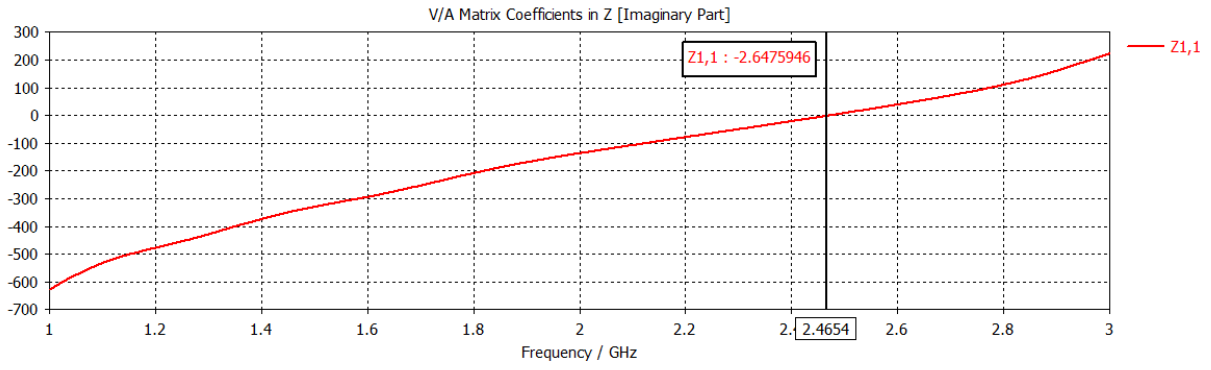
III-6 Antenne YAGI à trois éléments

On prend un directeur longueur $L_{dir1}=0.4*\lambda$ à une distance $d1=0.25*\lambda$



Coefficient de reflexion S11





Impédance d'entrée Z_{11}

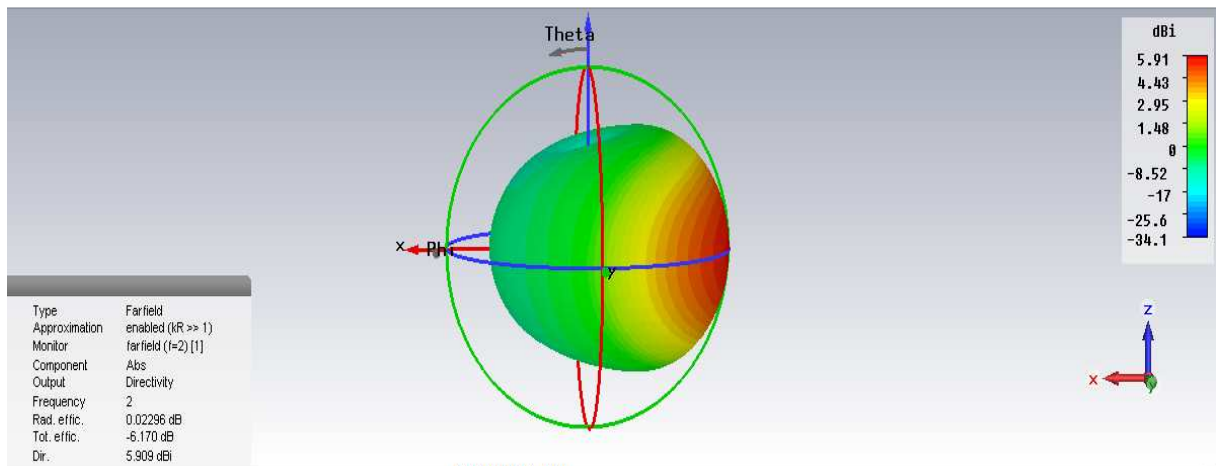
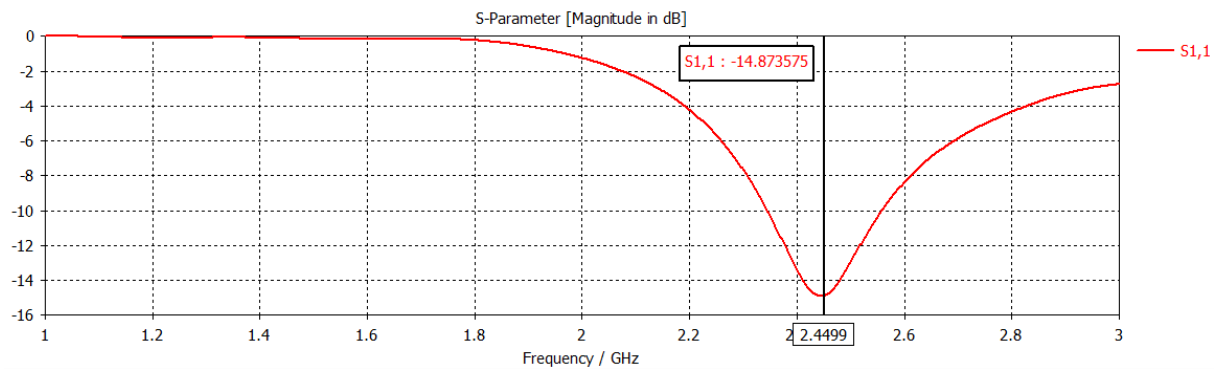
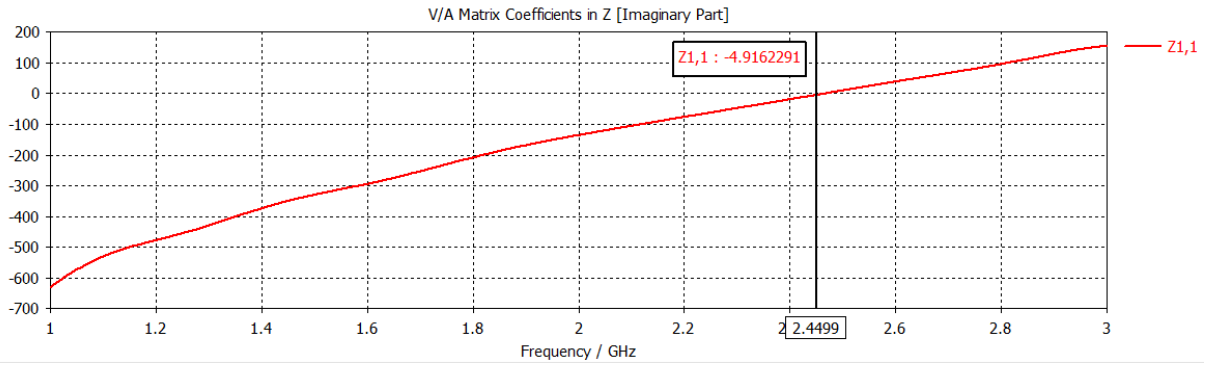
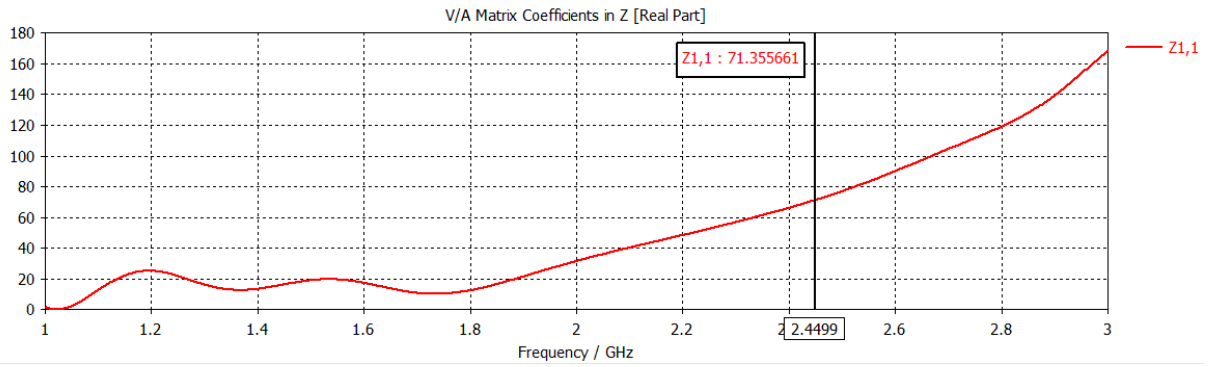


Diagramme de rayonnement 3D

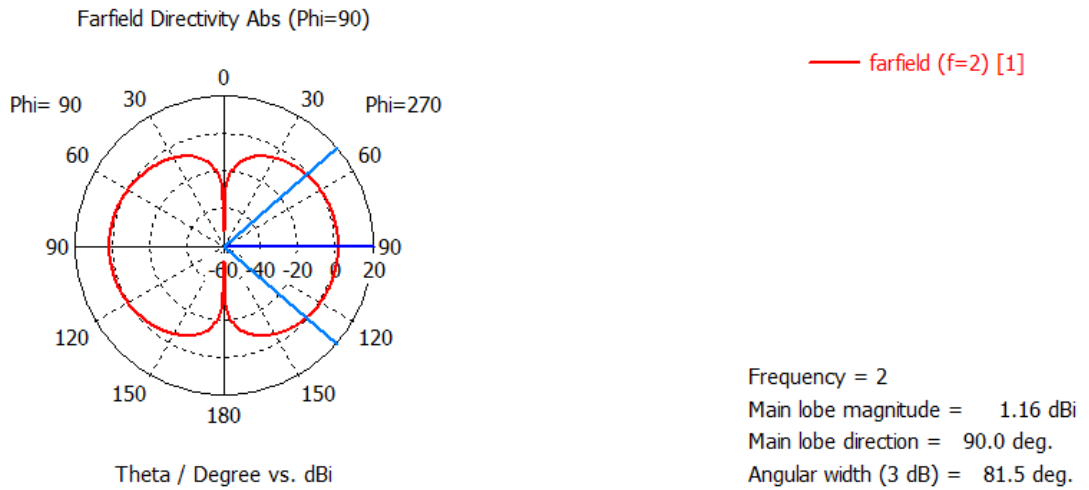
$L_{dir1} = 0.3 * \lambda$:



