

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Electronique
Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Electronique

**Contribution à la conception et la
réalisation d'une antenne avec filtre à
défaut de masse (DGS)
en utilisant l'algorithme génétique**

DERBAL Mohammed Cherif

ZEGHDOUD Abdelbaki

Sous la direction de
M. Pr. R. AKSAS

Présenté et soutenu publiquement le 17 Juin 2017

Composition du Jury :

Président	M. M. TRABELSI	Pr.	ENP
Promoteurs	M. R. AKSAS	Pr.	ENP
	M. K. FERTAS	M.A.	ESM
Examineur	M. B. BOUSSEKSOU	M.A.	ENP

ENP 2017

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Electronique
Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Electronique

**Contribution à la conception et la
réalisation d'une antenne avec filtre à
défaut de masse (DGS)
en utilisant l'algorithme génétique**

DERBAL Mohammed Cherif

ZEGHDOUD Abdelbaki

Sous la direction de
M. Pr. R. AKSAS

Présenté et soutenu publiquement le 17 Juin 2017

Composition du Jury :

Président	M. M. TRABELSI	Pr.	ENP
Promoteurs	M. R. AKSAS	Pr.	ENP
	M. K. FERTAS	M.A.	ESM
Examineur	M. B. BOUSSEKSOU	M.A.	ENP

ENP 2017

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein de l'école nationale polytechnique. Il a été dirigé par Monsieur **Rabia AKSAS**, Professeur à l'ENP, et Monsieur **Khalil FERTAS**, Maître assistant de l'Ecole Supérieure du Matériel (ESM). Nous les remercions pour nous avoir fait bénéficier de leurs grandes connaissances scientifiques ainsi que pour le temps, la patience qu'ils nous ont accordés et les précieux conseils qu'ils nous ont généreusement prodigués. Ils nous ont laissé une grande liberté dans le choix et l'orientation de nos travaux tout en sachant nous guider. On tiens à souligner la qualité de leurs observations pertinentes, leur grande rigueur scientifique et leur investissement dans cette étude.

Nous remercions vivement Monsieur **Mohammed TRABELSI**, Professeur à l'école nationale polytechnique, de nous avoir accepté la présidence de notre jury de PFE.

Nous exprimons notre reconnaissance à Messieurs **Boualem BOUSEKSOU**, Maître assistant à l'école nationale polytechnique, qui nous a fait l'honneur d'examiner ce travail.

On voudrait aussi remercier tous les enseignants de département d'électronique de l'école nationale polytechnique.

Un grand merci pour toutes les personnes qui nous ont aidés, soutenus et encouragés pendant la réalisation de notre projet de fin d'études.

On pense bien sûr à nos parents, à nos familles, à nos amis et à nos camarades de promotion.

Enfin, Nous remercions toute personne ayant contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail.

ملخص

تدرس هذه الأطروحة تصميم وتحسين بنية الهوائيات عن طريق تغيير الأرضي (DGS) باستخدام الخوارزمية الوراثية. سيتم تحليل هذه الطريقة من حيث خصائصها المتفوقة وتنوع استخداماتها. تساعد هذه الطريقة في تصميم هوائيات ذات خصائص يتعذر تحقيقها باستخدام الطرق العادية. في نطاق هذه الدراسة، ينصب التركيز على توليد الشفرة الوراثية (البنية) للجزء الأرضي من الهوائي وتحديد خصائصه المميزة. يجري التصميم على ثلاثة نطاقات: S و C و X، والتي تغطي مجال الترددات بين 2 و 12 غيغاهرتز. ركزنا في دراستنا على تحسين خصائص نوعين مختلفين من الهوائيات: هوائيات واسعة نطاق الترددات ومتعددة الترددات باستخدام الخوارزمية الوراثية. ستتم مقارنة النتائج التجريبية مع نتائج المحاكاة في وقت لاحق لتأكيد مميزات هذه الطريقة.

الكلمات المفتاحية: تغيير الأرضي (DGS)، الخوارزمية الوراثية، الهوائي بفلتر DGS، معامل الانعكاس، CST، المحاكاة، الشفرة الجينية.

Abstract

This thesis reports the design and optimization of the defected ground structure (DGS) using the genetic algorithm. This DGS generation technique is analyzed in terms of its superior properties and diversity of use. This method helps design antennas with properties that are impossible to achieve with the standard methods. Within the scope of this thesis, the focus is on the generation of the genetic code (structure) of a DGS and its characteristic properties. The design is carried on at three frequency bands: S, C and X-band, which cover the range of frequencies between 2 and 12 GHz. We focus in our study on improving the properties of two different types of antennas: ultra wideband and multiband antennas using the genetic method. The experimental results of the later are compared to the simulation to confirm the feasibility of our method.

Keywords: Defected Ground Structure (DGS), genetic method, reflection coefficient, CST, simulation, genetic code.

Resumé

Ce mémoire de fin d'études est consacré à la conception, l'optimisation et la réalisation d'une antenne en technologie microruban avec un filtre DGS dans le but de supprimer une bande de fréquence indésirable. La technique utilisée pour obtenir ce filtre est basée sur les algorithmes génétiques (AG). Cela permet aux antennistes de réaliser facilement des antennes avec des performances difficiles à atteindre avec les méthodes conventionnelles. La conception est réalisée à trois bandes de fréquences: S, C et X, qui couvrent la gamme de fréquences comprise entre 2 et 12 GHz. Notre étude est surtout axée sur l'amélioration des caractéristiques de deux types d'antennes: antennes ultra large bande et multibande. Les résultats expérimentaux de cette dernière sont comparés à la simulation pour confirmer la validité de notre méthode.

Mots-clés: Antenne à défaut de masse (DGS), méthode génétique, coefficient de réflexion, CST, simulation, code génétique.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Liste des notations

Introduction générale **14**

I Etude et réalisation **15**

1 Etat de l'art **16**

1.1 Structure de l'antenne microruban 16

1.2 Les avantages et limitations des antennes microrubans 17

1.3 Techniques d'alimentation d'une antenne microruban 18

1.3.1 Alimentation par ligne microruban 18

1.3.2 Alimentation par connecteur coaxial 19

1.3.3 Alimentation par fente (couplage) 19

1.3.4 Alimentation par effet de proximité (couplage) 20

1.4 Diagramme de rayonnement 20

1.5 Les antennes imprimées à défaut de masse (DGS) 21

1.5.1 les formes basiques du DGS 22

1.6 Les standards de communication sans fil 23

1.6.1 Les réseaux sans fil WWAN (Wireless Wide Area Network) 23

1.6.2	Les réseaux sans fil WLAN (Wireless Local Area Network)	24
1.6.3	Les réseaux sans fil WPAN (Wireless Personal Area Network)	25
2	CST	26
2.1	Méthode de résolution utilisée dans CST	26
2.2	Exemple d'une antenne rectangulaire	28
2.2.1	Nouveau projet	29
2.2.2	Conception 3D	29
2.2.3	Simulation	30
2.3	Interface d'utilisation	32
2.3.1	Barre d'outils	32
2.3.2	Plan de dessin	34
2.3.3	Liste des variables	34
3	L'algorithme génétique	35
3.1	Introduction	35
3.1.1	Optimisation d'antennes	36
3.1.2	Méthodes d'optimisation	36
3.2	L'algorithme génétique	38
3.2.1	La sélection naturelle	38
3.2.2	Population initiale	39
3.2.3	La comparaison	41
3.2.4	Les générations successives	41
3.2.5	Paramètres d'algorithme génétique	43
3.3	La programmation VBA	44
3.3.1	Comment travailler avec VBA	45
3.3.2	Les sous programmes	46
3.3.3	Les possibilités offertes par cette méthode	48
3.3.4	Les limitations	49
3.4	Exemple d'utilisation	49
3.4.1	Cas d'une antenne simple avec des contraintes imposés	49

4	Conception et optimisation des antennes imprimées avec un filtre à défaut de masse	52
4.1	Introduction	52
4.2	Optimisation de la masse des antennes microstrips	52
4.2.1	Présentation du problème	52
4.2.2	Implémentation du code d'optimisation dans le logiciel CST	53
4.3	Conception et optimisation d'une antenne ultra-large bande avec un filtre à défaut de masse (DGS) par les algorithmes génétiques	55
4.3.1	Étude de l'antenne de départ	55
4.3.2	Optimisation d'un filtre à défaut de masse par les algorithmes génétiques	56
4.4	Conception, optimisation et réalisation d'une antenne multibandes avec un filtre à défaut de masse (DGS) par les algorithmes génétiques	61
4.4.1	Etudes de l'antenne de départ	61
4.4.2	Optimisation du filtre à défaut de masse par les algorithmes génétiques	63
4.5	Conclusion	74
	Conclusion générale et perspectives	75
	II Annexe	77
	Annexe A : Code développé et implémenté sous CST pour l'antenne multibandes	78
	Annexe B : Code développé et implémenté sous CST pour l'antenne ultra large-bande	82
	Bibliographie	86

Table des figures

1.1	Structure d'une antenne microruban. [1]	16
1.2	Quelques formes utilisées pour les antennes [1]	17
1.3	Alimentation par ligne microruban [1]	18
1.4	Alimentation par connecteur coaxial [1]	19
1.5	Alimentation par fente [1]	20
1.6	Alimentation par effet de proximité [1]	20
1.7	Dumbbell DGS [2]	21
1.8	Déffirentes formes de DGS : (a) Dumbbell-shaped (b) Spiral-shaped (c)H-shaped (d) U-shaped (e) Arrow head dumbbell (f) Concentric ring shaped (g) Split-ring resonators (h) Meander line (i) Cross-shaped (j) Circular head dumbbell (k) Square heads connected with U slots (l) Open-loop Dumbbell (m) Fractal (n) Half-Circle (o) V-shaped. [2]	22
1.9	DGS periodique [3]	23
1.10	Classification des standards de communication suivant leurs portées.	24
1.11	Exemple de WWAN.	24
2.1	La subdivision de l'espace de travail en cubes infenitesimaux adjacents. Source [4]	26
2.2	La convention de la direction des champs dans un élément du resau de cubes. Source [4]	27
2.3	Process de recursivite de l'algorithmme. Source [4]	28
2.4	Etapes de creation d'un nouveau projet	29
2.5	Bouton brick	30
2.6	Choix des parametres du composant	30

