
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Proyecto Fin de Carrera

Concepción de una antena transmit-array en doble polarización lineal.



AUTOR: Eduardo José Llanes Martínez
DIRECTOR: Dr. José María Molina García Pardo
Dr. Ronan Sauleau
(IETR, Universidad Rennes 1, Francia)

Concepción de una antena transmit-array en doble polarización lineal.

Septiembre 2014

Índice

| | |
|------------------------------------------|-----------|
| RESUMEN EN ESPAÑOL | 2 |
| Capítulo 1. Introducción..... | 3 |
| Capítulo 2. Transmit-array | 3 |
| Capítulo 3. Célula simple capa..... | 8 |
| Capítulo 4. Célula doble capa | 12 |
| Conclusiones | 15 |
| INFORME EN FRANCÉS | 16 |
| ANEXO: COSTE DE FABRICACIÓN | 67 |

Resumen en español

Capítulo 1. Introducción

Este proyecto consiste en la concepción de una antena de tipo transmit-array no reconfigurable que trabaje en doble polarización lineal. El objetivo principal es poder obtener un diagrama de radiación determinado para cada polarización de forma que consigamos un apuntamiento de haz distinto según la polarización. La frecuencia de trabajo de la antena diseñada es de 10GHz.

Este proyecto consta de varias etapas. La primera es el diseño en HFSS de dos tipos distintos de células que son los componentes que constituyen el panel receptor-transmisor y que deben tener una configuración que permita trabajar independientemente con cada polarización. Después realizaremos un estudio de prestaciones usando un algoritmo en Matlab que nos servirá para realizar tanto un barrido en función de la relación F/D como un barrido en frecuencia así como obtener los valores numéricos de ganancia, directividad etc.

En la última parte realizaremos distintos test de apuntamiento para distintas configuraciones de célula y de valor F/D.

Capítulo 2. Transmit-array

Una antena de tipo transmit-array está compuesta por una fuente principal y un conjunto plano de elementos que llamaremos células. Estos elementos están compuestos por una antena microstrip que va a captar la energía emitida por la fuente, un circuito intermedio que actuará sobre la fase, y una antena microstrip transmisora que radiara la onda al espacio libre. La utilización de esta tecnología permite reducir considerablemente el tamaño de la antena y disminuir la complejidad de fabricación, consiguiendo así un coste final menor. Sin embargo, obtenemos una débil banda pasante y baja eficiencia.

La parte principal y en la que se fundamenta el funcionamiento de estas antenas es el conjunto de células cuya función es modificar la fase de la onda incidente para compensar las diferencias debidas al trayecto desde la fuente hasta cada célula o modificar dicha fase para crear un diagrama determinado. El desfase a compensar viene dado por la ley de fase del factor de agrupación.

$$FR = \sum_m \sum_n A_{mn} \cdot e^{jmk_x d_x} \cdot e^{jnk_y d_y} = \sum_m \sum_n A_{mn} \cdot e^{\frac{2\pi}{\lambda} jm(\sin\theta \cos\varphi)d_x} \cdot e^{\frac{2\pi}{\lambda} jm(\sin\theta \sin\varphi)d_y}$$

Podemos aplicar una corrección de fase para obtener un haz apuntando a una dirección determinada:

$$\varphi = -k_x d_x - k_y d_y = -\frac{2\pi}{\lambda} \sin(\theta_0) \cos(\varphi_0) - \frac{2\pi}{\lambda} \sin(\theta_0) \sin(\varphi_0)$$

En la figura 2.1 se puede observar el esquema de funcionamiento de una antena transmit-array. A diferencia de los reflect-array el hecho de que la onda sea transmitida y no reflejada supone una mejora de la eficacia de la antena debido a que no se produce efecto de enmascaramiento o sombra.

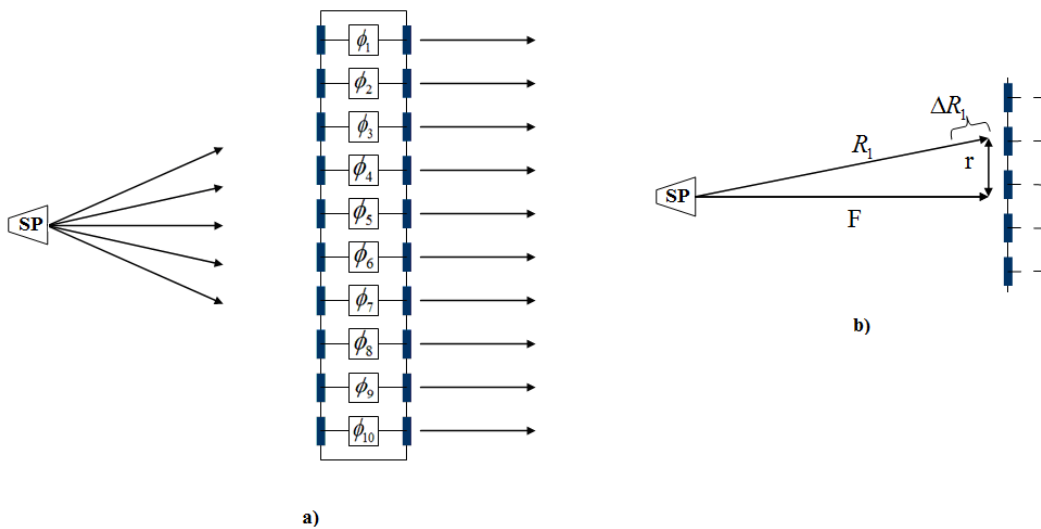


Figura 2.1. a) Esquema de funcionamiento transmit-array. b) Diferencia de camino entre células

Para obtener un haz en el eje perpendicular al panel de la antena, el desfase de la onda producido por la diferencia de caminos observada en la figura 2.1.b debe ser compensada. Para una frecuencia de trabajo de 10Ghz, el desfase a compensar será:

$$\Delta\phi(^{\circ}) = \frac{\Delta R_1}{\lambda} \cdot 360^{\circ} = \frac{(R_1 - F)}{\lambda} \cdot 360^{\circ} = \frac{(\sqrt{F^2 + r^2} - F)}{\lambda} \cdot 360^{\circ}$$

En nuestro caso, la red de células estará compuesta por 400 elementos dispuestos en un panel cuadrado de 20 células x 20 células. Las dimensiones de cada una de las células es de 15mm x 15mm ($\frac{\lambda_o}{2} \times \frac{\lambda_o}{2}$) y la red total será de dimensiones 300mm x 300mm ($10\lambda_o \times 10\lambda_o$). En la figura 2.2 se puede observar el panel completo incluyendo los márgenes para la fijación.

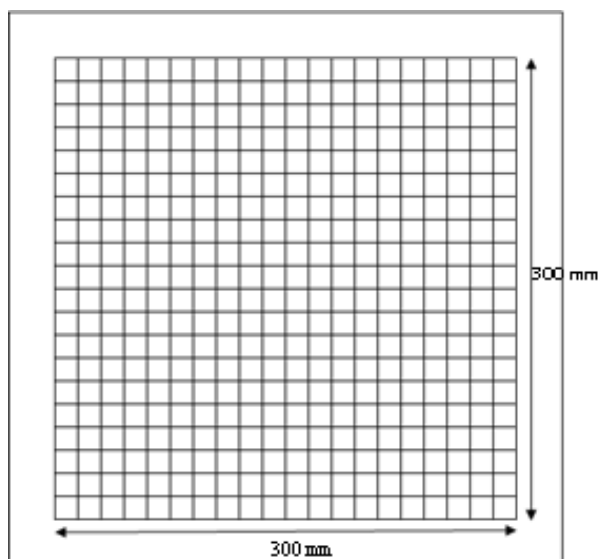


Figura 2.2. Panel transmit-array

En los siguientes capítulos vamos a diseñar la antena con dos tipos de células. Ambas comparten la misma estructura para conseguir trabajar en doble polarización lineal. En el caso de célula de simple capa, la estructura estará compuesta del lado de la bocina como del lado espacio libre por antenas microstrip sobre un sustrato de permitividad $\epsilon_r = 3.55$. Ambas están separadas por un plano de masa con una ranura en forma de cruz. Con el fin de intentar alargar la banda vamos a diseñar una segunda célula que llamaremos de doble capa donde vamos a añadir dos microstrip más. Las estructuras en perfil pueden verse en la figura 2.3

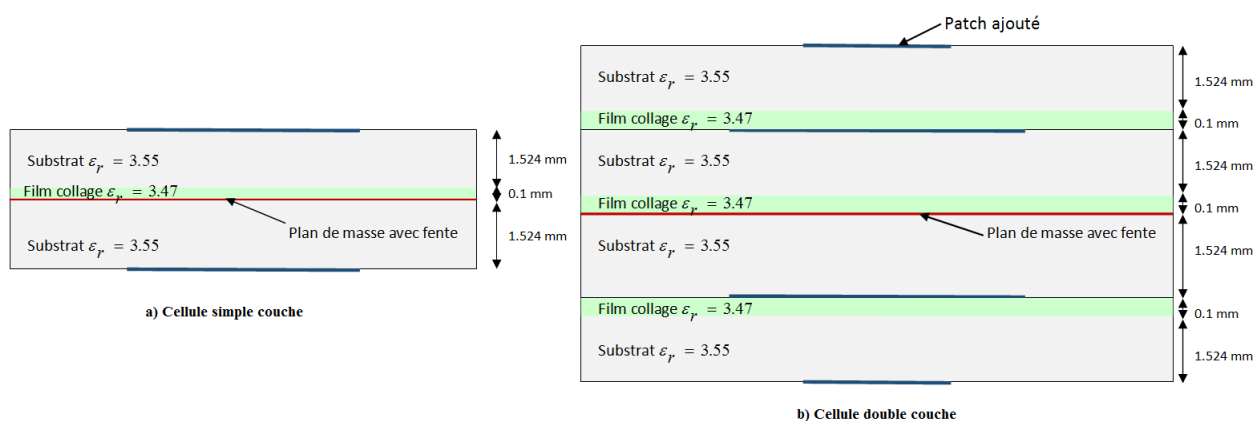


Figura 2.3. Vista de perfil de a) célula simple capa; b) célula doble capa

La fuente que iluminará el array transmisor será una bocina de 10dB de ganancia conectada a una guía WR-90 de dimensiones 22.86 mm x 10.16 mm. Con el fin de obtener los ficheros para trabajar con el código de optimización de Matlab vamos a diseñar la bocina en HFSS y a verificar su comportamiento.

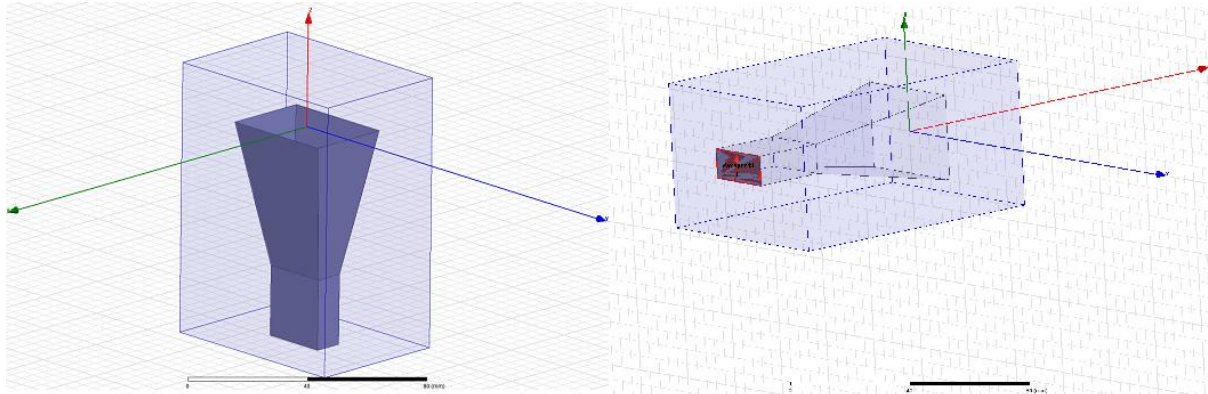
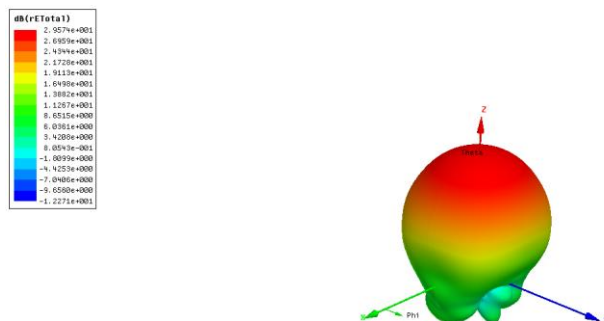


Figura 2.3. Diseño de la bocina en HFSS

En la siguiente figura podemos observar el diagrama de radiación y comprobar como el valor máximo es de alrededor de 10 dB para $\theta=0^\circ$.



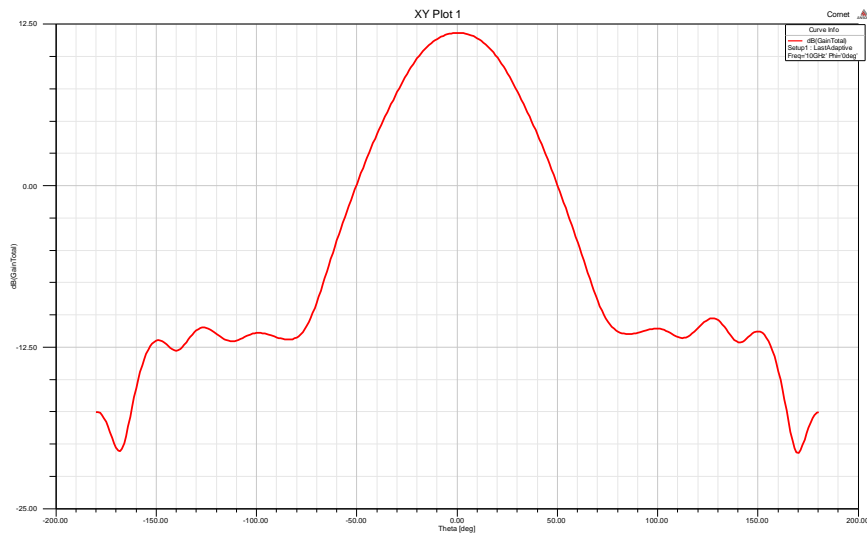


Figura 2.4. Diagrama de radiación de la fuente primaria

Un parámetro muy importante a tener en cuenta es la relación F/D con el fin de posicionar la bocina a la distancia focal óptima. Si la distancia focal F aumenta, la potencia incidente en la red de células es más uniforme lo que supone un aumento de la directividad y de los lóbulos secundarios, no obstante las pérdidas por desbordamiento aumentan disminuyendo así la ganancia y el rendimiento total de la antena. El valor óptimo de F/D normalmente se encuentra entre 0.5 y 1. Hemos realizado un barrido en función del valor F/D y hemos obtenido los siguientes resultados.

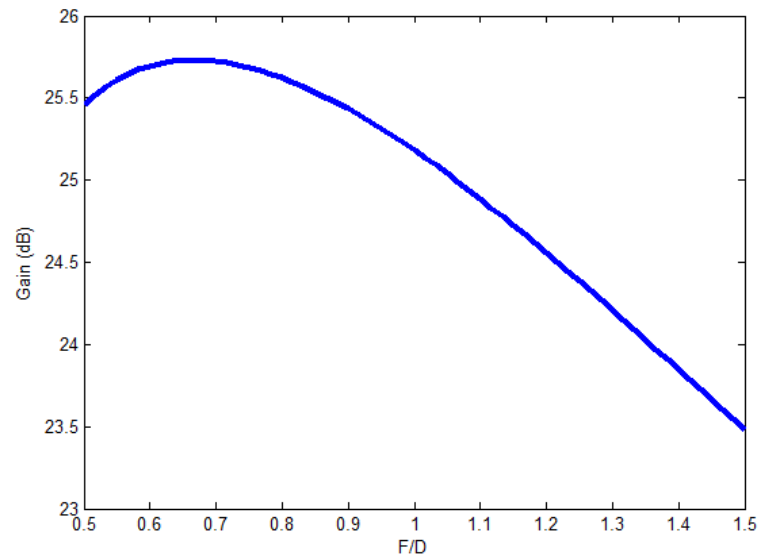


Figura 2.5. Barrido en función de F/D

Capítulo 3. Célula simple capa

Esta estructura estará formada por dos antenas microstrip de espesor $17\mu\text{m}$ sobre dos sustratos iguales RO4003 de permitividad $\epsilon_r = 3.55$, $\tan \delta = 0.0027$ y espesor 1.524mm , cada uno de un lado del plano de masa. Este plano de masa tendrá una ranura en forma de cruz. Para trabajar sobre la polarización horizontal (dimensión según eje X) vamos a variar las dimensiones físicas de LPatch y de la ranura perpendicular a este eje (L_{fente1} y W_{fente1}). Por el contrario, para trabajar sobre la polarización vertical modificaremos WPatch (dimensión según eje Y) y la ranura perpendicular al eje Y. En la figura 3.1 se observa las dimensiones a variar según la polarización.

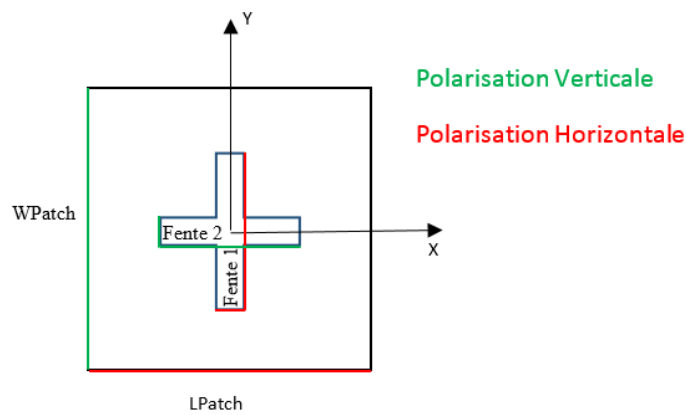


Figura 3.1. Polarización lineal doble

Para unir la parte superior con la inferior utilizaremos una película Rogers RO4450F de permitividad $\epsilon_r = 3.47$ y $\tan \delta = 0.004$ como se puede observar en la siguiente imagen:

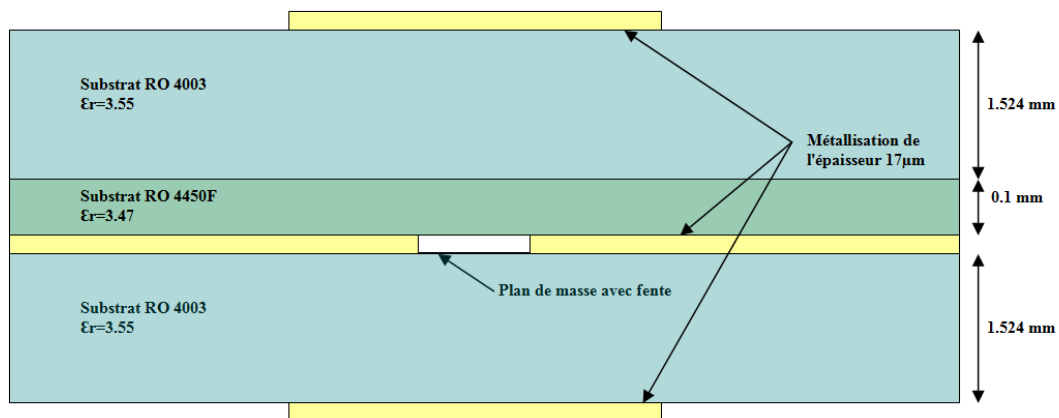


Figura 3.2. Vista de perfil de la célula simple capa

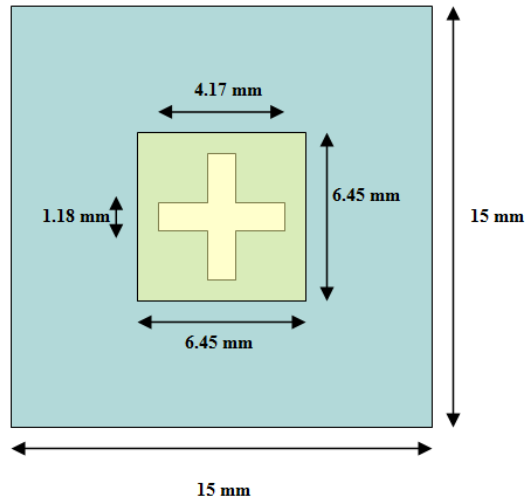


Figura 3.3. Vista desde arriba célula simple capa

Tras una simulación de la célula en HFSS, comprobamos que el ancho de banda a -3dB es de cerca de 1.75 GHz (17.5% a 10GHz). Con el fin de conocer el máximo desfase que podemos obtener con la variación de las dimensiones físicas vamos a desplazar la banda a los extremos de la banda pasante y observar la fase de S21 a 10GHz.

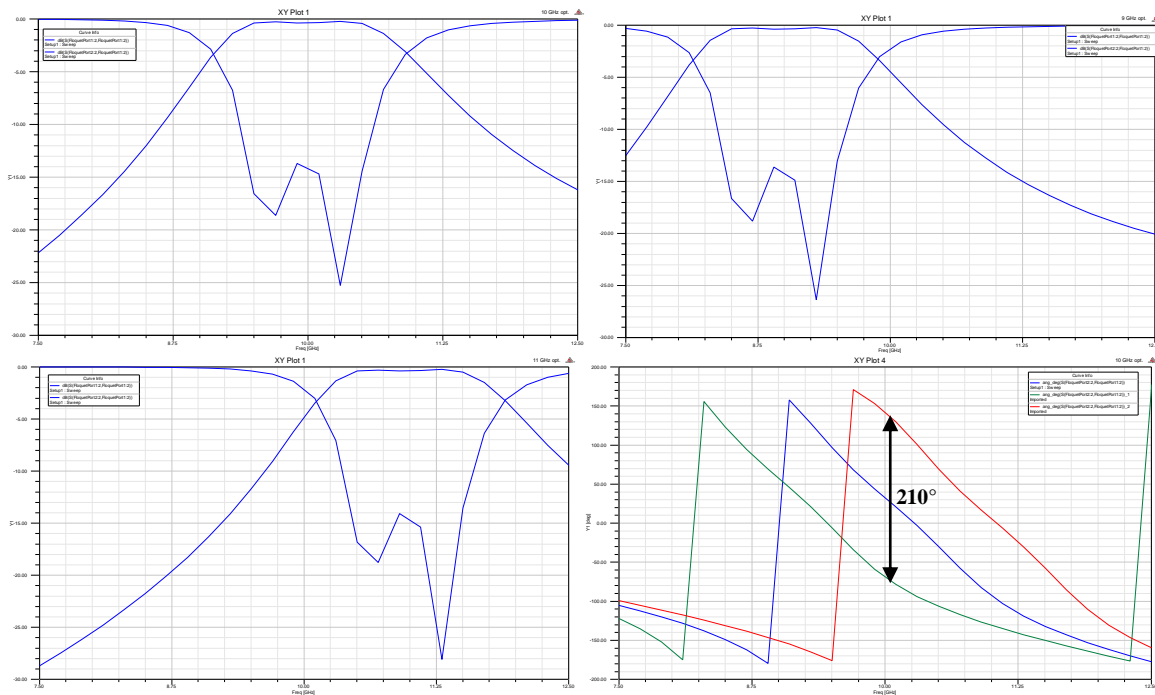


Figura 3.4.: a) Banda pasante de la célula simple capa a 10 GHz ; b) Banda pasante desplazada a 9GHz c) Banda pasante desplazada a 11GHz; d) Desfase máximo entre configuraciones a los extremos

El objetivo es encontrar una relación entre la fase que deseamos para cada célula y las dimensiones fijas con las que se debe crear para conseguirla. Vamos a definir 11 configuraciones entre 9GHz y 11GHz creando una base de datos que utilizaremos con el código de Matlab para seleccionar las dimensiones de cada una de las 400 células.

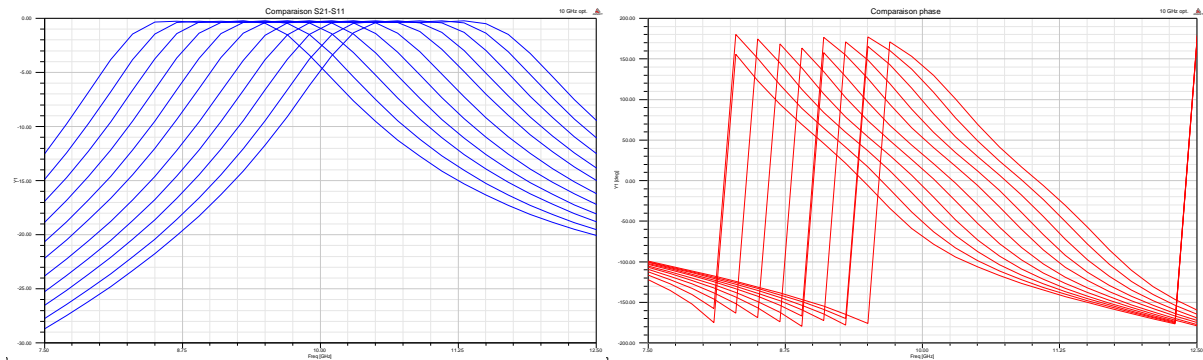


Figura 3.5.: Célula simple capa a) S21 de las 11 configuraciones; b) fase 21 de las 11 configuraciones

Las dimensiones y valores de fase de cada configuración se pueden observar en la siguiente tabla. El desfase máximo conseguido es de unos 210° .

| | Lpatch (mm) | Wpatch (mm) | Wfente1 (mm) | Lfente1 (mm) | Wfente2 (mm) | Lfente2 (mm) | Phase(°) à 10GHz normalisé |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------------|
| 9 GHz | 7,22 | 7,22 | 1,37 | 4,62 | 1,37 | 4,62 | -100,97 |
| 9.2 GHz | 7,07 | 7,07 | 1,34 | 4,53 | 1,34 | 4,53 | -83,17 |
| 9.4 GHz | 6,91 | 6,91 | 1,30 | 4,45 | 1,30 | 4,45 | -61,12 |
| 9.6 GHz | 6,76 | 6,76 | 1,25 | 4,35 | 1,25 | 4,35 | -39,30 |
| 9.8 GHz | 6,60 | 6,60 | 1,20 | 4,24 | 1,20 | 4,24 | -18,40 |
| 10 GHz | 6,45 | 6,45 | 1,18 | 4,17 | 1,18 | 4,17 | 0,00 |
| 10.2 GHz | 6,29 | 6,29 | 1,14 | 4,09 | 1,14 | 4,09 | 20,57 |
| 10.4 GHz | 6,14 | 6,14 | 1,11 | 4,03 | 1,11 | 4,03 | 41,14 |
| 10.6 GHz | 6,03 | 6,03 | 1,08 | 3,93 | 1,08 | 3,93 | 65,76 |
| 10.8 GHz | 5,93 | 5,93 | 1,02 | 3,86 | 1,02 | 3,86 | 90,58 |
| 11 GHz | 5,82 | 5,82 | 1,03 | 3,79 | 1,03 | 3,79 | 108,92 |

En la siguiente etapa, vamos a utilizar un código proporcionado en Matlab para calcular el fichero “PhaseShift”, el cual contiene el desfase que debemos aplicar a cada célula para obtener el diagrama deseado. Para trabajar con el código vamos a tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Todos los parámetros exportados de diseño de HFSS será los de la configuración a 10GHz para disminuir el coste computacional del análisis en Matlab. Exportaremos los ficheros de ganancia, campo eléctrico, parámetro S e impedancia.
- Como el desfase máximo que podemos conseguir es de 210° en vez de los 360° ideales vamos a truncar el valor de fase a -100.97° y 108.92° que son los máximos obtenidos.

- Teniendo en cuenta el punto anterior, en todas las simulaciones presentaremos tres resultados distintos:
 - Ideal: El fichero PhaseShift contiene los valores de fase que debe presentar cada célula considerando el intervalo ideal -180° a 180° .
 - Aproximación infinita: Phaseshift contiene numerosos valores de fase comprendidos dentro del intervalo máximo -100.97° y 108.92° .
 - Aproximación finita: El fichero PhaseShift contiene los valores de fase de las células pero seleccionando únicamente los 11 valores predefinidos en la base de datos. De modo que el valor de fase será truncado al valor más cercano de estos. Con esta aproximación pretendemos observar si hay gran diferencia con la aproximación infinita de modo que podamos fabricar el panel considerando únicamente 11 configuraciones simplificando así el proceso.
- En las gráficas de plano E y plano H hemos superpuesto las gráficas para cada valor del barrido de frecuencia.
- Todos los ficheros exportados han sido creados habiendo excitado la célula con una sola polarización, hemos verificado que la polarización perpendicular no afecta estudiando el aislamiento de polarización de una célula, comprobando que los valores cruzados S_{11xy} , S_{21xy} , S_{11yx} y S_{21yx} son muy débiles. La siguiente gráfica puede observarse los valores inferiores a -50dB .

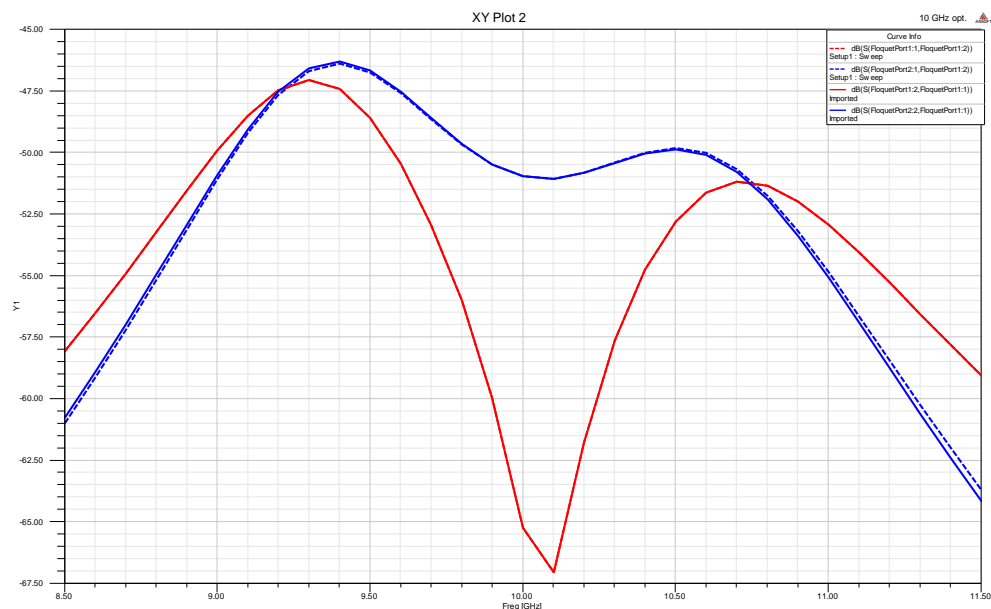


Figura 3.6. Polarización cruzada célula simple

Para no repetir las numerosas gráficas, en la sección 3.4. del informe en francés se presentan todos los resultados para la solución ideal, aproximación infinita y aproximación finita para valores de

F=190mm, F=200mm y F=215mm con un apuntamiento sobre el eje $\theta=0^\circ$. Distintos test de apuntamiento son presentados en el capítulo 5 para $\theta=15^\circ$; $\theta=30^\circ$ y $\theta=45^\circ$.