Coefficient de reflexion S_{11}



Impédance d'entrée Z_{11}



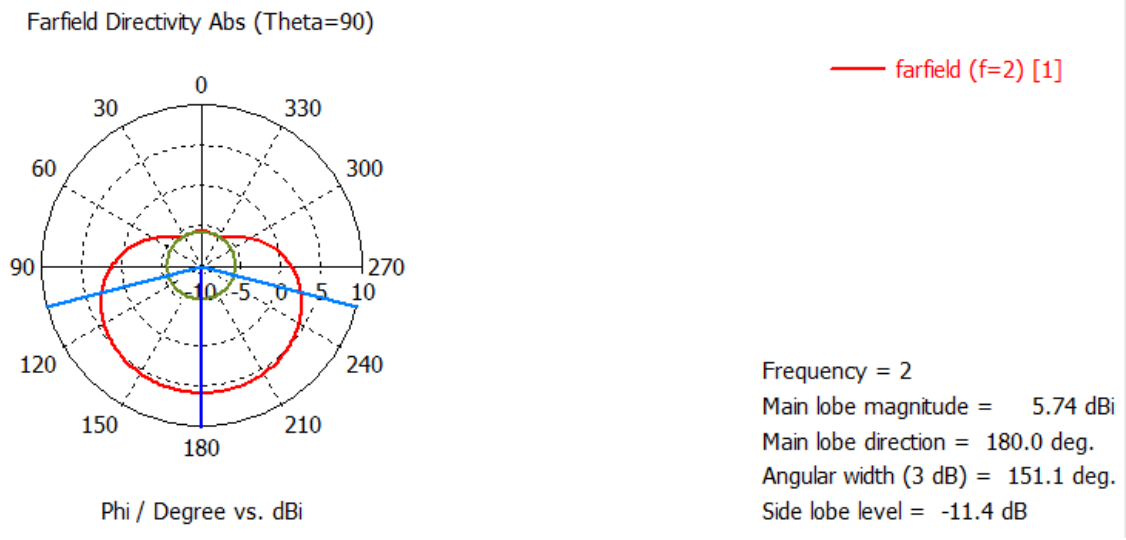


Diagramme de rayonnement 2D

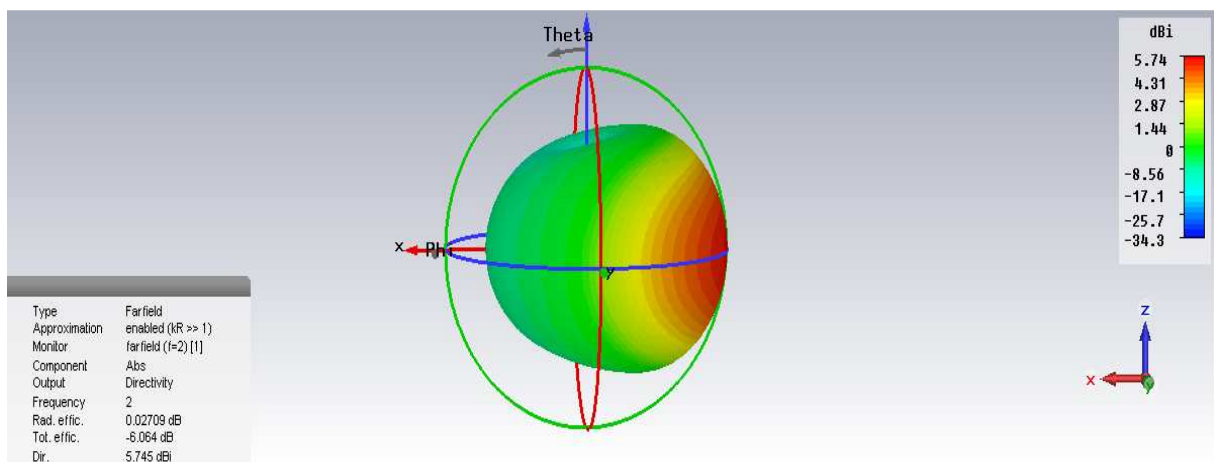
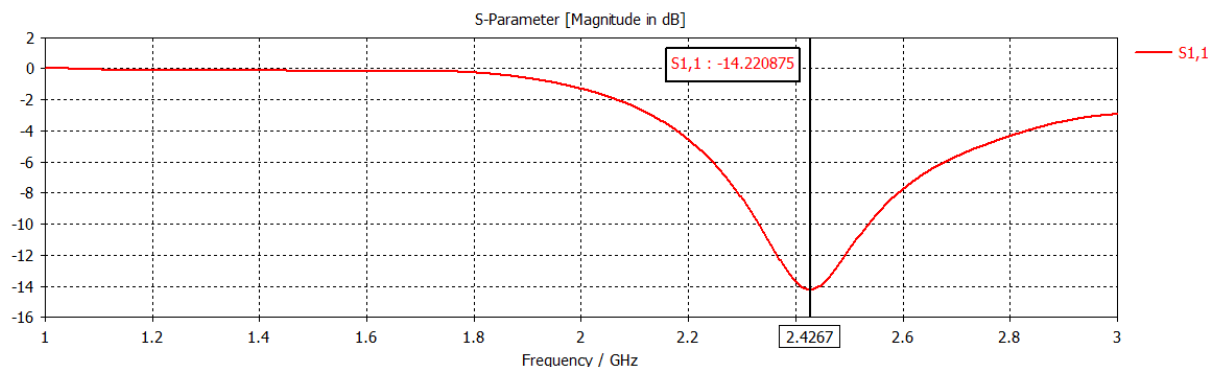
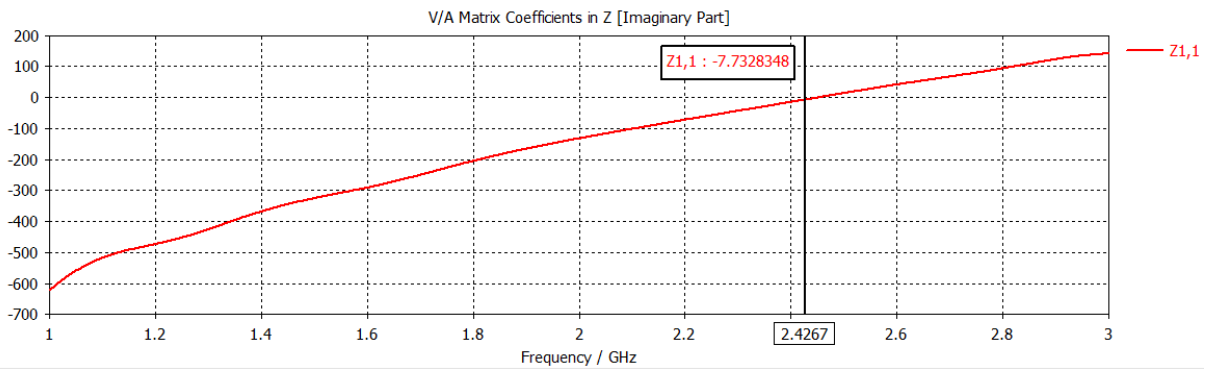
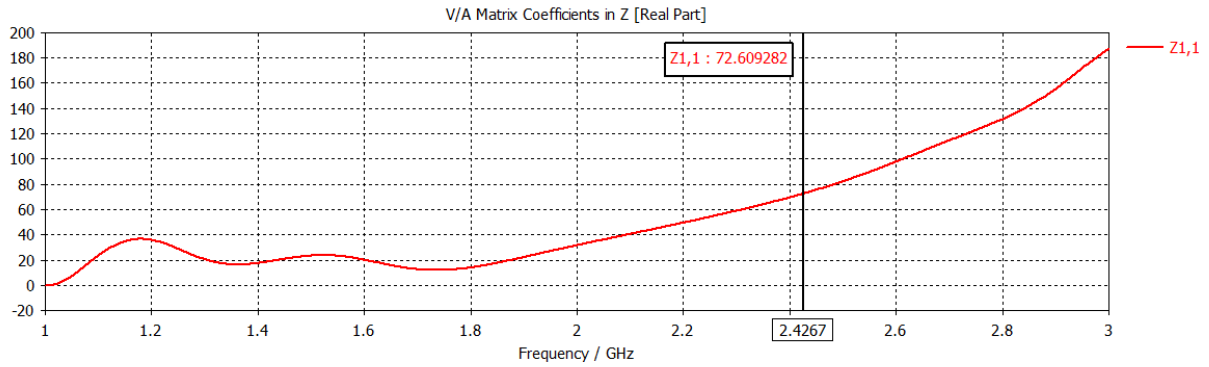


Diagramme de rayonnement 3D

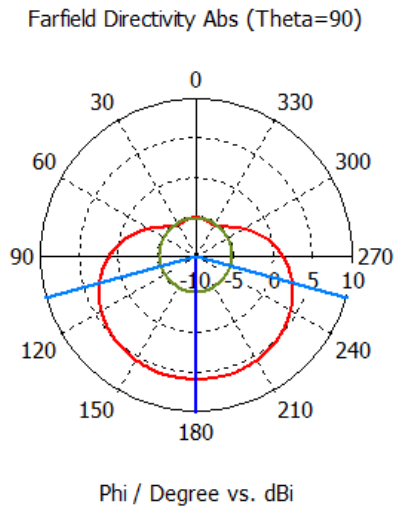
$L_{dir1} = 0.3 * \lambda$:



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z11



Frequency = 2
 Main lobe magnitude = 5.8 dBi
 Main lobe direction = 180.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 148.4 deg.
 Side lobe level = -11.0 dB