2.7	Creation d'un nouveau parametre	30
2.8	Création du port d'alimentation	31
2.9	Dimensions du port dans le cas des antennes microrubans se deduit des dimensions du substrat et de la ligne d'alimentation	31
2.10	Structure finale de l'antenne et le port d'alimentation	31
2.11	Bouton "Field monitor" et "Setup solver"	32
2.12	Interface graphique du logiciel CST	32
2.13	Differentes options dans la partie Home	33
2.14	Calculatrice d'impedance caracteristique	33
2.15	La partie Modeling	34
2.16	Partie Simulation	34
3.1	Processus d'optimisation	35
3.2	Différence entre minimum local et global	36
3.3	Sélection naturelle pour les etres vivants.	38
3.4	Modification dans la structure d'une antenne	40
3.5	Pixels sur un patch rectangulaire	41
3.6	Processus de croisement	42
3.7	Processus de mutation.	43
3.8	Option macro dans CST	45
3.9	VBA macro editor	45
3.10	Interface de VBA macro editor	46
3.11	Lancement de la construction du modèle	46
4.1	Equivalence entre le code génétique et la structure de l'antenne.	53
4.2	Strucure de départ.	55
4.3	Coefficient de réflexion de l'antenne de départ	56
4.4	Position du filtre.	56
4.5	Distrubution surfacique du courant dans l'antenne ultra-large bande dans la fréquence 3.7 GHz.	57
4.6	Surfaces possibles.	57
4.7	Dimensions de DGS.	58

4.8	Zone couverte de courant.	58
4.9	Zone d'optimisation de l'antenne.	59
4.10	Antenne ultra-large bande modifiée.	60
4.11	Coefficient de réflexion de l'antenne simulée ultra-large bande à défaut de masse.	60
4.12	Comparaison entre le module du coefficient de réflexion avec et sans DGS.	61
4.13	Structure de départ.	61
4.14	Coefficient de réflexion de l'antenne de départ.	62
4.15	Diagramme de rayonnement dans le plan $\phi = 90^\circ$ pour les trois résonances.	63
4.16	Position du filtre.	63
4.17	Distrubution surfacique du courant dans l'antenne ultra-large bande dans la fréquence 7.18 GHz.	64
4.18	Diagramme de	64
4.19	The average and standard deviation of critical parameters	64
4.20	Filtre DGS trouvé en utilisant la 2 ^{ème} position.	65
4.21	Module du coefficient de réflexion pour les positions 2 et 1.	65
4.22	Module du coefficient de réflexion pour les positions 2 et 3.	66
4.23	Module du coefficient de réflexion pour les positions 2 et 4.	66
4.24	variations fréquentielles du module du coefficient de réflexion S_{11} pour la simulation des différentes positions.	67
4.25	Dimensions de DGS.	67
4.26	Zone couverte de courant.	68
4.27	Combinaison de pixels formant la lettre U.	69
4.28	Structure initiale.	69
4.29	Zone d'optimisation de l'antenne.	69
4.30	Antenne multifréquence modifiée	71
4.31	Coefficient de réflexion de l'antenne à défaut de masse.	71
4.32	Comparaison entre le module du coefficient de réflexion avec et sans DGS.	72
4.33	Diagramme du gain de l'antenne avec DGS.	72
4.34	Evolution de gain en fonction de la fréquence dans les deux bandes.	73
4.35	Forme finale de l'antenne.	74

4.36	Resultats de simulation en comparaison avec les resultats experimentaux. .	74
------	--	----

Liste des tableaux

3.1	Analogie entre la génétique dans la nature et le domaine des antennes.	39
4.1	Paramètres de l'algorithme génétique pour l'antenne ULB.	59
4.2	Interprétation du resultat de simulation de l'antenne de départ.	62
4.3	Paramètres de l'algorithme génétique pour l'antenne multi bandes	70

Liste des abréviations

AG	Algorithme Génétique
CST	Computer Simulation Technology
DGS	Defected Ground Structure
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDTD	Finite Difference Time Domain
FEM	Finite Element Method
FIT	Finite Integral Technique
GSM	Global System for Mobile Communications
IEEE	Institute of Electrical Electronic Engineers
MoM	Method of Moments
SMS	Short Message Service
ULB	Ultra Large Bande
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Service
WLAN	Wireless Local Area Network
WiFi	Wireless Fidelity.
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
VBA	Visual Basic for Applications
VSWR	voltage standing wave ratio

Liste des notations

E	Le champ électrique (V/m)
H	Le champ magnétique (A/m)
ϵ_r	Permittivité relative
S_{11}	Coefficient de réflexion
L_f	Longueur de la ligne d'alimentation (mm)
W_f	Largeur de la ligne d'alimentation (mm)
Z_f	impédance caractéristique de la ligne d'alimentation (Ω)
h	Hauteur du substrat (mm)
f_r	Fréquence de résonance (Hz)
L_p	Longueur de patch (mm)
W_p	Largeur de patch (mm)

Introduction générale

Les défauts de masse sont de plus en plus utilisés. Ils consistent en une modification au niveau de la masse d'une antenne microruban pour certaines applications spécifiques.

Les différentes formes utilisées sont en général en forme de lettres latines (U, V, H...) Ces méthodes sont coûteuses en termes de temps de calcul pour converger à la solution optimale. On propose d'utiliser les algorithmes génétiques pour y remédier.

La méthode génétique consiste à évoluer un ensemble de solutions non adaptées vers une solution adaptée qui répond au cahier des charges.

Ce mémoire est dédié à la conception et l'optimisation d'un filtre à défaut de masse pour des antennes multi-bandes et ultra-larges bandes en utilisant les algorithmes génétiques. Le logiciel CST sera utilisé pour effectuer la simulation des antennes lors de la conception. Quant à la réalisation, elle est basée sur la technique de la photo gravure (chimique).

Le premier chapitre est consacré à donner une brève introduction sur les antennes microruban et sur l'état de l'art sur les filtres à défaut de masse.

Dans le deuxième chapitre, nous allons décrire le fonctionnement du simulateur CST et nous présenterons la structure de l'interface graphique et ses différentes fonctionnalités.

Ensuite, une explication de la méthode génétique sera présentée ainsi que tous les paramètres utilisés.

Le quatrième et dernier chapitre est dédié à l'optimisation d'un filtre DGS pour éliminer une bande de fréquences dans le cas des antennes multi-bande et des antennes ultra large-bande.

Après avoir simulé plusieurs configurations, nous allons réaliser la structure jugée optimale et effectuer des mesures. Ces mesures seront confrontés aux résultats de simulation.

Première partie

Etude et réalisation

Chapitre 1

Etat de l'art sur les antennes microrubans

1.1 Structure de l'antenne microruban

Comme on peut le voir dans la figure 1.1, une antenne microruban est constituée d'un patch rayonnant d'un des deux côté d'un substrat de constante diélectrique $\epsilon_r \leq 10$ [5] et d'un plan de masse de l'autre côté. Le plan de masse est suffisamment grand par rapport à l'élément rayonnant.

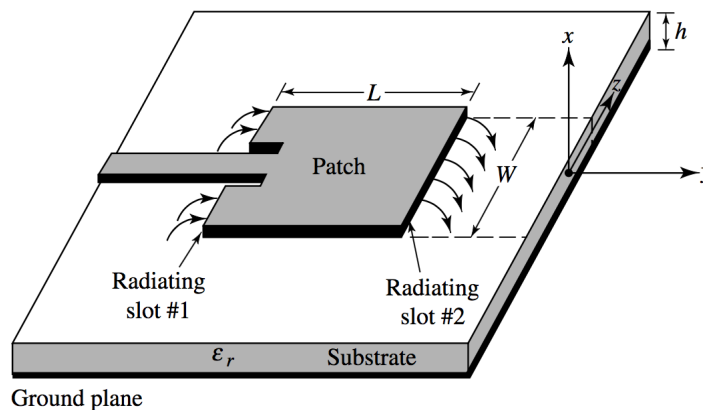


FIGURE 1.1 – Structure d'une antenne microruban. [1]

On peut utiliser n'importe quelle forme pour les deux faces de l'antenne, mais on utilise généralement des formes régulières pour simplifier l'analyse et la prédiction des performances. Les formes les plus utilisées sont représentés dans la figure 1.8.

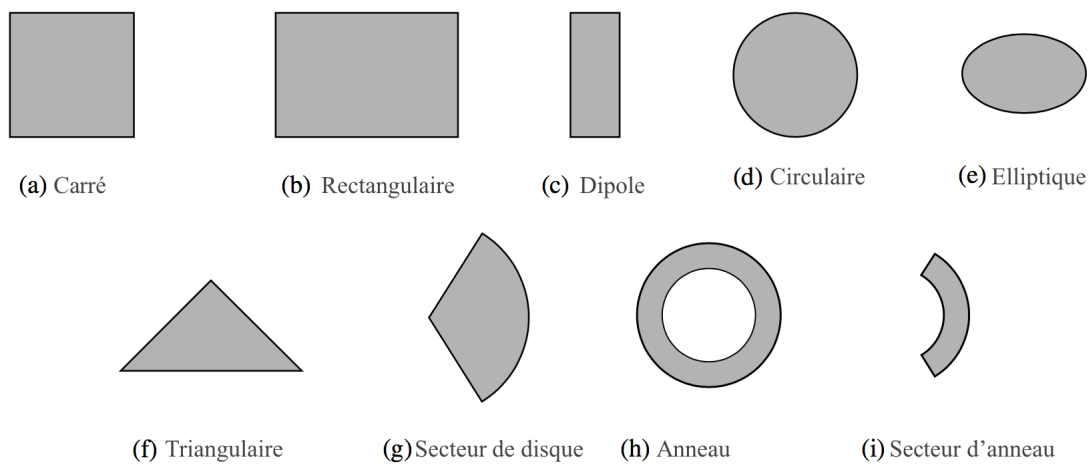


FIGURE 1.2 – Quelques formes utilisées pour les antennes [1]

Certains substrats sont flexibles et permettent de travailler avec plus de structures. Les antennes microrubans sont conformes et peuvent être placées sur des structures géométriques tridimensionnelles tels que les missiles, les vitres de véhicules...

1.2 Les avantages et limitations des antennes microrubans

Les antennes microrubans ont plusieurs avantages, en commençant par leurs large bande d'utilisation (de 100 MHz jusqu'à 100 GHz).

Parmi les avantages des antennes microrubans, on a :

- Elles sont légères et peuvent être utilisées sur d'autres formes géométriques.
- Facilité de réalisation.
- Faible coût de production.
- Facilité de créer des réseaux pour améliorer la directivité et pour le balayage électronique.