Capítulo 4. Célula doble capa

Esta configuración parte de la célula simple formada por dos antenas microstrip sobre dos sustratos RO4003 separados por un plano de masa con una ranura en X. Para intentar alargar la banda pasante vamos a añadir dos nuevas antenas microstrip, una a cada lado del plano de masa, de tamaño inferior al anterior. En la figura 4.1. se puede observar la estructura de perfil y planta.

En la célula de doble capa tendremos dos nuevos parámetros a variar LPatch1 y Wpatch1, que son las dimensiones de los parches superiores.

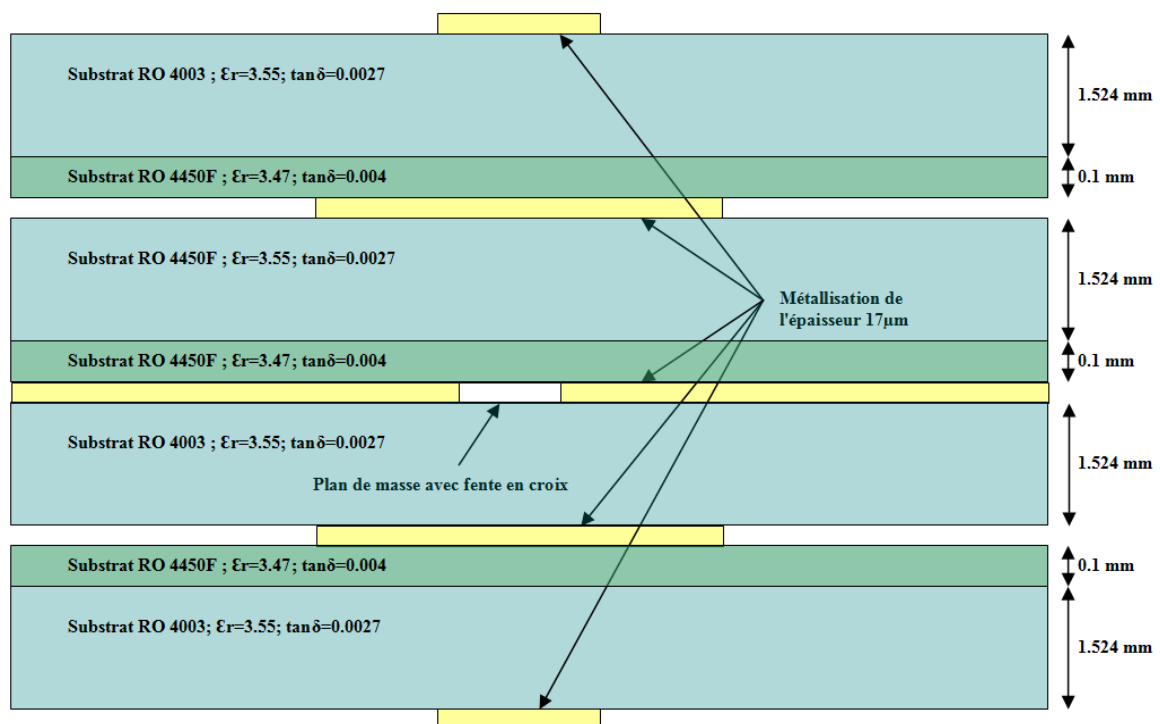


Figura 4.1. Vista de perfil de la célula doble capa

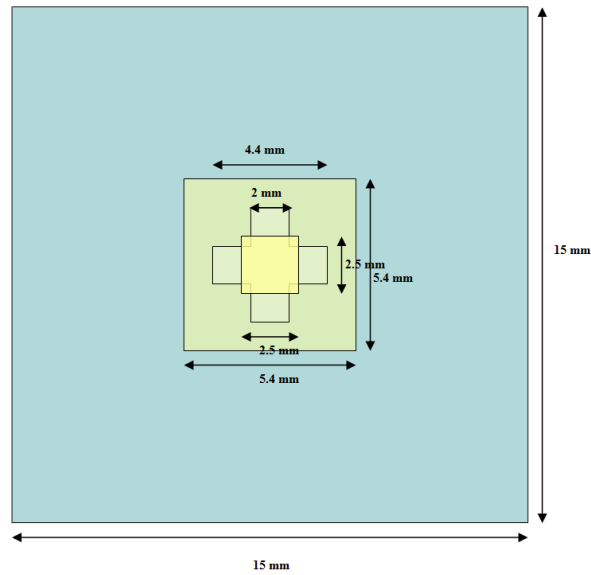


Figura 4.2. Vista desde arriba de la célula doble capa

Del mismo modo que en el apartado 3, vamos a desarrollar una base de datos para exportar a Matlab. Simulando la célula a 10GHz hemos comprobado que ahora tenemos un ancho de banda a -3dB de cerca de 3.2GHz. Aunque la banda es más ancha, el desfase que se puede conseguir es menor que en la célula simple, alrededor de 185°.

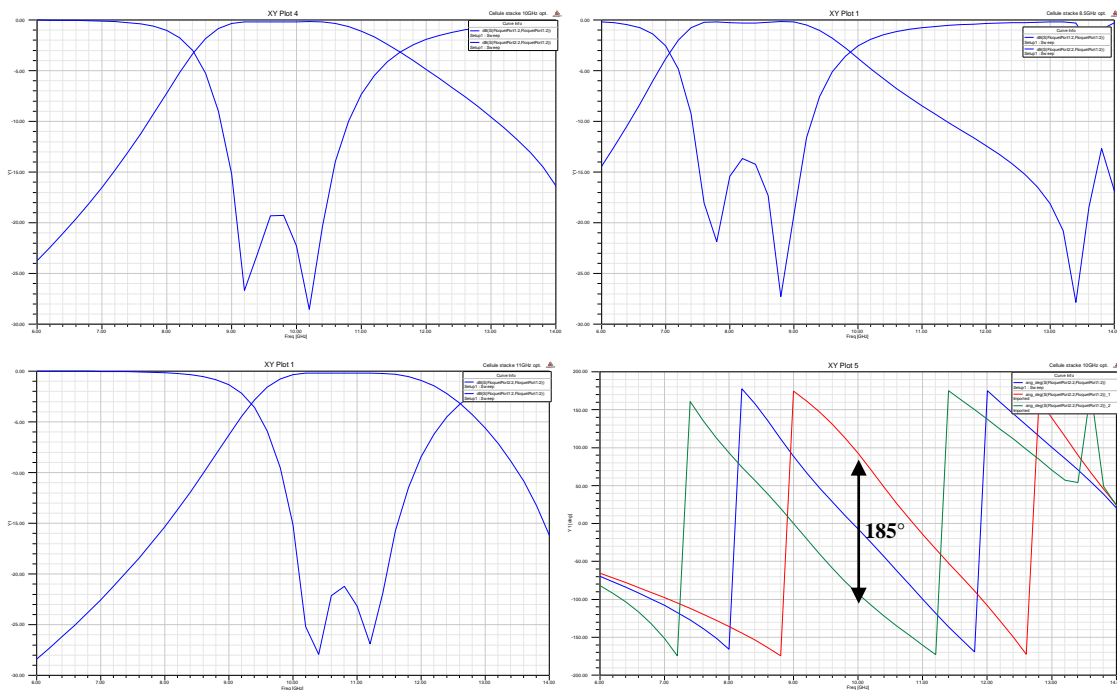


Figura 4.3.:a) Banda pasante de la célula doble capa a 10GHz ; b) Banda pasante desplazada a 8.5GHz; c) Banda pasante desplazada a 11.5GHz ; d) Desfase entre configuraciones a 8.5GHz y 11.5GHz

Se ha verificado el buen aislamiento entre polarización vertical y horizontal. En la siguiente figura se observa los valores de S_{11xy} , S_{21xy} , S_{11yx} y S_{21yx} . Todos por debajo de -60dB a 10GHz .

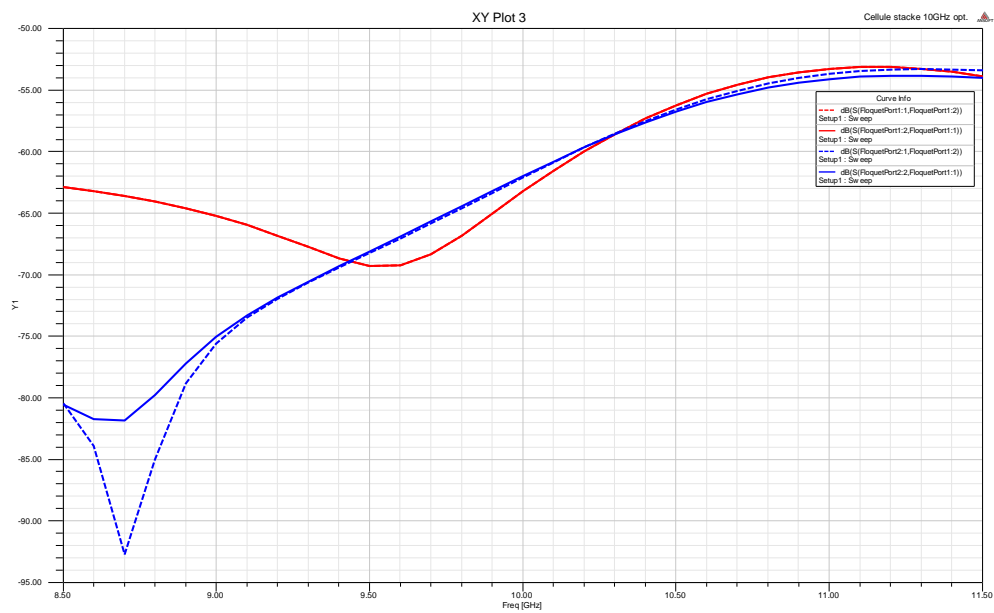


Figure 4.4. Polarización cruzada célula doble capa

El siguiente paso es crear la base de datos a exportar. Vamos a crear 13 configuraciones entre 8.5GHz y 11.5GHz :

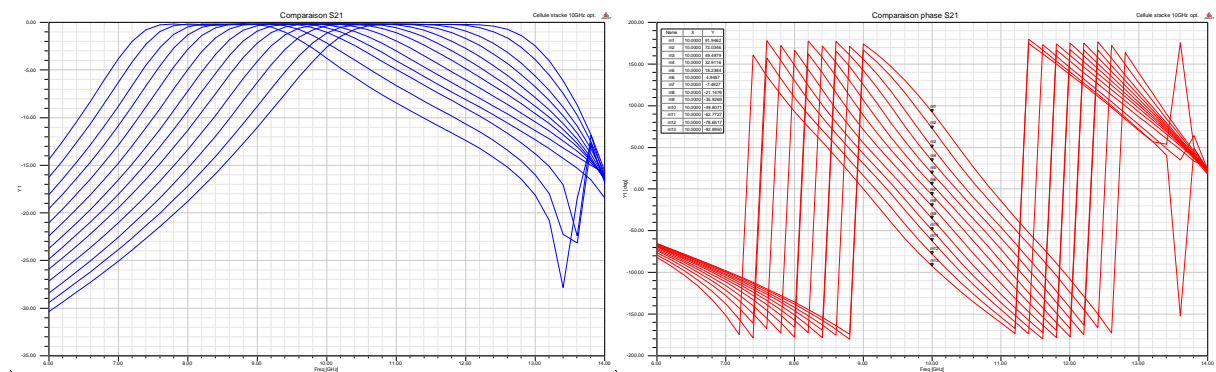


Figura 4.5.: Célula doble capa a) S21 de las 13 configuraciones; b) fase 21 de las 13 configuraciones

Los valores de fase normalizadas a 10GHz junto con las dimensiones de cada parámetro físico para conseguir dicha fase se presentan en la siguiente tabla:

| | LPatch=WPatch (mm) | Lfente1=Lfente2 (mm) | Wfente1=Wfente2 (mm) | LPatch1=WPatch1 (mm) | Phase(°) à 10GHz normalisée |
|--------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|
| 8,5 | 6,4 | 5,3 | 3 | 4,5 | -85.454 |
| 8.75 | 6.2 | 5.2 | 2.75 | 4.5 | -71.159 |
| 9 | 6 | 5,1 | 2,5 | 4,5 | -55.28 |
| 9.25 | 5.85 | 5 | 2.35 | 4.25 | -42.3144 |
| 9,5 | 5,7 | 4,9 | 2,2 | 4 | -28.4342 |
| 9.75 | 5.53 | 4.8 | 2.1 | 3.75 | -13.6549 |
| 10 | 5,37 | 4,7 | 2 | 3,5 | 0 |
| 10.25 | 5.23 | 4.6 | 1.95 | 3.25 | 12.4414 |
| 10,5 | 5,1 | 4,5 | 1,9 | 3 | 25.7311 |
| 10.75 | 4.96 | 4.42 | 1.75 | 2.75 | 40.4043 |
| 11 | 4,83 | 4,35 | 1,6 | 2,5 | 56.9906 |
| 11.25 | 4.66 | 4.25 | 1.6 | 2.25 | 79.5273 |
| 11,5 | 4,5 | 4,15 | 1,6 | 2 | 99.4389 |

Los resultados sin apuntamiento para F=190mm, F=200mm y F=215mm son presentados en el apartado 4.4. del informe en francés.

Los test para apuntamiento de $\theta=15^\circ$; $\theta=30^\circ$ y $\theta=45^\circ$ con F=190mm se pueden observar en el capítulo 5.

Conclusiones

En este trabajo hemos presentado las distintas etapas llevadas a cabo en la concepción de una antena transmit-array en doble polarización lineal. Con la configuración de las células somos capaces de trabajar con cada polarización lineal de modo independiente a la otra de modo que podemos obtener un diagrama de apuntamiento distinto para polarización horizontal y vertical.

Como se puede observar en el capítulo 5 del informe en francés donde se realizó test de apuntamiento para $\theta=15^\circ$, $\theta=30^\circ$ y $\theta=45^\circ$ con dos configuraciones distintas:

- Transmit-array construido mediante células simples y fuente a una distancia F=215mm
- Transmit-array construido mediante células de doble capa y fuente a una distancia F=190mm

Los resultados obtenidos han sido satisfactorios.

Informe en francés



Conception d'un réseau transmetteur en bipolarisation linéaire

Stagiaire: Eduardo José Llanes Martinez
Encadrant: Ronan Sauleau
Co-encadrant: Ngoc Tinh Nguyen

Table des matières

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| CHAPITRE 1 | 7 |
| 1.1. Motivation | 8 |
| 1.2. Organisation du projet | 8 |
| CHAPITRE 2 | 9 |
| 2.1. Fonctionnement d'un réseau transmetteur | 10 |
| 2.2. Réseau transmetteur en bipolarisation linéaire | 12 |
| 2.3. Source focale | 14 |
| CHAPITRE 3 | 17 |
| 3.1. Dimensions de la cellule simple couche | 18 |
| 3.2. Résultats de HFSS | 19 |
| 3.3. Base de données | 21 |
| 3.4. Balayage en fréquence avec le code d'analyse | 22 |
| 3.4.1. Idéal - F=190mm | 24 |
| 3.4.2. Approche infinie - F=190mm..... | 25 |
| 3.4.3. Approche finie - F=190mm..... | 26 |
| 3.4.4. Idéal - F=200mm | 27 |
| 3.4.5. Approche infinie - F=200mm..... | 28 |
| 3.4.6. Approche finie - F=200mm..... | 29 |
| 3.4.7. Idéal - F=215mm | 30 |
| 3.4.8. Approche infinie - F=215mm..... | 31 |
| 3.4.9. Approche finie - F=215mm..... | 32 |
| 3.4.10. Comparaison des résultats de la cellule simple couche..... | 33 |
| CHAPITRE 4 | 35 |
| 4.1. Dimensions de la cellule double couche | 36 |
| 4.2. Résultats de HFSS | 37 |
| 4.3. Base de données | 38 |
| 4.4. Balayage en fréquence avec le code d'analyse | 40 |
| 4.4.1. Idéal - F=190mm | 41 |
| 4.4.2. Approche infinie - F=190mm..... | 42 |
| 4.4.3. Approche finie - F=190mm..... | 43 |
| 4.4.4. Idéal - F=200mm | 44 |
| 4.4.5. Approche infinie - F=200mm..... | 45 |
| 4.4.6. Approche finie - F=200mm..... | 46 |
| 4.4.7. Idéal - F=215mm | 47 |
| 4.4.8. Approche infinie - F=215mm..... | 48 |
| 4.4.9. Approche finie - F=215mm..... | 49 |
| 4.4.10. Comparaison résultats de la cellule double couche..... | 50 |
| CHAPITRE 5 | 51 |
| 5.1. Dépointage $\theta=15^\circ$ avec cellule simple couche et F=215mm | 52 |
| 5.1.1. Idéal | 52 |
| 5.1.2. Approche infinie..... | 53 |
| 5.1.3. Approche finie..... | 53 |
| 5.2. Dépointage $\theta=15^\circ$ avec cellule double couche et F=190mm | 54 |
| 5.2.1 Idéal | 54 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.2. Approche infinie..... | 54 |
| 5.2.3. Approche finie..... | 55 |
| 5.3. Dépointage $\theta=30^\circ$ avec cellule simple couche et F=215mm..... | 55 |
| 5.3.1. Idéal..... | 55 |
| 5.3.2. Approche infinie..... | 55 |
| 5.3.3. Approche finie..... | 56 |
| 5.4. Dépointage $\theta=30^\circ$ avec cellule double couche et F=190mm..... | 57 |
| 5.4.1 Idéal..... | 57 |
| 5.4.2. Approche infinie..... | 57 |
| 5.2.3. Approche finie..... | 58 |
| 5.5. Dépointage $\theta=45^\circ$ avec cellule simple couche et F=215mm..... | 58 |
| 5.5.1. Idéal..... | 58 |
| 5.5.2. Approche infinie..... | 59 |
| 5.5.3. Approche finie..... | 59 |
| 5.6. Dépointage $\theta=45^\circ$ avec cellule double couche et F=190mm..... | 60 |
| 5.6.1 Idéal..... | 60 |
| 5.6.2. Approche infinie..... | 60 |
| 5.6.3. Approche finie..... | 61 |
| 5.7. Comparaison de dépointage pour le cas simple couche..... | 61 |
| 5.8. Comparaison de dépointage pour le cas double couche..... | 62 |
| CONCLUSIONS..... | 64 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 65 |

Table des figures

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1: a) Schéma de fonctionnement du réseau transmetteur. b) Différence de trajet entre cellules..... | 11 |
| Figure 2: Réseau de cellules..... | 12 |
| Figure 3: Vue en coupe des cellules..... | 13 |
| Figure 4: Polarisation linéaire des cellules..... | 13 |
| Figure 5: Dessin cornet sur HFSS..... | 14 |
| Figure 6: Diagrammes de rayonnement du cornet à 10GHz..... | 15 |
| Figure 7: Balayage du rapport F/D..... | 15 |
| Figure 8: Vue en coupe de la cellule simple couche..... | 19 |
| Figure 9: Vue de dessus de la cellule simple couche..... | 19 |
| Figure 10: a) Bande passante de la cellule simple couche à 10GHz ; b) Bande passante de la cellule simple couche à 9GHz. c) Bande passante de la cellule simple couche à 11GHz ; d) Déphasage entre configurations à 9GHz et 11GHz..... | 20 |
| Figure 11: Polarisation croisée cellule simple couche..... | 20 |
| Figure 12: Cellule simple couche a) S21 des configurations b) phase S21 des configurations..... | 21 |
| Figure 13: Cellule simple couche. Courbes phase-dimensions de la base de données..... | 22 |
| Figure 14: Balayage en F/D cellule simple couche..... | 23 |
| Figure 15: Analyse idéale F=190mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante..... | 24 |
| Figure 16: Plan E. Analyse idéale F=190mm Simple couche..... | 24 |
| Figure 17: Plan H. Analyse idéale F=190mm Simple couche..... | 24 |
| Figure 18: Analyse infinie F=190mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante..... | 25 |
| Figure 19: Plan E. Analyse infinie F=190mm Simple couche..... | 25 |
| Figure 20: Plan H. Analyse infinie F=190mm Simple couche..... | 25 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 21: Analyse finie F=190mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante..... | 26 |
| Figure 22: Plan E. Analyse finie F=190mm Simple couche. | 26 |
| Figure 23: Plan H. Analyse finie F=190mm Simple couche..... | 26 |
| Figure 24: Analyse idéale F=200mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante..... | 27 |
| Figure 25: Plan E. Analyse idéale F=200mm Simple couche..... | 27 |
| Figure 26: Plan H. Analyse idéale F=200mm Simple couche | 27 |
| Figure 27: Analyse infinie F=200mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante..... | 28 |
| Figure 28: Plan E. Analyse infinie F=200mm Simple couche..... | 28 |
| Figure 29: Plan H. Analyse infinie F=200mm Simple couche | 28 |
| Figure 30: Analyse finie F=200mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante..... | 29 |
| Figure 31: Plan E. Analyse finie F=200mm Simple couche..... | 29 |
| Figure 32: Plan H. Analyse finie F=200mm Simple couche..... | 29 |
| Figure 33: Analyse idéale F=215mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante..... | 30 |
| Figure 34: Plan E. Analyse idéale F=215mm Simple couche..... | 30 |
| Figure 35: Plan H. Analyse idéale F=215mm Simple couche | 30 |
| Figure 36: Analyse infinie F=215mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante..... | 31 |
| Figure 37: Plan E. Analyse infinie F=215mm Simple couche..... | 31 |
| Figure 38: Plan H. Analyse infinie F=215mm Simple couche | 31 |
| Figure 39: Analyse finie F=215mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante..... | 32 |
| Figure 40: Plan E. Analyse finie F=215mm Simple couche..... | 32 |
| Figure 41: Plan H. Analyse finie F=215mm Simple couche..... | 32 |
| Figure 42: Vue de dessus de la cellule double couche | 36 |
| Figure 43: Vue en coupe de la cellule double couche..... | 37 |
| Figure 44:a) Bande passante de la cellule double couche à 10GHz ; b) Bande passante de la cellule double couche à 8.5GHz; c) Bande passante de la cellule double couche à 11.5GHz ; d) Déphasage entre configurations à 8.5GHz et 11.5GHz | 37 |
| Figure 45: Polarisation croisée cellule double couche | 38 |
| Figure 46: Cellule double couche a) S21 des configurations b) Phase S21 des configurations | 38 |
| Figure 47: Cellule double couche. Courbes phase-dimensions de la base de données | 39 |
| Figure 48: Balayage en F/D cellule double couche..... | 40 |
| Figure 49: Analyse idéale F=190mm double couche. a) Réseau b) Bande passante | 41 |
| Figure 50: Plan E. Analyse idéale F=190mm Double couche | 41 |
| Figure 51: Plan H. Analyse idéale F=190mm Double couche | 41 |
| Figure 52: Analyse infinie F=190mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante | 42 |
| Figure 53: Plan E. Analyse infinie F=190mm Double couche | 42 |
| Figure 54: Plan H. Analyse infinie F=190mm Double couche | 42 |
| Figure 55: Analyse finie F=190mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante | 43 |
| Figure 56: Plan E. Analyse finie F=190mm Double couche..... | 43 |
| Figure 57: Plan H. Analyse finie F=190mm Double couche | 43 |
| Figure 58: Analyse idéale F=200mm double couche. a) Réseau b) Bande passante | 44 |
| Figure 59: Plan E. Analyse idéale F=200mm Double couche | 44 |
| Figure 60: Plan H. Analyse idéale F=200mm Double couche..... | 44 |
| Figure 61: Analyse infinie F=200mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante | 45 |
| Figure 62: Plan E. Analyse infinie F=200mm Double couche | 45 |
| Figure 63: Plan H. Analyse infinie F=200mm Double couche | 45 |
| Figure 64: Analyse finie F=200mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante | 46 |
| Figure 65: Plan E. Analyse finie F=200mm Double couche..... | 46 |
| Figure 66: Plan H. Analyse finie F=200mm Double couche | 46 |
| Figure 67: Analyse idéale F=215mm double couche. a) Réseau b) Bande passante | 47 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 68: Plan E. Analyse idéale F=215mm Double couche | 47 |
| Figure 69: Plan H. Analyse idéale F=215mm Double couche | 47 |
| Figure 70: Analyse infinie F=215mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante | 48 |
| Figure 71: Plan E. Analyse infinie F=215mm Double couche | 48 |
| Figure 72: Plan H. Analyse infinie F=215mm Double couche | 48 |
| Figure 73: Analyse finie F=215mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante | 49 |
| Figure 74: Plan E. Analyse finie F=215mm Double couche..... | 49 |
| Figure 75: Plan H. Analyse finie F=215mm Double couche | 49 |
| Figure 76: Analyse idéale - $\theta=15^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H..... | 52 |
| Figure 77: Analyse infinie - $\theta=15^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H..... | 53 |
| Figure 78: Analyse finie - $\theta=15^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H | 53 |
| Figure 79: Analyse idéale - $\theta=15^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H..... | 54 |
| Figure 80: Analyse infinie - $\theta=15^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H..... | 54 |
| Figure 81: Analyse finie - $\theta=15^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H | 55 |
| Figure 82: Analyse idéale - $\theta=30^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H..... | 55 |
| Figure 83: Analyse infinie - $\theta=30^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H | 56 |
| Figure 84: Analyse finie - $\theta=30^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H | 56 |
| Figure 85: Analyse idéale - $\theta=30^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H..... | 57 |
| Figure 86: Analyse infinie - $\theta=30^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H | 57 |
| Figure 87: Analyse finie - $\theta=30^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H | 58 |
| Figure 88: Analyse idéale - $\theta=45^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H..... | 58 |
| Figure 89: Analyse infinie - $\theta=45^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H..... | 59 |
| Figure 90: Analyse finie - $\theta=45^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H | 59 |
| Figure 91: Analyse idéale - $\theta=45^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H..... | 60 |
| Figure 92: Analyse infinie - $\theta=45^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H | 60 |
| Figure 93: Analyse finie - $\theta=45^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H | 61 |

Chapitre 1

Introduction

Chapitre 1

Introduction

1.1. Motivation

Les nouvelles applications sur les bandes de fréquences millimétriques et submillimétriques supposent actuellement un grand champ d'investigation, à cause de cela apparaît la nécessité d'obtenir diagrammes plus directifs avec meilleur gain et des antennes configurables et de facile fabrication. Pour ce but, s'utilise la technologie imprimée qui réduit la taille et le poids des antennes ainsi comme le coût de fabrication final.

Les antennes réseaux réflecteurs et plus récemment les réseaux transmetteurs ont ces caractéristiques. Dans le cas que nous occupe, le réseau transmetteur, permet d'obtenir un diagramme déterminé selon nos besoins, créer ou dépointer un faisceau concret. Cette antenne est composée par une source de type cornet qu'illumine un réseau de cellules qui va capter l'énergie incidente et par l'intermédiaire d'un circuit intérieur, va déphaser l'onde incidente à fin de rayonner à l'espace avec le diagramme désiré.

Dans ce rapport on va développer la conception d'une antenne réseau transmetteur en double polarisation linéaire à 10Ghz que va nous permettre de concevoir applications différentes selon la polarisation.

1.2. Organisation du projet

Le rapport suivant est organisé en cinq chapitres. En premier lieu on va développer la théorie de fonctionnement des antennes réseaux transmetteurs. Ensuite on va présenter notre antenne avec les caractéristiques concrètes pour la conception en bipolarisation. Après on fera l'étude de performance pour deux prototypes, un avec une cellule simple couche et un autre avec une cellule double couche. Une fois décidé la configuration à utiliser pour fabriquer le réseau, des tests en dépointage seront présentés dans les derniers chapitres.

Chapitre 2

Réseau Transmetteur

Chapitre 2

Réseau transmetteur

2.1. Fonctionnement d'un réseau transmetteur

Une antenne de type réseau transmetteur est composée d'une source focale et d'un réseau plan d'éléments rayonnants. Ces éléments rayonnants ont trois parties différentes : une antenne côté source focale qui va capter l'énergie émise par la source focale, un circuit intermédiaire qui va modifier la phase et à transmettre l'onde à la troisième partie, l'antenne côté espace libre qui va rayonner l'onde à l'espace. Les antennes sont construites en technologie imprimée pour diminuer la taille et la complexité de fabrication afin de réduire le coût final. Le principal inconvénient est la faible bande passante, qu'on pourra élargir en ajoutant des patches pour obtenir une antenne multicouche.

Les éléments rayonnants intermédiaires, désormais on dira cellules, ont une fonction essentielle. Elles doivent modifier la phase de l'onde incidente pour compenser les différences de trajet de l'onde dues à la position de chaque cellule par rapport à la source focale ou introduire un déphasage dans le but de créer un faisceau déterminé ou le dépointer. Ce déphasage est fait à partir de la loi de phase présentée ci-dessous dans le facteur de réseau

$$FR = \sum_m \sum_n A_{mn} \cdot e^{jmk_x d_x} \cdot e^{jnk_y d_y} = \sum_m \sum_n A_{mn} \cdot e^{\frac{2\pi}{\lambda} jm(\sin\theta \cos\varphi) d_x} \cdot e^{\frac{2\pi}{\lambda} jm(\sin\theta \sin\varphi) d_y}$$

Où on peut appliquer une correction de phase φ pour obtenir un faisceau dépointé dans une direction déterminée :

$$\varphi = -k_x d_x - k_y d_y = -\frac{2\pi}{\lambda} \sin(\theta_0) \cos(\varphi_0) - \frac{2\pi}{\lambda} \sin(\theta_0) \sin(\varphi_0)$$

Cette phase est obtenue avec la variation des dimensions physiques des patches, des fentes ou autres éléments ajoutés comme les stubs. Si besoin d'obtenir une correction de phase reconfigurable on doit utiliser des éléments actifs comme diodes PIN, diodes varactor, interrupteurs MEMS etc.

Dans la figure 1, présentée ci-dessous s'observe le schéma de fonctionnement d'un réseau transmetteur. A différence des réseaux réflecteurs, le fait de transmettre l'onde suppose une amélioration du diagramme de rayonnement car l'effet de masquage qui produit la source focale n'existe pas dans ce cas.