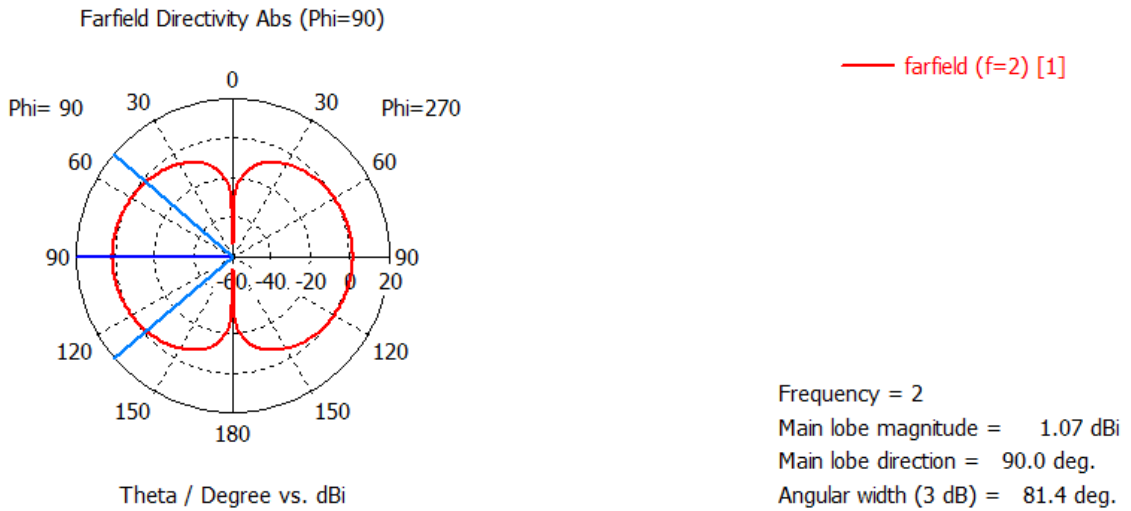


Diagramme de rayonnement 2D

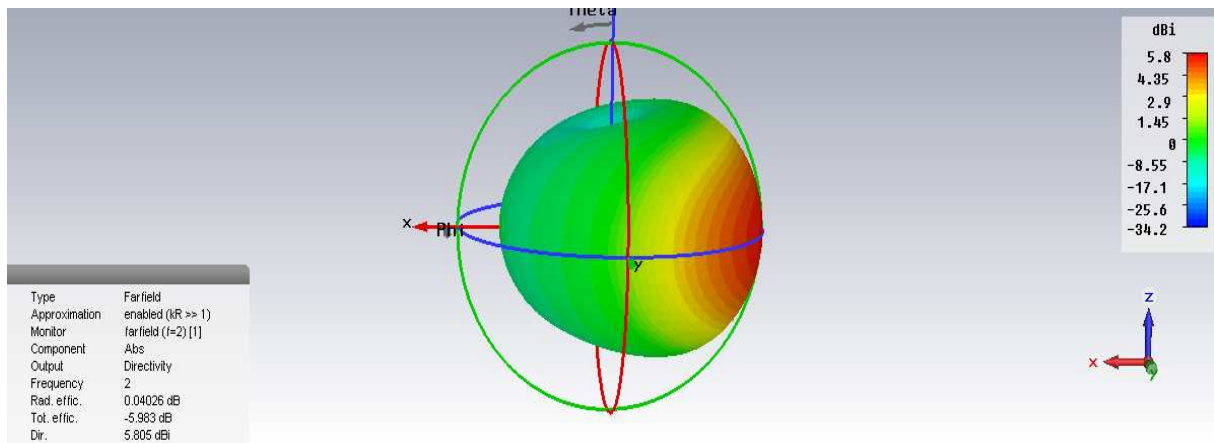
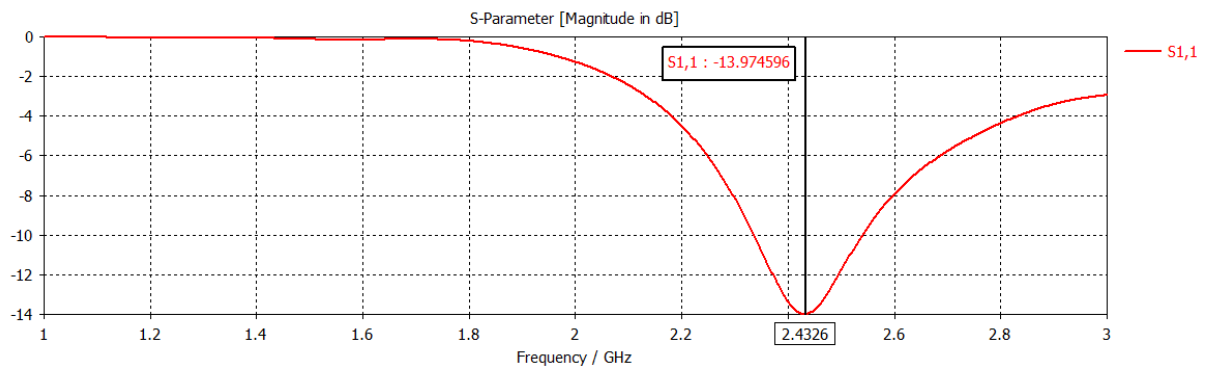
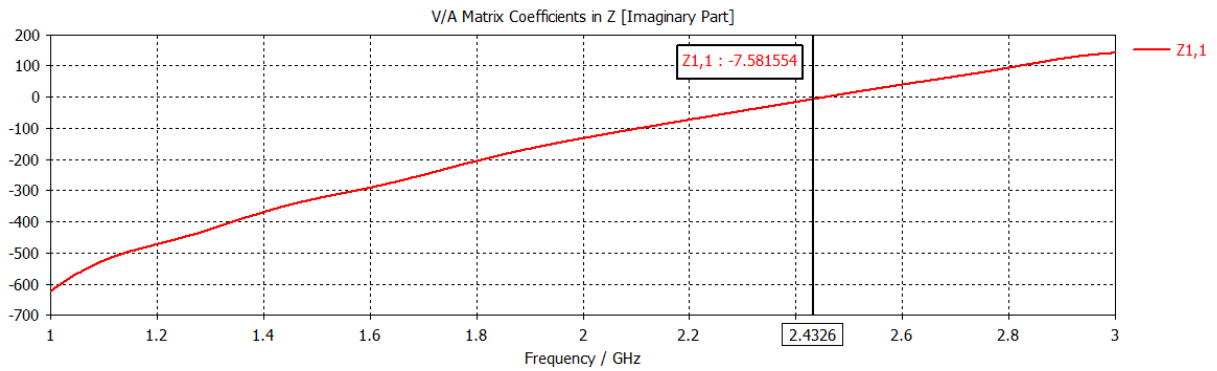
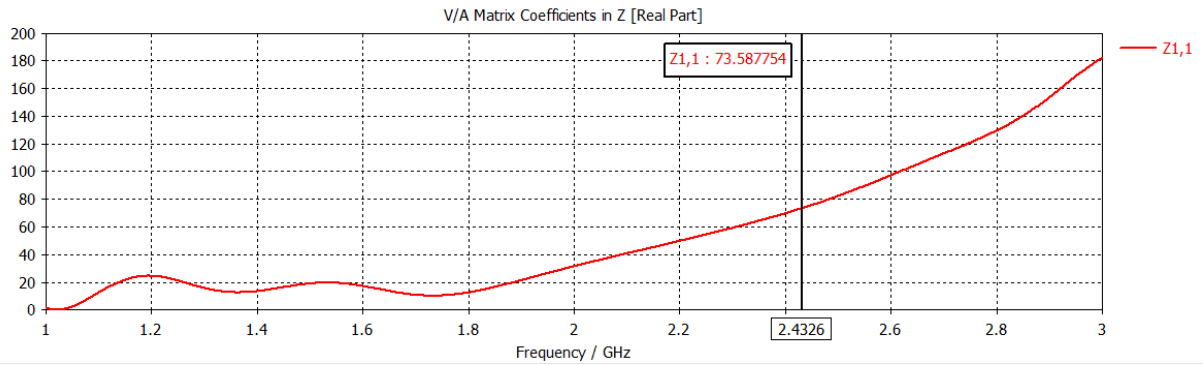