Cependant, ces antennes ont des limitations d'utilisation :

- Bande passante réduite (1% jusqu'à 5%)
- Un faible gain, de l'ordre de 6 dB

1.3 Techniques d'alimentation d'une antenne microruban

Les antennes microrubans peuvent être alimentées directement par une connection électrique : ligne microruban ou connecteur coaxial, on peut aussi trouver d'autres modes d'excitation (par couplage, ...)

La classification qu'on va utiliser dans la suite est tirée de [1] et [6].

1.3.1 Alimentation par ligne microruban

L'alimentation par ligne microruban consiste à alimenter l'élément rayonnant par une ligne de faible largeur par rapport à ce dernier, imprimée sur le même côté du substrat (Fig. 1.3). Cette technique est facile à implémenter et permet de réaliser des réseaux d'antennes sur le même substrat afin d'augmenter la directivité et le gain.

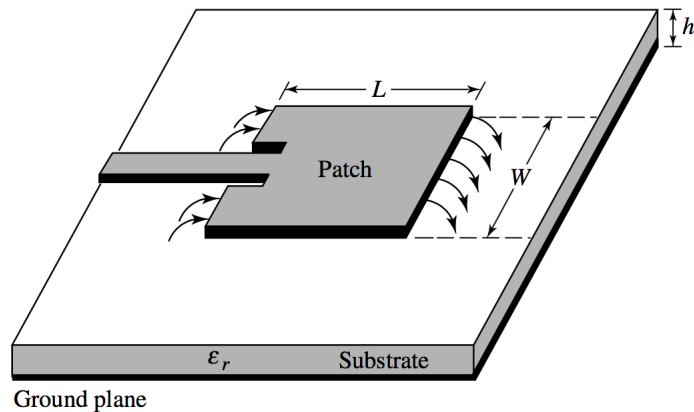


FIGURE 1.3 – Alimentation par ligne microruban [1]

La ligne d'alimentation est caractérisée par son impédance caractéristique Z_f . La relation entre la largeur W_f et l'impédance caractéristique de la ligne Z_f est la suivante [7] [8] :

$$\frac{W_f}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}, & \text{pour } W_f < 2h \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r}) \right], & \text{pour } W_f > 2h \end{cases} \quad (1.1)$$

$$\text{avec } \begin{cases} A = \frac{Z_f}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \\ B = \frac{377\pi}{2Z_f\sqrt{\epsilon_r}} \end{cases}$$

1.3.2 Alimentation par connecteur coaxial

Cette technique consiste à alimenter l'élément rayonnant à travers le substrat. L'âme centrale du câble SMA est reliée directement à l'élément rayonnant et le conducteur extérieur est soudé au plan de la masse. Ainsi, on peut changer la position d'alimentation de l'antenne ce qui permet d'avoir l'adaptation entre le connecteur SMA (50Ω en général) avec l'élément rayonnant. Cette technique présente un faible rayonnement parasite et une faible bande passante, elle est aussi difficile à modéliser [6].

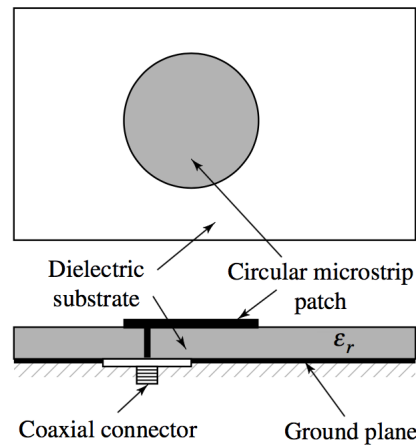


FIGURE 1.4 – Alimentation par connecteur coaxial [1]

1.3.3 Alimentation par fente (couplage)

L'alimentation par fente repose sur le phénomène de couplage électromagnétique. Le couplage existe entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant à travers une fente dans un conducteur qui se trouve au milieu de deux substrats superposés (Fig. 1.5). Cette configuration permet une optimisation indépendante entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant.

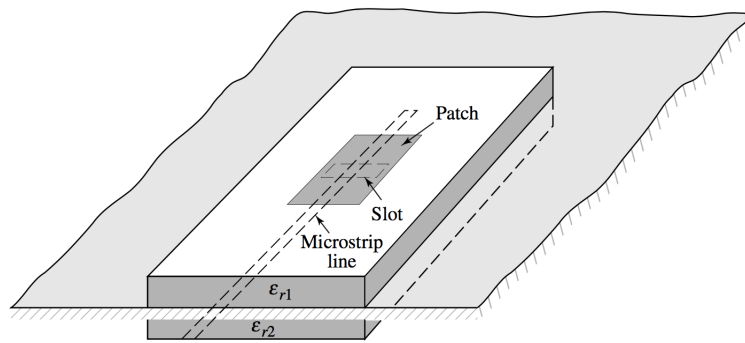


FIGURE 1.5 – Alimentation par fente [1]

1.3.4 Alimentation par effet de proximité (couplage)

Ce type d'alimentation repose aussi sur le phénomène de couplage électromagnétique. La différence dans ce cas est que la ligne d'alimentation est située entre l'élément rayonnant et le plan de masse (Fig. 1.6). Cette configuration présente une large bande passante et facilite l'adaptation mais elle est difficile à réaliser [6].

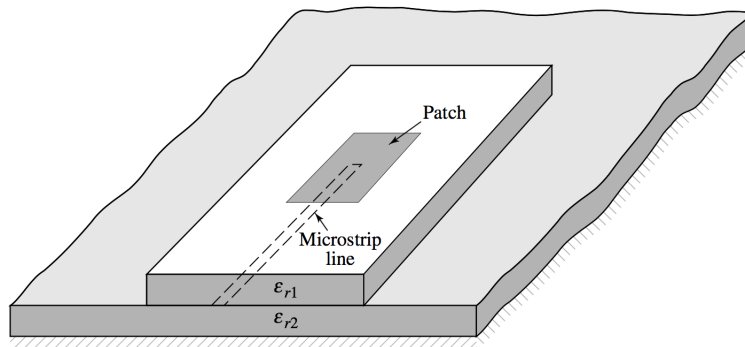


FIGURE 1.6 – Alimentation par effet de proximité [1]

1.4 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace.

Il y a généralement une direction de rayonnement maximale autour de laquelle se trouve

concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions secondaires autour desquelles se répartit la puissance restante.

1.5 Les antennes imprimées à défaut de masse (DGS)

L'antenne microruban peut comporter une fréquence indésirable, elle devient un facteur limitant les performances de l'antenne [9]. Afin de supprimer cette fréquence, il est possible d'appliquer un filtre rejeteur. Cette technique entraîne une augmentation du coût de l'antenne [9]. Pour résoudre ce problème, il a été proposé d'utiliser un défaut de masse (Defected Ground Structure DGS) dans l'antenne microruban car il est facile à concevoir et à réaliser. Ces antennes imprimées imposent leurs utilités dans différents domaines, tel que les radars, les satellites, les micro-ondes et les systèmes de communication mobile. Elles représentent la technologie la plus avantageuse permettant à la fois la miniaturisation et la rejection des fréquences indésirables.

Le défaut de masse est réalisé en coupant une forme simple dans le plan de masse. En fonction de la forme et des dimensions du défaut, la distribution du courant dans le plan de masse est perturbée, entraînant une excitation et une propagation contrôlée des ondes électromagnétiques à travers la couche du substrat. La forme du défaut peut être changée de la forme simple à une forme plus compliquée pour obtenir de meilleures performances [9].

Le premier travail concernat le DGS a été publié par Kim and Park [10] en 1998. On l'appelle dumbbell DGS [9] illustré dans la figure 1.7.

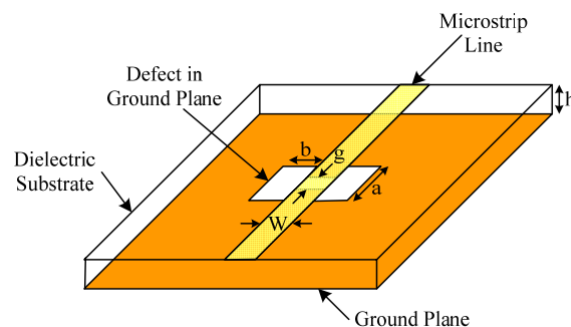


FIGURE 1.7 – Dumbbell DGS [2]

1.5.1 les formes basiques du DGS

Le filtre DGS peut se présenter sur différentes formes et tailles, selon l'application désirée [10]. La figure 1.8 montre les différentes formes actuelles de filtre DGS.

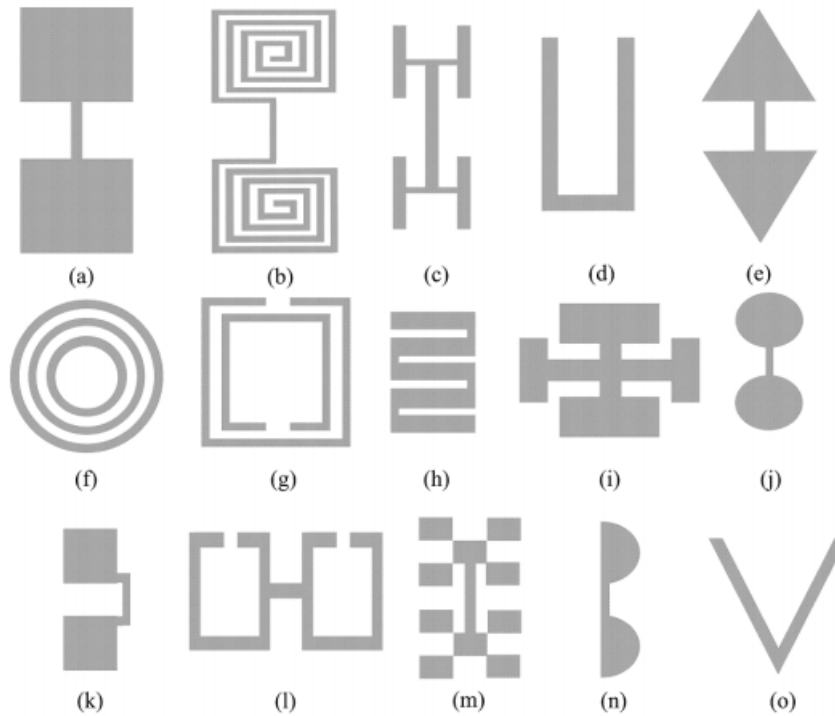


FIGURE 1.8 – Différentes formes de DGS : (a) Dumbbell-shaped (b) Spiral-shaped (c) H-shaped (d) U-shaped (e) Arrow head dumbbell (f) Concentric ring shaped (g) Split-ring resonators (h) Meander line (i) Cross-shaped (j) Circular head dumbbell (k) Square heads connected with U slots (l) Open-loop Dumbbell (m) Fractal (n) Half-Circle (o) V-shaped. [2]

Le filtre DGS peut être classé en deux catégories selon sa configuration

1. Cellule unitaire de DGS (Unit cell DGS) : Dans cette catégorie le DGS ne comprend que des formes simples comme : "V" , "U" ,"H" etc. Ces formes sont utilisées pour implémenter des filtres, et autres applications dans le domaine des micro-ondes. D'autres formes ont été explorées dans le but d'améliorer les performances en termes de rejection , bande passante, et facilité de conception [3].
2. Le DGS périodique :

Le DGS périodique est formé par la répétition des cellules unitaires. La répétition des cellules unitaires d'une manière périodique aide parfois à obtenir des caractéristiques

de rejection plus importantes, plus raides et plus larges[3]. La figure 1.9 représente le DGS périodique.