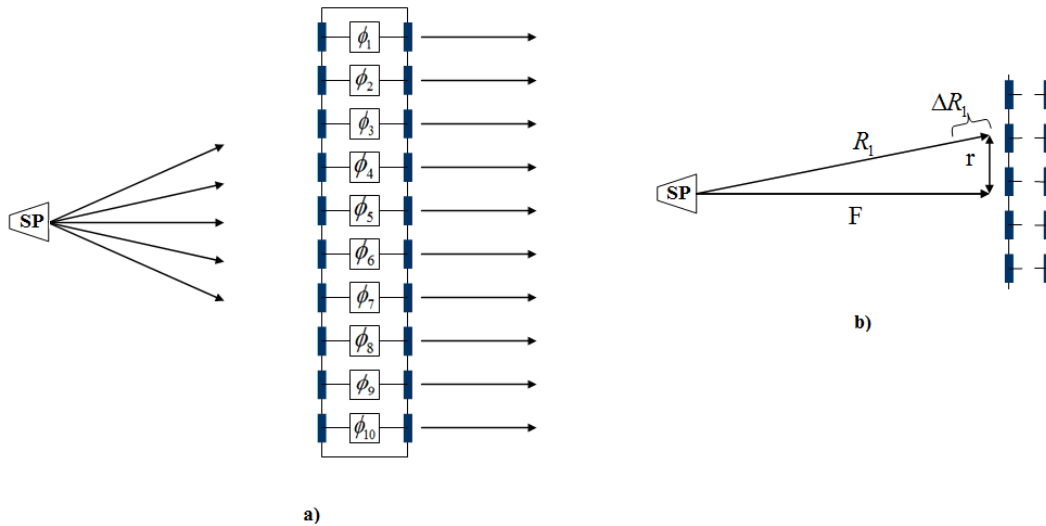


Figure 1: a) Schéma de fonctionnement du réseau transmetteur. b) Différence de trajet entre cellules

Pour obtenir un faisceau sur l'axe perpendiculaire au réseau, le déphasage de l'onde produit pour la différence de chemin sur chaque cellule et qu'on peut observer dans la figure 1b, doit être compensé. On travail à 10Ghz donc la compensation de phase à réaliser est la suivante :

$$\Delta\phi(^{\circ}) = \frac{\Delta R_1}{\lambda} \cdot 360^{\circ} = \frac{(R_1 - F)}{\lambda} \cdot 360^{\circ} = \frac{(\sqrt{F^2 + r^2} - F)}{\lambda} \cdot 360^{\circ}$$

Afin d'étudier les performances de notre réseau, à partir du bilan de puissance on va calculer les rendements.

- P_1 est la puissance à l'entrée de la source primaire.
- P_2 est la puissance que rayonne la source primaire. La différence de puissance entre P_2 et P_1 est liée aux pertes de la source primaire et de désadaptation avec l'excitation.
- P_3 est la puissance totale collectée par le réseau côté source primaire. La chute de puissance de P_2 à P_3 est due aux pertes par débordement.
- P_4 est la puissance transmise à travers du circuit déphaseur intermédiaire au réseau côté espace libre. La perte de puissance est, pourtant, liée aux circuits.

- P_5 est la puissance totale rayonnée par le réseau côté espace libre.

En connaissant les puissances dans les différentes parties de l'antenne on peut calculer les rendements :

- $\eta_{SP} = \frac{P_2}{P_1}$ est le rendement de la source primaire.
- $\eta_{il} = \frac{P_3}{P_2}$ est le rendement d'illumination.
- $\eta_{cir} = \frac{P_4}{P_3}$ est le rendement lié au circuit intermédiaire.
- $\eta_{tr} = \frac{P_5}{P_4}$ est le rendement du réseau de transmission.
- $\eta_{tot} = \frac{P_5}{P_1}$ est le rendement total de l'antenne.

2.2. Réseau transmetteur en bipolarisation linéaire

Le sujet à aborder est la conception d'un réseau transmetteur en double polarisation linéaire sur la bande X (10 Ghz). Le réseau sera composé par 400 cellules disposées sur un panneau carré, donc on aura une distribution de 20 cellules x 20 cellules. Les cellules ont une dimension de 15mm x 15mm, donc à 10Ghz les cellules seront de $\frac{\lambda_o}{2} \times \frac{\lambda_o}{2}$ et le réseau de dimensions $10\lambda_o \times 10\lambda_o$. Dans la figure 2 présentée dessous on observe le panneau.

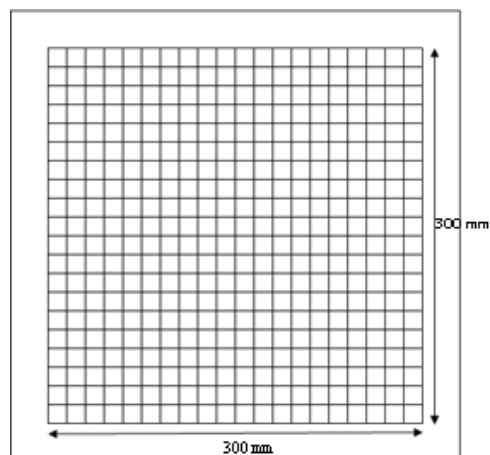


Figure 2: Réseau de cellules

Les cellules sont composées par deux antennes patches, côté espace libre et côté source

primaire, sur deux substrats $\epsilon_r=3.55$ d'épaisseur 1,524mm. Les substrats sont séparés par un plan de masse avec une fente au centre qui va permettre transmise l'onde au patch de transmission. L'avantage d'utiliser la fente est qu'on peut la positionner pour obtenir un accouplement déterminé et le grand large à bande. En revanche la fabrication est plus difficile. D'abord on va concevoir une cellule avec un seul pair de patches, un de chaque côté du plan de masse, après on ajoutera deux patches plus pour essayer de élargir la bande passante. Dans la figure 3 sont présentées les deux cellules qui seront développées dans les chapitres suivants.

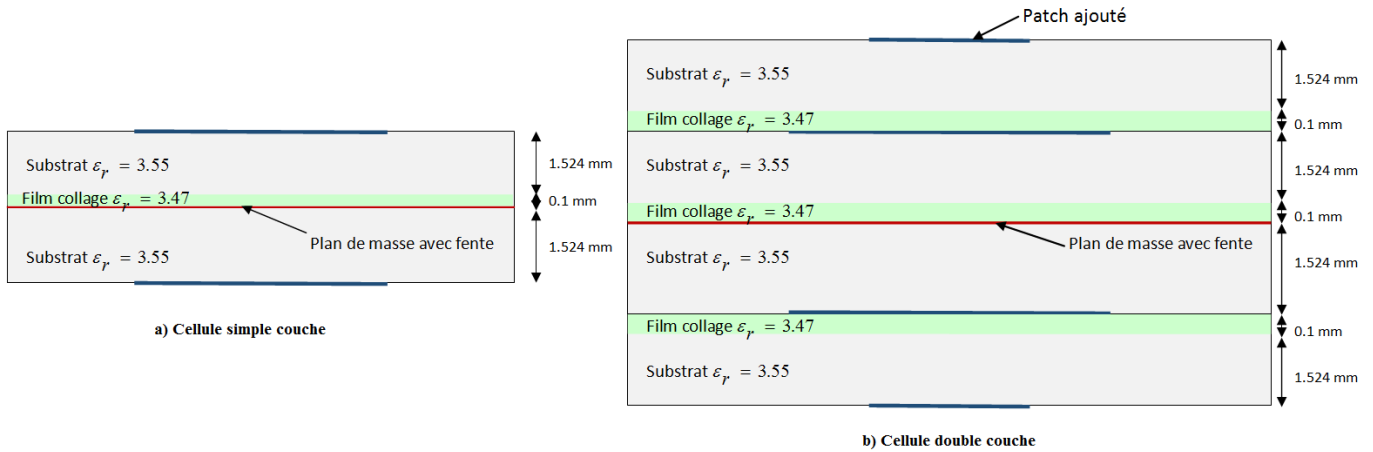


Figure 3: Vue en coupe des cellules

Afin de travailler en double polarisation linéaire la fente sera en forme de croix de façon qu'on puisse avoir une configuration indépendante de l'autre avec une faible valeur de polarisation croisée. Pour la cellule simple couche le nombre de paramètres à modifier est six, trois pour chaque polarisation. Pour le cas double couche la dimension est de huit paramètres. Dans la suivante figure s'observe les paramètres qui changent chaque polarisation. Les paramètres qui jouent sur la polarisation horizontale sont LPatch, et la fente perpendiculaire au axe X, c'est-à-dire Lfente1 et Wfente1. A l'inverse pour la polarisation verticale sont WPatch, Lfente2 et Wfente2 les paramètres à modifier.

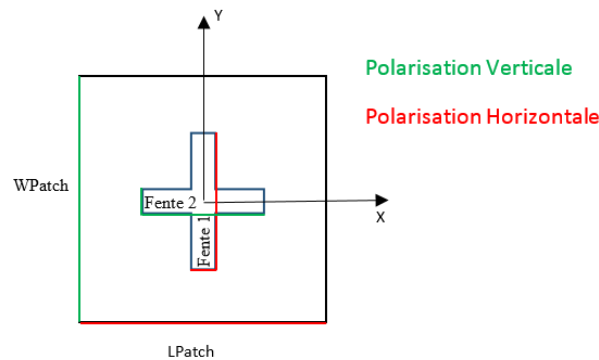


Figure 4: Polarisation linéaire des cellules

2.3. Source focale

La source focale qui va illuminer le réseau sera un cornet 10dB de type pyramidal connecté à une guide d'onde WR-90 de dimensions 22.86mm x 10.16mm. Pour travailler avec le code d'analyse de réseau sur Matlab on va dessiner le cornet sur HFSS et à exporter les fichiers de gain et champ électrique. Les dimensions en millimètres sont les suivantes

$$A = 40.13 \text{ mm}$$

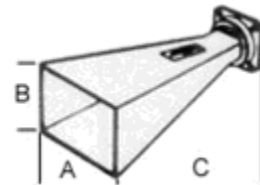
$$B = 29.21 \text{ mm}$$

$$C = 51.05 \text{ mm}$$

$$\text{Gain} = 10 \text{ dB}$$

$$\text{Fréquence } 8.20\text{GHz} - 12.4\text{GHz}$$

$$3 \text{ dB beam width} = 48.5^\circ \text{ (E-plan)} \quad 47.4^\circ \text{ (H-plan)}$$



Le cornet déjà dessiné sur HFSS est montré dans la figure 4, l'excitation est faite par waveport.

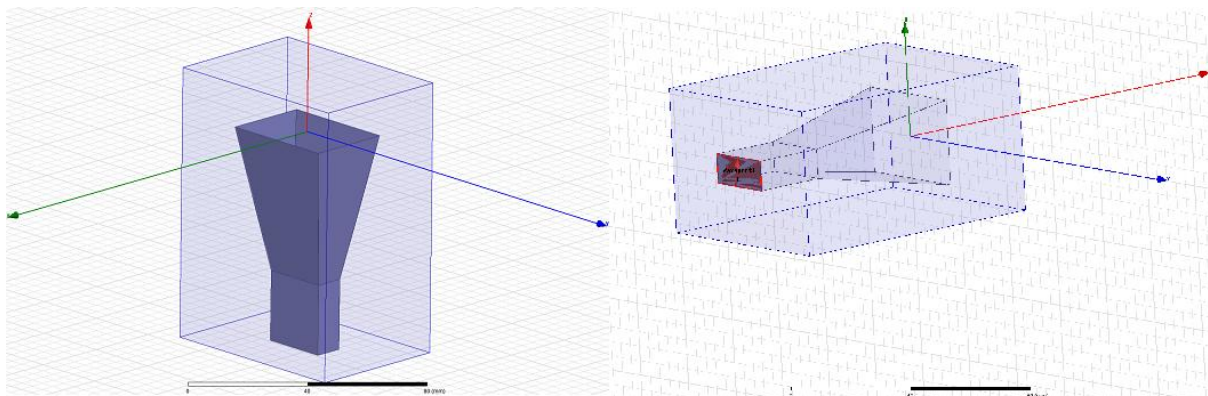


Figure 5: Dessin cornet sur HFSS

On peut vérifier le bon comportement avec une analyse du diagramme de rayonnement en 3D et en fonction de θ . Le gain maximal pour $\theta=0^\circ$ est d'environ 10dB. Les deux figures suivantes montrent ces résultats.

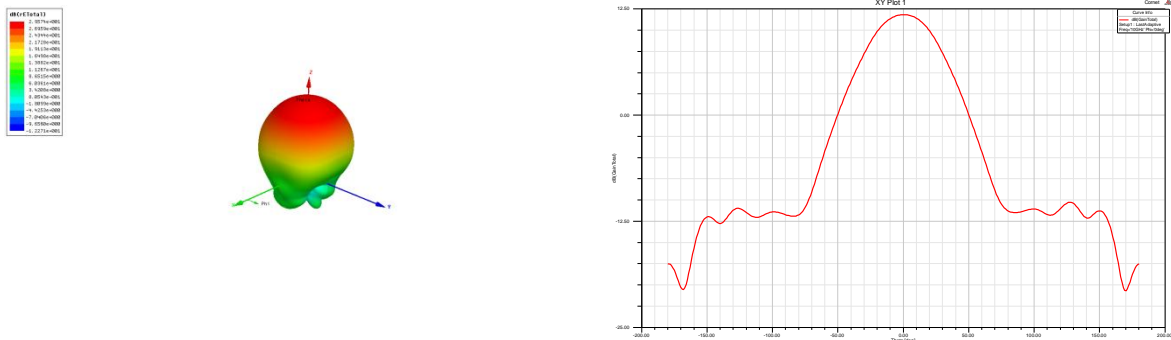


Figure 6: Diagrammes de rayonnement du cornet à 10GHz

D'autre part, il est essentiel de réaliser une étude de l'influence du rapport F/D pour positionner le cornet à la distance focale optimale. Si la distance focale F augmente, la puissance incidente est plus uniforme sur le réseau ce qui suppose une augmentation de la directivité et des lobes secondaires. Par contre, l'angle entre le cornet et l'extrême du réseau est plus petit et en conséquence les pertes par débordement augmentent, ce qui provoque la diminution de gain et de rendement total. Le rapport F/D normalement a une valeur entre 0.5 et 1. Ci-dessous est présenté un exemple de balayage en fonction de F/D pour la cellule simple couche et qu'on développera dans les suivants chapitres.

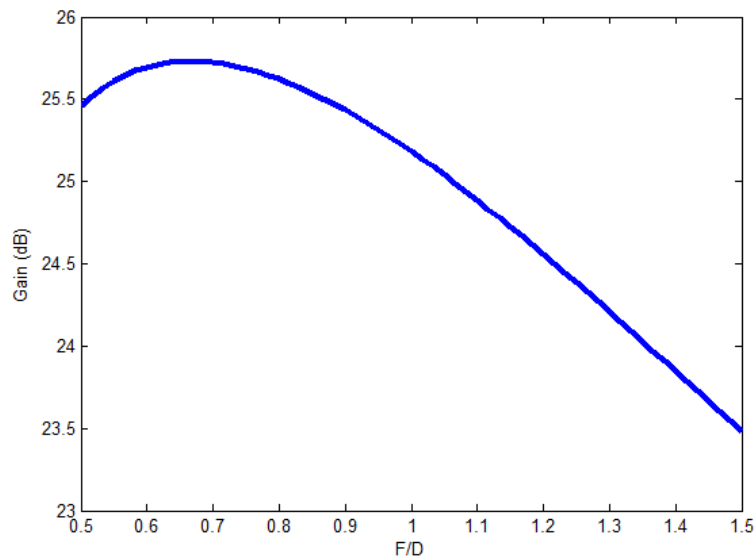


Figure 7: Balayage du rapport F/D

En outre, on calculera l'apodisation entre la cellule du centre et les cellules aux extrêmes, pour vérifier qu'on a une bonne performance. L'apodisation devrait être environ 10dB.

Chapitre 3

Cellule simple couche

Chapitre 3

Cellule simple couche

Dans ce chapitre, la conception du réseau sera faite avec la configuration simple couche de la cellule déjà introduite dans le dernier chapitre. Dans une première partie on va dessiner la cellule à 10GHz et on montrera les résultats obtenus sur HFSS de gain, bande passante, paramètres S , isolation entre polarisations etc. Après pour construire la base de données, on fera différentes configurations pour réussir résonances déplacées. Ensuite, avec l'aide du code d'analyse de réseau on va obtenir le fichier phasesfhit qui contient les phases à appliquer sur chaque cellule. Pour finir on va faire un balayage en fréquence et en fonction de F/D.

3.1. Dimensions de la cellule simple couche

La cellule simple couche est composée par deux patches carrés sur deux substrats identiques, chacun d'un côté du plan de masse situé au centre. Un substrat de collage sera mis juste au-dessus de plan de masse. Ce plan de masse a une fente en croix au centre pour contrôler les deux polarisations linéaires. On pourra modifier la longueur et la largeur de la fente (L_{fente} et W_{fente}) ainsi comme des patches (L_{Patch} et W_{Patch}) de façon qu'on puisse obtenir la configuration désirée pour chaque polarisation. Les substrats utilisés sont les commerciaux RO4003 et RO4450F qui ont les suivantes caractéristiques :

- Rogers RO4003: $\epsilon_r = 3.55$; $\tan\delta=0.0027$
- Rogers RO4450F: $\epsilon_r = 3.55$; $\tan\delta 0.004$

Ici, on peut voir la structure de la cellule simple couche avec les dimensions à 10GHz dans le cas symétrique pour les polarisations horizontale et verticale.

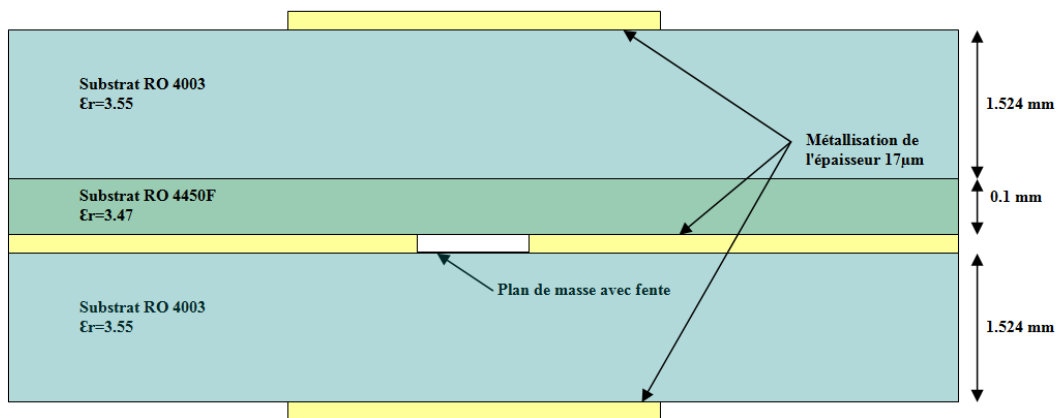


Figure 8: Vue en coupe de la cellule simple couche

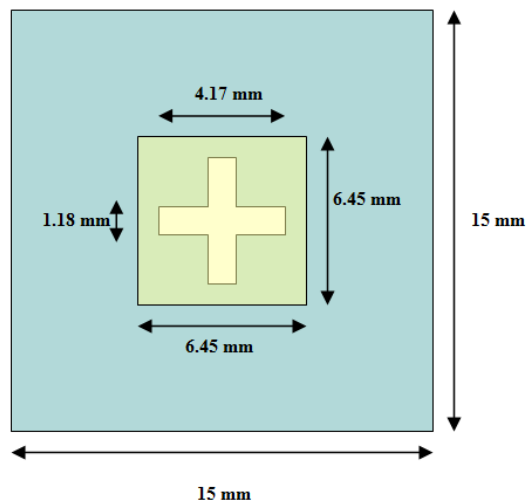


Figure 9: Vue de dessus de la cellule simple couche

3.2. Résultats de HFSS

La réponse en fréquence de la cellule est présentée dans la figure 10. La largeur de bande à -3dB est comprise entre 9.125GHz et 10.875GHz ce qui suppose une bande passante de 1.75Ghz (17.5% à 10GHz). Bien que la valeur du coefficient de réflexion S11 remonte au centre de la bande, la valeur reste au-dessous de -14dB. Le déphasage qu'on peut réussir est d'environ 210° au centre de la bande comme s'observe dans la figure 10d) en regardant la phase pour les configurations déplacées à 9GHz et 11Ghz.

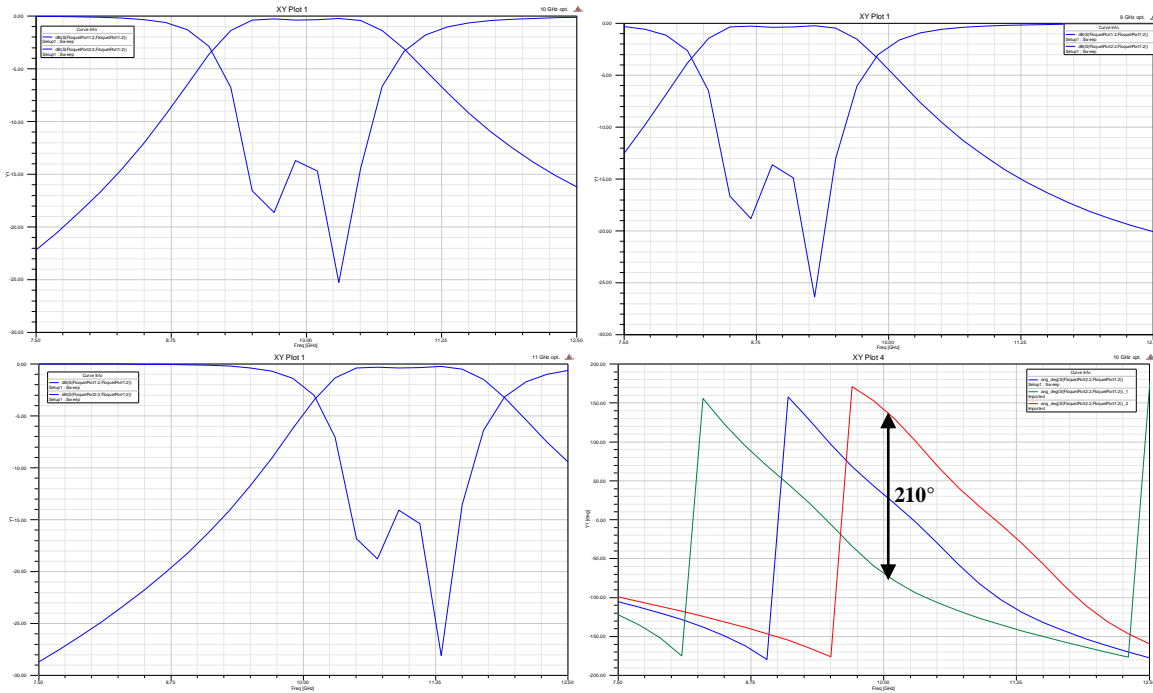


Figure 10: a) Bande passante de la cellule simple couche à 10GHz ; b) Bande passante de la cellule simple couche à 9GHz. c) Bande passante de la cellule simple couche à 11GHz ; d) Déphasage entre configurations à 9GHz et 11GHz

Pour confirmer la bonne performance de la cellule simple couche il faut étudier l'isolation. On doit vérifier qu'il y a une bonne isolation entre polarisations. Pour cela, sur une polarisation (selon axe X) les valeurs L_{patch} (variations selon X) et la fente perpendiculaire au axe X vont rester fixes avec les dimensions de la configuration à 10 GHz. Les valeurs de W_{patch} et l'autre fente seront variées avec les dimensions des configurations à 9GHz et 11GHz. On a pu vérifier comme le paramètre S_{21xx} et le S_{11xx} restent presque invariables ainsi que la phase. Pour finir l'étude d'isolation on a vu que les valeurs croisées S_{11xy} , S_{21xy} , S_{11yx} et S_{21yx} sont très faibles, moins de -50dB.

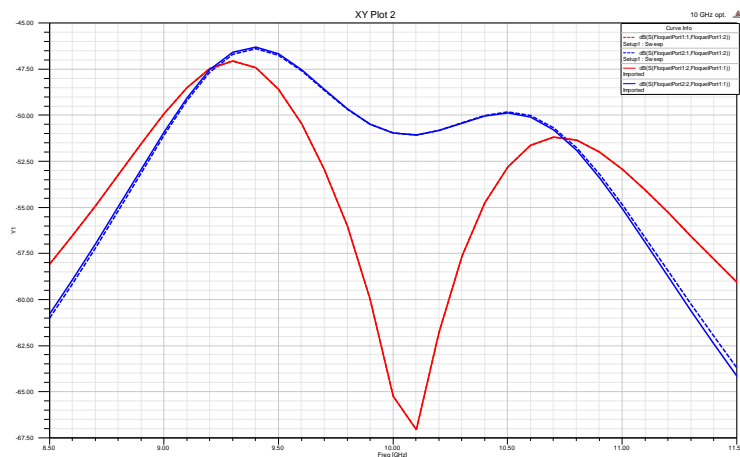


Figure 11: Polarisation croisée cellule simple couche

3.3. Base de données

Notre objectif est trouver une relation entre la phase qu'on désire pour chaque cellule et les dimensions fixes avec lesquelles doit se créer la cellule. Afin d'obtenir une courbe pour mettre en relation ces paramètres, on va regarder la phase pour onze configurations avec résonance déplacée entre 9GHz et 11GHz avec un pas de 0.2GHz.

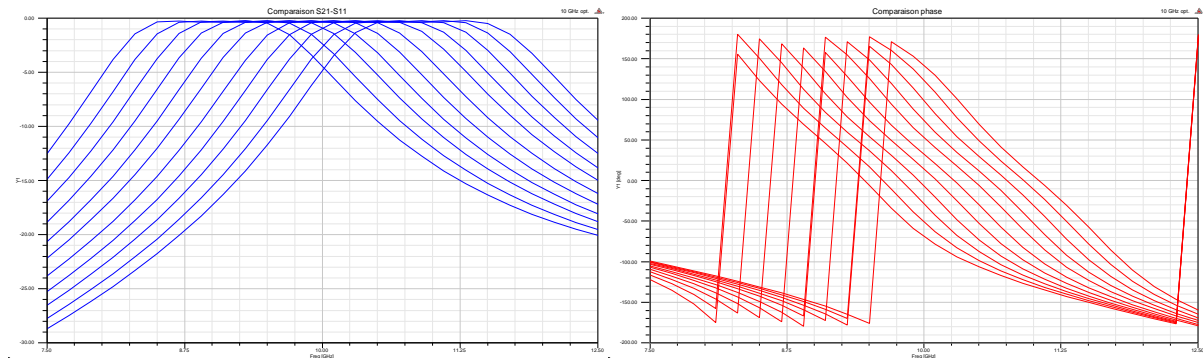


Figure 12: Cellule simple couche a) S21 des configurations b) phase S21 des configurations

Les valeurs de la phase à 10GHz sont les suivantes :

| | Lpatch (mm) | Wpatch (mm) | Wfente1 (mm) | Lfente1 (mm) | Wfente2 (mm) | Lfente2 (mm) | Phase(°) à 10GHz normalisé |
|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| 9 GHz | 7,22 | 7,22 | 1,37 | 4,62 | 1,37 | 4,62 | -100,97 |
| 9.2 GHz | 7,07 | 7,07 | 1,34 | 4,53 | 1,34 | 4,53 | -83,17 |
| 9.4 GHz | 6,91 | 6,91 | 1,30 | 4,45 | 1,30 | 4,45 | -61,12 |
| 9.6 GHz | 6,76 | 6,76 | 1,25 | 4,35 | 1,25 | 4,35 | -39,30 |
| 9.8 GHz | 6,60 | 6,60 | 1,20 | 4,24 | 1,20 | 4,24 | -18,40 |
| 10 GHz | 6,45 | 6,45 | 1,18 | 4,17 | 1,18 | 4,17 | 0,00 |
| 10.2 GHz | 6,29 | 6,29 | 1,14 | 4,09 | 1,14 | 4,09 | 20,57 |
| 10.4 GHz | 6,14 | 6,14 | 1,11 | 4,03 | 1,11 | 4,03 | 41,14 |
| 10.6 GHz | 6,03 | 6,03 | 1,08 | 3,93 | 1,08 | 3,93 | 65,76 |
| 10.8 GHz | 5,93 | 5,93 | 1,02 | 3,86 | 1,02 | 3,86 | 90,58 |
| 11 GHz | 5,82 | 5,82 | 1,03 | 3,79 | 1,03 | 3,79 | 108,92 |

D'où peut s'extraire les courbes qui mettent en relation la phase obtenue à 10GHz et les dimensions de chaque paramètre géométrique de la cellule pour réussir cette phase. Dans la figure présentée dessous s'observe le comportement presque linéaire, donc cela nous permettra de projeter la valeur désirée de phase.

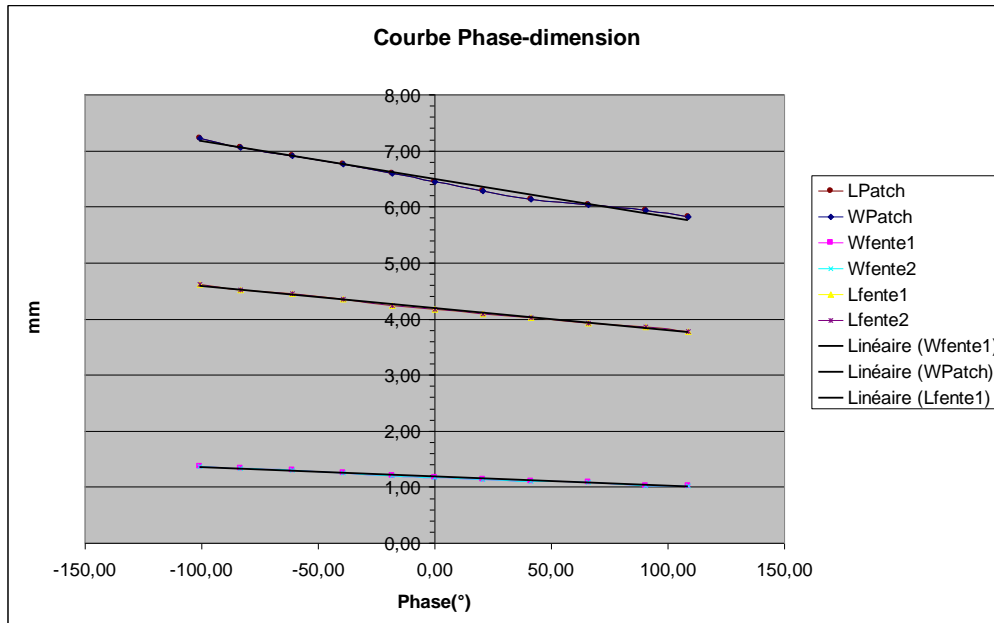


Figure 13: Cellule simple couche. Courbes phase-dimensions de la base de données

3.4. Balayage en fréquence avec le code d'analyse

Pour travailler sur MATLAB on va exporter les données de la configuration de cellule pour 10Ghz et on va utiliser ces fichiers pour toutes les cellules en supposant que les diagrammes sont similaires afin de réduire considérablement la charge computationnelle et la complexité du code.

En premier lieu, on va exporter le gain, l'impédance, le champ E et les paramètres S en fonction de la fréquence pour le repère φ de 0° à 180° avec un step de 15° et pour θ de -90° à 90° avec un step de 5° . Ces fichiers seront identiques pour la cellule en réception et en transmission. On va lancer le code d'analyse pour obtenir le fichier phaseshift qui contient le déphasage à appliquer dans chaque cellule. Désormais on appellera phaseshift « idéal » au phaseshift obtenu en supposant qu'on peut avoir un déphasage de 360° . Comme on n'a pas réussi un déphasage de 360° , avec un outil créé sur Matlab on va tronquer les phases au maximal : -180° à -100.97° et 180° à 108.92° , les valeurs maximales obtenues dans notre base de données.