Diagramme de rayonnement 3D

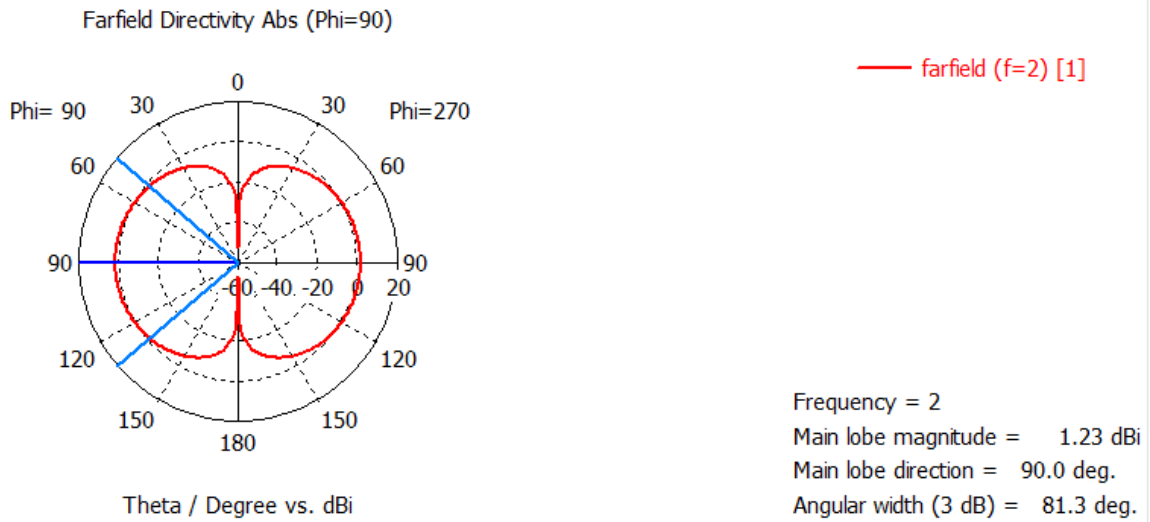
$L_{dir1} = 0.2 * \lambda :$



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z_{11}



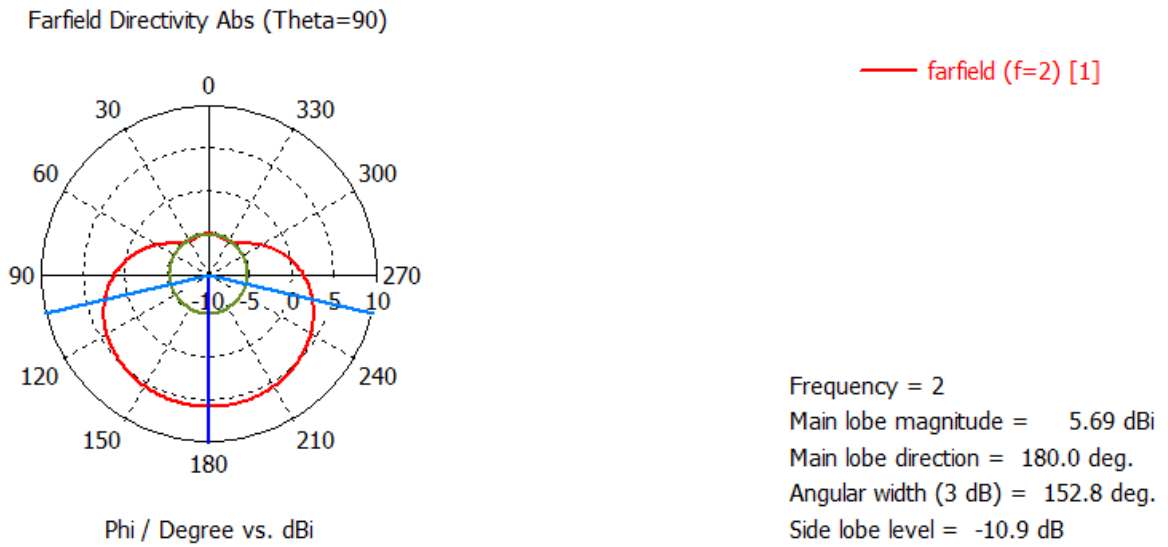


Diagramme de rayonnement 2D

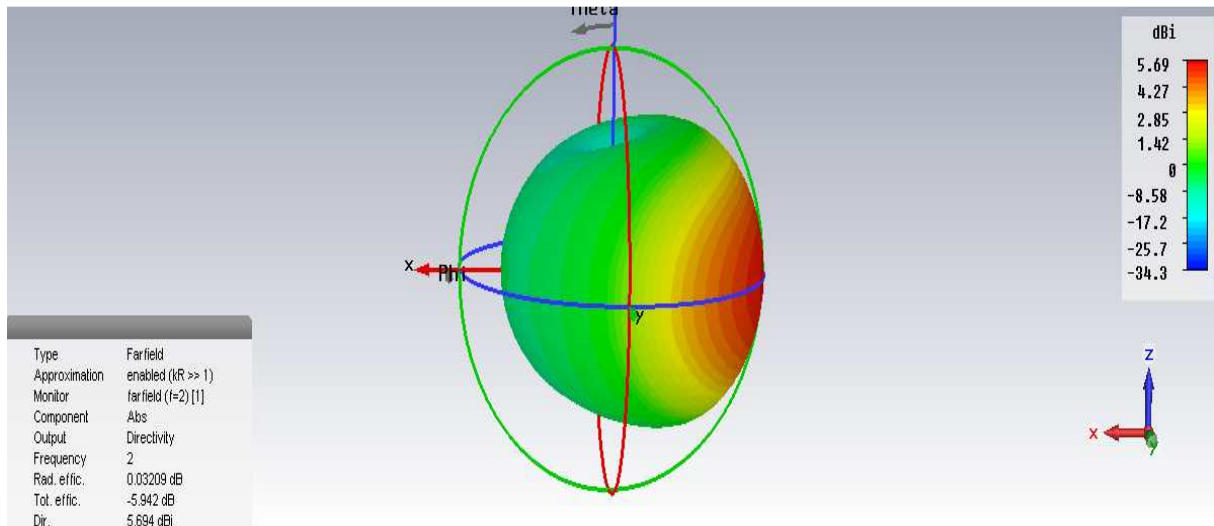
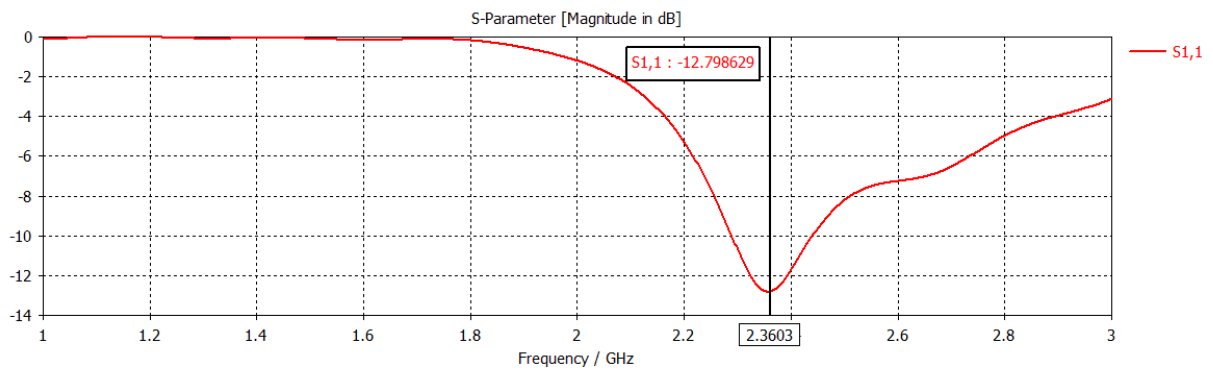
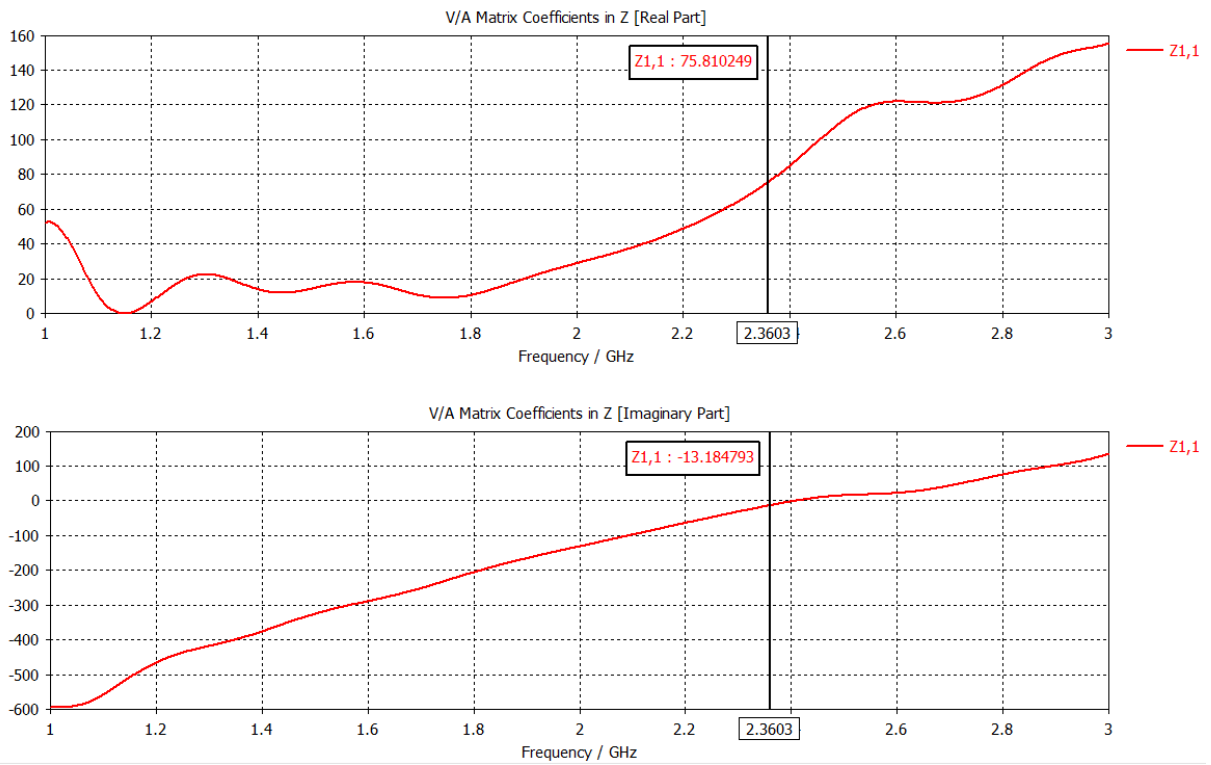


Diagramme de rayonnement 3D

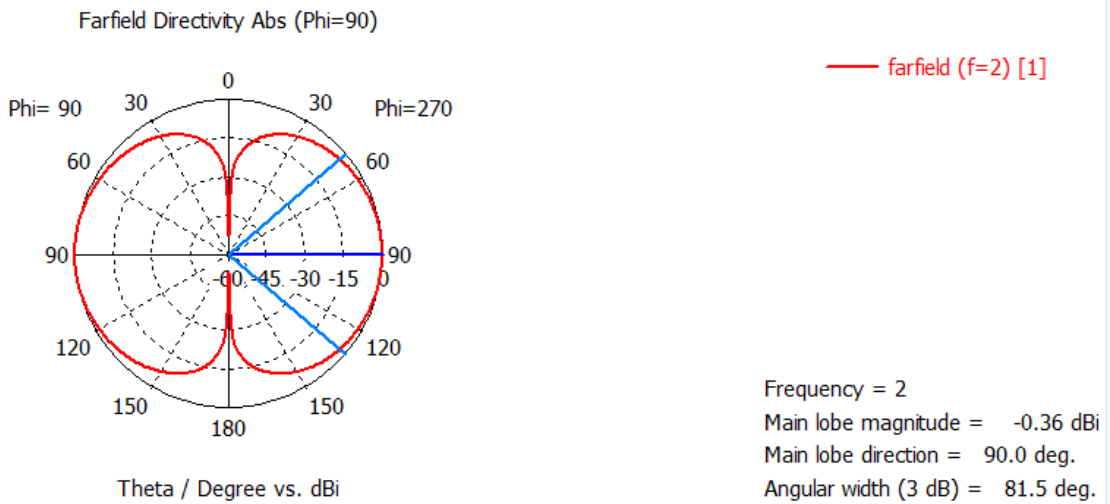
$L_{dir1} = 0.5 * \lambda$:



Coefficient de reflexion S11



Impédance d'entrée Z_{11}



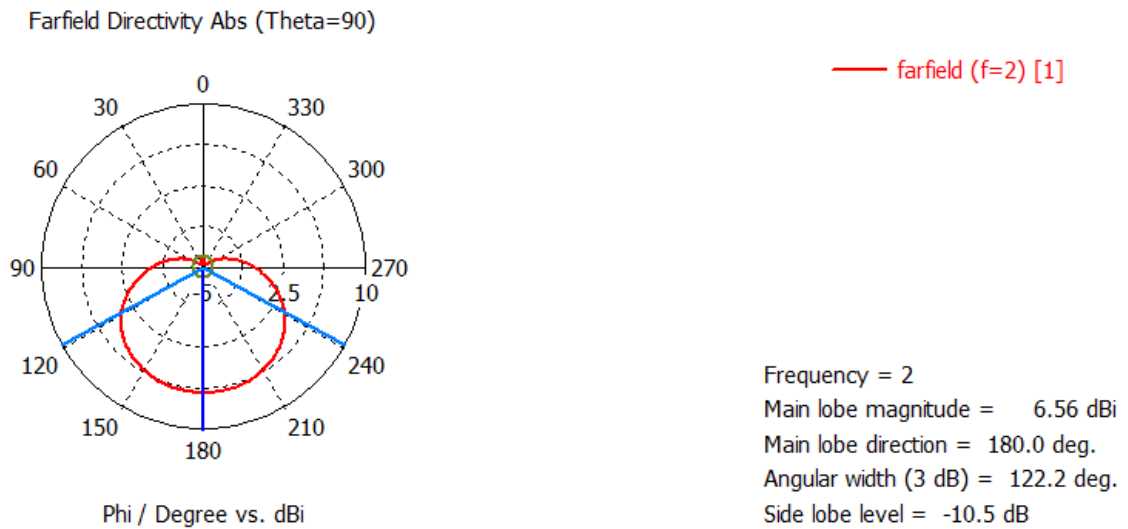


Diagramme de rayonnement 2D

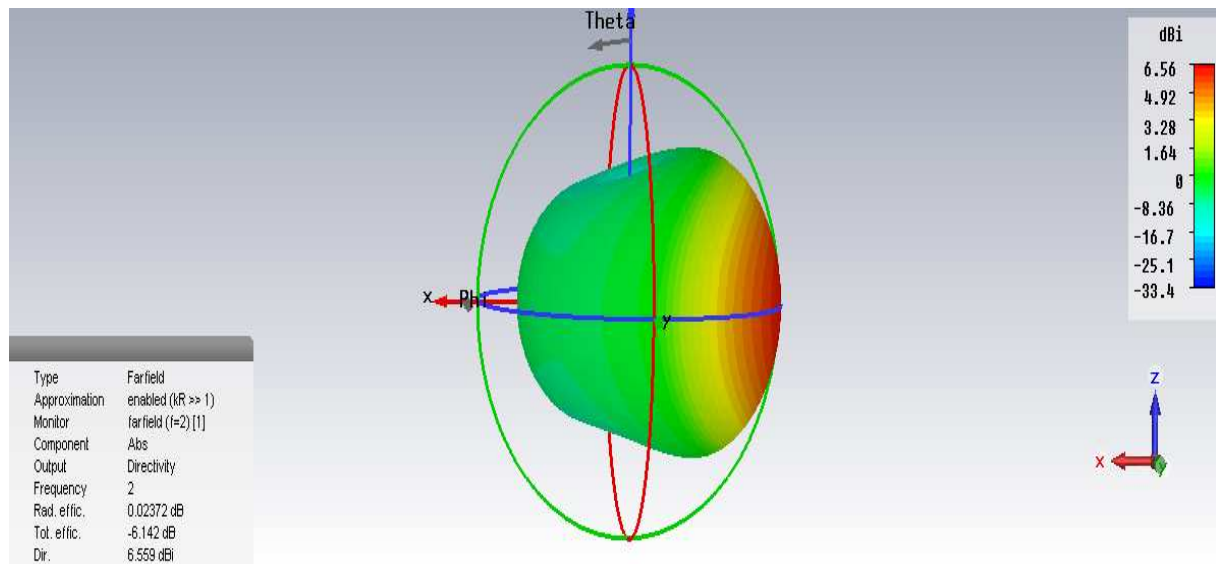
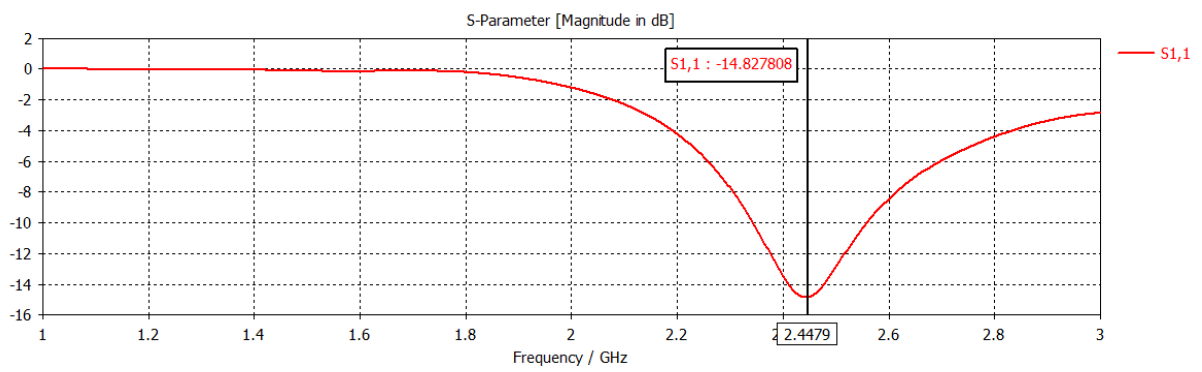
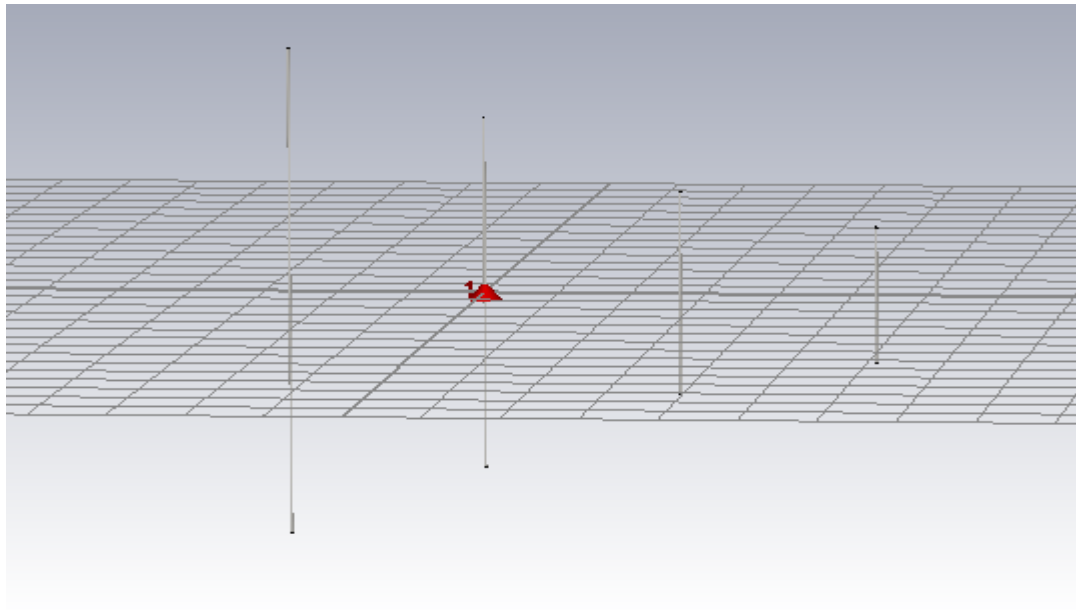
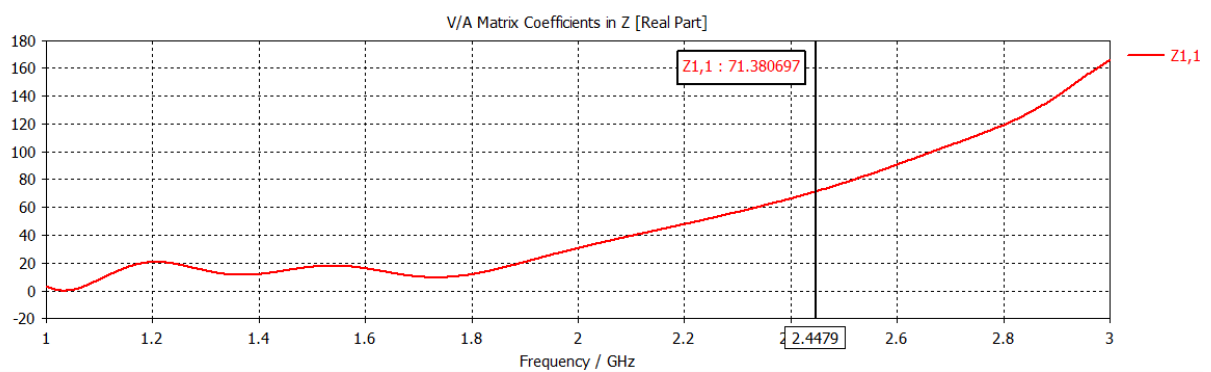


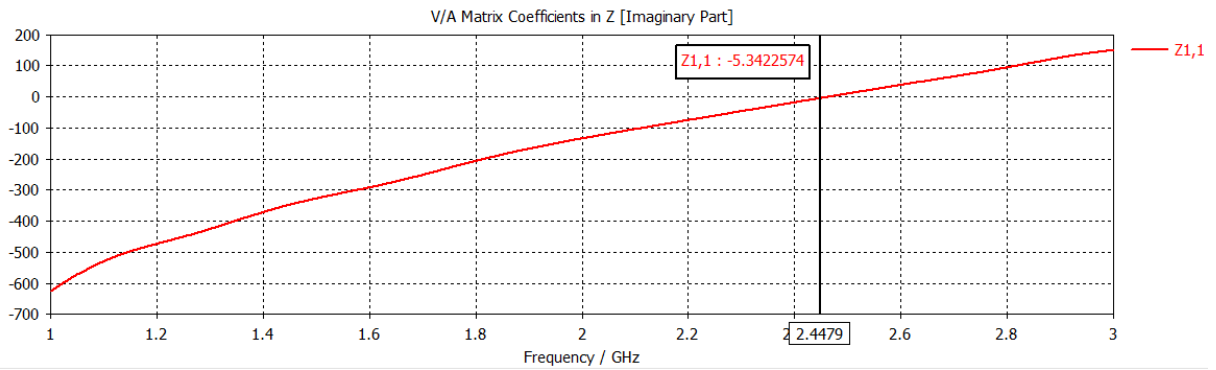
Diagramme de rayonnement 3D

On essaye de rajouter un deuxième directeur de longueur égale à $L_{dir2}=0.2*\lambda$ à une distance $d2=0.25*\lambda$ comme le montre la figure suivante :



Coefficient de reflexion S11





Impédance d'entrée Z11

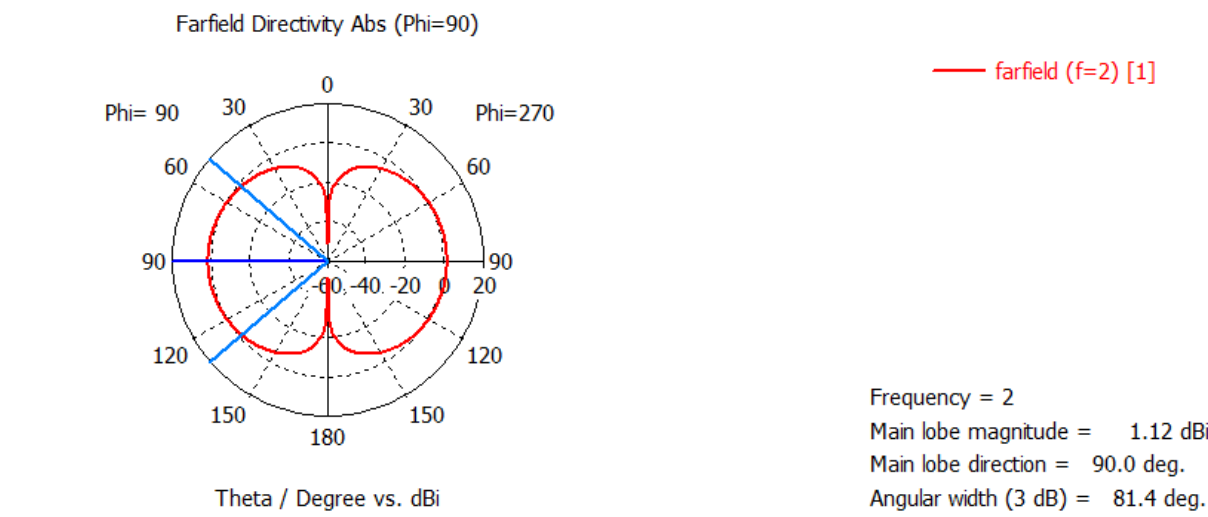
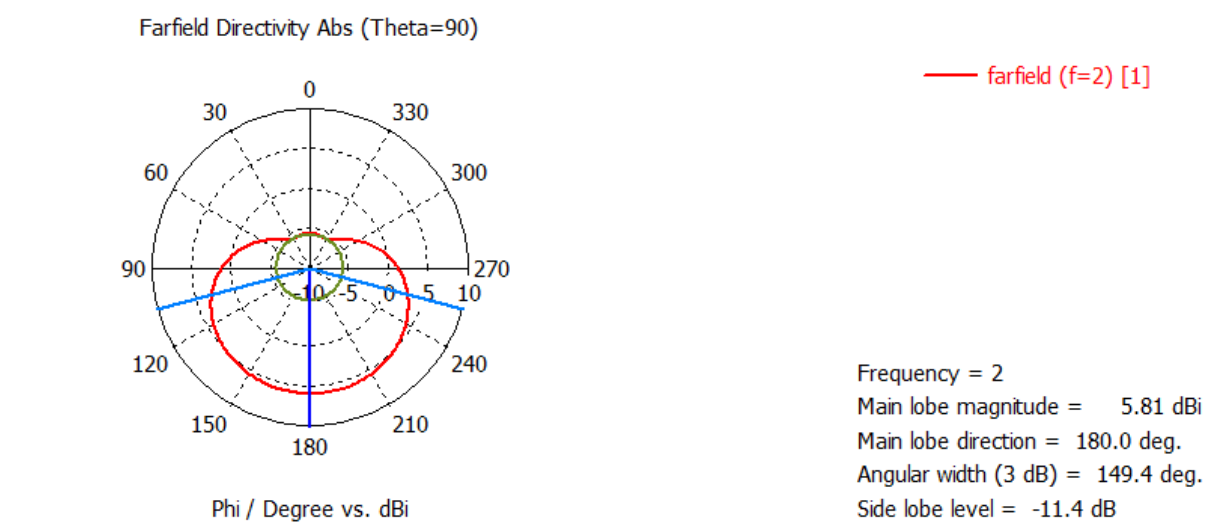