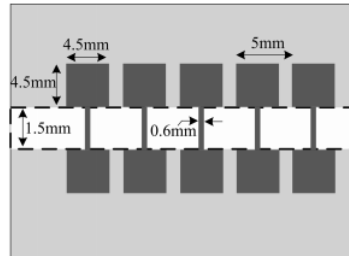


FIGURE 1.9 – DGS periodique [3]

1.6 Les standards de communication sans fil

Les communications sans fil se font sur le même support électromagnétique. Pour cela, la standardisation des fréquences est devenue inévitable pour éviter les interférences entre les différents signaux transmis simultanément. D'autre part, il faut normaliser les systèmes de communication pour faciliter la communication entre les différents appareils électroniques quelque soit la plate-forme utilisée. Plusieurs normes de réseaux sans fil ont été développées par IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) et le ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Les standards utilisés sont classifiés en trois catégories principales (il existe d'autres catégories) suivant leurs portées respectives, on trouve le WWAN, WLAN et le WPAN. Voir figure 1.10

1.6.1 Les réseaux sans fil WWAN (Wireless Wide Area Network)

Les réseaux sans fil WWAN sont des réseaux à très grande portée. On trouve dans cette catégorie comme exemples pertinents

GSM

C'est la norme utilisée pour effectuer la communication voix pour téléphones mobiles. Elle est aussi utilisée pour le transfert des SMS (Short Message Service). Sa bande de fréquence s'étend de 880 à 960 MHz.

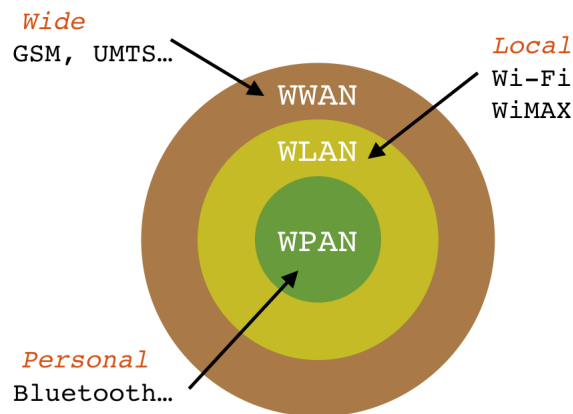


FIGURE 1.10 – Classification des standards de communication suivant leurs portées.

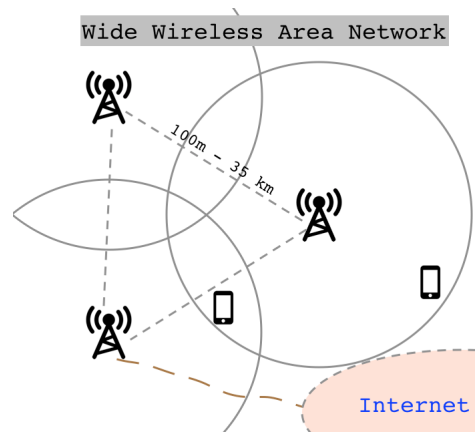


FIGURE 1.11 – Exemple de WWAN.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service)

C'est la norme utilisée pour effectuer les communications des données cellulaires (connexion internet 3G). Les vitesses de téléchargement sur UMTS peuvent atteindre 2 MB/s dans la bande 1.92 à 2.17 GHz.

1.6.2 Les réseaux sans fil WLAN (Wireless Local Area Network)

Comme son nom l'indique, les réseaux sans fil WLAN sont des réseaux locaux. Ils sont utilisés pour remplacer les connexions filaires ou câbles coaxiaux. Ces réseaux sont caractérisés par une portée moyenne de plusieurs centaines de mètres. On trouve dans cette catégorie

WiFi (IEEE 802.11)

C'est la technologie la plus répandue dans le domaine des réseaux locaux sans fil. Elle fonctionne sur la bande de fréquence de 2.4 GHz et offre un débit de 2 MB/s. Il existe plusieurs normes pour Wi-Fi, on cite par exemple les normes 802.11a, 802.11b ...

WiMAX (IEEE 802.16)

Cette norme est utilisée dans le cas de transmission à une distance plus grande que celle du Wi-Fi. Elle travaille sur trois bandes de fréquence, de 2.495 à 3.8 GHz, de 5.15 à 5.35 GHz et de 5.75 à 5.825 GHz.

Les équipements travaillant sur norme WiMAX sont plus coûteux que les équipements Wi-Fi.

1.6.3 Les réseaux sans fil WPAN (Wireless Personal Area Network)

Ces réseaux sont utilisés dans le cas des échanges de données rapprochées entre les différents appareils électriques tels que les ordinateurs et les smartphones... Parmi les technologies utilisées, on trouve

Bluetooth

C'est une technologie courte distance à 2.45 GHz. Son avantage est qu'elle consomme peu d'énergie.

ZigBee (IEEE 802.15.4)

C'est une technologie à faible débit et à faible portée (10m). Elle est utilisée dans des applications telles que la commande des appareils électroménagers, la commande de l'éclairage...

Chapitre 2

CST

Ce chapitre est dédié à une introduction au logiciel CST. On discutera en premier lieu la méthode utilisée par le CST, son interface d'utilisation, et puis on donnera un exemple d'utilisation appliqué au cas d'une antenne patch rectangulaire afin de suivre un enchaînement logique des idées dans les chapitres qui suivent.

2.1 Méthode de résolution utilisée dans CST

La méthode utilisée dans CST est une méthode numérique pure. Elle repose sur les lois fondamentales de l'électricité et le magnétisme, les loi de Maxwell. [4]

Premièrement, l'espace de travail est divisé en éléments cubiques infinitésimaux dans une sorte de grille ce qui forme un réseau de cubes adjacents (Fig. 2.1).

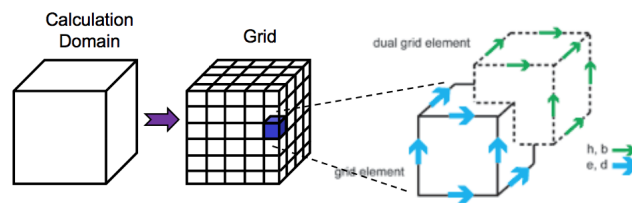


FIGURE 2.1 – La subdivision de l'espace de travail en cubes infinitésimaux adjacents. Source [4]

Ce réseau est subdivisé en deux sous réseaux, le premier est le sous réseau électrique (e et d) et le deuxième, son dual, est le sous réseau magnétique (b et h) (fig. 2.1).

On définit alors sur les arêtes des cubes des deux sous réseaux des vecteurs représentant les champs électriques et magnétique, comme on le montre sur la figure 2.2.

On note que ces champs représentent les champs normaux sur les faces des cubes adjacents de l'autre sous réseau.

On prendra la première loi de Maxwell comme un exemple d'illustration, les autres équations en découlent de la même façon.

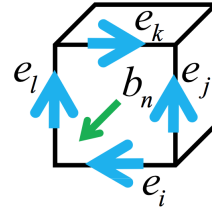


FIGURE 2.2 – La convention de la direction des champs dans un élément du resau de cubes.

Source [4]

En appliquant l'équation de Maxwell-Faraday

$$\oint_{\partial\Sigma} \tilde{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d}{dt} \iint_{\Sigma} \tilde{\mathbf{B}} \cdot d\tilde{\mathbf{S}}$$

sur le cas de la figure 2.2, on trouve l'équation

$$e_i + e_j - e_k - e_l = -\frac{d}{dt} b_n$$

ce qui donne en forme matricielle

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_i \\ e_j \\ e_k \\ e_l \end{bmatrix} = -\frac{d}{dt} b_n$$

ou encore,

$$C e = -\frac{d}{dt} b$$

Ainsi, les équations de Maxwell dans leurs formes finales s'écrivent comme suit

1. $C e = -\frac{d}{dt} b$
2. $\tilde{C} h = \frac{d}{dt} d + j$
3. $\tilde{S} d = q$
4. $S b = 0$

L'application des équations suivantes

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} + \vec{J}_d$$

donne

$$d = M_\epsilon e$$

$$b = M_\mu h$$

$$j = M_\sigma e + j_s$$

On obtient ainsi des équations récursives permettant d'identifier les champs électriques et magnétiques dans tous les cubes des sous réseaux.

$$h^{i+1} = h^i - \Delta t M_\mu^{-1} C e^{i+1/2}$$

$$e^{i+3/2} = e^{i+1/2} + \Delta t M_\epsilon^{-1} [\tilde{C} h^{i+1} - j^{i+1}]$$

La figure 2.3 ci-dessous montre le process de récursivité exposé

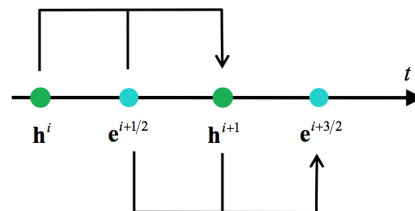


FIGURE 2.3 – Process de recursivite de l'algorithme. Source [4]

2.2 Exemple d'une antenne rectangulaire

Dans la suite, on va enoncer la procedure de création et de simulation d'une antenne rectangulaire simple. En commancant par la creation d'un nouveau projet jusqu'à l'obtention des resultats de simulation.