Pour tous les lancements on aura un résultat idéal avec le phaseShift idéal et deux résultats approchés, une approche « infinie » où on tronquera la phase aux extrêmes mais dans cet intervalle la compensation de phase sera parfaite et une approche « finie » où on tronquera la phase à la phase plus proche aux phases des 11 cellules construites sur HFSS.

Dans ce chapitre les simulations sont faites sans dépointage, $\theta=0^\circ$. Le balayage est fait pour trois valeurs de F (F=190mm ; F=200mm ; F=215mm) sélectionnées du balayage en fonction de la

distance focale présenté dans la figure 14.

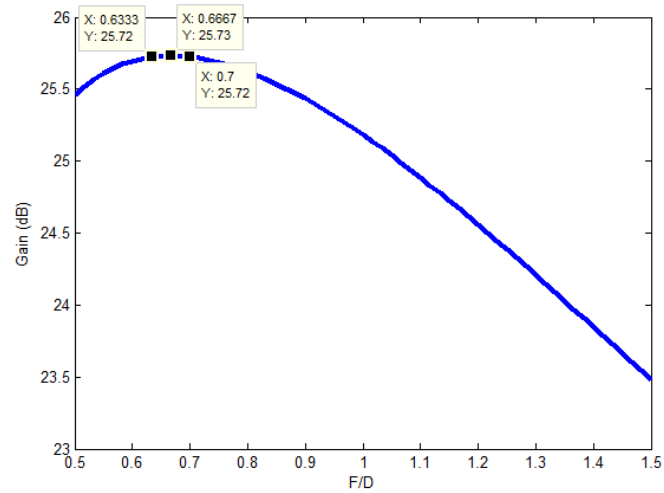


Figure 14: Balayage en F/D cellule simple couche

Les balayages en fréquence sont présentés dans les sections suivantes. Pour chaque distance focale il y a une figure qui superpose le plan E de 31 fréquences correspondantes à la bande 8.5Ghz-11.5Ghz avec un pas de 0.1GHz, et une autre figure pour le plan H. De plus, il y a une figure qui montre en couleur la phase nécessaire dans chaque cellule du réseau et une autre figure pour la bande passante.

3.4.1. Idéal - F=190mm

Pour le phaseshift idéal avec une distance F=190mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 25.72 dB
- Rendement Total = 35.85%
- Bande passante à -3dB de 1.47GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 10.67dB ; Cellule 200 = 10.75dB ; Cellule 400 = 15.88dB

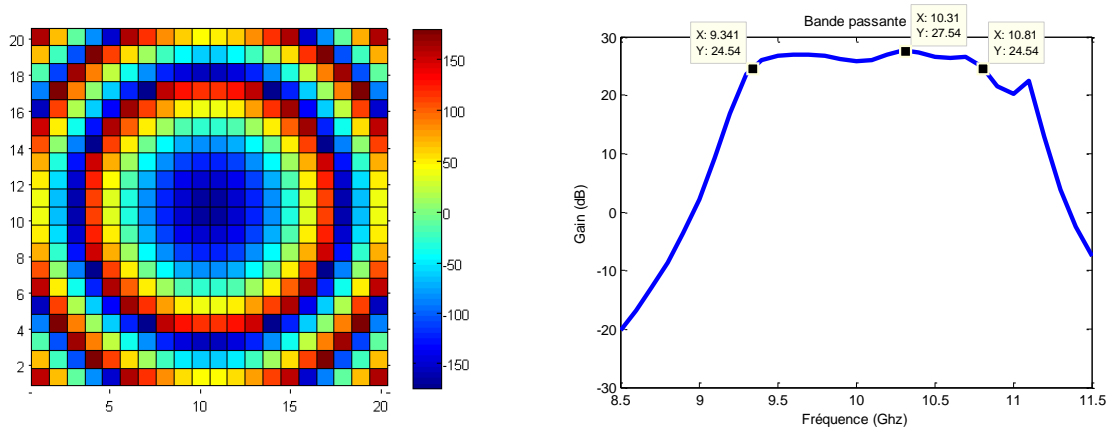


Figure 15: Analyse idéale F=190mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante

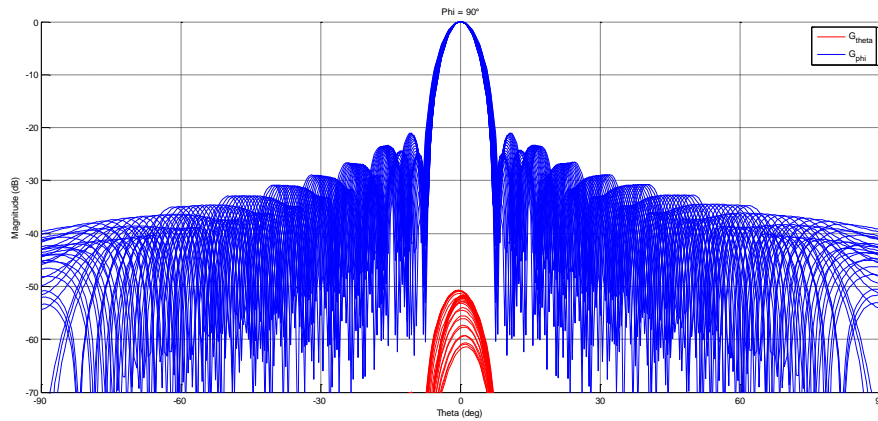


Figure 16: Plan E. Analyse idéale F=190mm Simple couche.

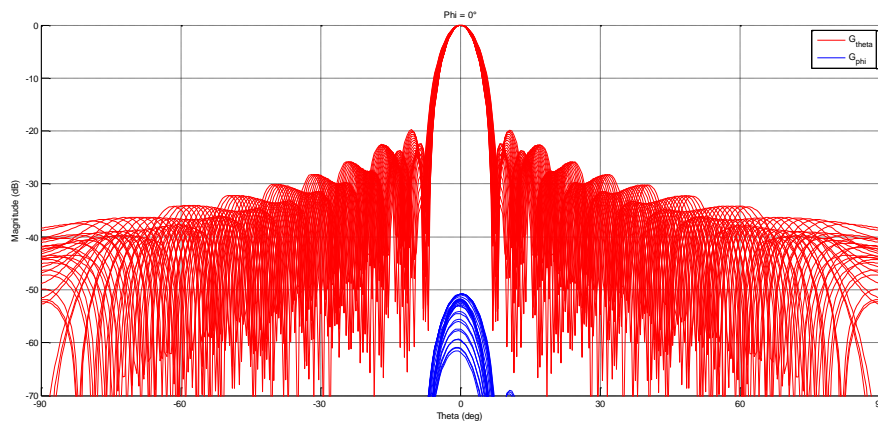


Figure 17: Plan H. Analyse idéale F=190mm Simple couche

3.4.2. Approche infinie - F=190mm

Pour le phaseshift « infini » avec une distance F=190mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 24.86 dB
- Rendement Total = 34.58%
- Bande passante à -3dB de 1.44GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 10.67dB ; Cellule 200 = 10.75dB ; Cellule 400 = 15.88dB

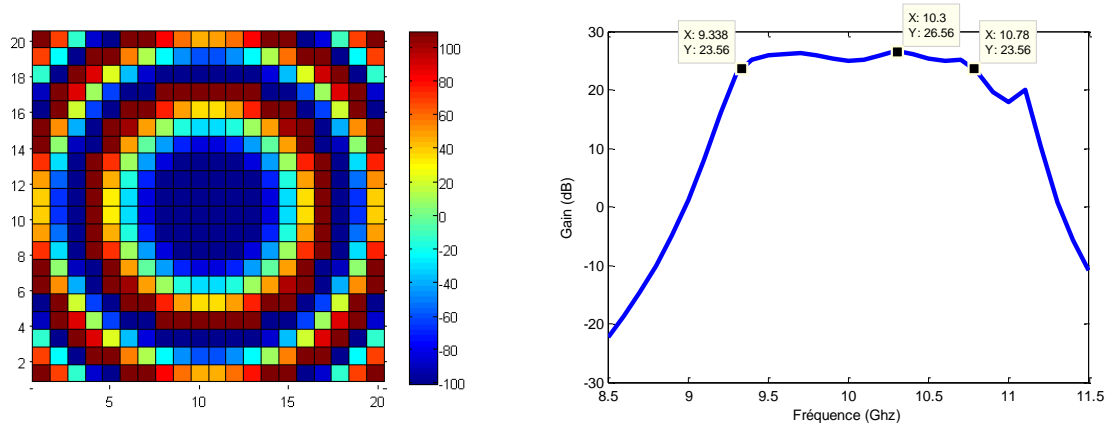


Figure 18: Analyse infinie F=190mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante

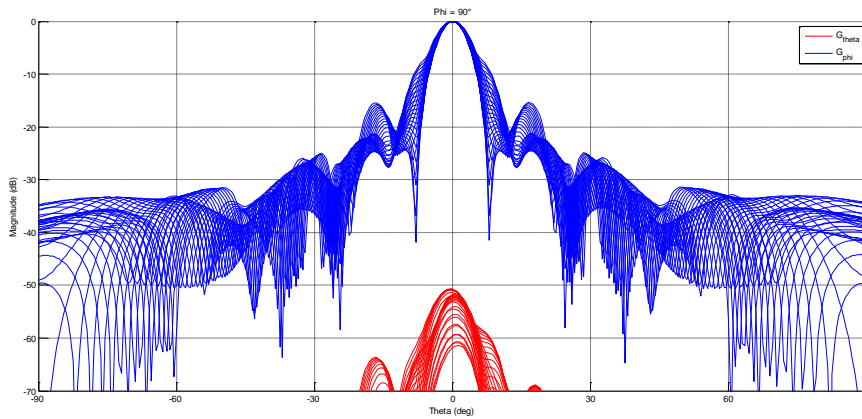


Figure 19: Plan E. Analyse infinie F=190mm Simple couche.

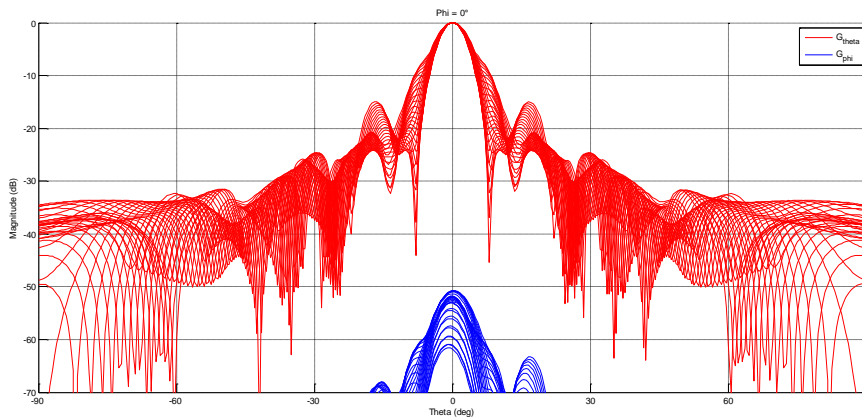


Figure 20: Plan H. Analyse infinie F=190mm Simple couche

3.4.3. Approche finie - F=190mm

Pour le phaseshift « fini » avec une distance F=190mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 24.82 dB
- Rendement Total = 34.58%
- Bande passante à -3dB de 1.44GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 10.67dB ; Cellule 200 = 10.75dB ; Cellule 400 = 15.88dB

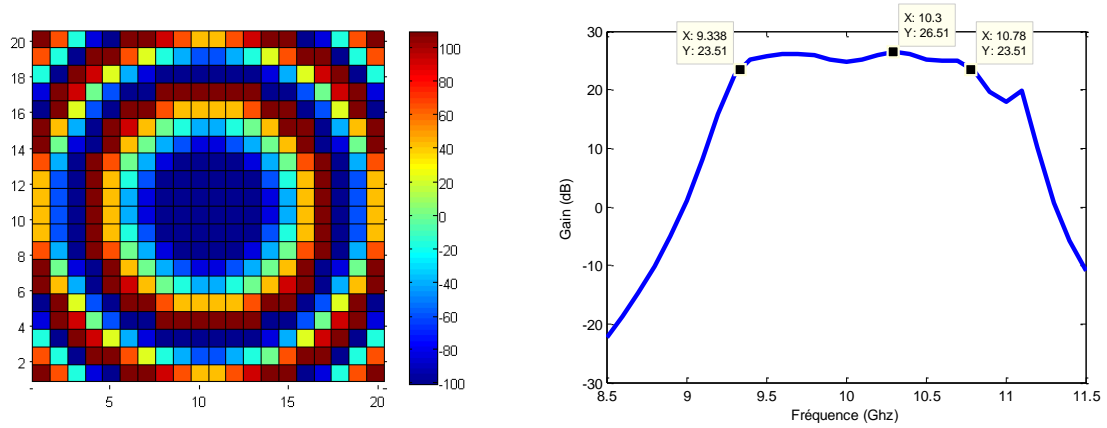


Figure 21: Analyse finie F=190mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante

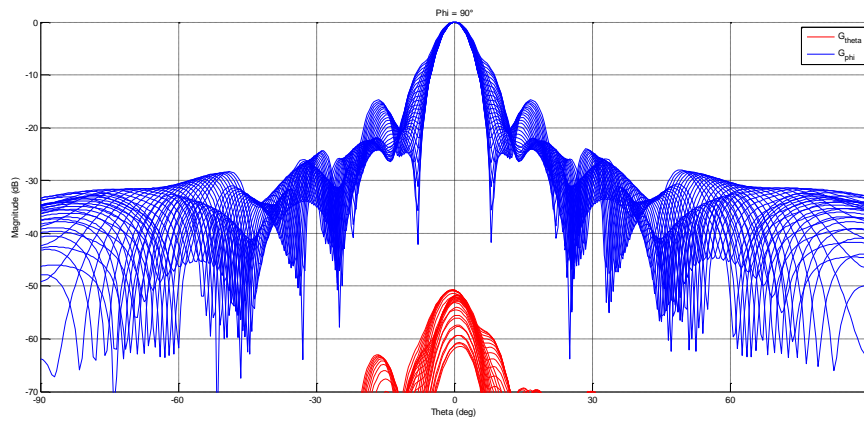


Figure 22: Plan E. Analyse finie F=190mm Simple couche.

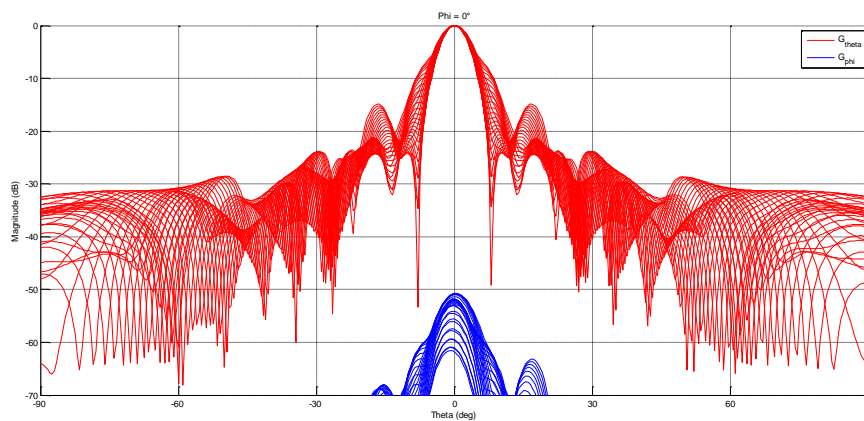


Figure 23: Plan H. Analyse finie F=190mm Simple couche

3.4.4. Idéal - F=200mm

Pour le phaseshift idéal avec une distance F=200mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 25.73 dB
- Rendement Total = 35.1%
- Bande passante à -3dB de 1.46GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 9.92dB ; Cellule 200 = 10.12dB ; Cellule 400 = 15.01dB

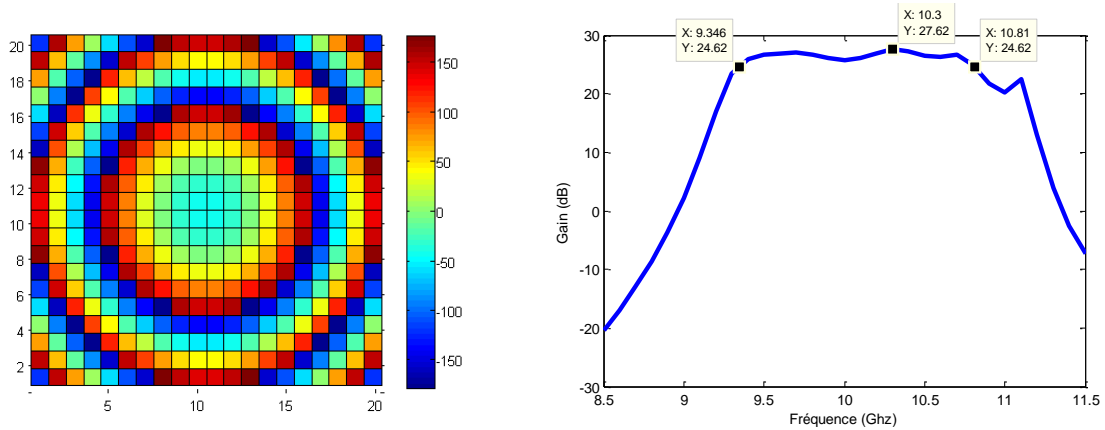


Figure 24: Analyse idéale F=200mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante

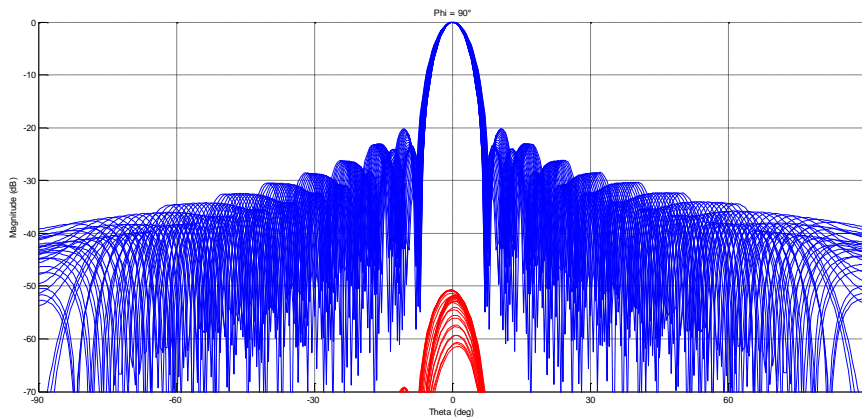


Figure 25: Plan E. Analyse idéale F=200mm Simple couche.

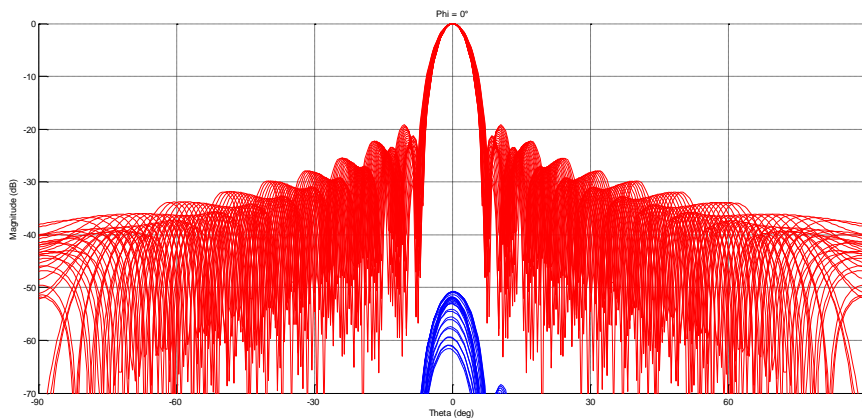


Figure 26: Plan H. Analyse idéale F=200mm Simple couche

3.4.5. Approche infinie - F=200mm

Pour le phaseshift « infini » avec une distance F=200mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 24.84 dB
- Rendement Total = 33.34
- Bande passante à -3dB de 1.45GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 9.92dB ; Cellule 200 = 10.12dB ; Cellule 400 = 15.01dB

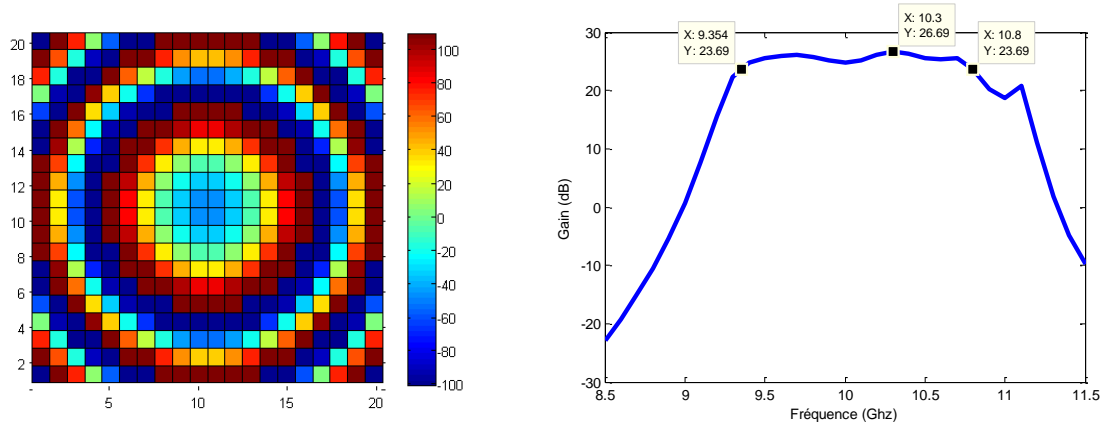


Figure 27: Analyse infinie F=200mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante

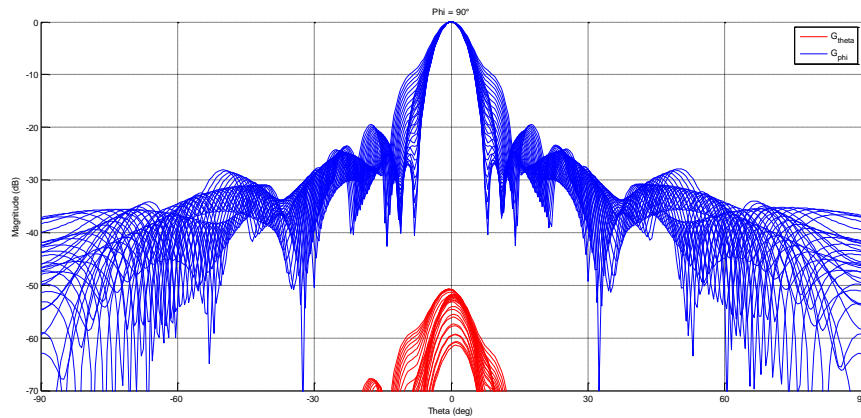


Figure 28: Plan E. Analyse infinie F=200mm Simple couche.

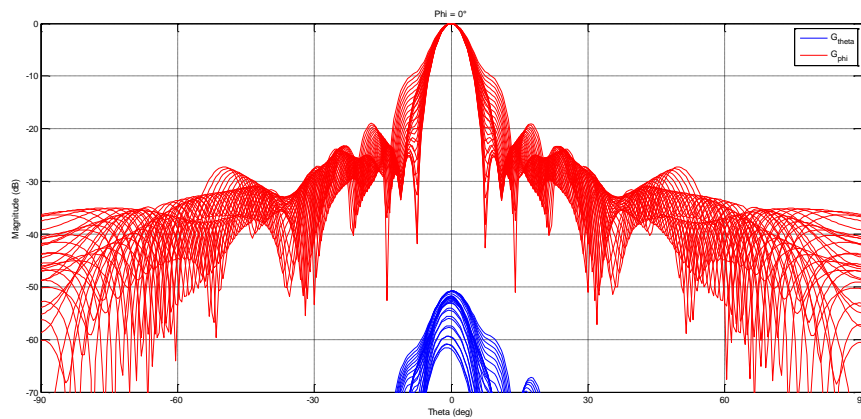


Figure 29: Plan H. Analyse infinie F=200mm Simple couche

3.4.6. Approche finie - F=200mm

Pour le phaseshift « fini » avec une distance F=200mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 24.81 dB
- Rendement Total = 33.33%
- Bande passante à -3dB de 1.45GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 9.92dB ; Cellule 200 = 10.12dB ; Cellule 400 = 15.01dB

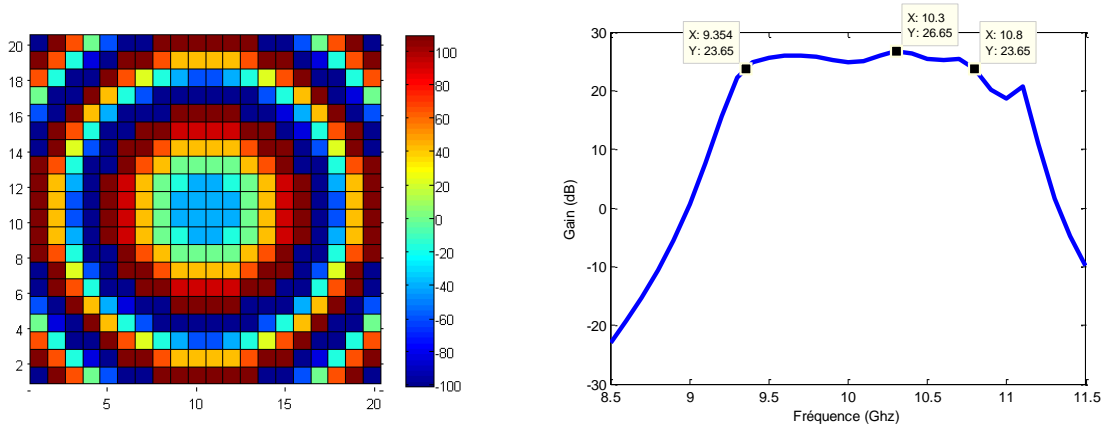


Figure 30: Analyse finie F=200mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante

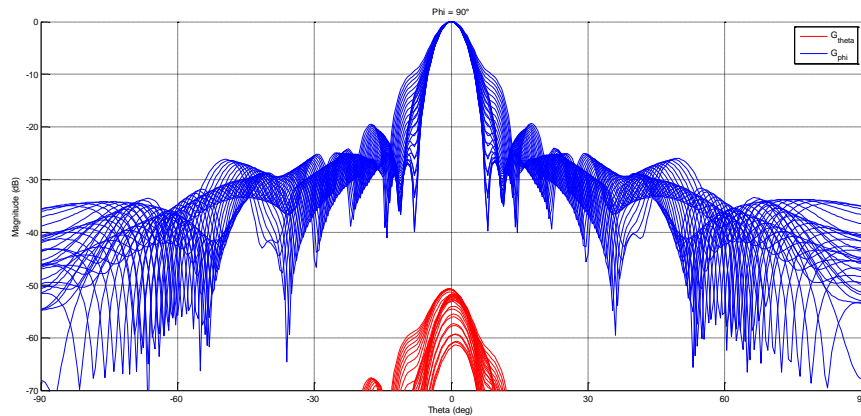


Figure 31: Plan E. Analyse finie F=200mm Simple couche.

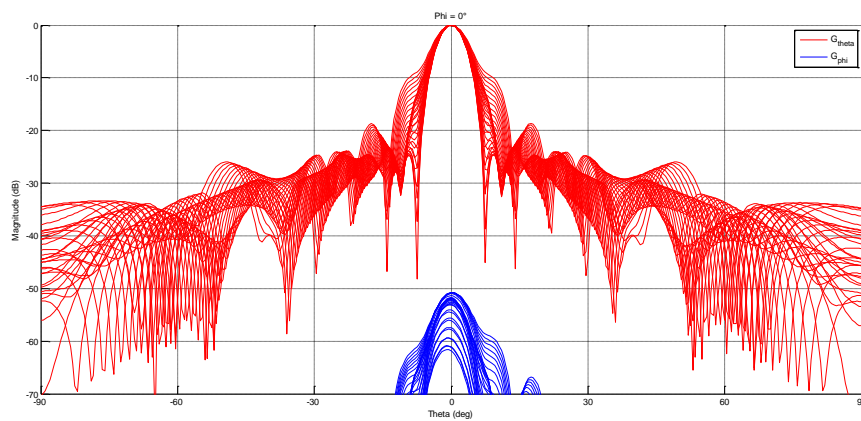


Figure 32: Plan H. Analyse finie F=200mm Simple couche

3.4.7. Idéal - F=215mm

Pour le phaseshift idéal avec une distance F=215mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 25.71 dB
- Rendement Total = 33.95%
- Bande passante à -3dB de 1.46GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 8.92dB ; Cellule 200 = 9.20dB ; Cellule 400 = 13.84dB

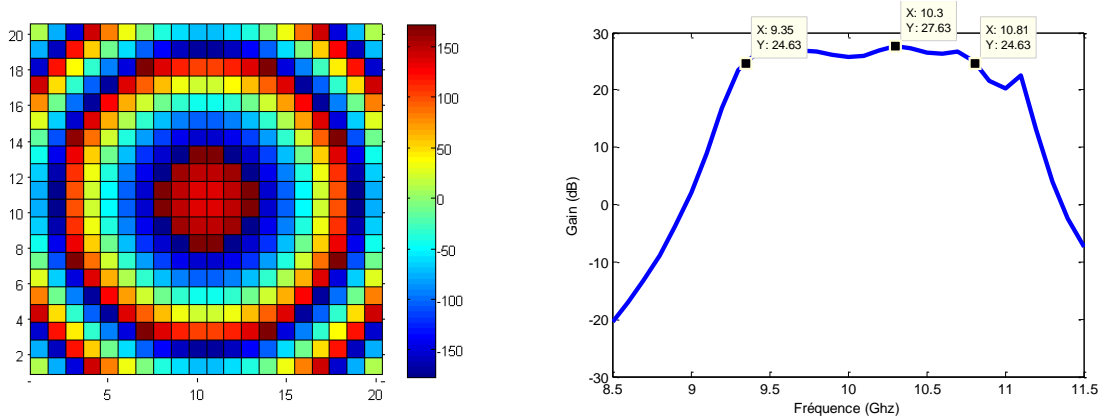


Figure 33: Analyse idéale F=215mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante

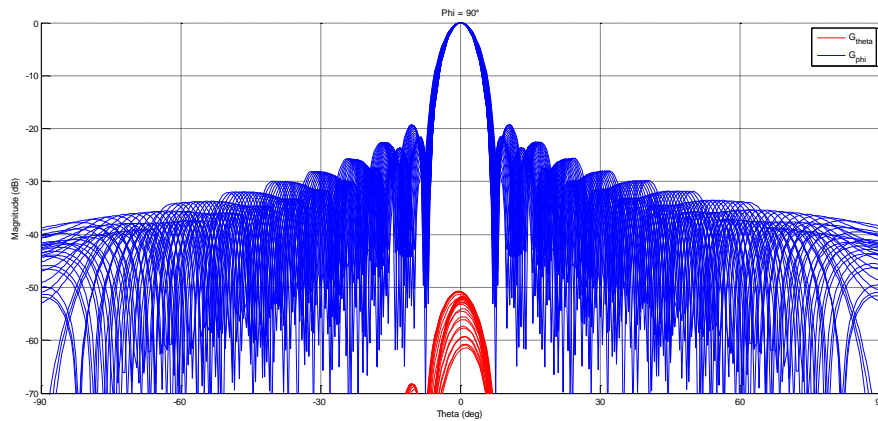


Figure 34: Plan E. Analyse idéale F=215mm Simple couche.