Diagramme de rayonnement 2D

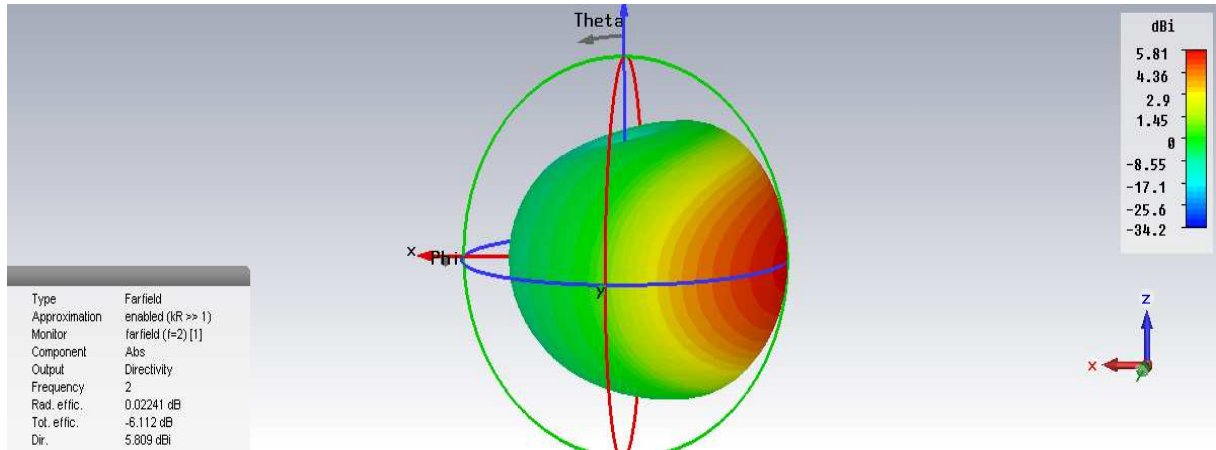
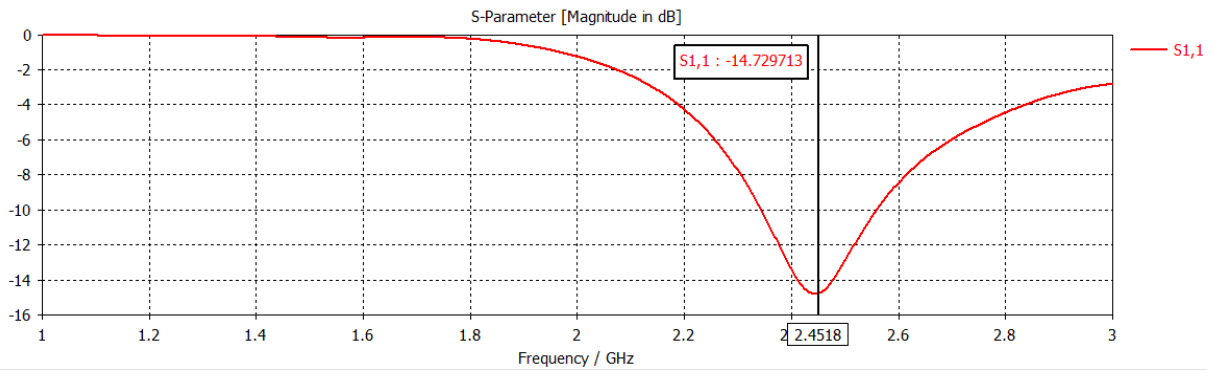
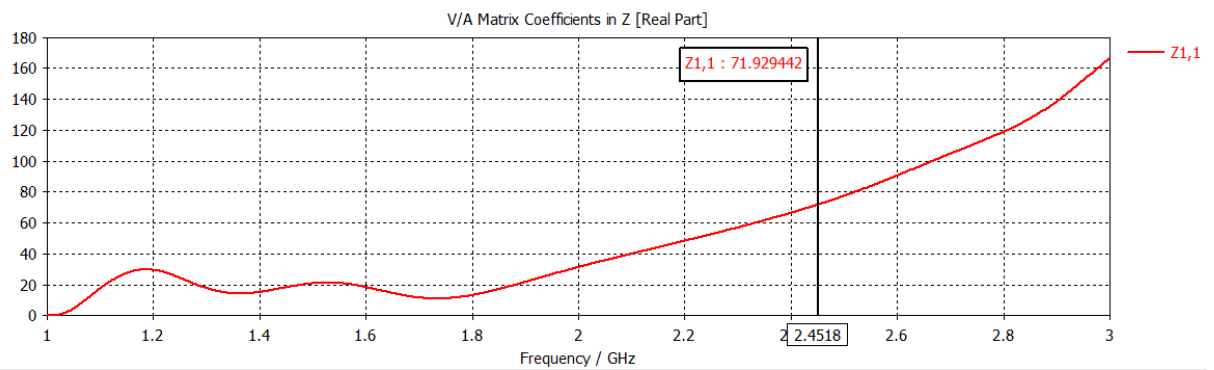


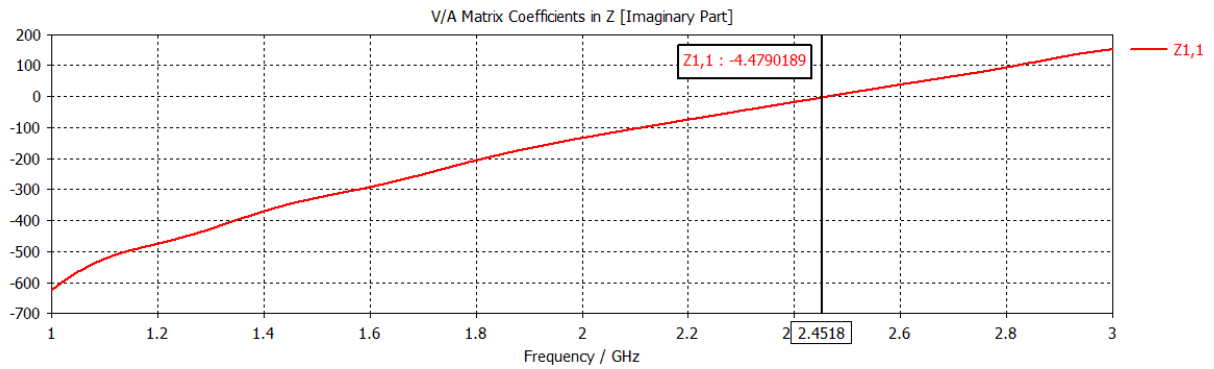
Diagramme de rayonnement 3D

$L_{dir2} = 0.1 * \lambda$ à une distance $d_2 = 0.25 * \lambda$



Coefficient de reflexion S11





Impédance d'entrée Z₁₁

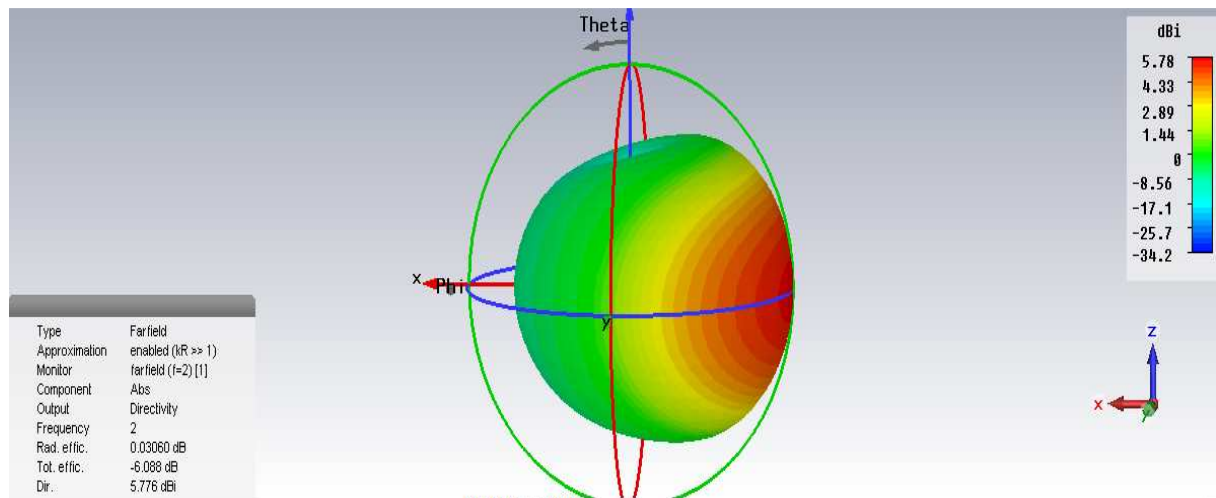


Diagramme de rayonnement 3D

III-7 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter une simulation de l'antenne Yagi. Nous avons conclu que :

- La longueur du dipôle influence sur la fréquence de résonance, et varie inversement avec cette dernière.
- les performances de cette antenne dépendent de la longueur de chaque élément et de l'espacement entre ces derniers.
- l'ensemble des éléments parasites se comporte comme une lentille diélectrique
- L'antenne Yagi est une antenne très directives et offre un gain important

CHAPITRE IV

Mesure pratique de l'antenne YAGI

IV-1 Introduction :

Notre objectif dans ce chapitre est d'effectuer les mesures pratiques sur des antennes grâce à un système d'expérimentation, que nous allons présenter ci-dessous.

IV-2 L'analyseur de réseaux

L'analyseur de réseaux est un dispositif qui permet de donner les paramètres S d'une antenne. Il existe deux types d'analyseurs de réseaux :

- Analyseur de réseaux scalaire : donne accès au module des paramètres S



Figure IV-1 : Analyseur de réseaux scalaire

- Analyseur de réseaux vectoriel : donne le module et la phase des paramètres S représentés en diagramme de Bode et Abaque de Smith

IV-3 Banc de mesure du diagramme de rayonnement :

Figure IV-2 : Banc de mesure du diagramme de rayonnement

Le kit de mesure présenté sur la figure ci-dessus, permet de mesurer le rayonnement d'une antenne et donner son diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes et en coordonnées polaires ainsi que l'angle d'ouverture de cette dernière.

Ce système est constitué

➤ **D'un émetteur :**

- Oscillateur de bande X à résonateur diélectrique
- Fréquence de 9GHz
- Rayonnement signalé par témoin optique

➤ **D'un récepteur :**

- LNC en bande X
- Haute sensibilité de mesure jusqu'à -65dBm

➤ **D'une plate forme tournante :**

- Résolution de 0.1°
- Commandée par un moteur pas à pas

➤ **D'une interface UniTrain-I :**

- Générateur de fonctions jusqu'à 1Mhz
- Oscilloscope avec 2entrées différentielles analogiques
- 16 entrées et sorties numériques
- 22 plages de temps $1\mu\text{s}$ -10s
- Taux d'échantillonnage de 40Msamples /s
- 9 calibres 100mv-50V
- 8 relais pour la simulation

➤ **D'un LabSoft :**

LabSoft constitue l'interface de contrôle de l'UniTrain –I, une plateforme d'expérimentation ouverte qui permet d'accéder à tous les médias du laboratoire UniTrain-I :

- Fenêtre de navigation avec une structure en arborescence pour l'affichage et la sélection directe de tous les cours UniTrain-I installés
- Réalisation des expériences, y compris documentation, évaluation et enregistrement des mesures

Après avoir alimenté le système et installé les antennes dans leurs emplacements respectifs (l'antenne mesurée est placée toujours dans l'émetteur)

Les deux antennes doivent être parfaitement alignées et séparées d'une distance comprise entre 0.5m et 1m.