2.2.1 Nouveau projet

Pour ouvrir un nouveau projet, on suit les étapes représentées dans la figure 2.4 ci-après

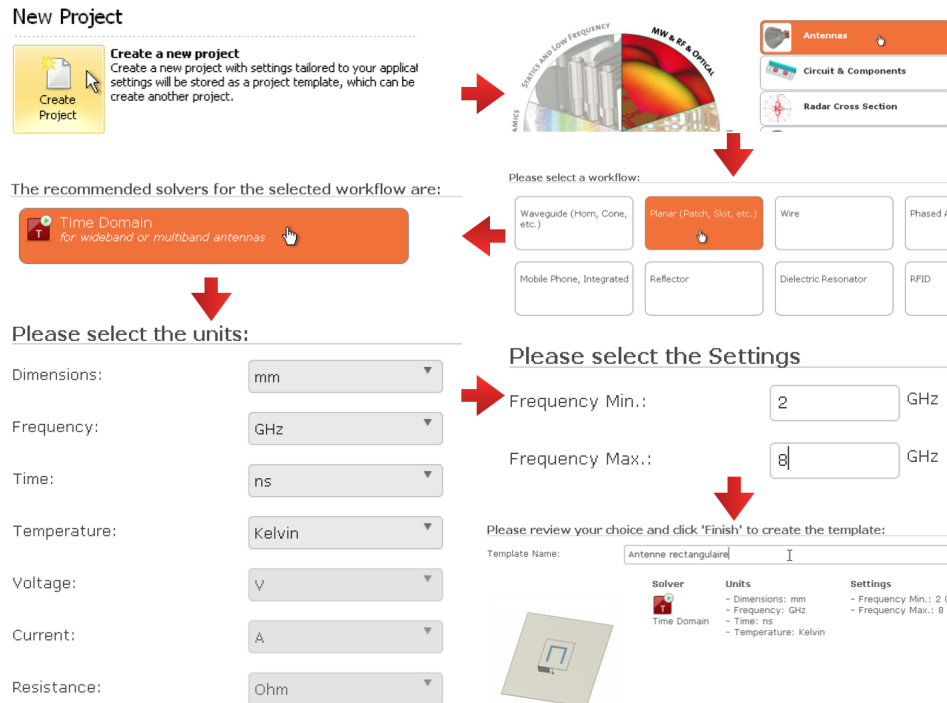


FIGURE 2.4 – Étapes de création d'un nouveau projet

2.2.2 Conception 3D

Le logiciel CST permet une conception fluide des formes tridimensionnelles. Dans la suite, on va créer une antenne microruban rectangulaire simple. Cette antenne est constituée de 4 composantes :

- Un substrat
- La masse (GND)
- une entrée 50Ω
- Une ligne quart d'onde d'adaptation
- L'antenne patch

Pour commencer, on utilise le bouton brick (fig. 2.5), qui crée un parallélépipède rectangle.

On entre ensuite les dimensions du parallélépipède dans la fenêtre de la figure 2.6.

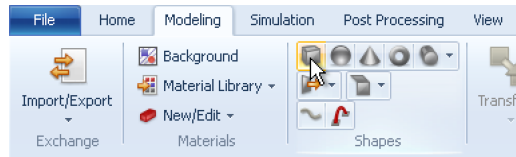


FIGURE 2.5 – Bouton brick

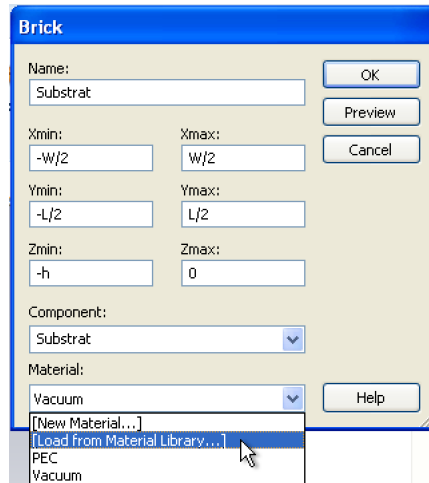


FIGURE 2.6 – Choix des paramètres du composant

On choisit aussi le matériau pour cette pièce. Pour le substrat, on choisit FR-4 de la librairie des matériaux. De préférence, on utilise des paramètres à la place des nombres pour faciliter la tâche du changement du dimensionnement de l'antenne.

On aura après à définir les valeurs et les descriptions des variables dans la fenêtre qui apparaît dès qu'on confirme comme on le voit dans la figure 2.7.

Après la définition de tous les paramètres ils apparaissent dans la liste des paramètres.

2.2.3 Simulation

L'étape finale est l'étape de simulation. Lors de cette étape, on peut visualiser les paramètres qui définissent l'antenne tel que les paramètres S ainsi que les résultats sur les champs E et H.

Pour le faire, on commence par définir l'alimentation. Premièrement, on sélectionne le bas de la

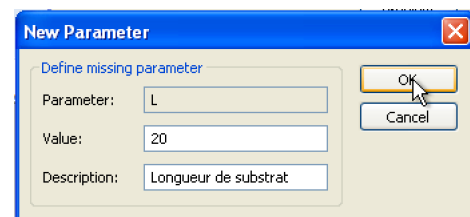


FIGURE 2.7 – Création d'un nouveau paramètre

ligne d'entrée.

Ensuite, on clique le bouton Waveguide port (fig. 2.8).

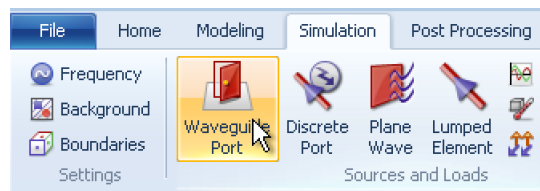


FIGURE 2.8 – Création du port d'alimentation

ce qui nous mène à une fenêtre pour dimensionner l'alimentation. L'alimentation doit être dimensionnée de la façon suivante (fig. 2.9).

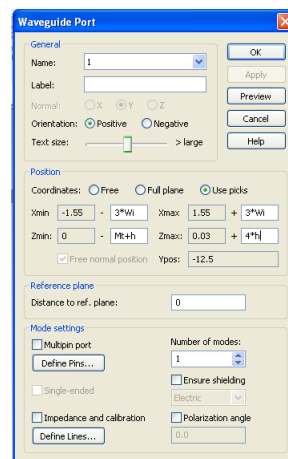


FIGURE 2.9 – Dimensions du port dans le cas des antennes microrubans se deduit des dimensions du substrat et de la ligne d'alimentation

On aura alors une porte rouge ajouté à la conception représentant l'alimentation (fig. 2.10)

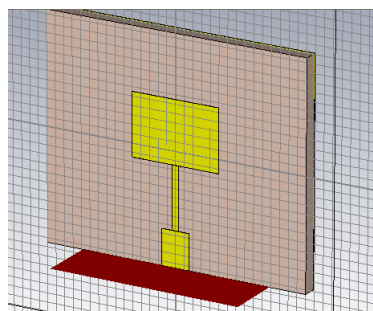


FIGURE 2.10 – Structure finale de l'antenne et le port d'alimentation

Afin de trouver les moniteurs pour E et H, on doit sélectionner à partir du bouton Field monitor (fig. 2.11).



FIGURE 2.11 – Bouton "Field monitor" et "Setup solver"

et on choisit les résultats qu'on souhaite obtenir. Puis on utilise Setup solver pour simuler (fig. 2.11).

On peut alors visualiser les résultats de simulation tel que le champ lointain, la densité surfacique de courant...

2.3 Interface d'utilisation

La figure 2.12 montre l'interface graphique du logiciel CST.

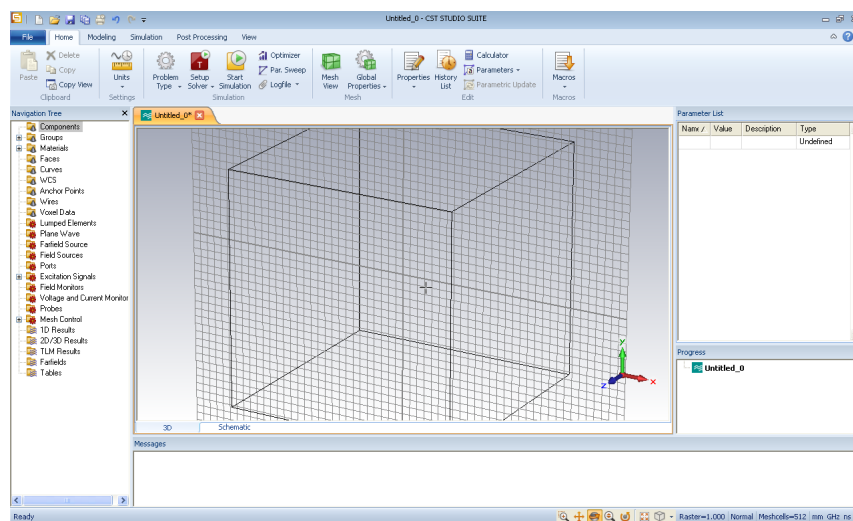


FIGURE 2.12 – Interface graphique du logiciel CST

2.3.1 Barre d'outils

Elle est située en haut de la fenêtre CST et elle est divisée en plusieurs volets :

Home

Cet onglet contient un résumé des outils qu'on utilise souvent tel que la simulation. Il est représenté dans la figure 2.13 ci-dessous.