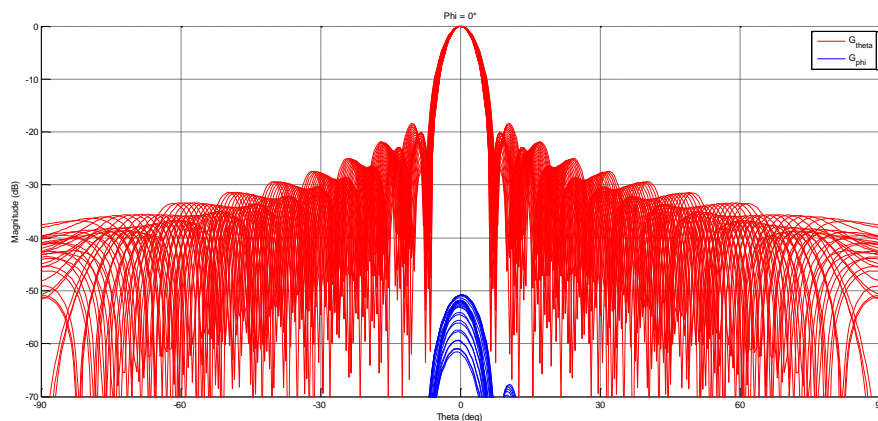


Figure 35: Plan H. Analyse idéale F=215mm Simple couche

3.4.8. Approche infinie - F=215mm

Pour le phaseshift « infini » avec une distance F=215mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 24.35 dB
- Rendement Total = 31.12%
- Bande passante à -3dB de 1.44GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 8.92dB ; Cellule 200 = 9.20dB ; Cellule 400 = 13.84dB

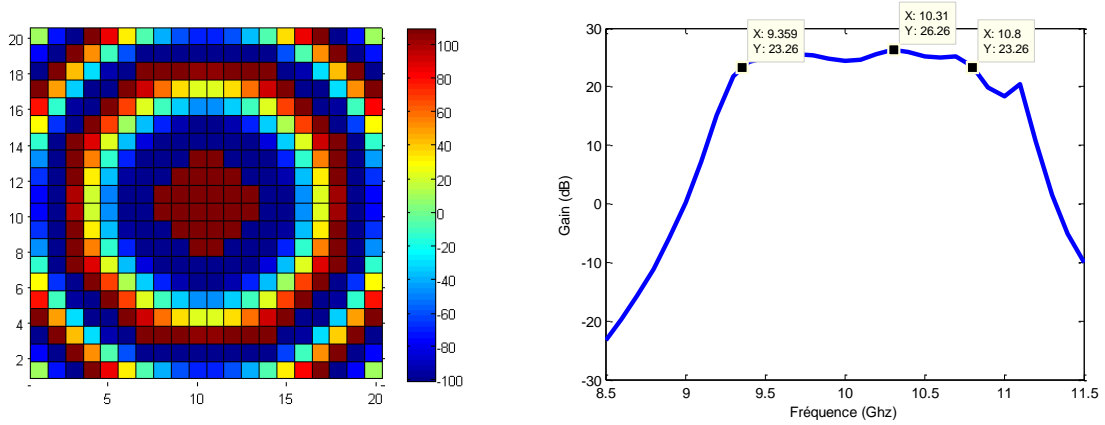


Figure 36: Analyse infinie F=215mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante

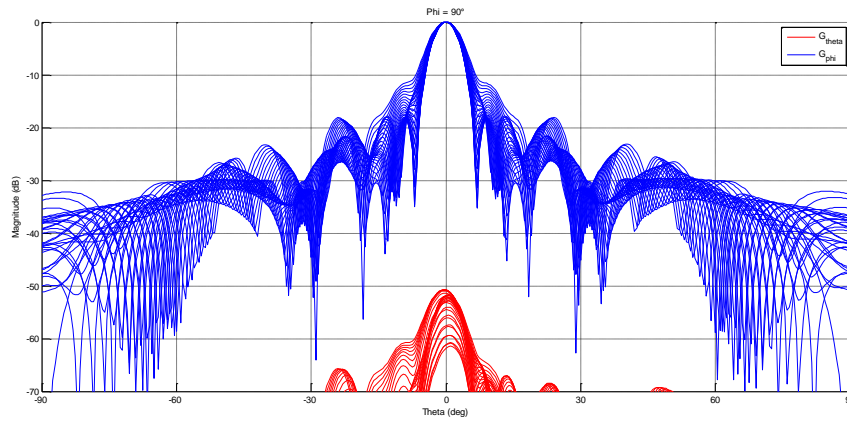


Figure 37: Plan E. Analyse infinie F=215mm Simple couche.

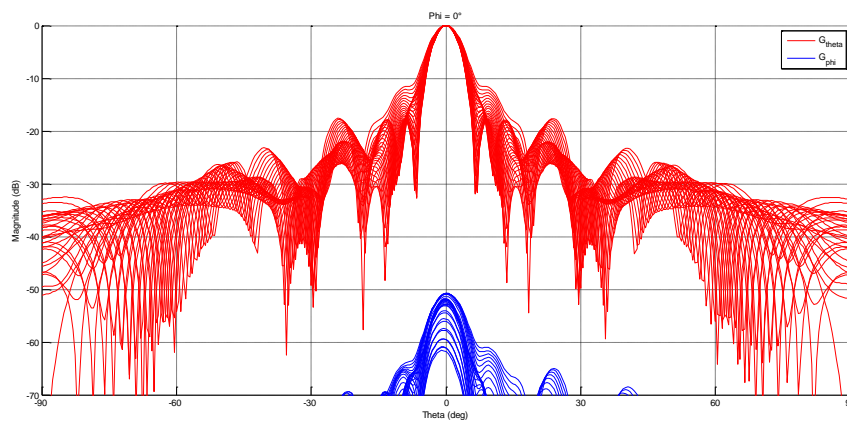


Figure 38: Plan H. Analyse infinie F=215mm Simple couche

3.4.9. Approche finie - F=215mm

Pour le phaseshift « fini » avec une distance F=215mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 24.32 dB
- Rendement Total = 31%
- Bande passante à -3dB de 1.44GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 8.92dB ; Cellule 200 = 9.20dB ; Cellule 400 = 13.84dB

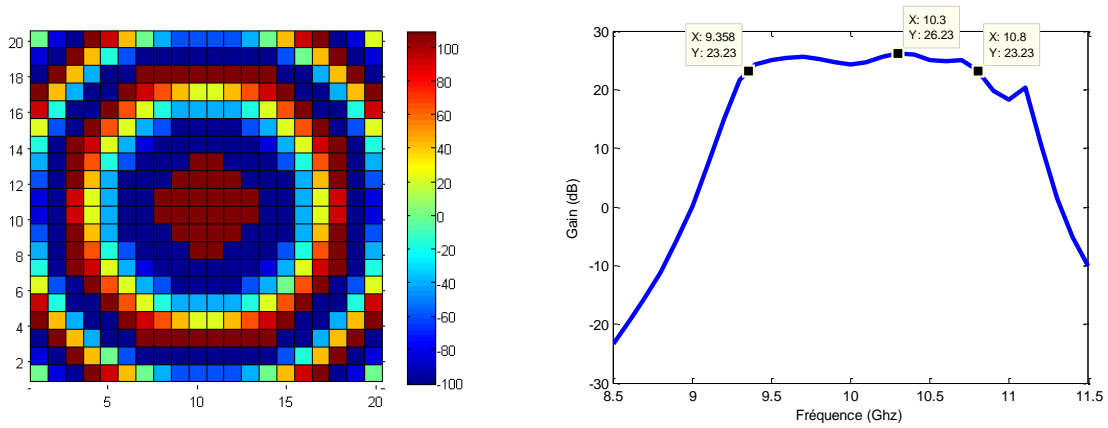


Figure 39: Analyse finie F=215mm Simple couche. a) Réseau b) Bande passante

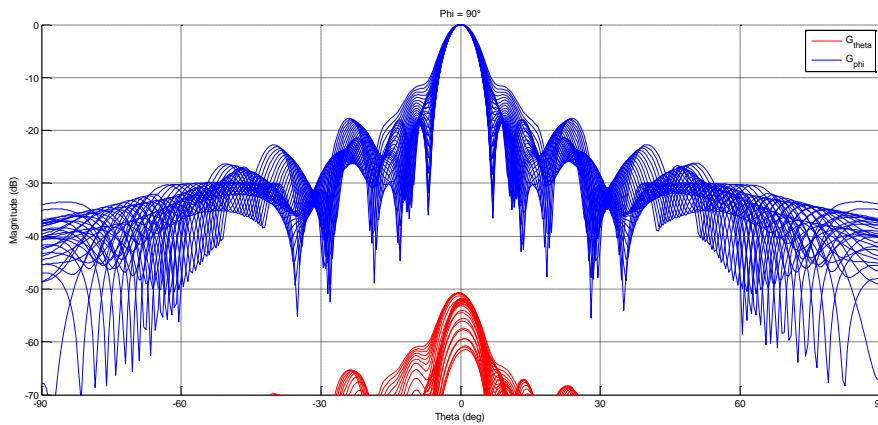


Figure 40: Plan E. Analyse finie F=215mm Simple couche.

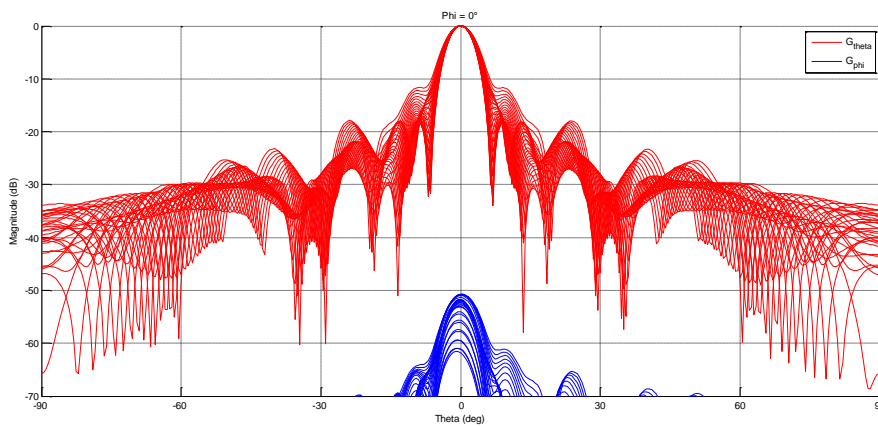


Figure 41: Plan H. Analyse finie F=215mm Simple couche

3.4.10. Comparaison des résultats de la cellule simple couche

Ici sont présentés les principaux résultats du balayage en fréquence pour les cas de compensation idéal, approche infinie et approche finie avec trois valeurs de distance focale F. Les variations entre différentes valeurs de distance focale ne sont pas très grandes. Dans le cas simple couche on va sélectionner pour la conception de l'antenne une distance focale F=215mm parce que présente une apodisation plus faible ce qui se traduit, comme peut s'observer dans les diagrammes de rayonnement, en plus directivité.

Gain max :

| | F=190mm | F=200mm | F=215mm |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| Idéal | 25.72 dB | 25.73 dB | 25.71 dB |
| A. Infinie | 24.86 dB | 24.84 dB | 24.36 dB |
| A. Finie | 24.82 dB | 24.81 dB | 24.32 dB |

Rendement total :

| | F=190mm | F=200mm | F=215mm |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| Idéal | 35.85 % | 35.10 % | 33.95 % |
| A. Infinie | 34.58 % | 33.34 % | 31.12 % |
| A. Finie | 34.58 % | 33.33 % | 31.00 % |

Bande Passante :

| | F=190mm | F=200mm | F=215mm |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| Idéal | 1.47 GHz | 1.46 GHz | 1.46 GHz |
| A. Infinie | 1.44 GHz | 1.45 GHz | 1.44 GHz |
| A. Finie | 1.44 GHz | 1.45 GHz | 1.44 GHz |

Apodisation :

| | F=190mm | F=200mm | F=215mm |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| Cellule 10 | 10.67 dB | 9.92 dB | 8.92 dB |
| Cellule 200 | 10.75 dB | 10.12 dB | 9.20 dB |
| Cellule 400 | 15.88 dB | 15.01 dB | 13.84 dB |

Chapitre 4

Cellule double couche

Chapitre 4

Cellule double couche

Comme est indiqué dans le chapitre deux, après la conception de l'antenne avec une configuration simple couche de la cellule, déjà réalisée dans le chapitre précédente, on va développer dans cette partie la conception de l'antenne avec une configuration double couche de la cellule.

4.1. Dimensions de la cellule double couche

Pour dessiner la cellule double couche on va partir de la configuration simple couche avec deux patchs sur deux substrats identiques et une fente en croix sur le plan de masse. Pour obtenir une cellule multicouche, on va ajouter deux nouveaux patchs plus petits au-dessus des autres. Les substrats utilisés sont les mêmes que pour la cellule simple couche. Dans ce cas, il y a trois films de collage RO4450F.

- Rogers RO4003: $\epsilon_r = 3.55$; $\tan\delta=0.0027$
- Rogers RO4450F: $\epsilon_r = 3.55$; $\tan\delta 0.004$

La cellule double couche est présentée en coupe et de dessus dans les suivantes figures. Les dimensions sont correspondantes à la configuration pour résonance à 10Ghz.

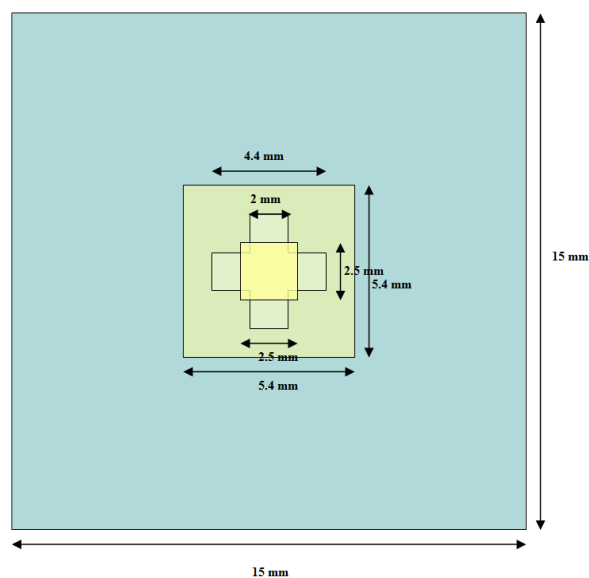


Figure 42: Vue de dessus de la cellule double couche

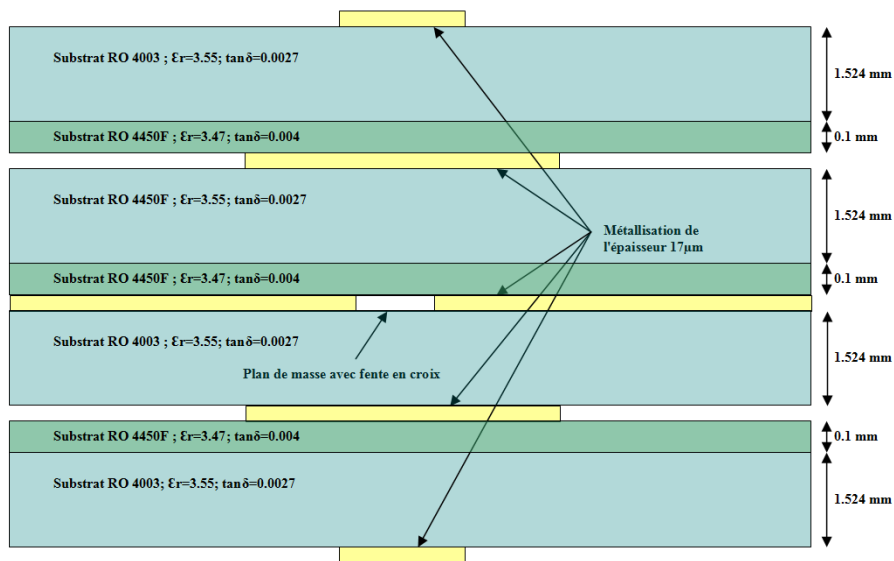


Figure 43: Vue en coupe de la cellule double couche

4.2. Résultats de HFSS

Les paramètres S11 et S21 en fonction de la fréquence se montrent dans les figures suivantes. On a réussi élargir la bande notablement. Maintenant la largeur de bande à -3dB est comprise entre 8.4GHz et 11.6 GHz ce qui suppose une bande passante de 3.2GHz (32% à 10GHz). Bien que la bande passante soit plus large, le déphasage qu'on peut réussir est plus petit que dans le cas simple couche, on a un déphasage d'environ 185° comme s'indique dans la figure 44d)

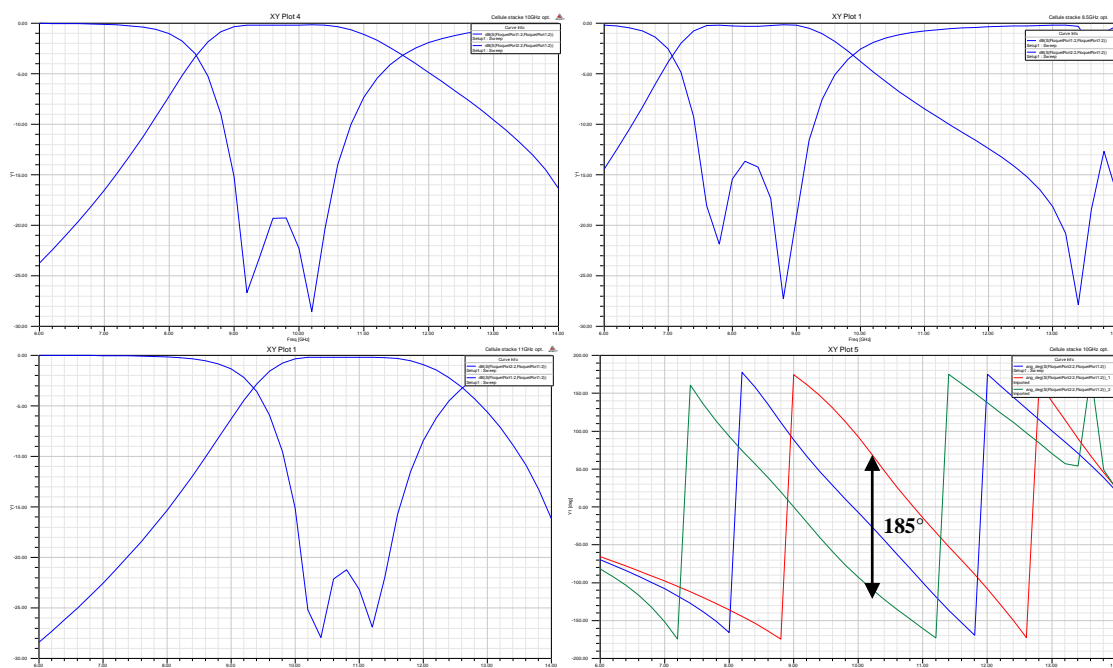


Figure 44:a) Bande passante de la cellule double couche à 10GHz ; b) Bande passante de la cellule double couche à 8.5GHz; c) Bande passante de la cellule double couche à 11.5GHz ; d) Déphasage entre configurations à 8.5GHz et 11.5GHz

Pour vérifier le bon comportement de la cellule double couche en bipolarisation on va regarder la polarisation croisée pour les deux polarisations. Dans la figure présentée dessous sont superposées les valeurs S_{11xy} , S_{21xy} , S_{11yx} et S_{21yx} .

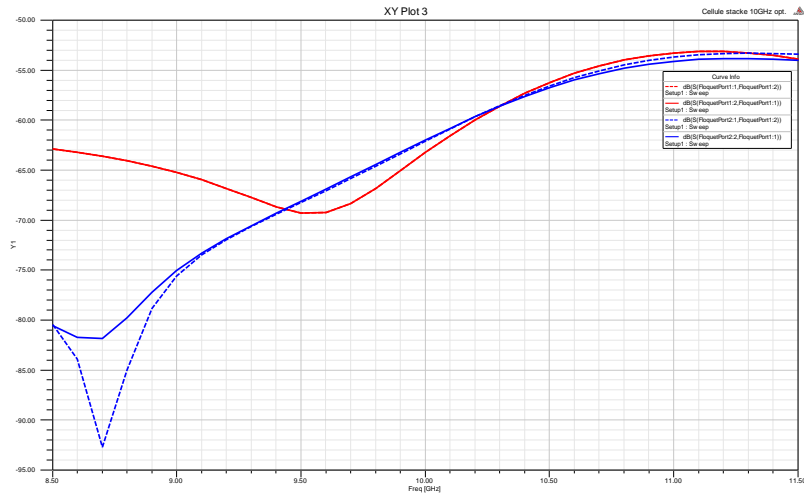


Figure 45: Polarisation croisée cellule double couche

Les valeurs sont très faibles. A 10GHz sont par-dessous de -60dB, ce qui garantit une bonne isolation.

4.3. Base de données

De la même façon que dans le chapitre trois pour la cellule simple couche, le but est réussir une base de données pour mettre en relation le déphasage qu'on a besoin avec les dimensions nécessaires pour l'obtenir.

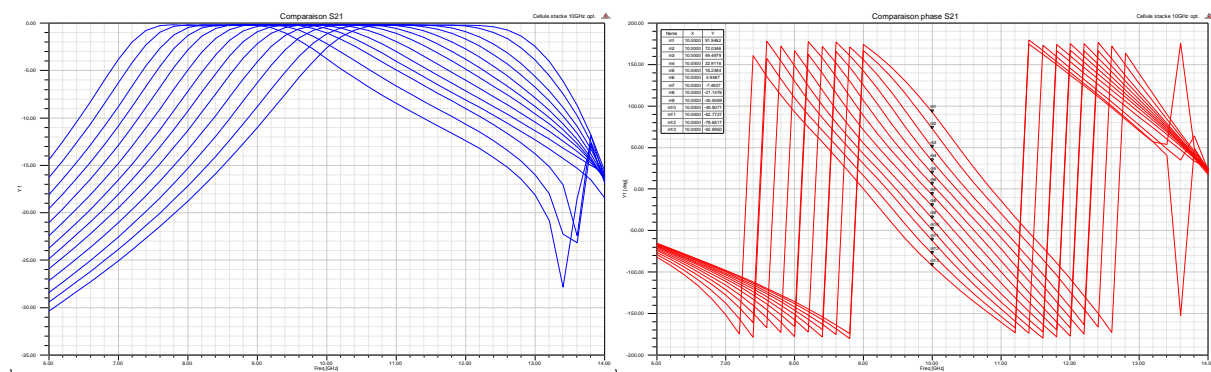


Figure 46: Cellule double couche a) S21 des configurations b) Phase S21 des configurations

Les valeurs de la phase normalisée à 10GHz avec les dimensions des fentes et des patches correspondantes sont présentées dans la table suivante :

| | LPatch=WPatch (mm) | Lfente1=Lfente2 (mm) | Wfente1=Wfente2 (mm) | LPatch1=WPatch1 (mm) | Phase(°) à 10GHz normalisée |
|-------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 8,5 | 6,4 | 5,3 | 3 | 4,5 | -85.454 |
| 8.75 | 6.2 | 5.2 | 2.75 | 4.5 | -71.159 |
| 9 | 6 | 5,1 | 2,5 | 4,5 | -55.28 |
| 9.25 | 5.85 | 5 | 2.35 | 4.25 | -42.3144 |
| 9,5 | 5,7 | 4,9 | 2,2 | 4 | -28.4342 |
| 9.75 | 5.53 | 4.8 | 2.1 | 3.75 | -13.6549 |
| 10 | 5,37 | 4,7 | 2 | 3,5 | 0 |
| 10.25 | 5.23 | 4.6 | 1.95 | 3.25 | 12.4414 |
| 10,5 | 5,1 | 4,5 | 1,9 | 3 | 25.7311 |
| 10.75 | 4.96 | 4.42 | 1.75 | 2.75 | 40.4043 |
| 11 | 4,83 | 4,35 | 1,6 | 2,5 | 56.9906 |
| 11.25 | 4.66 | 4.25 | 1.6 | 2.25 | 79.5273 |
| 11,5 | 4,5 | 4,15 | 1,6 | 2 | 99.4389 |

D'où peut s'extraire les courbes qui mettent en relation la phase obtenue à 10GHz et les dimensions de chaque paramètre géométrique de la cellule pour réussir cette phase. Dans le code d'analyse l'interpolation des phases est faite grâce à courbes spline.

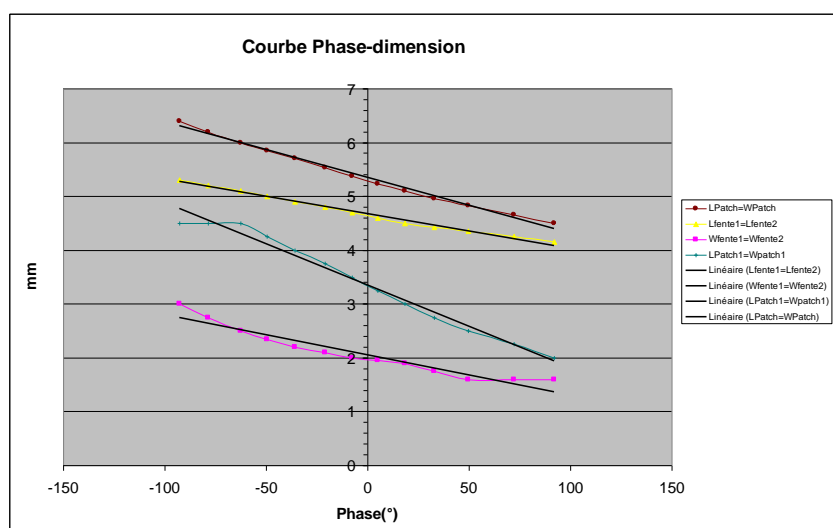


Figure 47: Cellule double couche. Courbes phase-dimensions de la base de données

4.4. Balayage en fréquence avec le code d'analyse

Pour travailler sur MATLAB on va exporter les données de la configuration de cellule 10Ghz et on va utiliser ces fichiers pour toutes les cellules en supposant que les diagrammes sont similaires afin de réduire considérablement la charge computationnelle et la complexité du code.

Comme dans l'étude simple couche, soit l'antenne de réception soit l'antenne de transmission, on va utiliser les mêmes fichiers de gain, impédance, champ E et paramètres S. Le repère des fichiers varie pour φ de 0° à 180° avec un step de 15° et pour θ de -90° à 90° avec un step de 5° . L'analyse de réseau comme dans l'autre cas étudié est pour une compensation parfaite de phase et pour deux approches, une « infinie » et autre « finie » avec une phase maximale tronquée à -85.454° et 99.439° .