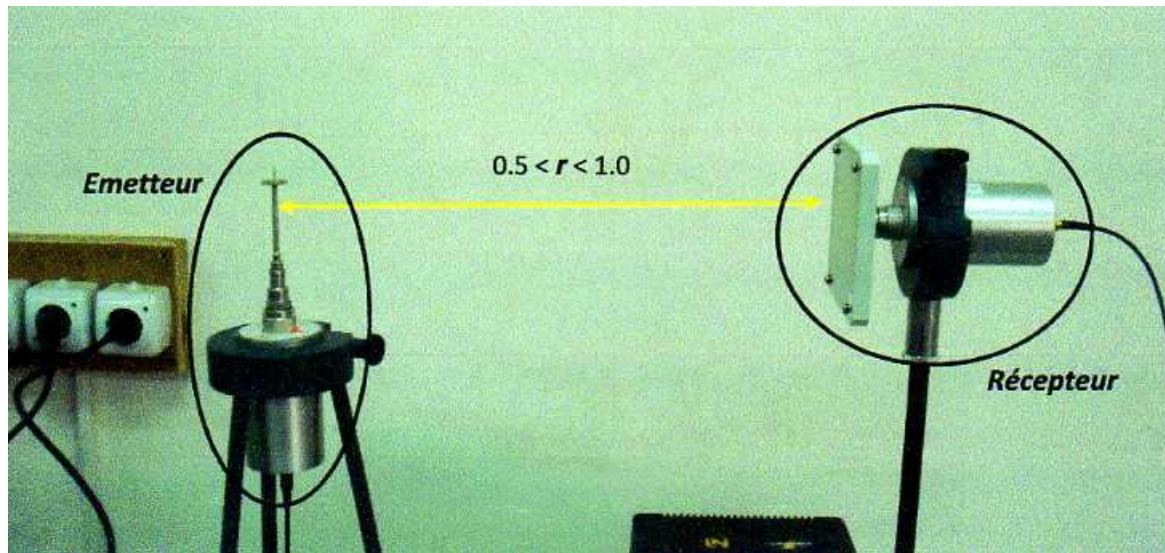


Figure IV-3 : Position des antennes émettrice et réceptrice

IV-4 Mesure de l'antenne dipôle demi-onde

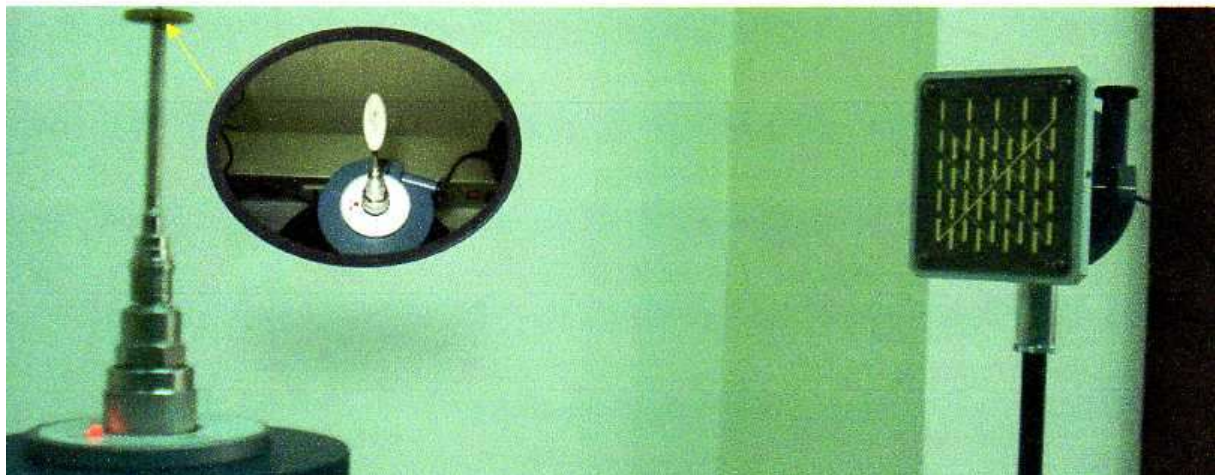
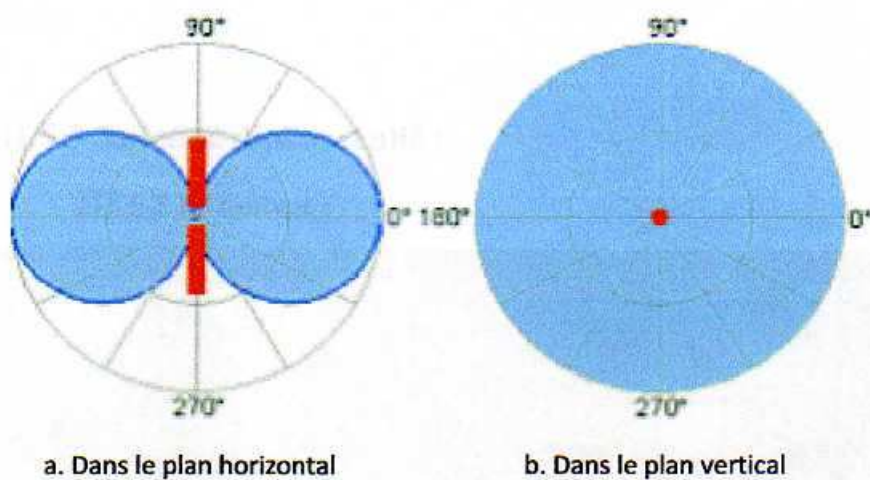


Figure IV-4 : Montage pour la mesure de diagramme de rayonnement de l'antenne dipôle demi-onde



a. Dans le plan horizontal

b. Dans le plan vertical

Figure IV-5 : Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne dipôle

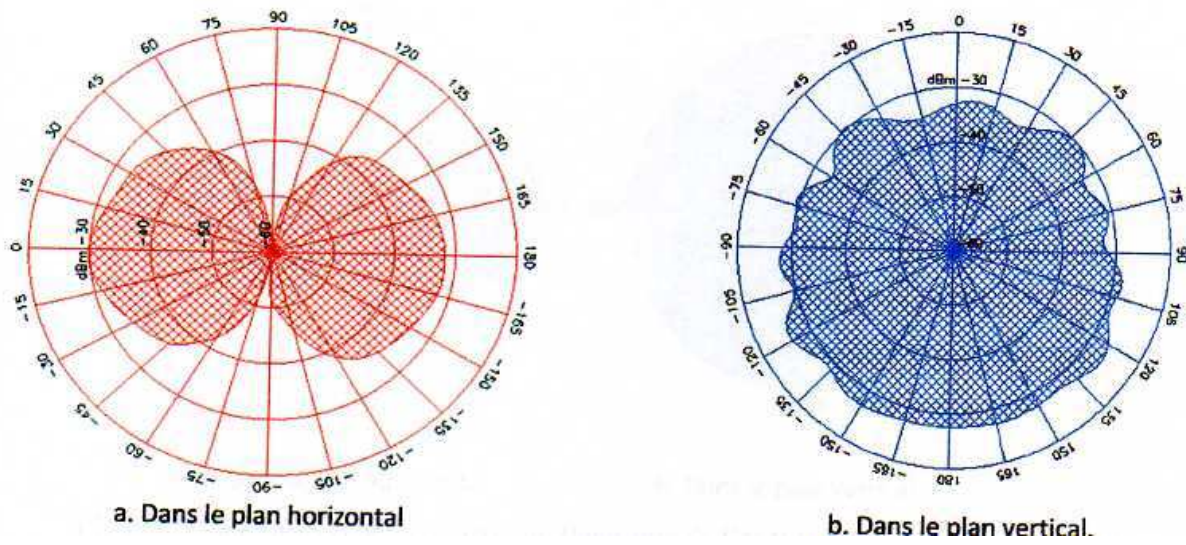


Figure IV-6 : Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne dipôle

IV-5 Mesure de l'antenne YAGI à 3 éléments

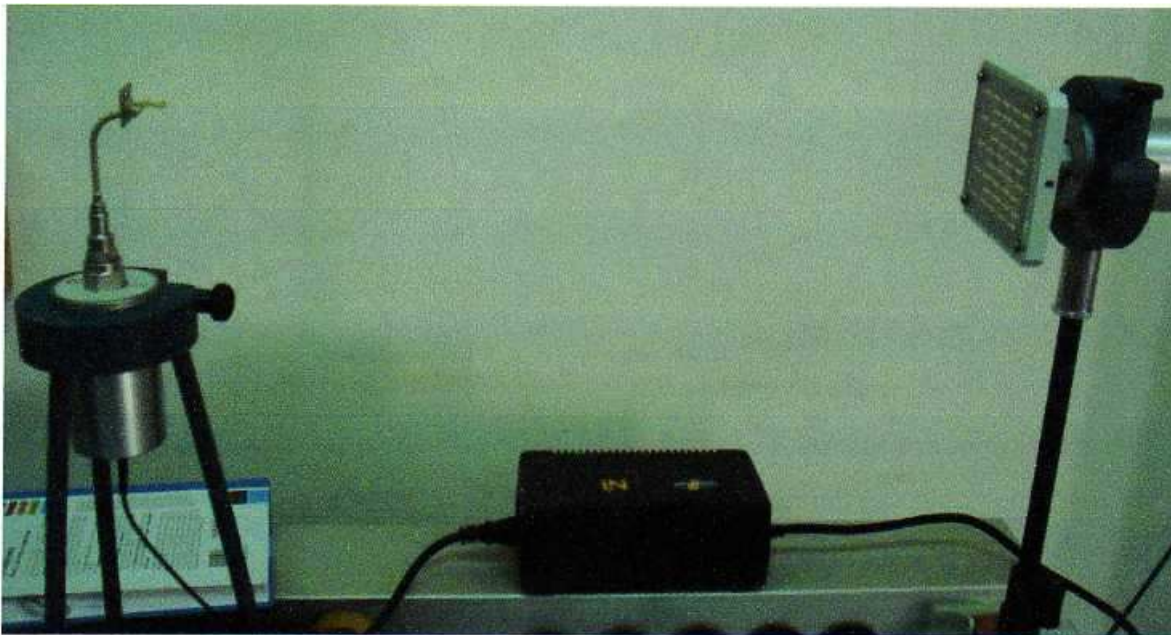


Figure IV-7 : Montage pour la mesure de diagramme de rayonnement de l'antenne YAGI à 3 éléments