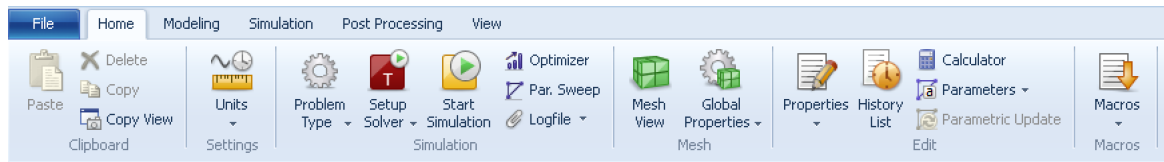


FIGURE 2.13 – Différentes options dans la partie Home

On peut aussi trouver ici des macros tel que le calculateur de l'impédance d'une ligne représenté dans la figure 2.14 qui suit

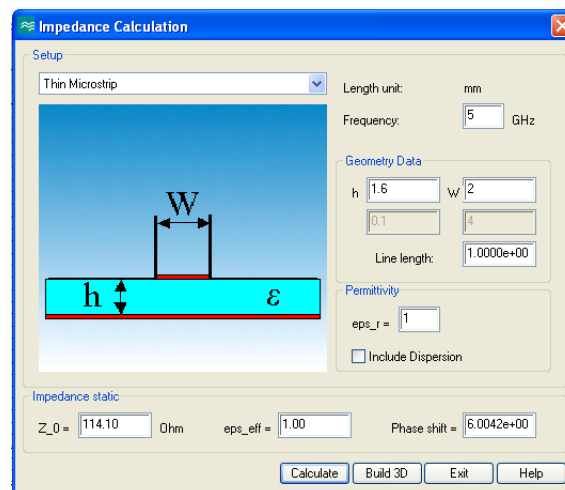


FIGURE 2.14 – Calculatrice d'impédance caractéristique

Modeling

Cet onglet est très pratique et permet la conception 3D de l'antenne. Il contient des commandes de création des formes 3D, de les manipuler, les déplacer et même les répéter pour créer des réseaux à partir d'un seul exemplaire. On trouve aussi des outils pour générer des structures 2D, à partir desquelles on extrapole des formes 3D. La figure 2.15 montre les boutons qu'on trouve ici



FIGURE 2.15 – La partie Modeling

Simulation

On trouve dans cette section les commandes permettant de lancer la simulation, le choix des moniteurs de champs ainsi que le choix de l'intervalle de fréquences. On trouve aussi l'alimentation dans cet onglet. Il est représenté dans la figure 2.16 ci-dessous

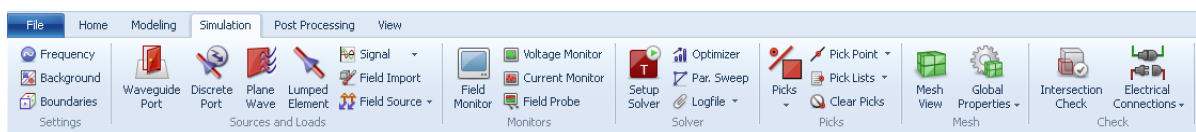


FIGURE 2.16 – Partie Simulation

2.3.2 Plan de dessin

C'est l'interface graphique tridimensionnelle qui permet la visualisation et le contrôle des formes géométriques qui forment l'antenne. On a toujours sur ce plan une base orientée pour aider dans le processus de conception.

2.3.3 Liste des variables

La liste des variables est un des outils les plus importants de l'interface, parce qu'on l'utilise souvent pour faire des modifications globales sur des formes paramétrées. Ce qui permet un temps de conception réduit.

Elle ressemble à un tableau à 4 colonnes : nom de la variable, sa valeur, son type et une brève description.

Chapitre 3

L'algorithme génétique

3.1 Introduction

On rencontre souvent des problèmes d'optimisation dans l'ingénierie, ce qui nous mène à utiliser le processus d'optimisation qui se présente en trois étapes [11] : analyse, synthèse et évaluation.

D'abord, lors de l'étape d'analyse, on définit le problème, les contraintes et les objectifs. Ensuite, on fait la synthèse en formulant des solutions possibles. Enfin, on évalue ces solutions en les comparant aux objectifs.

La figure 3.1 illustre ce processus.

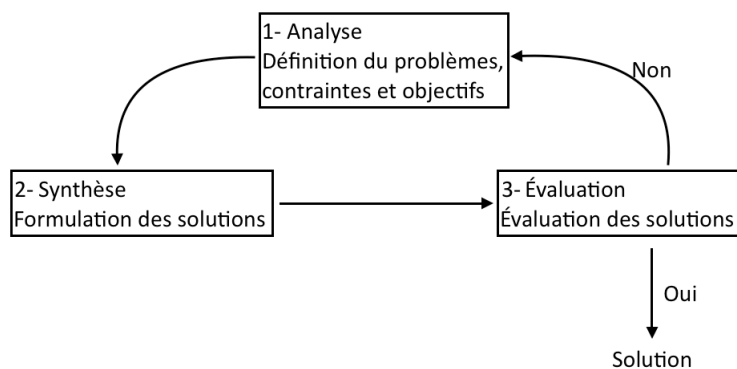


FIGURE 3.1 – Processus d'optimisation

3.1.1 Optimisation d'antennes

Lors de l'optimisation, on essaie de minimiser la fonction coût. La fonction coût admet des minimums locaux et un minimum global dans l'espace de possibilités qu'on représentera par l'axe des abscisses (voir fig. 3.2)

Fonction coût La fonction coût représente la qualité d'une solution donnée. Plus la fonction coût est élevée, moins elle répond au cahier de charges. Pour cela, on cherche à la minimiser lors de l'optimisation.

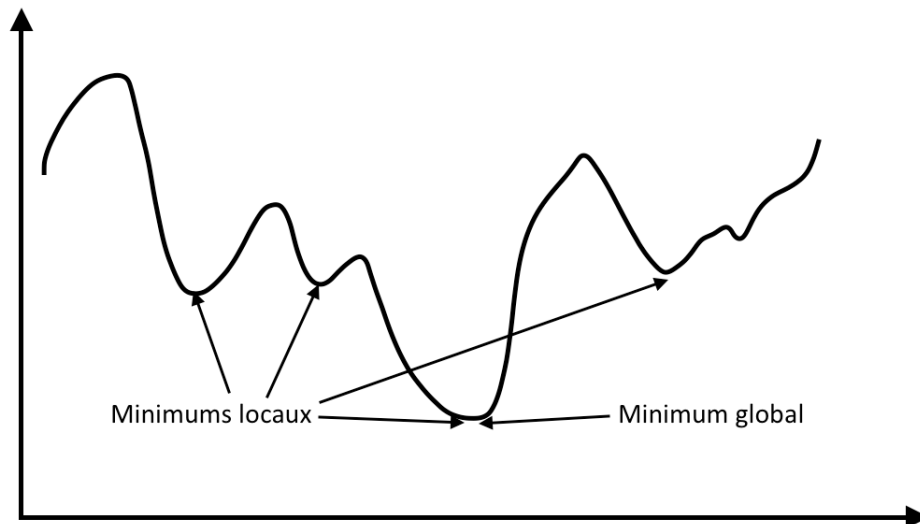


FIGURE 3.2 – Différence entre minimum local et global

La fonction coût qu'on va utiliser représentera le critère de sélection. Dans le cas de notre étude, on a utilisé le paramètre S_{11} , dans d'autres cas, on pourrait utiliser plusieurs critères à la fois, mais l'étude serait plus exhaustive et requerrait plus de ressources de calculs.

3.1.2 Méthodes d'optimisation

Il existe deux méthodes d'optimisation [11]

Optimisation locale

La méthode d'optimisation locale converge vers l'optimum (minimum ou maximum) le plus proche du point de départ. Cet optimum peut être local ou global.

Ces méthodes sont rapides dans leurs convergence vers l'optimum le plus proche du point de départ [11] mais peuvent ne pas aboutir à donner convergence vers l'optimum global.

Optimisation globale

La méthode d'optimisation globale cherche l'optimum dans l'ensemble des solutions, donc elle ne converge pas vers un optimum local. Les méthodes stochastiques font partie de cette famille. Elles utilisent des transitions aléatoires pour réaliser l'optimisation. Les méthodes stochastiques cherchent la solution optimale de façon "aléatoire orientée" [11]. Parmi les approches des méthodes stochastiques, on trouve l'approche de population. Cette approche travaille avec une population de solutions et l'améliore à chaque itération. L'algorithme génétique fait partie de cette dernière.

3.2 L'algorithme génétique

3.2.1 La sélection naturelle

La méthode génétique est une méthode qui se base sur le principe de la sélection naturelle (fig. 3.3). Les individus les plus adaptés survivent, alors que les autres (moins adaptés) meurent.

C'est une méthode où une population donnée dite population parent génère une nouvelle population dite enfant. Cette dernière a des caractéristiques plus ou moins similaires mais légèrement meilleurs.

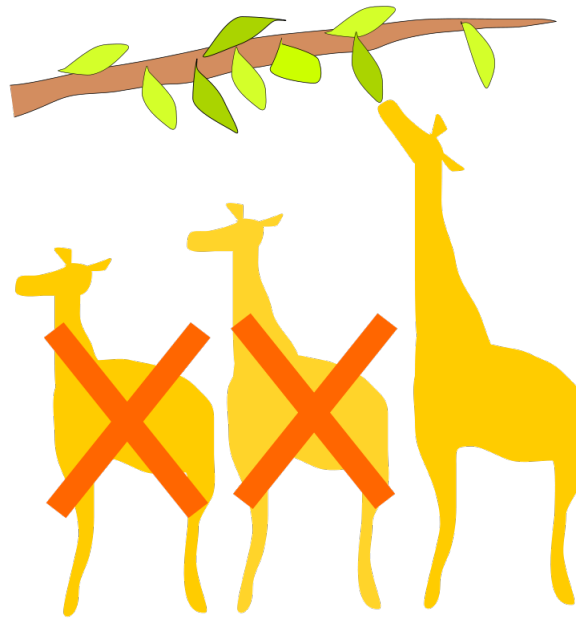


FIGURE 3.3 – Sélection naturelle pour les êtres vivants.

Les méthodes génétiques ont été développées par John Holland, de l'université de Michigan, au début des années soixante [11].

Appliquée dans le cas d'amélioration des performances d'antennes, cette méthode permet d'avoir des caractéristiques qui tendent vers la solution désirable en minimisant la fonction coût. Elle fait appel à des fonctions de comparaison pour garder les antennes avec les meilleures performances, et rejeter les autres moins performantes.

Le résultat de la comparaison est que chaque population doit être forcément meilleur (ou au pire des cas, identique) à la population qui l'a précédée. Le processus est répété plusieurs

fois pour converger vers une population évoluée qui répond au cahier de charges.

L'algorithme génétique résout les problèmes où on ne dispose pas de méthodologie de résolution précise. Surtout dans les cas où la solution requiert un temps de calcul énorme.

La méthode génétique est caractérisée par

- Une population de solutions dans chaque itération.
- Fonction d'optimisation n'est pas continue donc on ne connaît pas la dérivée.
- Choix de la population initiale fait d'une d'une façon aléatoire.