Dans la figure présentée dessous, se montre le balayage F/D pour la cellule double couche. De nouveau le balayage en fréquence est fait pour trois valeurs de F (F=190mm ; F=200mm ; F=215mm)

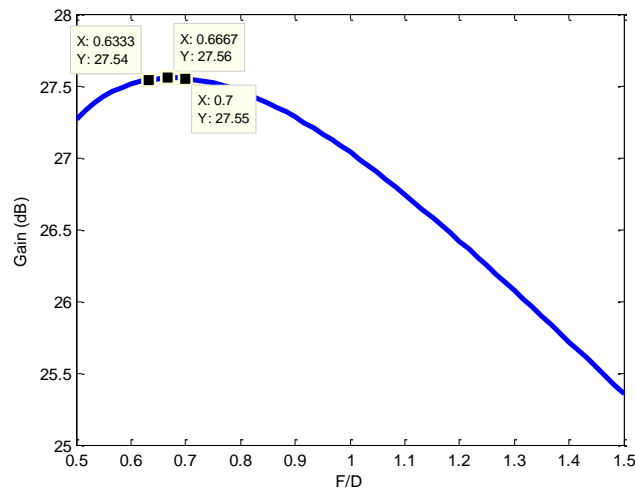


Figure 48: Balayage en F/D cellule double couche

4.4.1. Idéal - F=190mm

Pour le phaseshift idéal avec une distance F=190mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 27.54 dB
- Rendement Total = 54.73%
- Bande passante à -3dB de 2.47GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 10.88dB ; Cellule 200 = 10.93dB ; Cellule 400 = 16.05dB

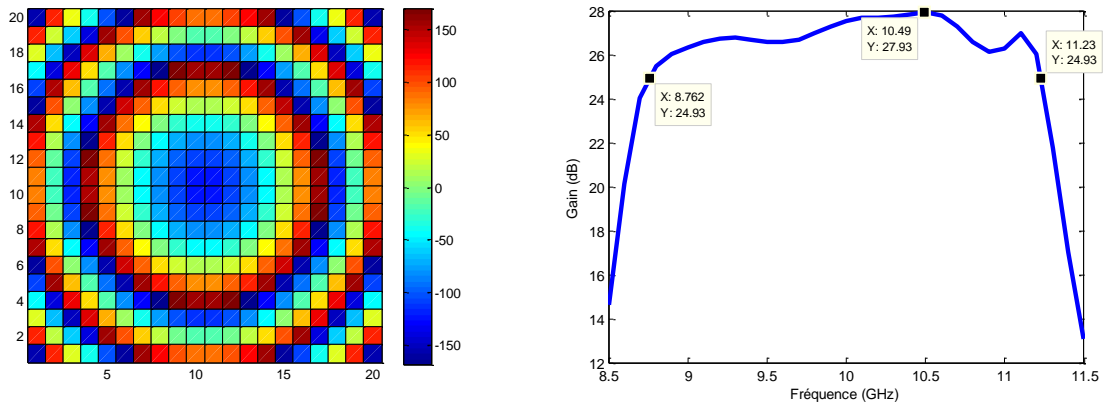


Figure 49: Analyse idéale F=190mm double couche. a) Réseau b) Bande passante

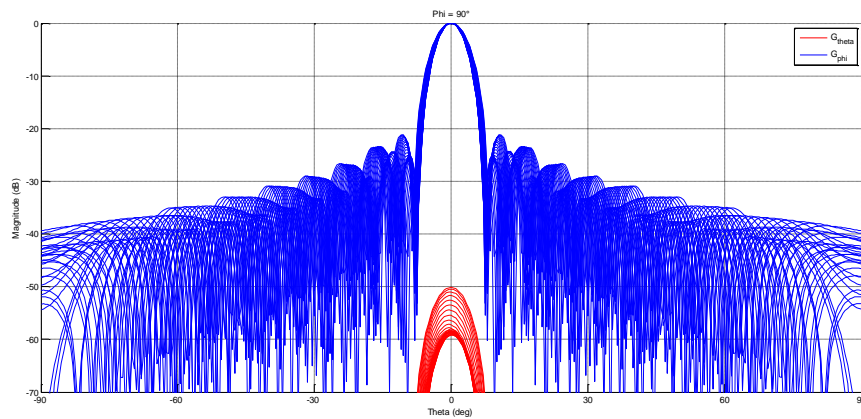


Figure 50: Plan E. Analyse idéale F=190mm Double couche

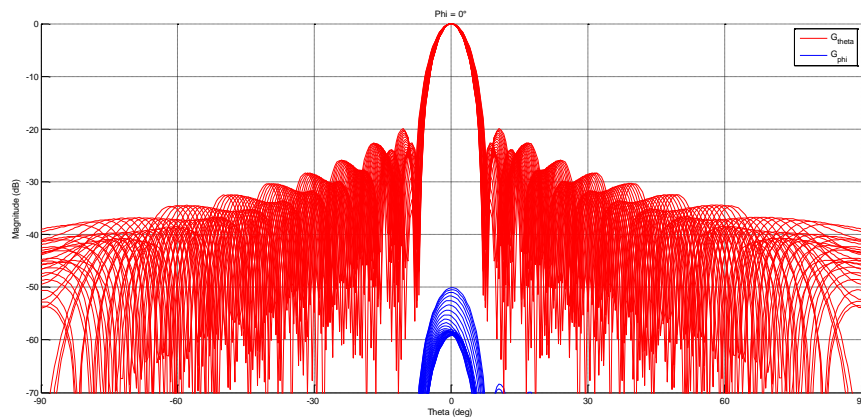


Figure 51: Plan H. Analyse idéale F=190mm Double couche

4.4.2. Approche infinie - F=190mm

Pour le phaseshift infini avec une distance F=190mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 26.47 dB
- Rendement Total = 51.21%
- Bande passante à -3dB de 2.34GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 10.88dB ; Cellule 200 = 10.93dB ; Cellule 400 = 16.05dB

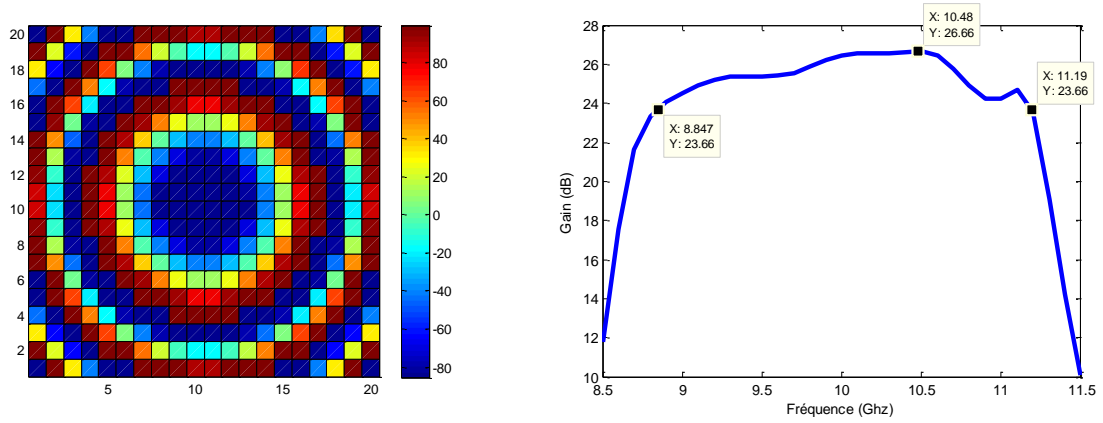


Figure 52: Analyse infinie F=190mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante

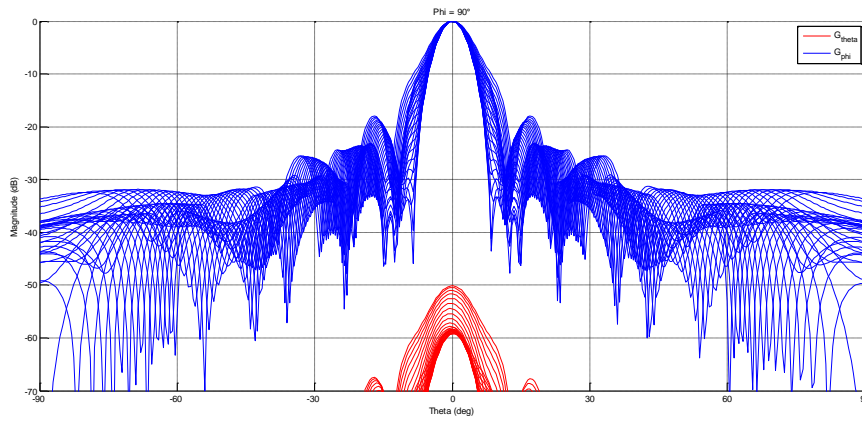


Figure 53: Plan E. Analyse infinie F=190mm Double couche

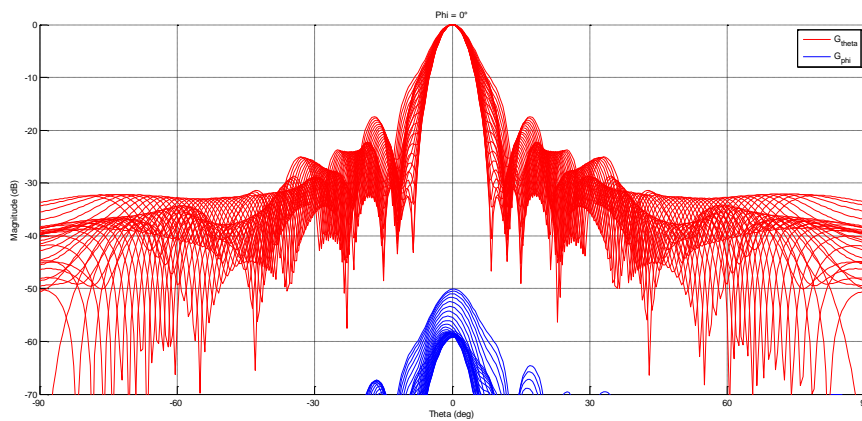


Figure 54: Plan H. Analyse infinie F=190mm Double couche

4.4.3. Approche finie - F=190mm

Pour le phaseshift fini avec une distance F=190mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 26.46 dB
- Rendement Total = 50.98%
- Bande passante à -3dB de 2.34GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 10.88dB ; Cellule 200 = 10.93dB ; Cellule 400 = 16.05dB

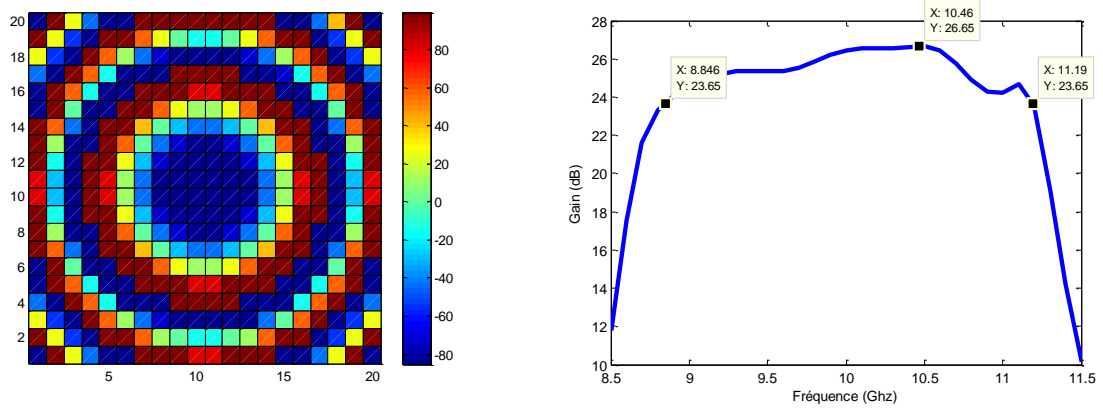


Figure 55: Analyse finie F=190mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante

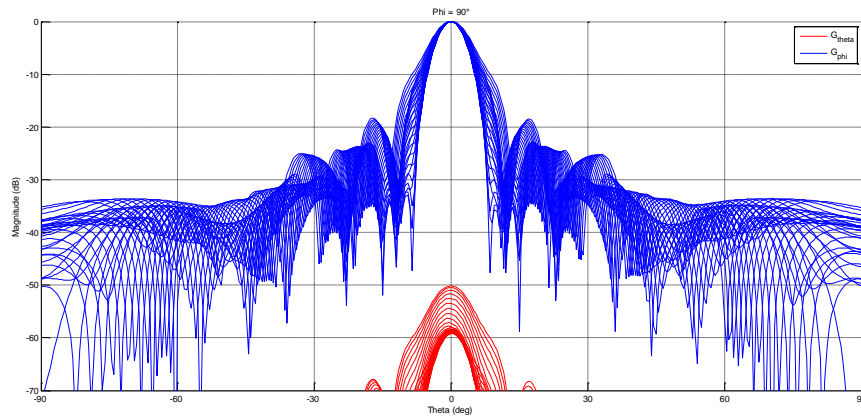


Figure 56: Plan E. Analyse finie F=190mm Double couche

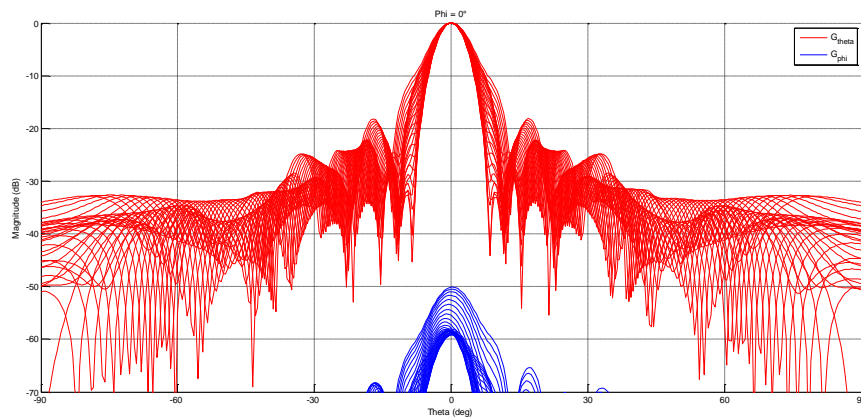


Figure 57: Plan H. Analyse finie F=190mm Double couche

4.4.4. Idéal - F=200mm

Pour le phaseshift idéal avec une distance F=200mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 27.55 dB
- Rendement Total = 53.61%
- Bande passante à -3dB de 2.46GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 10.12dB ; Cellule 200 = 10.27dB ; Cellule 400 = 15.17dB

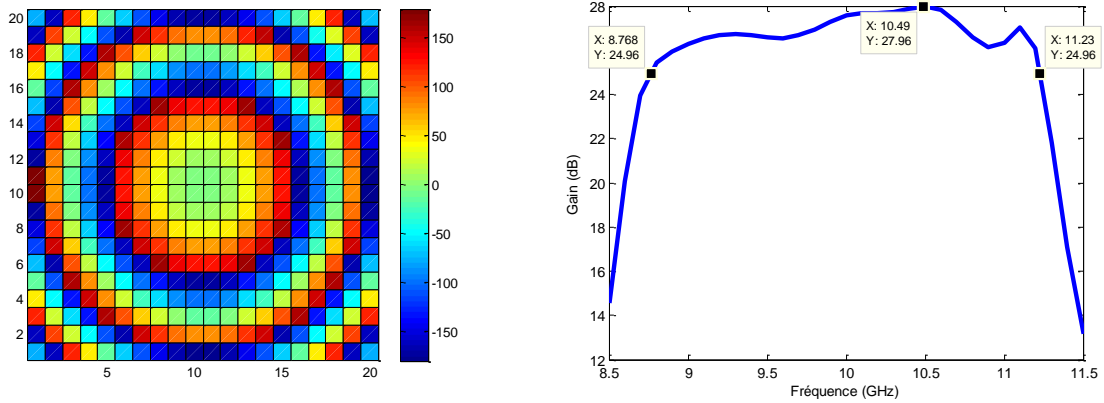


Figure 58: Analyse idéale F=200mm double couche. a) Réseau b) Bande passante

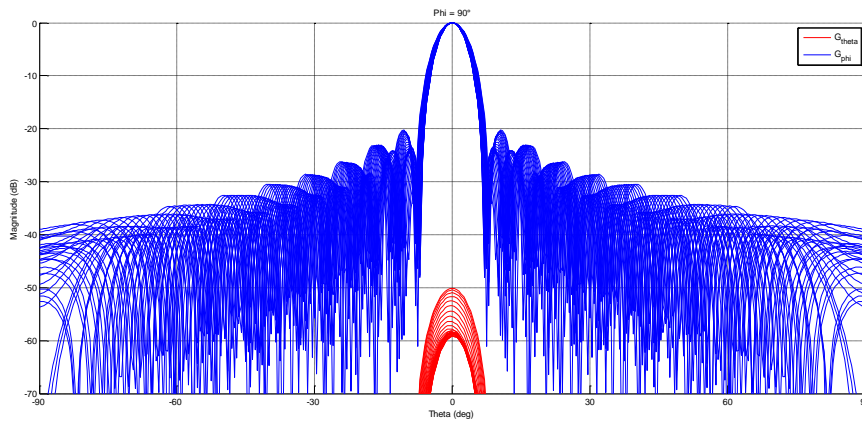


Figure 59: Plan E. Analyse idéale F=200mm Double couche

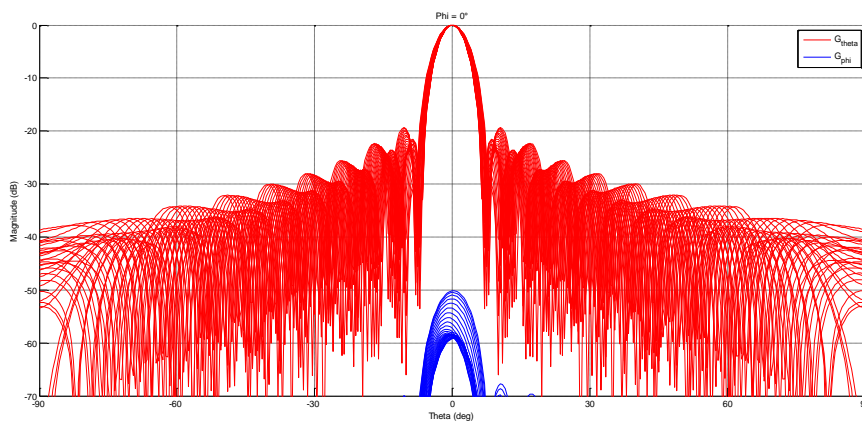


Figure 60: Plan H. Analyse idéale F=200mm Double couche

4.4.5. Approche infinie - F=200mm

Pour le phaseshift infinie avec une distance F=200mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 25.93 dB
- Rendement Total = 49.24%
- Bande passante à -3dB de 2.28GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 10.12dB ; Cellule 200 = 10.27dB ; Cellule 400 = 15.17dB

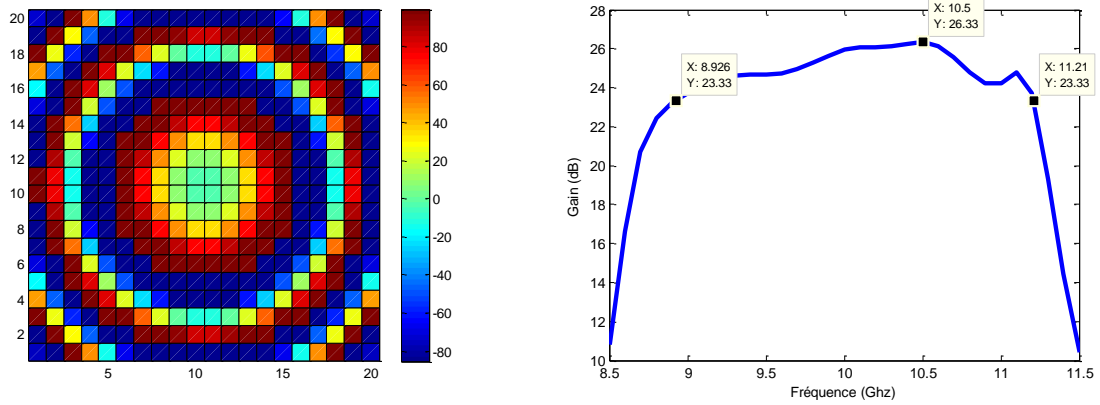


Figure 61: Analyse infinie F=200mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante

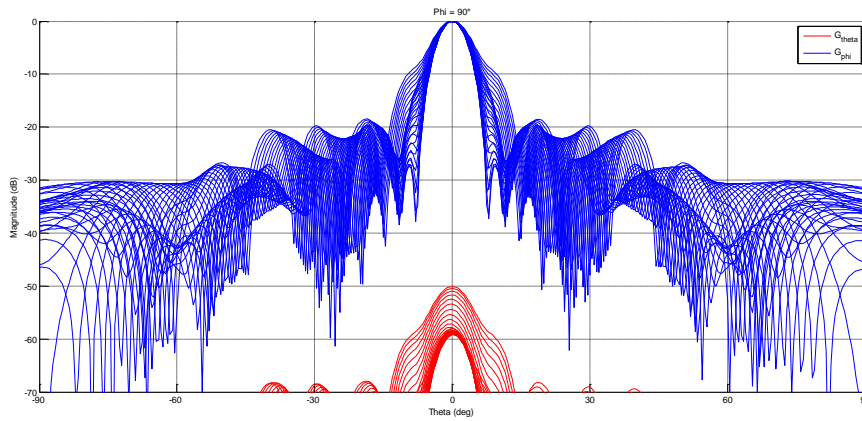


Figure 62: Plan E. Analyse infinie F=200mm Double couche

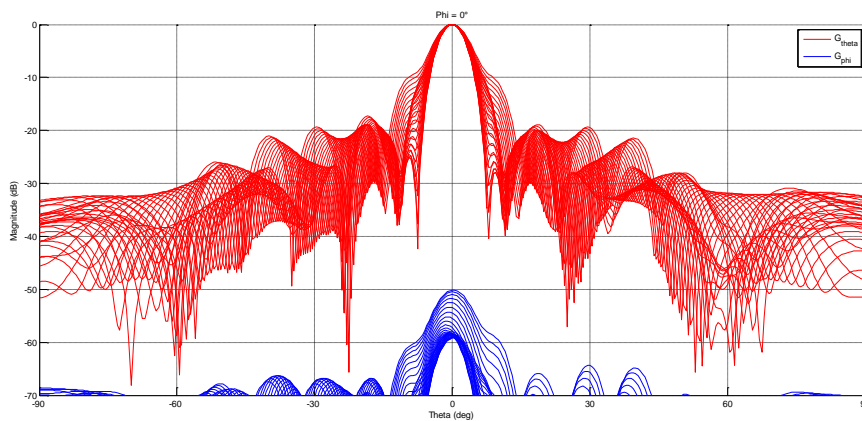


Figure 63: Plan H. Analyse infinie F=200mm Double couche

4.4.6. Approche finie - F=200mm

Pour le phaseshift finie avec une distance F=200mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 25.92 dB
- Rendement Total = 49.23%
- Bande passante à -3dB de 2.29GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 10.12dB ; Cellule 200 = 10.27dB ; Cellule 400 = 15.17dB

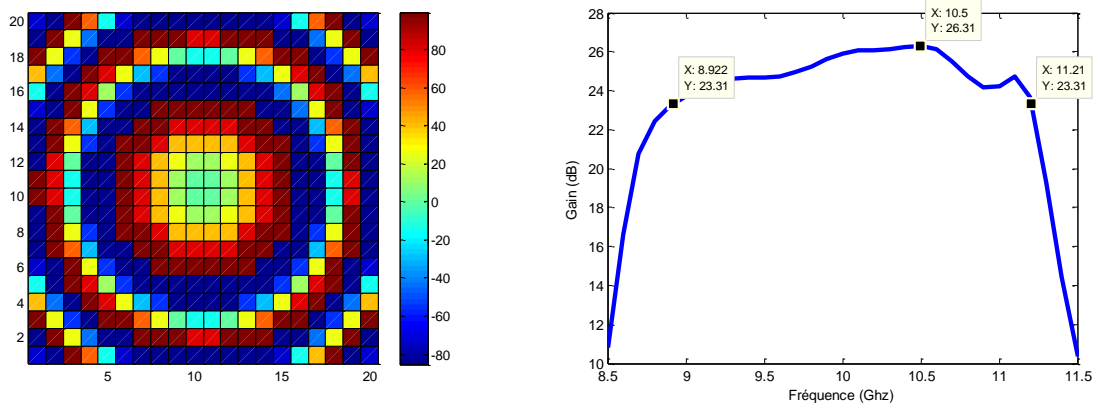


Figure 64: Analyse finie F=200mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante

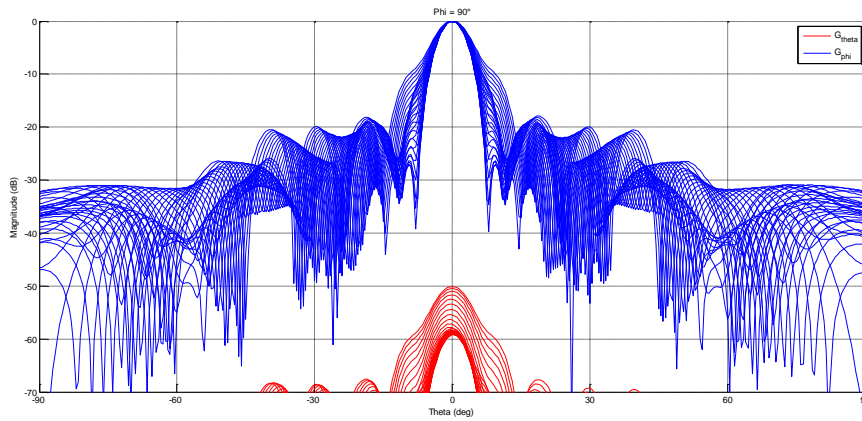


Figure 65: Plan E. Analyse finie F=200mm Double couche

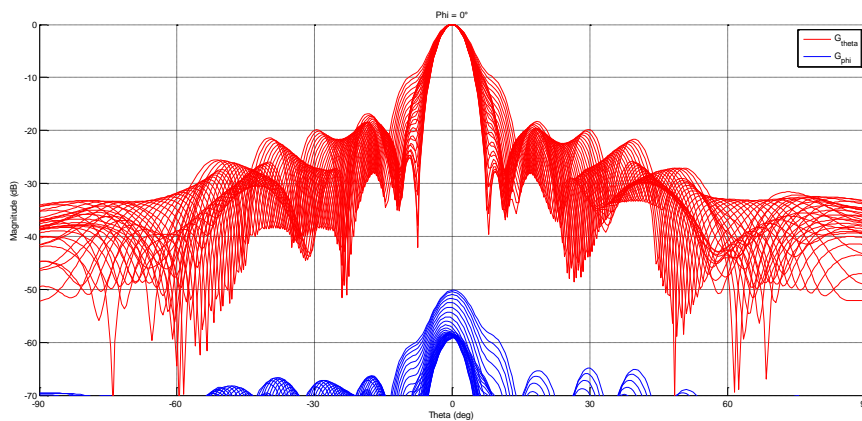


Figure 66: Plan H. Analyse finie F=200mm Double couche

4.4.7. Idéal - F=215mm

Pour le phaseshift idéal avec une distance F=215mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 27.55 dB
- Rendement Total = 51.88%
- Bande passante à -3dB de 2.45GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 9.1dB ; Cellule 200 = 9.36dB ; Cellule 400 = 14dB

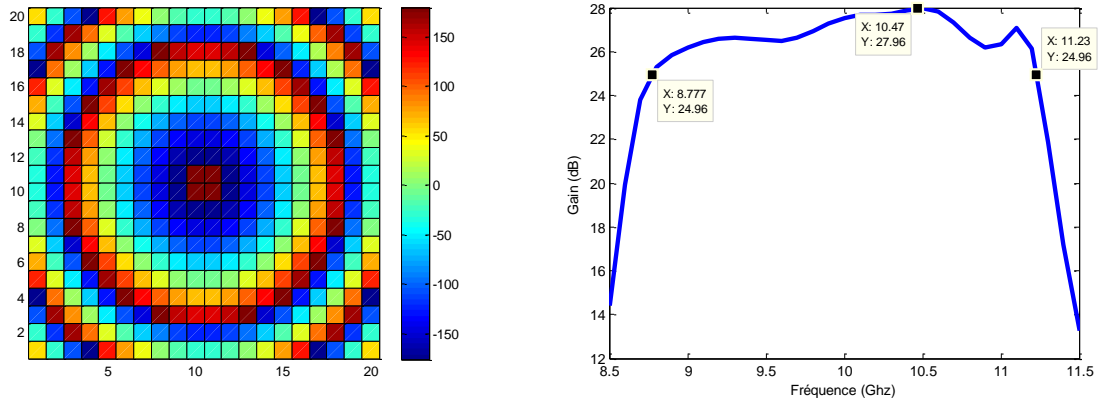


Figure 67: Analyse idéale F=215mm double couche. a) Réseau b) Bande passante

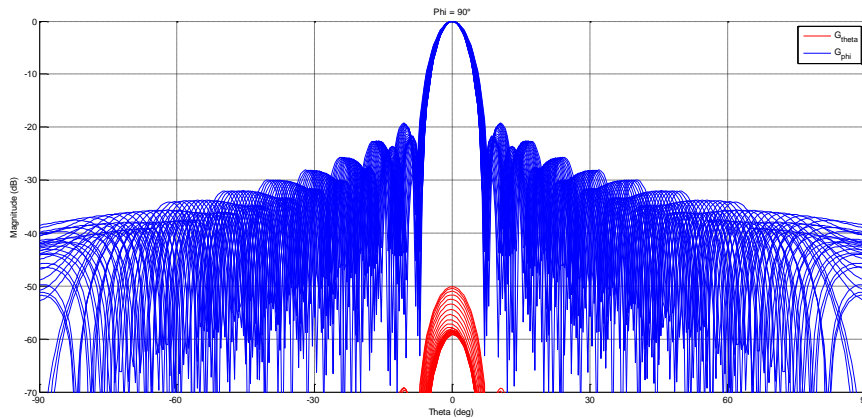


Figure 68: Plan E. Analyse idéale F=215mm Double couche

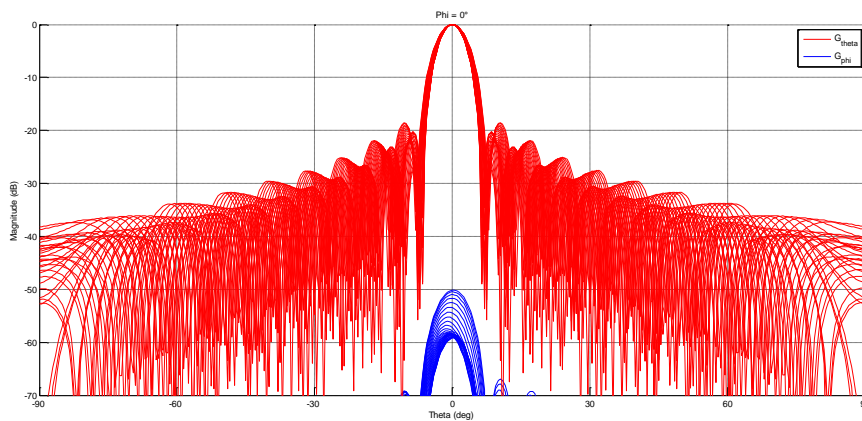


Figure 69: Plan H. Analyse idéale F=215mm Double couche

4.4.8. Approche infinie - F=215mm

Pour le phaseshift infinie avec une distance F=215mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 25.73 dB
- Rendement Total = 47.99%
- Bande passante à -3dB de 2.37GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 9.1dB ; Cellule 200 = 9.36dB ; Cellule 400 = 14dB

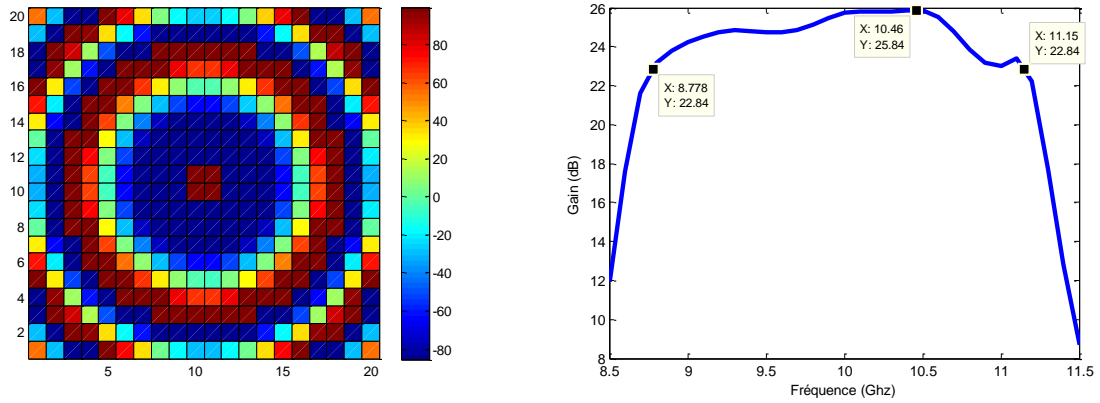


Figure 70: Analyse infinie F=215mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante

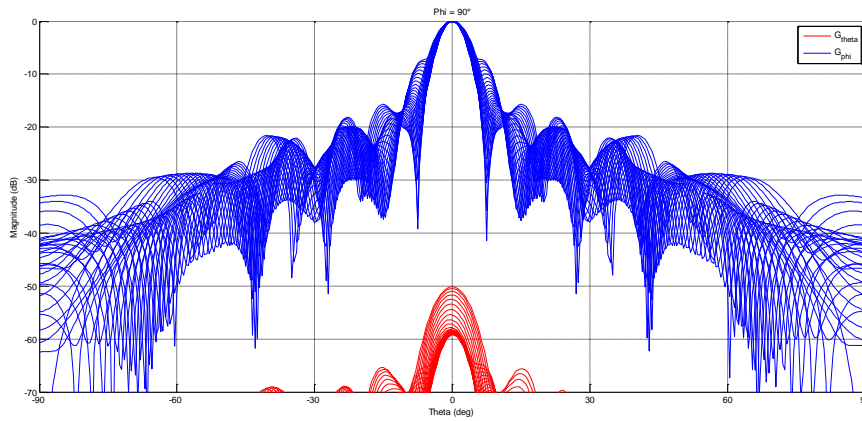


Figure 71: Plan E. Analyse infinie F=215mm Double couche

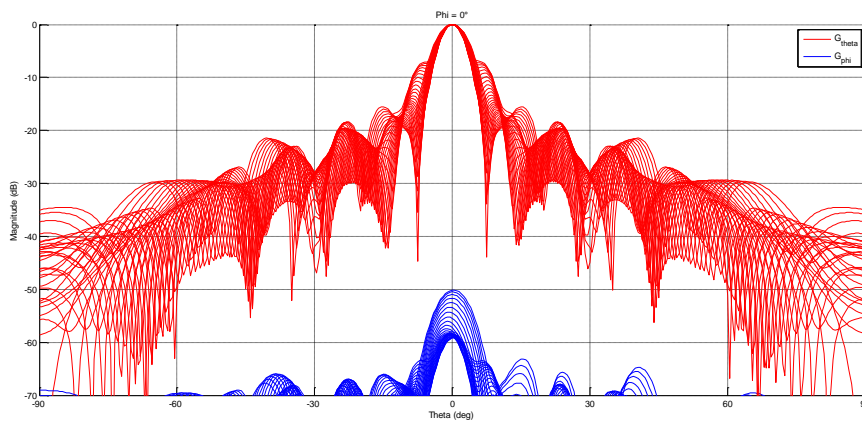


Figure 72: Plan H. Analyse infinie F=215mm Double couche

4.4.9. Approche finie - F=215mm

Pour le phaseshift finie avec une distance F=215mm les résultats sont les suivants :