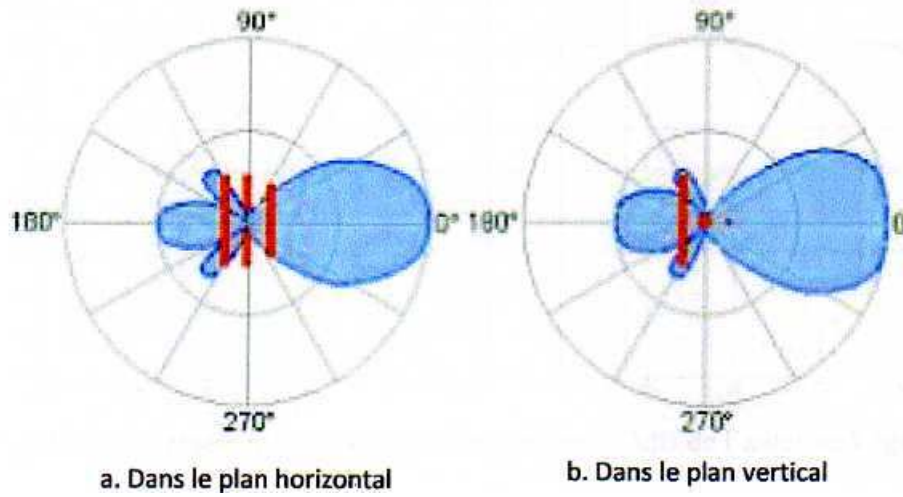


Figure IV-8 : Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne YAGI à 3 éléments

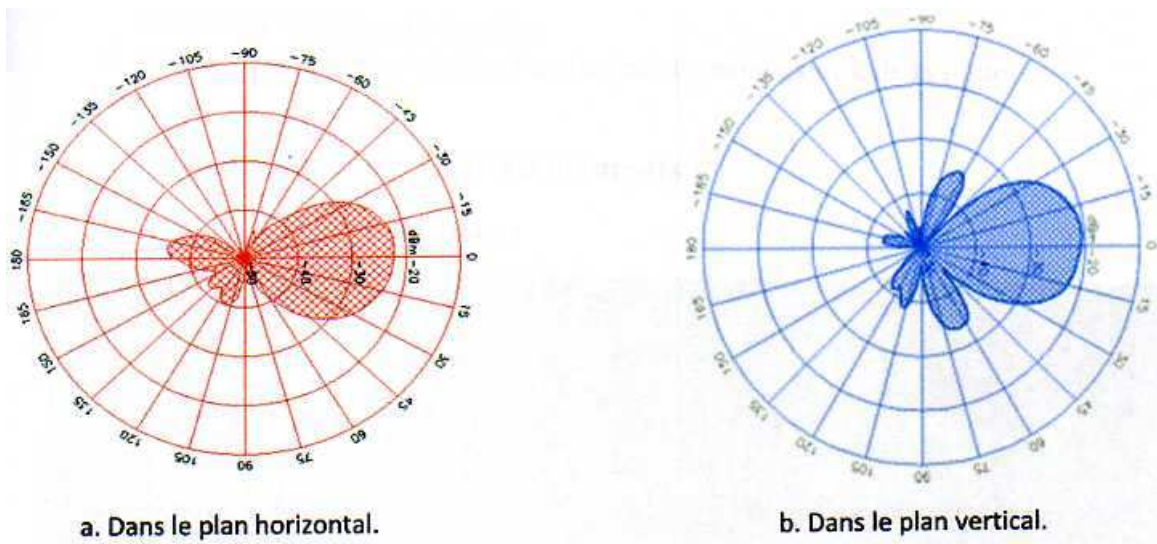


Figure IV-9: Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne YAGI à 3 éléments

IV-6 Mesure de l'antenne YAGI à 6 éléments

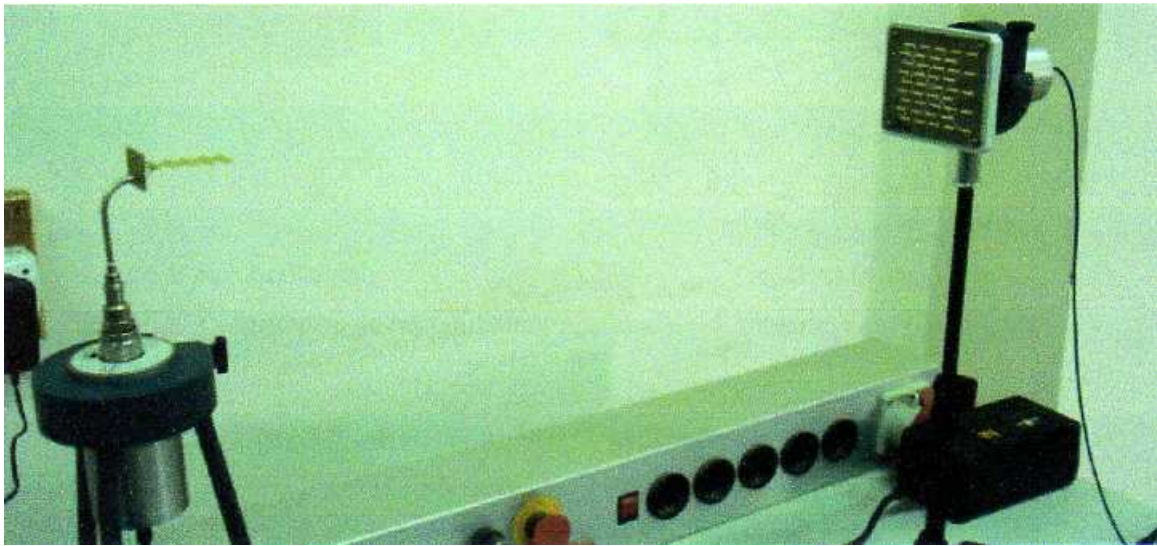


Figure IV-10: Montage pour la mesure de diagramme de rayonnement de l'antenne YAGI à 6 éléments

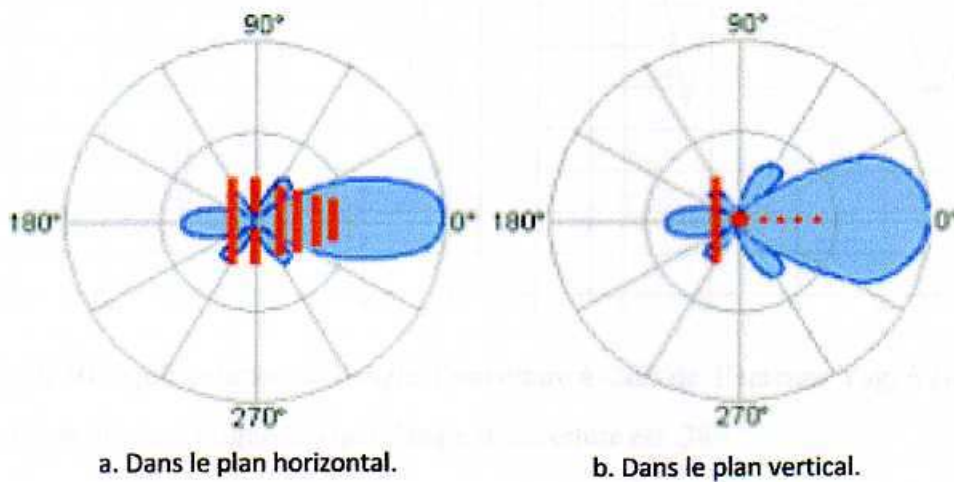


Figure IV-11: Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne YAGI à 6 éléments

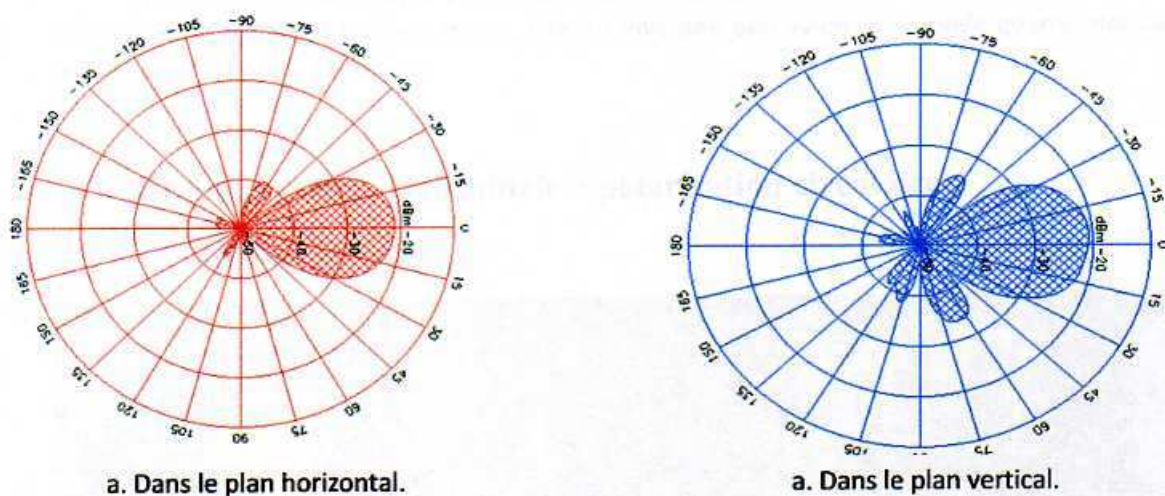


Figure IV-12 : Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne YAGI à 6 éléments

IV-7 Domaine d'application de l'antenne YAGI

Mécaniquement, elle est très utilisée en télévision terrestre, en liaison point à point et utilisée pour les premiers radars.

IV-8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mesuré les caractéristiques de l'antenne YAGI. Nous avons comparé les résultats obtenus à ceux trouvés dans la simulation.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif des travaux présentés dans ce manuscrit sont basés sur la maîtrise du logiciel CST Microwave Studio que nous avons appliqué pour l'étude des caractéristiques et du fonctionnement de l'antenne Yagi-Uda. Afin d'atteindre nos objectifs, nous avons présenté les caractéristiques principales des antennes, leur mécanisme de rayonnement ainsi que leur mode d'alimentation.

Dans le deuxième chapitre on a effectué une présentation générale des différentes fonctionnalités du logiciel CST et le rôle de chaque fonction que nous avons utilisé pour réaliser nos simulations

Le troisième chapitre a été consacré à effectuer une étude paramétrique de l'antenne Yagi-Uda fin de comprendre l'effet de chaque paramètre et enfin à avoir une structure optimale

Nous concluons que

- L'antenne Yagi est une antenne très directives et à gain élevé
- les caractéristiques de cette antenne dépendent de la longueur de chaque élément et de l'espacement entre ces derniers.

Dans le dernier chapitre nous avons procédé à la mesure pratique des performances de l'antenne Yagi en utilisant l'analyseur de réseaux scalaire et le banc de mesure « **Lucas nulle- Unitrain** », nous avons pu déterminer son diagramme de rayonnement ainsi le paramètre S11.

Bibliographie

[www .cst.com](http://www.cst.com)

www.youtube.com/simulation des antennes sous le CST Microwave Studio

ALEXANDRE BOYER, support de cours énoncé de travaux dirigés

<http://www.ta-formation.com/cours/e-antennes.pdf>

Cours dans le LabSoft du banc de mesure « Lucas nulle-Unitrain »

Livre de Rogert-Charles Honzé « Les antenne » Tome 1

[www.Wikipedia .fr /YAGI-UDA](http://www.Wikipedia.fr/YAGI-UDA)