Le tableau suivant représente une analogie entre la génétique dans la nature et son équivalent dans le domaine des antennes

Génétique	Application sur les antennes
Individu	Une solution (antenne)
Population	Ensemble de solutions
Génération	Une population à un instant donné
ADN	Le code binaire d'une solution donnée
Parent	Une antenne de la population courante
Enfant	Une antenne de la population suivante
Reproduction	Fonction de croisement
Mutation	Petit changement dans une antenne
Survivance	Choix parmi les meilleures solutions
Mort	Rejet en tant qu'une solution non optimale

TABLE 3.1 – Analogie entre la génétique dans la nature et le domaine des antennes.

3.2.2 Population initiale

Dans le cas de la sélection naturelle, le processus de sélection est le résultat des milliers de petits changements, répartis sur des centaines de générations avec des populations de grands nombres. Il s'en suit une augmentation des chances d'avoir des changements génétiques engendrant des différences structurelles capables d'améliorer les performances de l'individu.

Le choix de la population initiale est important car il détermine la rapidité de convergence vers la solution optimale.

La population initiale est choisie d'une façon aléatoire. Mais pas très différente du résultat recherché. Dans le cas contraire, on risque de ne jamais trouver une solution. Le choix non-judicieux des dimensions de l'antenne peut engendrer une impossibilité physique de satisfaire le cahier de charges.

Pour cela, on commence par une population qui garentie la convergence rapide de la solution en dimensionnant l'antenne d'une façon pareille au résultat recherché et on essaie de l'améliorer.

On propose de commencer par une carcasse de base qui reste inchangée (l'antenne de base), et on introduit un élément variable. On a choisi de varier une petite surface de la masse en la subdivisant en rectangles identiques qu'on appellera des pixels (fig. 3.4).

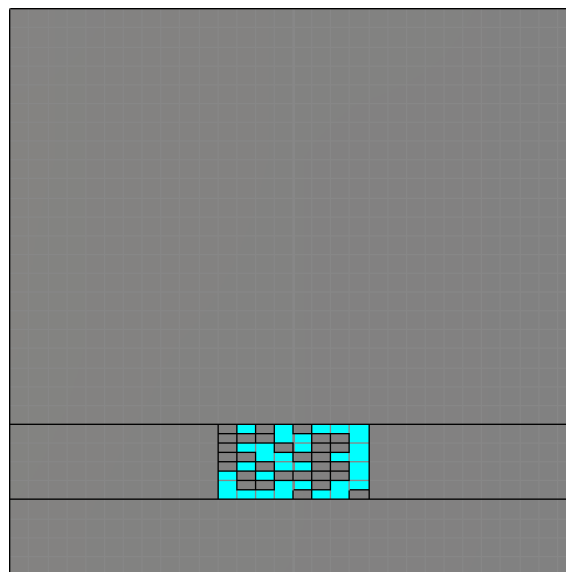


FIGURE 3.4 – Modification dans la structure d'une antenne

La population initiale est choisie sous plusieurs contraintes afin qu'elle donne une convergence rapide de la solution. On prend, par exemple, le cas d'une antenne rectangulaire (figure 3.5). Les contraintes imposées sont

- La fréquence de raisonnance donc les dimensions du patch.
- La convergence rapide en faisant un bon choix de la probabilité de présence ou d'absence des pixels sur le patch.
- Un bon choix de l'emplacement de ces pixels pour garentir une perturbation efficace

du diagramme de courant.

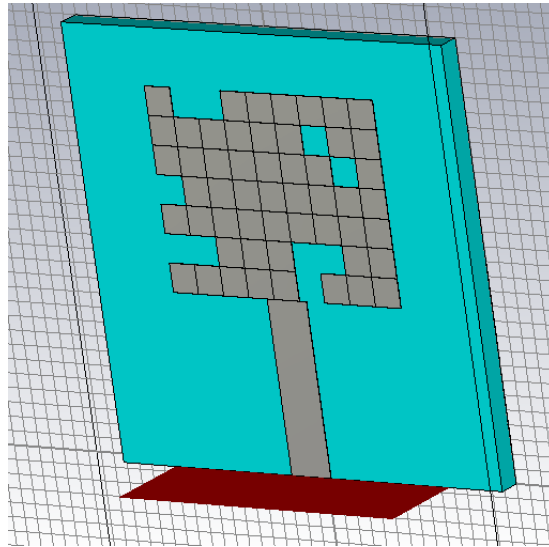


FIGURE 3.5 – Pixels sur un patch rectangulaire

Dans la population initiale, la probabilité de présence ou d'absence des pixels est uniforme, c'est à dire, tout les pixels ont les mêmes chances d'être vides ou remplis. Chacune des différentes combinaisons générées est construite sur le logiciel CST. Ensuite, elle est simulée afin de l'évaluer.

Choix de la taille de la polulation Schaffer et al. [11] proposent d'utiliser un nombre d'individus supérieur à 20 d'après des études expérimentales.

3.2.3 La comparaison

Après simulation, on traite les résultats obtenus (S_{11} par exemple) en les comparants aux résultats désirés. Les solutions les plus adaptées aux critères de sélection sont retenues et passées vers la génération suivante et les autres (moins adaptées) sont rejetées.

3.2.4 Les générations successives

La population initiale est la première génération. Les générations qui suivent sont obtenues à partir de la première. Chaque génération est construite à base de celle qui la précède en utilisant deux procédés, le croisement et les mutations

Croisement

Le croisement est le premier processus. Il consiste à prendre deux antennes de la population précédente et de les “mélanger” en prenant la moitié des pixels d’une antenne et l’autre moitié de la deuxième antenne. Les deux antennes utilisées dans cette opération sont appelées antennes parents alors que l’antenne résultante est dite antenne enfant.

La figure 3.6 ci-dessous montre le processus de croisement.

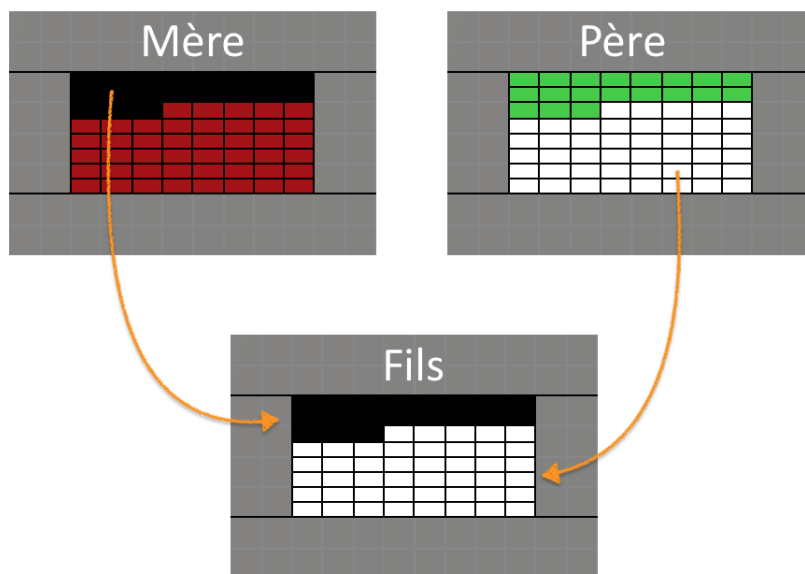


FIGURE 3.6 – Processus de croisement

Dans notre cas, on ne prend pas forcément la moitié de la première et l’autre moitié de la deuxième. En fait, le nombre de pixels pris de la première antenne est une variable aléatoire dont la probabilité est choisie au préalable (on a pris le cas d’une probabilité comprise entre 0.3 et 0.7). Le but de ce mélange est d’avoir de nouvelles combinaisons à chaque itération (génération) et d’éviter le cas où les mêmes parents donnent naissance aux mêmes enfants.

Les mutations

Les mutations sont les erreurs introduites au code génétique d’une façon aléatoire. Quant à ces erreurs, même si elles présentent en général des changements non désirables voire le cas où elles n’introduisent aucun changement, peuvent introduire des améliora-

tions qui seront plus adaptés aux conditions de l'algorithme donc seront automatiquement pris en charge par ce dernier. Le processus de sélection est le même ici, une mutation avec de meilleurs résultats reste, une mutation avec de mauvais résultats est rejetée. La figure 3.7 représente ce phénomène.

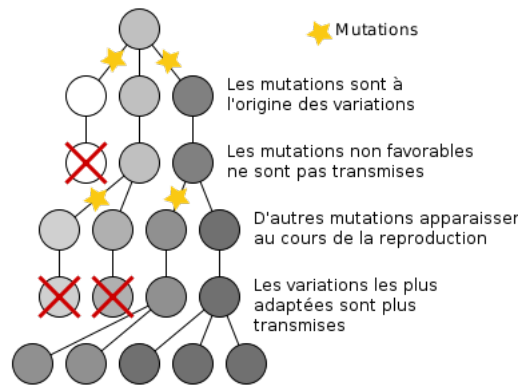


FIGURE 3.7 – Processus de mutation.

Dans notre application, on a essayé de garder la mutation à un niveau minimal, un pixel est choisi au hasard pour effectuer le changement. Seuls les enfants passent par l'opération de mutation, ce qui est exactement le cas dans le monde naturel. Les parents ne sont pas affectés par cette opération parce que leur code génétique reste le même pendant toute leur vie.

3.2.5 Paramètres d'algorithme génétique

Taille de la population

Ce paramètre est choisi au préalable en correspondance avec les recommandations de Schaffer et al [11]. On a pris une taille de population de 40, ce qui augmente encore plus la probabilité de trouver le minimum global de la fonction coût.

Nombre de générations

D'après les essais expérimentaux faits lors de cette étude, on a observé la stabilisation de la solution après une vingtaine de générations. Donc, on a utilisé un nombre de génération égal à 30.

Probabilité de croisement

Cette probabilité représente la contribution de chacun des parents au code génétique de l'enfant.

Dans la nature, cette probabilité vaut 0.5. Ce qui veut dire que chaque parent contribue avec la même proportion du code génétique passé à l'enfant. Dans notre cas, rien n'empêche de prendre une probabilité différente. on a utilisé une probabilité variable qui varie entre 0.3 et 0.7. Donc chaque parent contribue avec 30% jusqu'à 70% du code génétique, ce qui prévient la redondance de solutions.

Probabilité de mutation

La probabilité de mutation représente le taux d'erreurs commises en partant d'une génération vers la suivante. Ce qui se traduit en une modification d'un pixel. Par exemple, l'apparition d'un pixel qui n'existait pas sur les deux parents.