- Gain max = 25.71 dB
- Rendement Total = 47.98%
- Bande passante à -3dB de 2.37GHz
- Apodisation : Cellule 10 = 9.1dB ; Cellule 200 = 9.36dB ; Cellule 400 = 14dB

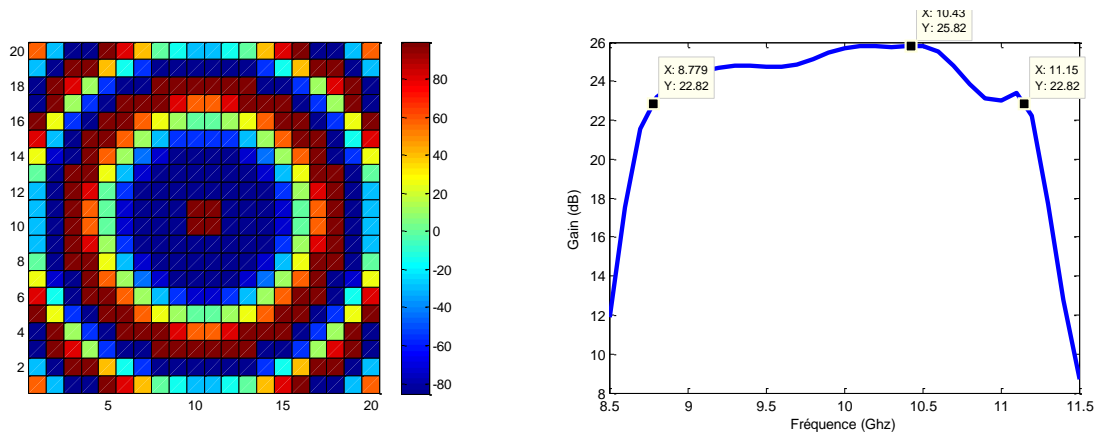


Figure 73: Analyse finie F=215mm Double couche. a) Réseau b) Bande passante

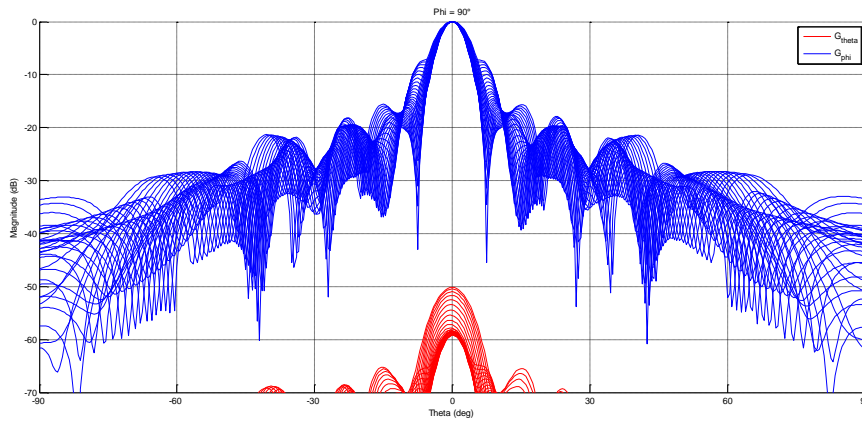


Figure 74: Plan E. Analyse finie F=215mm Double couche

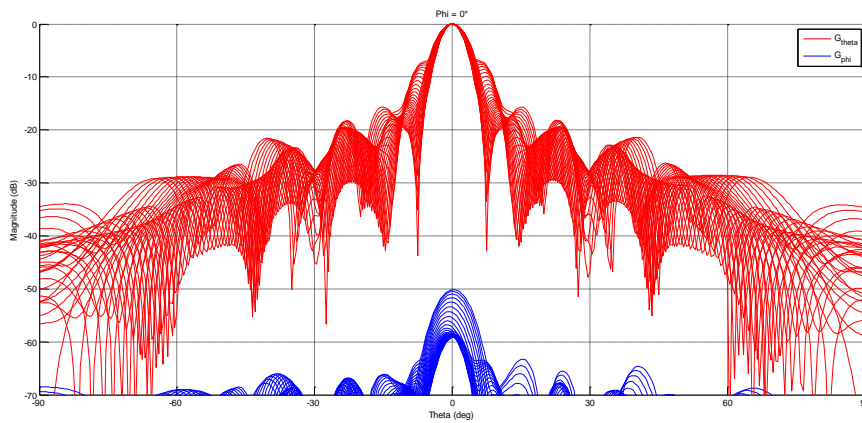


Figure 75: Plan H. Analyse finie F=215mm Double couche

4.4.10. Comparaison résultats de la cellule double couche

Voici les tables comparatives pour tous les cas simulés. Les variations entre différentes valeurs de distance focale ne sont pas très grandes. Dans le cas double couche on va sélectionner pour la conception de l'antenne une distance focale $F=190\text{mm}$ dû au gain plus haut.

Gain max :

| | F=190mm | F=200mm | F=215mm |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| Idéal | 27.54 dB | 27.55 dB | 27.55 dB |
| A. Infinie | 26.47 dB | 25.93 dB | 25.73 dB |
| A. Finie | 26.46 dB | 25.92 dB | 25.71 dB |

Rendement total :

| | F=190mm | F=200mm | F=215mm |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| Idéal | 54.73 % | 53.61 % | 51.88 % |
| A. Infinie | 51.21 % | 49.24 % | 47.99 % |
| A. Finie | 50.98 % | 49.23 % | 47.98 % |

Bande Passante :

| | F=190mm | F=200mm | F=215mm |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| Idéal | 2.47 GHz | 2.46 GHz | 2.45 GHz |
| A. Infinie | 2.34 GHz | 2.28 GHz | 2.37 GHz |
| A. Finie | 2.34 GHz | 2.29 GHz | 2.37 GHz |

Apodisation :

| | F=190mm | F=200mm | F=215mm |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| Cellule 10 | 10.88 dB | 10.12 dB | 9.1 dB |
| Cellule 200 | 10.93 dB | 10.27 dB | 9.36 dB |
| Cellule 400 | 16.05 dB | 15.17 dB | 14 dB |

Chapitre 5

Tests

Chapitre 5

Tests

Le but de ce travail est obtenir une application différente pour chaque polarisation. L'application sera un dépointage du faisceau en $\theta=15^\circ$, $\theta=30^\circ$ et $\theta=45^\circ$. On a sélectionné la cellule simple couche avec une distance focale $F=215\text{mm}$ et la cellule double couche avec $F=190\text{mm}$. Les antennes qu'on va construire sont huit. Quatre pour chaque type de cellule :

- Polarisation H - $\theta=0^\circ$; Polarisation V - $\theta=0^\circ$
- Polarisation H - $\theta=0^\circ$; Polarisation V - $\theta=15^\circ$
- Polarisation H - $\theta=0^\circ$; Polarisation V - $\theta=30^\circ$
- Polarisation H - $\theta=0^\circ$; Polarisation V - $\theta=45^\circ$

Dans ce chapitre on va répéter la même étude faite dans les deux derniers mais dans ce cas seulement en utilisant la cellule simple couche avec $F=215\text{mm}$ et la cellule double couche avec $F=190$.

5.1. Dépointage $\theta=15^\circ$ avec cellule simple couche et $F=215\text{mm}$

5.1.1. Idéal

- Gain max = 25.35 dB ; Rendement Total = 32.46% ; Bande passante à -3dB de 1.46 GHz

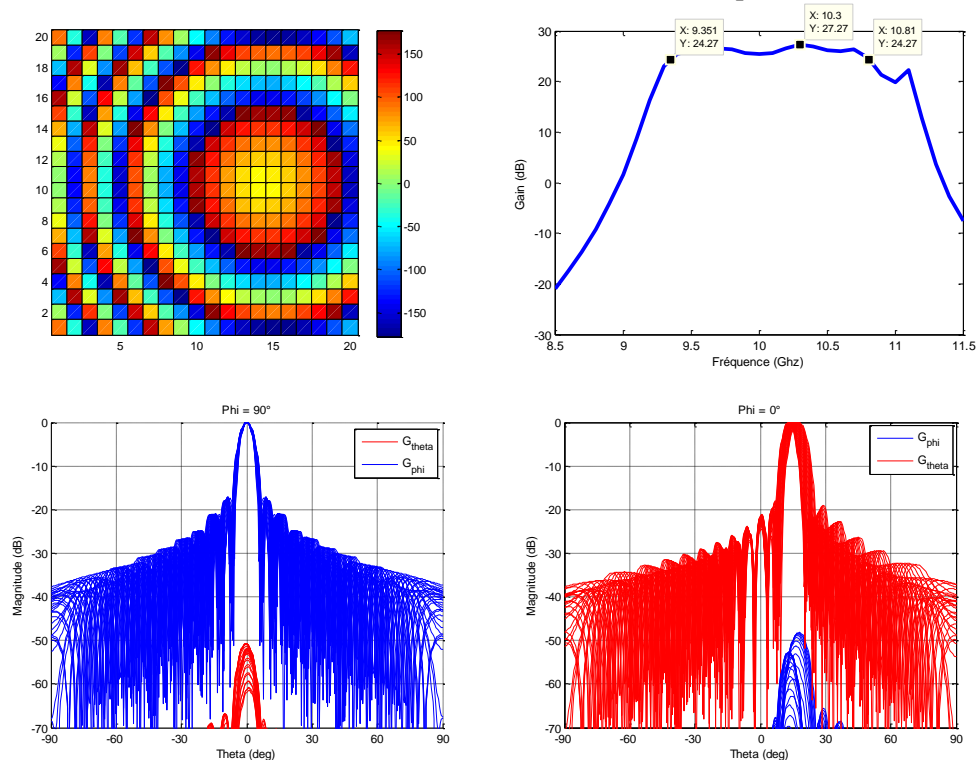


Figure 76: Analyse idéale - $\theta=15^\circ$ - Simple couche $F=215\text{mm}$. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H

5.1.2. Approche infinie

- Gain max = 24.26 dB ; Rendement Total = 30.6% ; Bande passante à -3dB de 1.44 GHz

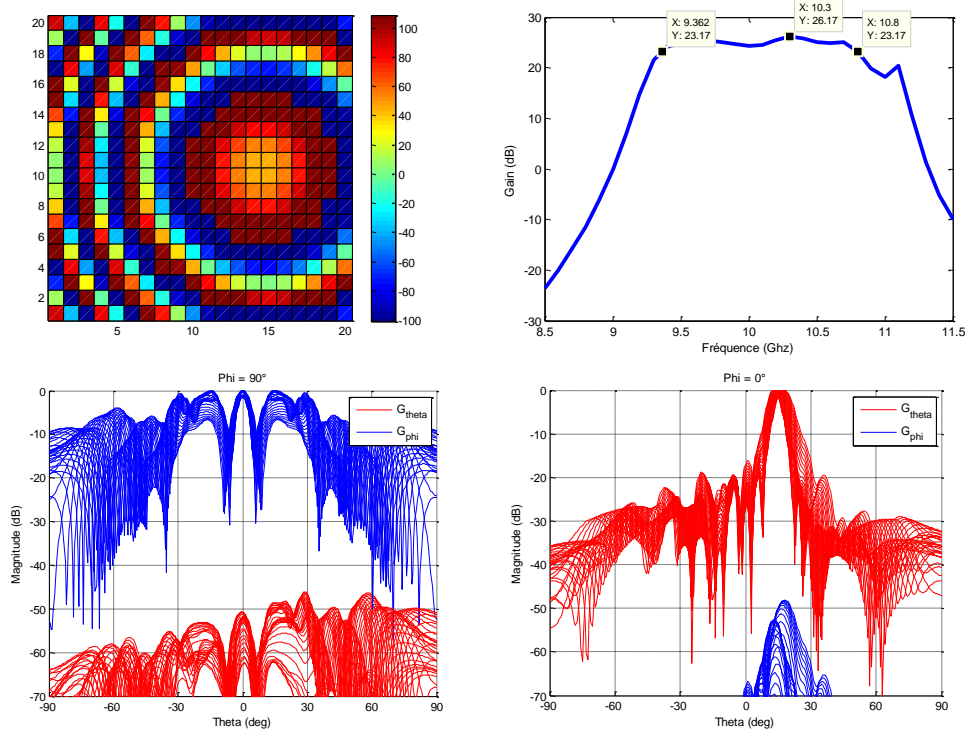


Figure 77: Analyse infinie - $\theta=15^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.1.3. Approche finie

- Gain max = 24.22 dB ; Rendement Total = 30.51% ; Bande passante à -3dB de 1.44 GHz

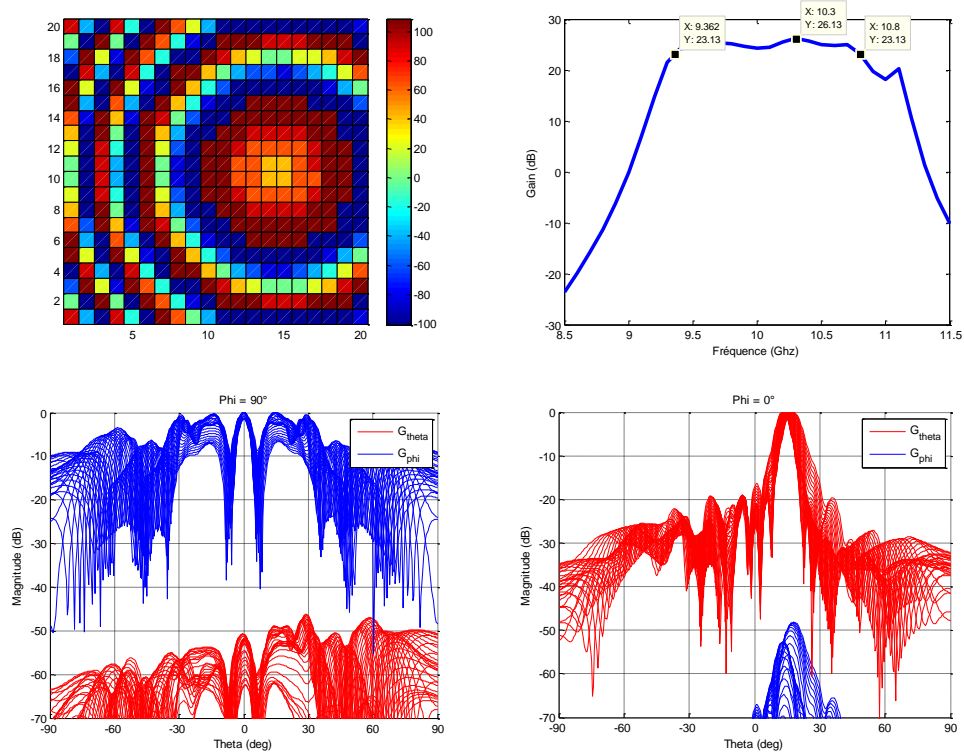


Figure 78: Analyse finie - $\theta=15^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.2. Dépointage $\theta=15^\circ$ avec cellule double couche et $F=190\text{mm}$

5.2.1 Idéal

- Gain max = 27.17 dB ; Rendement Total = 52.23% ; Bande passante à -3dB de 2.46 GHz

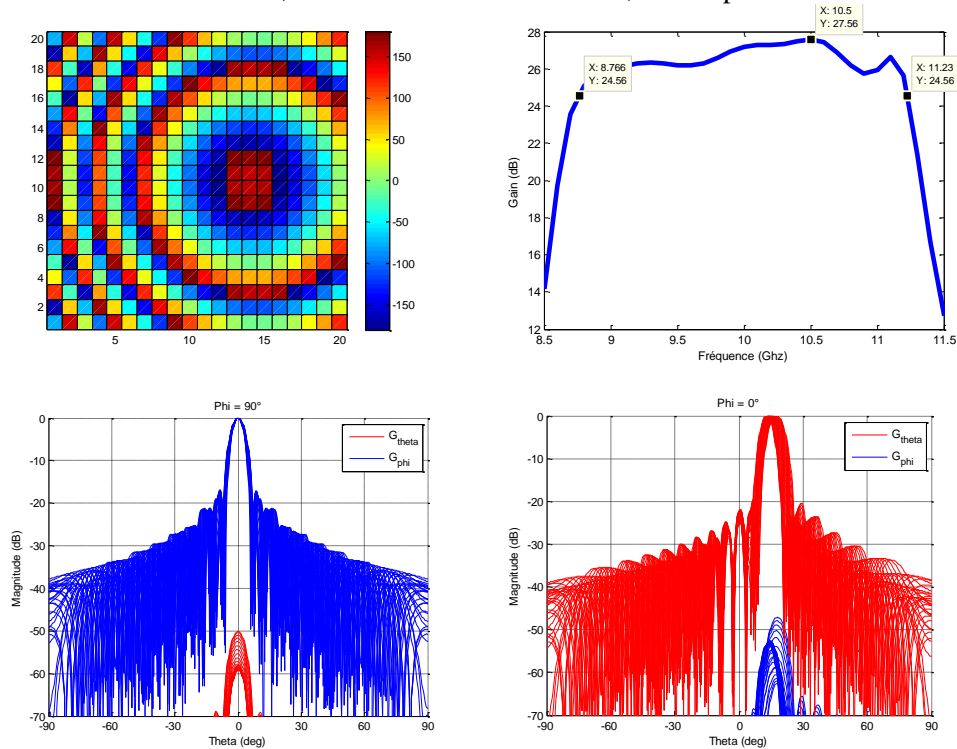


Figure 79: Analyse idéale - $\theta=15^\circ$ - Double couche $F=190\text{mm}$. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H

5.2.2. Approche infinie

- Gain max = 25.21 dB ; Rendement Total = 48.72% ; Bande passante à -3dB de 2.38 GHz

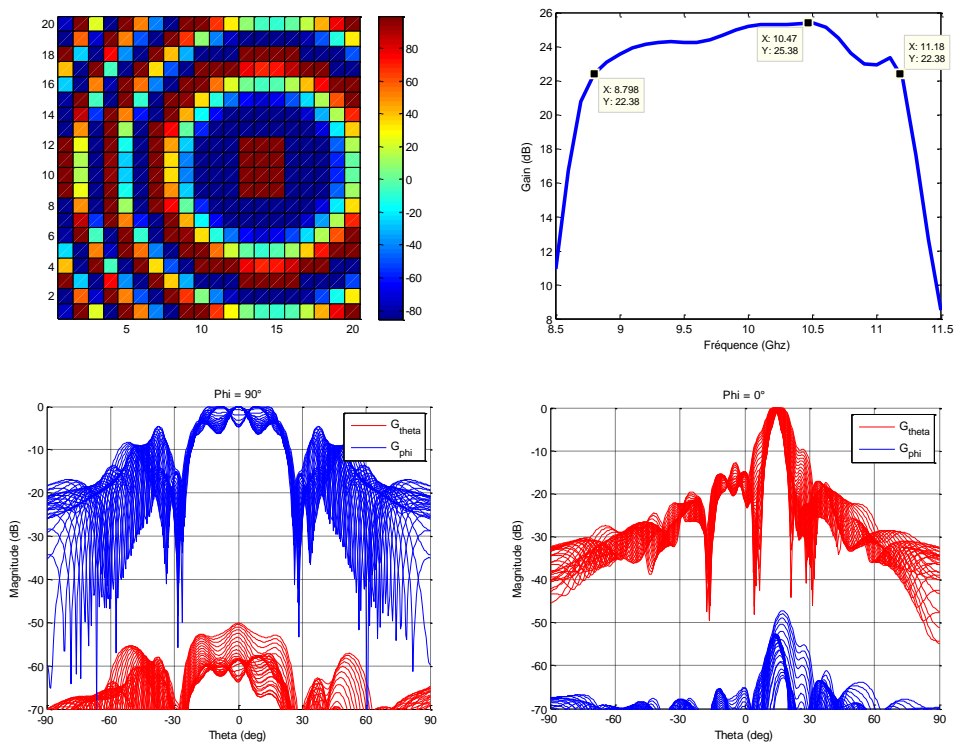


Figure 80: Analyse infinie - $\theta=15^\circ$ - Double couche $F=190\text{mm}$. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.2.3. Approche finie

- Gain max = 25.19 dB ; Rendement Total = 48.58% ; Bande passante à -3dB de 2.38 GHz

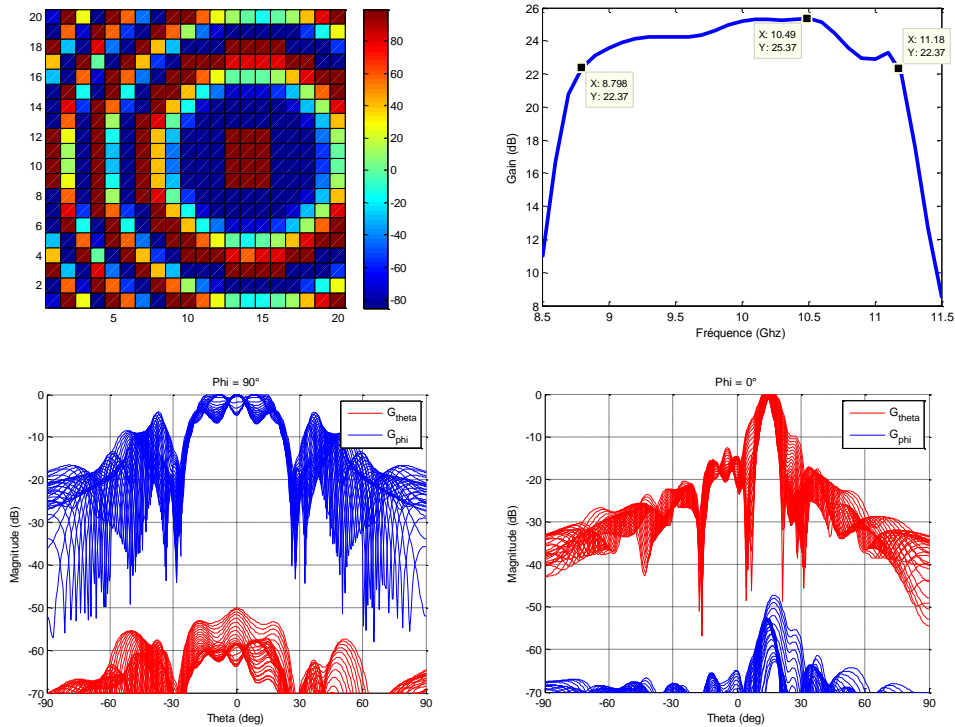


Figure 81: Analyse finie - $\theta=15^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.3. Dépointage $\theta=30^\circ$ avec cellule simple couche et F=215mm

5.3.1. Idéal

- Gain max = 24.32 dB ; Rendement Total = 28.64% ; Bande passante à -3dB de 1.46 GHz

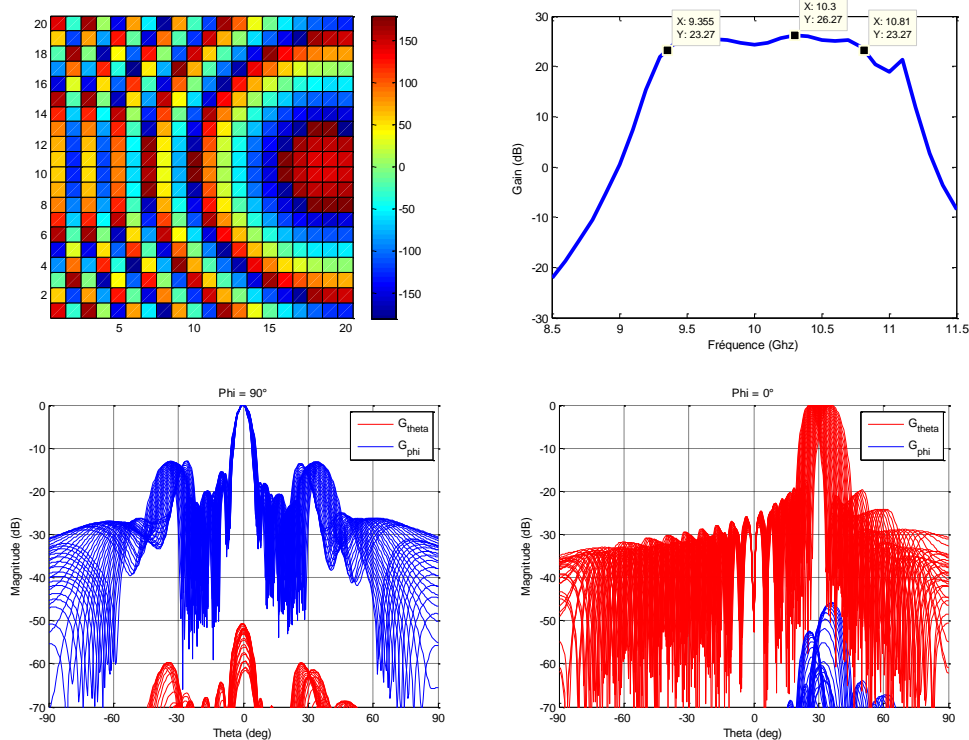


Figure 82: Analyse idéale - $\theta=30^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H

5.3.2. Approche infinie

- Gain max = 23.15 dB ; Rendement Total = 27.73% ; Bande passante à -3dB de 1.44 GHz

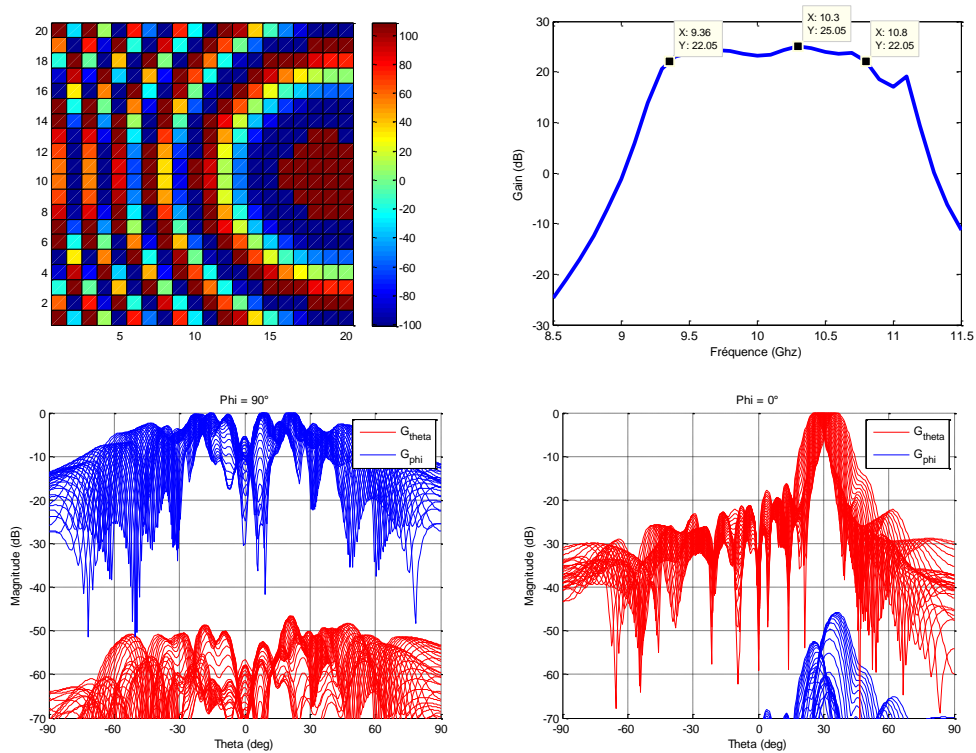


Figure 83: Analyse infinie - $\theta=30^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.3.3. Approche finie

- Gain max = 23.12 dB ; Rendement Total = 27.68% ; Bande passante à -3dB de 1.44 GHz

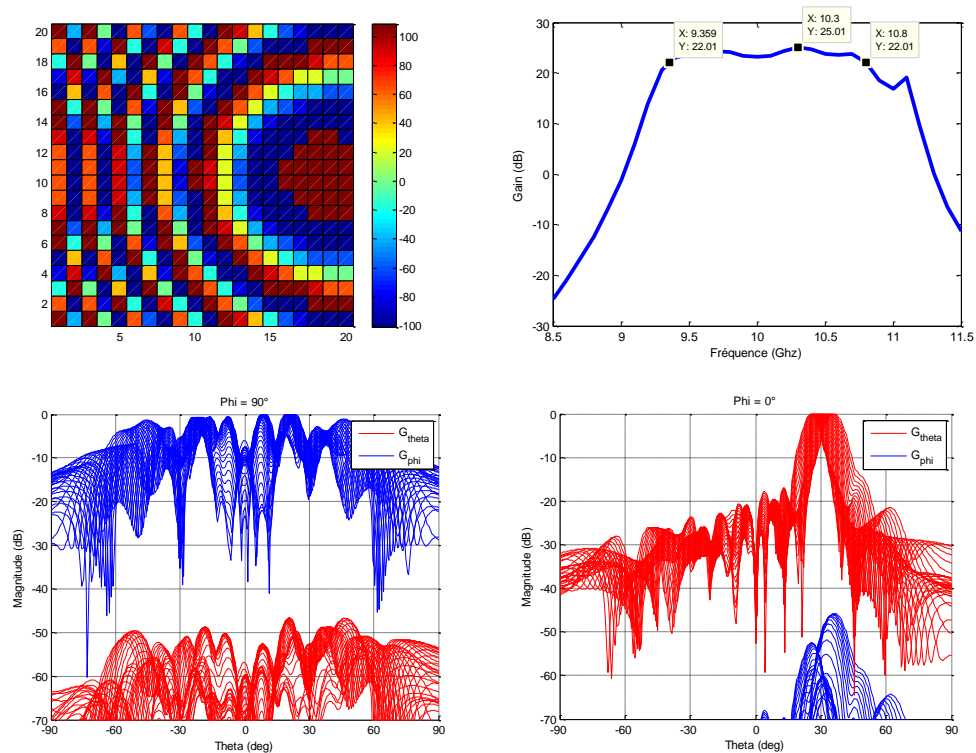


Figure 84: Analyse finie - $\theta=30^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.4. Dépointage $\theta=30^\circ$ avec cellule double couche et $F=190\text{mm}$

5.4.1 Idéal

- Gain max = 26.08 dB ; Rendement Total = 45.42% ; Bande passante à -3dB de 2.45 GHz

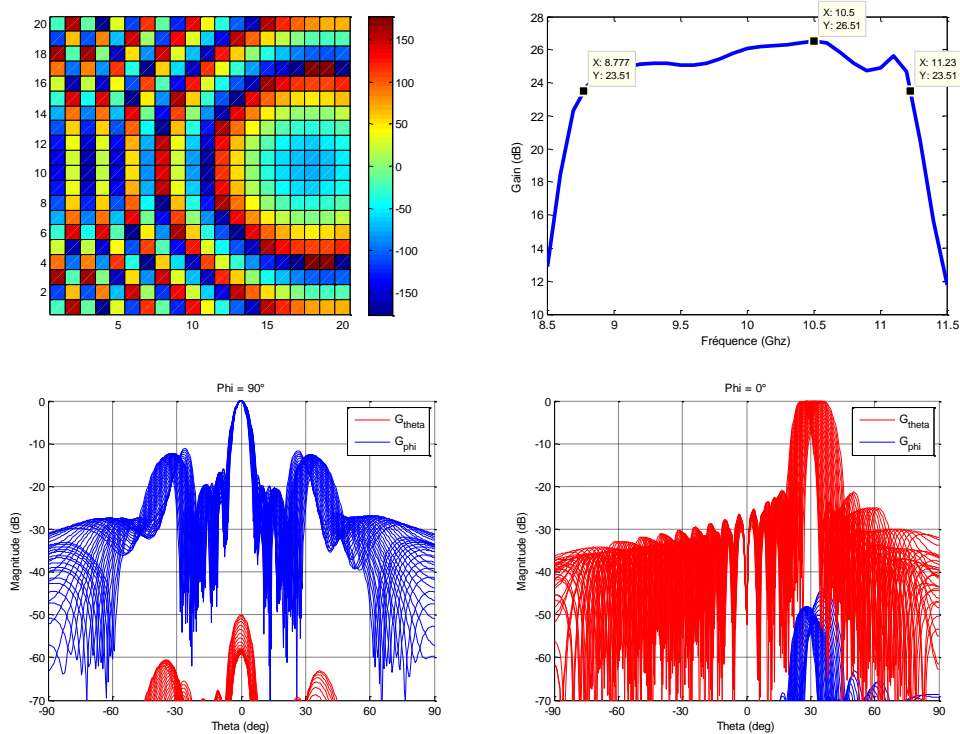


Figure 85: Analyse idéale - $\theta=30^\circ$ - Double couche $F=190\text{mm}$. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H

5.4.2. Approche infinie

- Gain max = 24.65 dB ; Rendement Total = 43.6% ; Bande passante à -3dB de 2.33 GHz

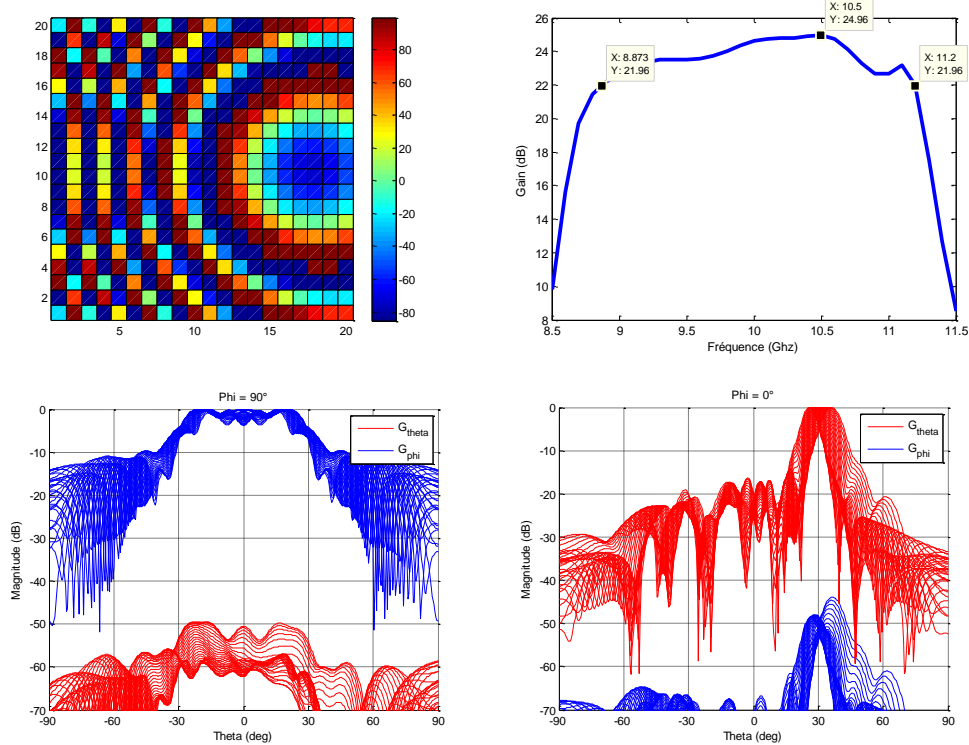


Figure 86: Analyse infinie - $\theta=30^\circ$ - Double couche $F=190\text{mm}$. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.2.3. Approche finie

- Gain max = 24.63 dB ; Rendement Total = 43.52% ; Bande passante à -3dB de 2.33 GHz

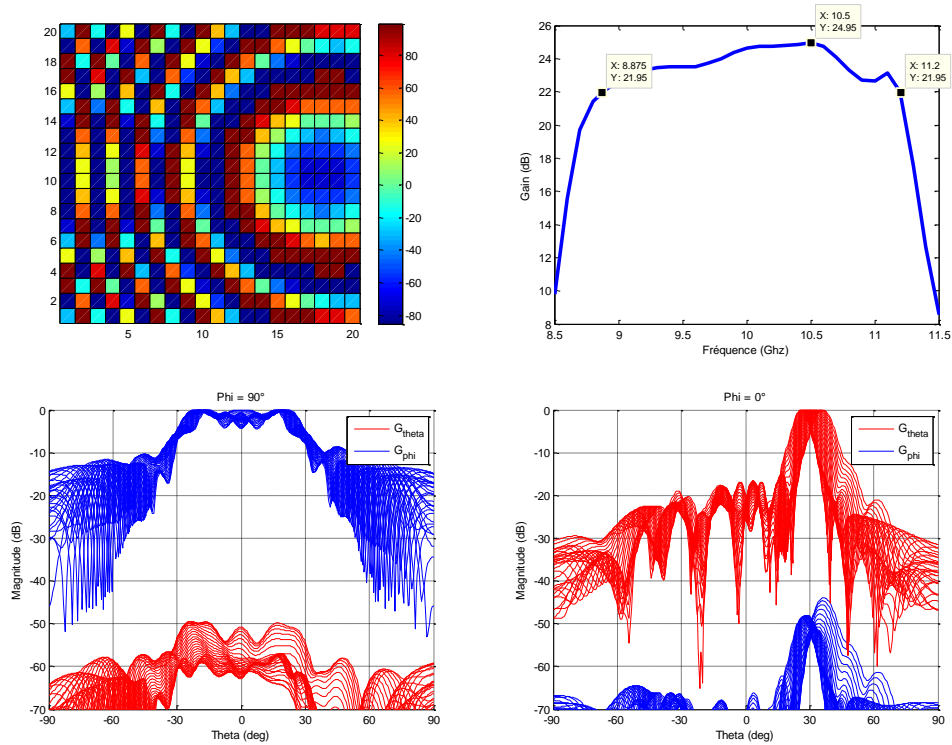


Figure 87: Analyse finie - $\theta=30^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.5. Dépointage $\theta=45^\circ$ avec cellule simple couche et F=215mm

5.5.1. Idéal

- Gain max = 22.76 dB ; Rendement Total = 24.56 % ; Bande passante à -3dB de 1.46 GHz

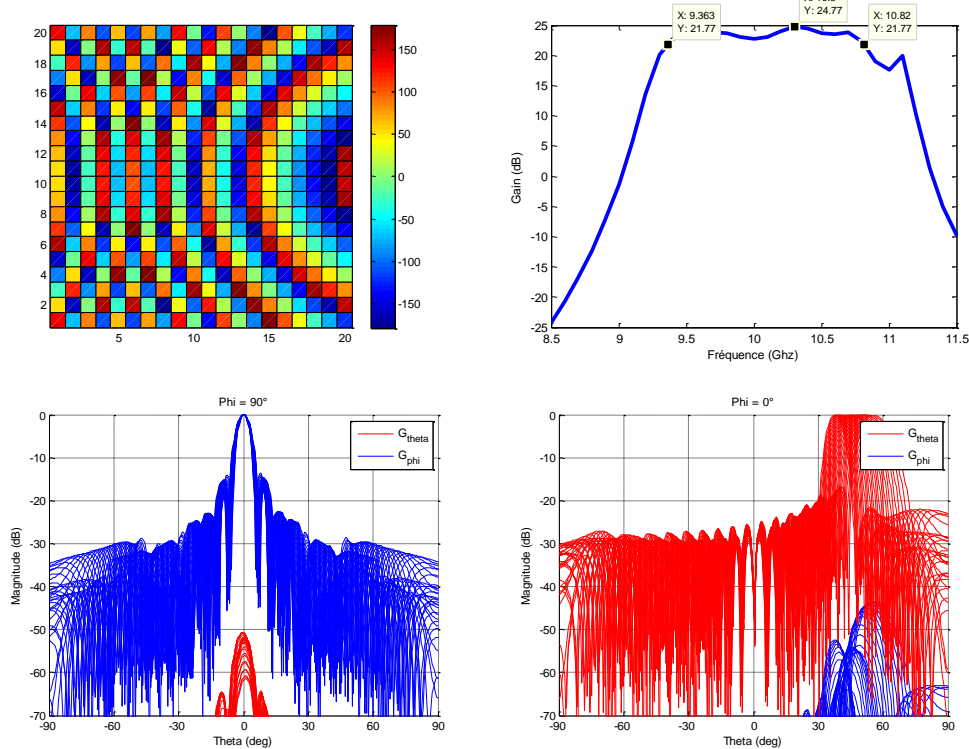


Figure 88: Analyse idéale - $\theta=45^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H

5.5.2. Approche infinie

- Gain max = 21.78 dB ; Rendement Total = 24.52% ; Bande passante à -3dB de 1.43 GHz

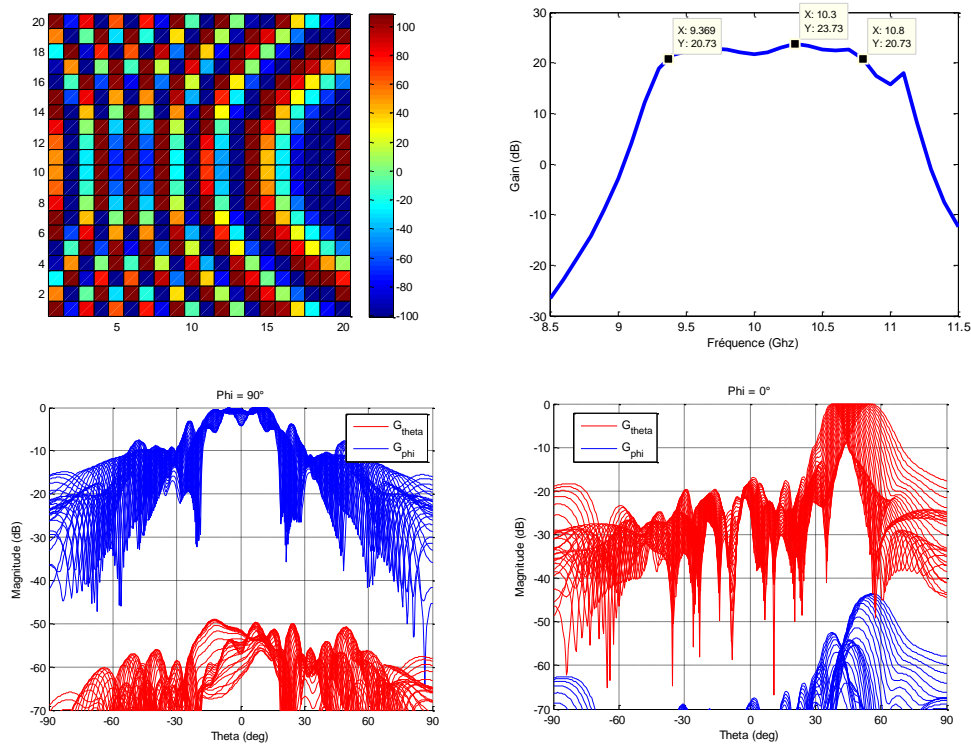


Figure 89: Analyse infinie - $\theta=45^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.5.3. Approche finie

- Gain max = 21.74 dB ; Rendement Total = 24.46% ; Bande passante à -3dB de 1.43 GHz

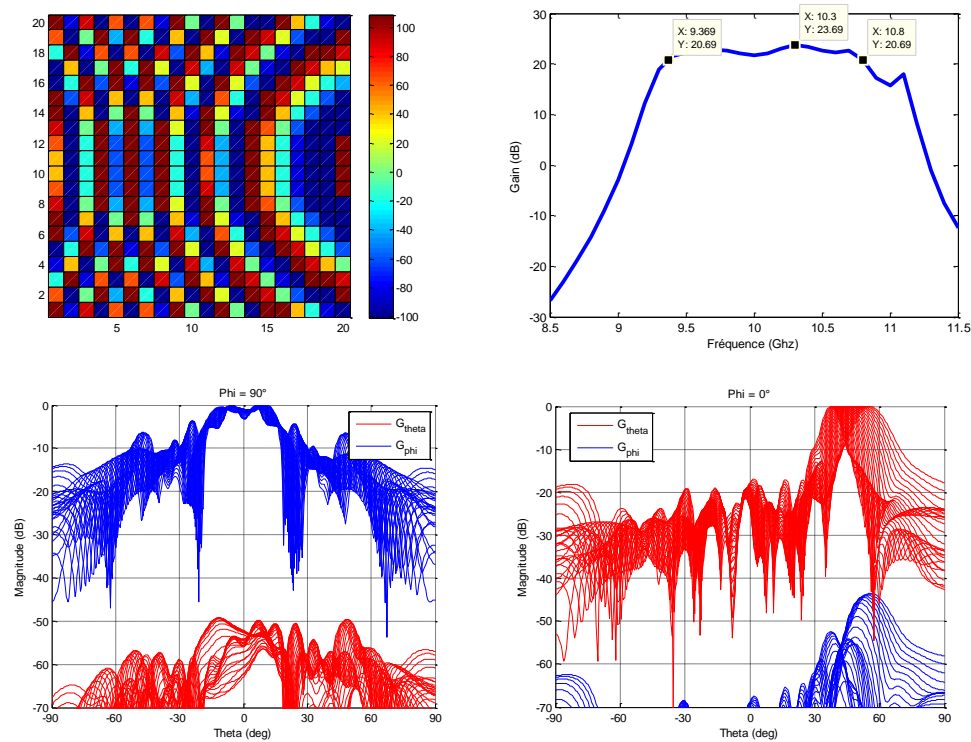


Figure 90: Analyse finie - $\theta=45^\circ$ - Simple couche F=215mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.6. Dépointage $\theta=45^\circ$ avec cellule double couche et $F=190\text{mm}$

5.6.1 Idéal

- Gain max = 24.41 dB ; Rendement Total = 37.91 % ; Bande passante à -3dB de 2.41 GHz

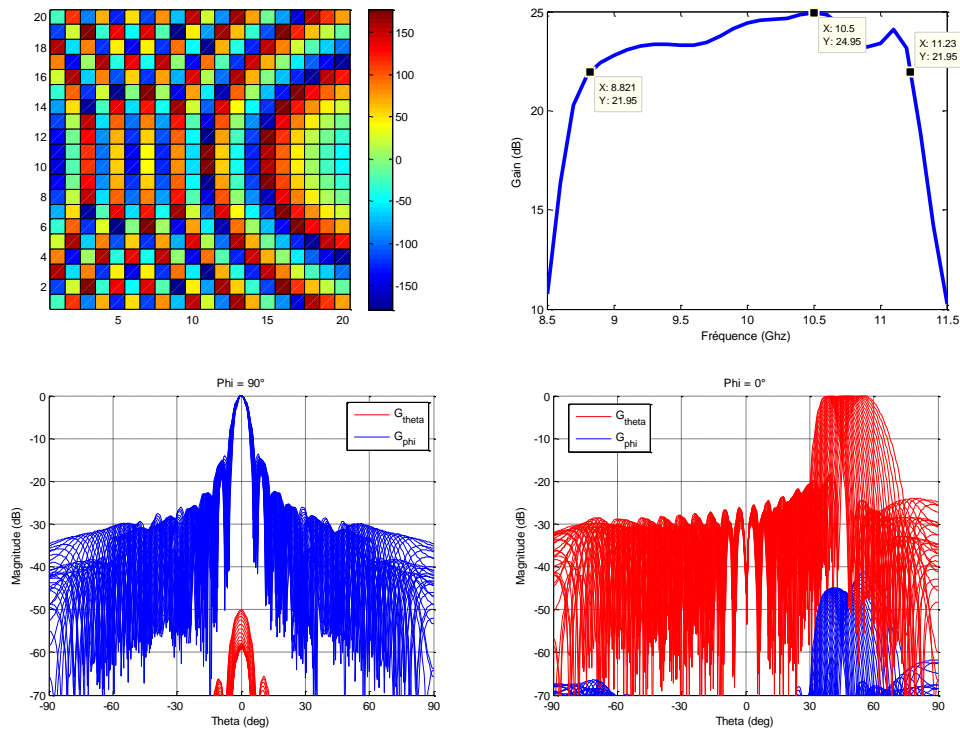


Figure 91: Analyse idéale - $\theta=45^\circ$ - Double couche $F=190\text{mm}$. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E d) Plan H

5.6.2. Approche infinie

- Gain max = 22.90 dB ; Rendement Total = 38.07 % ; Bande passante à -3dB de 2.27 GHz

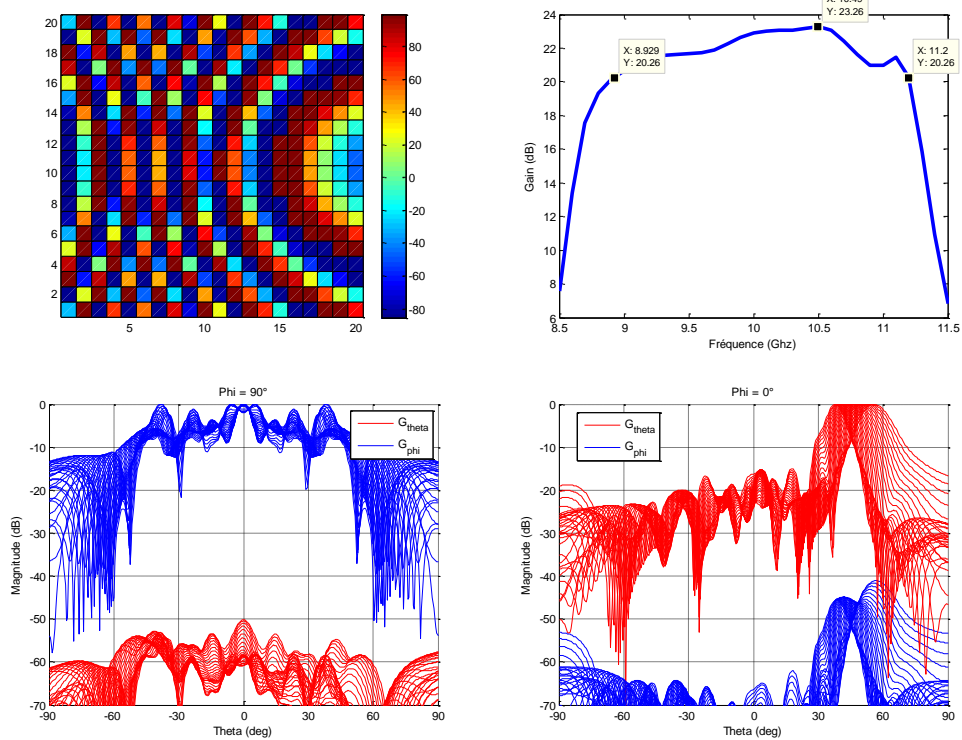


Figure 92: Analyse infinie - $\theta=45^\circ$ - Double couche $F=190\text{mm}$. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.6.3. Approche finie

- Gain max = 22.88 dB ; Rendement Total = 38.06 % ; Bande passante à -3dB de 2.28 GHz

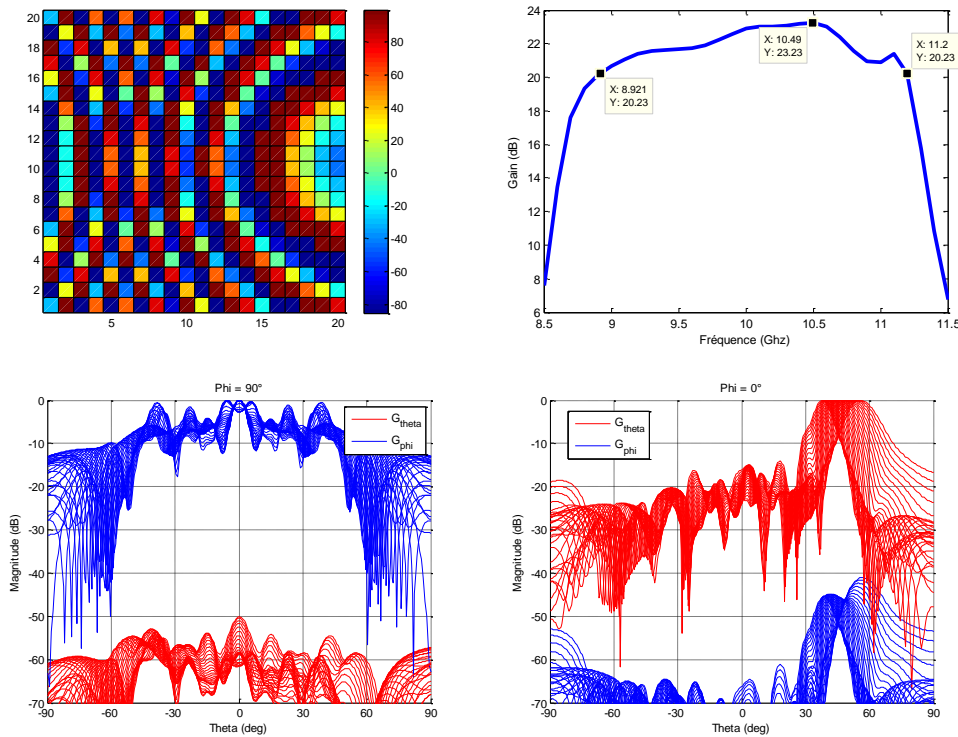


Figure 93: Analyse finie - $\theta=45^\circ$ - Double couche F=190mm. a) Réseau b) Bande passante c) Plan E c) Plan H

5.7. Comparaison de dépointage pour le cas simple couche

La réponse du réseau construit avec cellules simple couche est en général bon pour les dépointages étudiés comme s'observe dans les sections 5.1, 5.3 et 5.5. Pour un dépointage de $\theta=15^\circ$, la réponse du réseau est très bon car le gain et le rendement total sont presque le mêmes que sans dépointage. A mesure que le dépointage augmente les prestations diminuent mais on maintient un diagramme de rayonnement directif sur le point désiré et les lobes secondaires restent par-dessous de -20 dB. Ci-dessous est présentée une recompilation des résultats selon le dépointage :

Gain max :

| | $\theta=0^\circ$ | $\theta=15^\circ$ | $\theta=30^\circ$ | $\theta=45^\circ$ |
|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Idéal | 25.71 dB | 25.35 dB | 24.32 dB | 22.76 dB |
| A. Infinie | 24.36 dB | 24.26 dB | 23.15 dB | 21.78 dB |
| A. Finie | 24.32 dB | 24.23 dB | 23.12 dB | 21.74 dB |

Rendement total :

| | $\theta=0^\circ$ | $\theta=15^\circ$ | $\theta=30^\circ$ | $\theta=45^\circ$ |
|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Idéal | 33.95 % | 32.46 % | 28.64 % | 24.56 % |
| A. Infinie | 31.12 % | 30.60 % | 27.73 % | 24.52 % |
| A. Finie | 31 % | 30.51 % | 27.68 % | 24.46 % |

Bande Passante :

| | $\theta=0^\circ$ | $\theta=15^\circ$ | $\theta=30^\circ$ | $\theta=45^\circ$ |
|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Idéal | 1.46 GHz | 1.46 GHz | 1.46 GHz | 1.46 GHz |
| A. Infinie | 1.44 GHz | 1.44 GHz | 1.44 GHz | 1.43 GHz |
| A. Finie | 1.44 GHz | 1.44 GHz | 1.44 GHz | 1.43 GHz |

Apodisation :

| | $\theta=0^\circ$ | $\theta=15^\circ$ | $\theta=30^\circ$ | $\theta=45^\circ$ |
|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Cellule 10 | 8.92 dB | 8.92 dB | 8.92 dB | 8.92 dB |
| Cellule 200 | 9.20 dB | 9.20 dB | 9.20 dB | 9.20 dB |
| Cellule 400 | 13.84 dB | 13.84 dB | 13.84 dB | 13.84 dB |

5.8. Comparaison de dépointage pour le cas double couche

Dans le cas de dépointage avec le réseau constitué par cellules double couche et illuminé par un cornet à une distance focale $F=190\text{mm}$, les résultats sont aussi bons, on obtient le diagramme de rayonnement désiré mais la perte de puissance est plus accusée. On a plus de 3dB de perte par rapport au cas sans dépointage. A continuation sont présentées les tables qui résument les résultats pour les dépointages.

Gain max :

| | $\theta=0^\circ$ | $\theta=15^\circ$ | $\theta=30^\circ$ | $\theta=45^\circ$ |
|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Idéal | 27.54 dB | 27.17 dB | 26.08 dB | 24.41 dB |
| A. Infinie | 26.47 dB | 25.21 dB | 24.65 dB | 22.90 dB |
| A. Finie | 26.46 dB | 25.19 dB | 24.63 dB | 22.88 dB |

Rendement total :

| | $\theta=0^\circ$ | $\theta=15^\circ$ | $\theta=30^\circ$ | $\theta=45^\circ$ |
|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Idéal | 54.73 % | 52.23 % | 45.42 % | 37.91 % |
| A. Infinie | 51.21 % | 48.72 % | 43.60 % | 38.07 % |
| A. Finie | 50.98 % | 48.58 % | 43.52 % | 38.06 % |

Bande Passante :

| | $\theta=0^\circ$ | $\theta=15^\circ$ | $\theta=30^\circ$ | $\theta=45^\circ$ |
|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Idéal | 2.47 GHz | 2.46 GHz | 2.45 GHz | 2.41 GHz |
| A. Infinie | 2.34 GHz | 2.38 GHz | 2.33 GHz | 2.27 GHz |
| A. Finie | 2.34 GHz | 2.38 GHz | 2.33 GHz | 2.28 GHz |

Apodisation :

| | $\theta=0^\circ$ | $\theta=15^\circ$ | $\theta=30^\circ$ | $\theta=45^\circ$ |
|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Cellule 10 | 10.88 dB | 10.88 dB | 10.88 dB | 10.88 dB |
| Cellule 200 | 10.93 dB | 10.93 dB | 10.93 dB | 10.93 dB |
| Cellule 400 | 16.05 dB | 16.05 dB | 16.05 dB | 16.05 dB |

Conclusions

Dans ce rapport, nous avons présenté la conception d'antennes réseaux transmetteurs en double polarisation linéaire. Le but de ce projet était réussir une antenne qui permette obtenir un diagramme de rayonnement concret pour chaque polarisation.

La première partie de ce document contient la théorie générale concernant aux réseaux transmetteurs. Puis, on a présenté les caractéristiques de notre antenne pour travailler en bipolarisation ainsi comme la source focale à utiliser.

Les chapitres trois et quatre proposent deux types de cellules, simple couche et double couche. L'analyse est faite pour trois valeurs de F/D et sans dépointage. Pour finir, des tests sont faits dans le dernier chapitre. Le faisceau est dépointé à $\theta=15^\circ$, $\theta=30^\circ$ et $\theta=45^\circ$ pour deux configurations de l'antenne :

- Réseau construit avec cellules simple couche et avec la source à une distance focale $F=215\text{mm}$
- Réseau construit avec cellules double couche et avec la source à une distance focale $F=190\text{mm}$

Les résultats obtenus sont satisfaisants pour les dépointages étudiés.

Bibliographie

- [1] A. Clemente. “Conception d’antennes à réseaux transmetteurs à dépointage et formation de faisceau”. CEA-IETR. 2012.
- [2] H. Kaouach. “Antennes quasi-optiques reconfigurables à grande ouverture aux fréquences millimétriques”. CEA-IETR. 2009.
- [3] C. Granados. “Optimisation des réseaux transmetteurs basée sur les algorithmes génétiques”. IETR. 2012.
- [4] A. Abbaspour-Tamijani. “Novel components for integrated millimeter-wave front-ends”. University of Michigan. 2004.
- [5] L. Marnat, R. Loison, R. Gillard, D. Bresciani, and H. Legay. “Comparaison of synthesis strategies for dual-polarized reflectarray”. IETR. 2012.

Anexo: Coste de fabricación

| Vos Réf. : Dde de prix | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REFERENCE | Type | Qté / Livraison. | Px Unit. en Euros | Délai en JO de fabrication |
| – Circuit Simple Couche indice : - Dimension en mm : 360x360mm Livraison :unitaire Matériau : - RO4003 ep 1.524 18 μ (x2) - RO4450F (x1) Epaisseur en mm : 3.1 +/-10% Cu de base en μ : 18 μ Classe : 5-6 Vernis épargne : 0 Sérigraphie : 0 Finition : Cuivre nu Test : non | MC3 Sans TM | 4 modèles différents | 1288.73 | Appro 2-3W(*) 15-20JO en fonction du nombre de modèles |
| - Outillage fabrication (par rapport aux données numériques) | | | 350.00 par modèle | |
| – Circuit Double couche indice : - Dimension en mm : 360x360MM Livraison :unitaire Matériau : - RO4003 ep 1.524 18 μ (x4) - RO4450F (x3) Epaisseur en mm : 6.4 +/-10% Cu de base en μ : 18 μ Classe : 5-6 Vernis épargne : 0 Sérigraphie : 0 Finition : Cuivre nu Test : non | MC5 Sans TM | 4 modèles différents | 2442.76 | Appro 2-3W (*) 20-25JO en fonction du nombre de modèles |
| - Outillage fabrication + test (par rapport aux données numériques) | | | 550.00 par modèle | |

Commentaires techniques :

(*) Attention aux délais d'appro : c'est un délai qui m'a été communiqué à l'instant T, mais cela dernier peut atteindre 5-6 semaines