3.3 La programmation VBA

La programmation VBA (Visual Basic for Applications) est un outil très puissant sur CST. Elle permet de visualiser ainsi que d'automatiser la tâche de modélisation et de simulation itérative.

Cette programmation consiste essentiellement à remplacer l'interaction humaine par l'ordinateur. En fait, chaque commande qu'on peut faire sur l'interface graphique peut être programmée en code Visual Basic.

Elle permet de créer et de simuler des structures d'antennes en utilisant la programmation directe en code Visual Basic. Cela permet de concevoir des formes en se basant sur les modèles déjà simulée pendant les itérations précédentes.

Dans notre cas, on a utilisé la programmation VBA pour créer des populations d'antennes et de perfectionner leurs performances en utilisant la méthode génétique.

3.3.1 Comment travailler avec VBA

Après la création d'un nouveau projet, on choisie l'option Macros du menu principal comme montré sur la figure 3.8. On choisie l'option VBA macro editor (Fig 3.9).

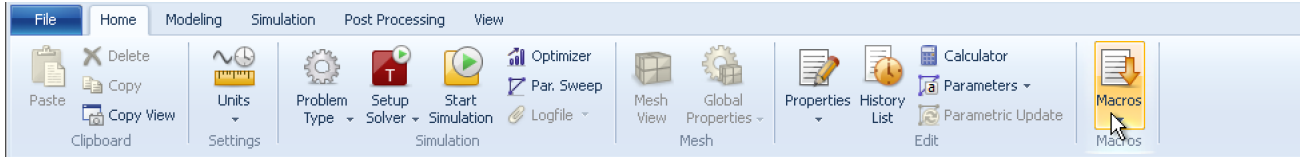


FIGURE 3.8 – Option macro dans CST

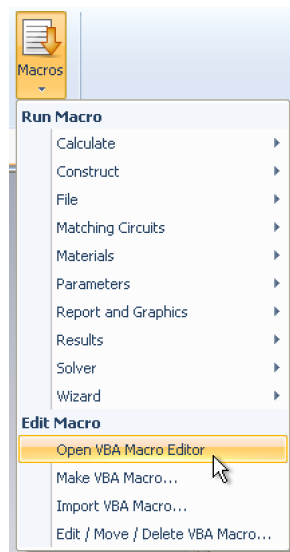


FIGURE 3.9 – VBA macro editor

On aura donc la fenêtre montrée sur la fig. 3.10

On écrit le code VBA et on lance la construction du modèle en utilisant le bouton Run comme on le montre sur la figure 3.11. On attend le résultat.

En utilisant une machine avec processeur i5 et 4GO de RAM, les simulations qu'on a faites par notre algorithme prennent approximativement 25 heures.

Chaque combinaison dans notre algorithme prend 1 min 15 sec, avec 1200 essais successive (combinaisons) on aura 25 heures de simulation.

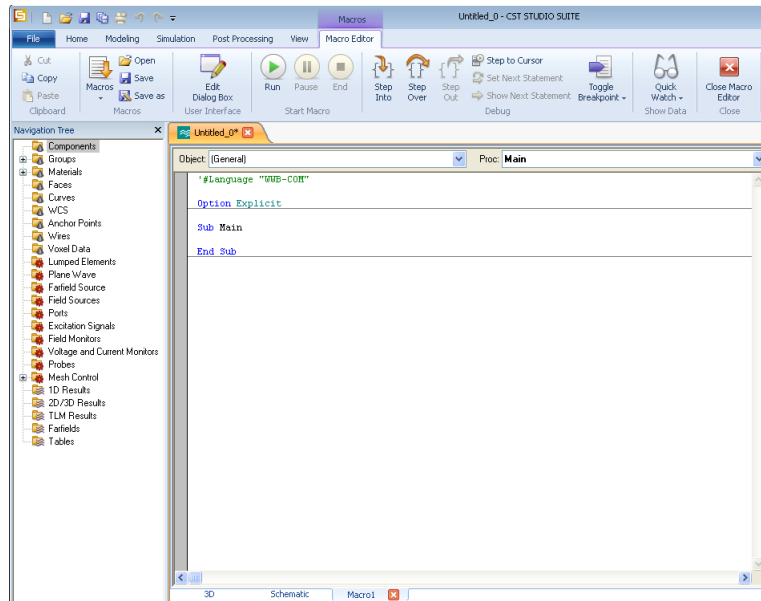


FIGURE 3.10 – Interface de VBA macro editor

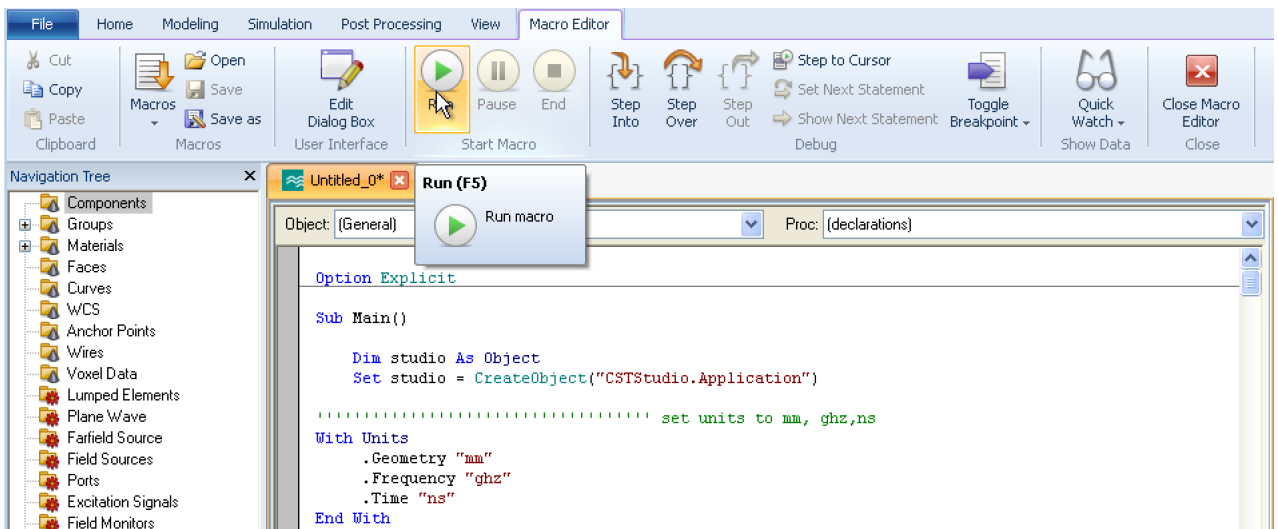


FIGURE 3.11 – Lancement de la construction du modèle

3.3.2 Les sous programmes

Les commandes faites sur l'interface graphique peuvent être remplacées par des sous programmes (ou ensemble de lignes) en code Visual Basic. Les sous-programmes les plus utilisés sont

brick

La commande brick est utilisée pour créer un pavé droit (parallélépipède rectangle). C'est la commande la plus utilisée dans notre programme car l'antenne microruban qu'on a utilisée consiste essentiellement de pavés droits.

Le code VB de la commande de création du substrat est le suivant

```
Brick.Name "Sub"
Brick.Xrange -W/2,W/2
Brick.Yrange 0, L
Brick.Zrange 0, h
Brick.Layer "Substrat"
Brick.Create
```

port d'alimentation

Afin de créer le port d'alimentation, on doit premièrement choisir la face sur laquelle on va travailler. Pour cela, on utilise la fonction "pick face".

```
'@ pick face
Pick.PickFaceFromId "PEC:FED", "3"
```

Après, on définit l'alimentation. Comme on l'a fait dans le chapitre 2, il faut respecter les dimensions du port d'alimentation. Les dimensions sont respectivement : $\pm 3 * W_f$ d'un côté et de l'autre côté, $M_t + h$ en bas et $3 * h$ en haut. Le code est le suivant

```
'@ define port: 1
With Port
  .Reset
  .PortNumber "1"
  .Label ""
  .NumberOfModes "1"
  .AdjustPolarization "False"
  .PolarizationAngle "0.0"
  .ReferencePlaneDistance "0"
  .TextSize "50"
  .Coordinates "Picks"
  .Orientation "positive"
  .PortOnBound "True"
  .ClipPickedPortToBound "False"
  .Xrange n*d/2-Wi/2, n*d+Wi/2
  .Yrange -Li, -Li
  .Zrange "1.63", "1.66"
  .XrangeAdd "3*WF", "3*WF"
  .YrangeAdd "0.0", "0.0"
  .ZrangeAdd "1.6+0.03", "4*1.6"
  .SingleEnded "False"
  .Create
End With
```

solver

La commande solver est utilisée pour effectuer la simulation de la structure finie et obtenir les résultats.

```
With Solver
  .PBFillLimit (99)
  .UseSplitComponents (True)
```

```

.TimeBetweenUpdates (20)
.SParaAdjustment (True)
.SPara ("1, 1")
.FrequencyRange ( 2, 8 )
.AutoNormImpedance (False)
.NormingImpedance (50.0)
.MeshAdaption (False)
.UseDistributedComputing (False)
.StoreTDResultsInCache (False)
.ConsiderTwoPortReciprocity (True)
.EnergyBalanceLimit (0.03)
.TimeStepStabilityFactor (1.0)
.AutomaticTimeSignalSampling (True)
.SParaAdjustment (True)
.CalculateModesOnly (False)
.StimulationMode (1)
.SetBBPSamples (5)
.WaveguideBroadband (False)
.UseOpenBoundaryForHigherModes (False)
.SetModeFreqFactor (0.5)
.FullDeembedding (False)
.SetSamplesFullDeembedding (20)
.AdaptivePortMeshing (True)
.AccuracyAdaptivePortMeshing (1)
.PassesAdaptivePortMeshing (3)
.NumberOfPulseWidths (20)
.SteadyStateLimit ("-40")
.UseArfilter (False)
.ArMaxEnergyDeviation (0.1)
.ArPulseSkip (1)combinaisons.
.SetTimeWindow ("Rectangular", 100, False)
.SurfaceImpedanceOrder (10)
.TimestepReduction (0.45)
.UseTSTATPort (True)
.SetSubcycleState ("Automatic")
.NumberOfSubcycles (4)Des remarques
.SubcycleFillLimit (70)
.EnableSubgridding (False)
.SetSubgridCycleState ("Automatic")
.SimplifiedPBAMethod (False)
.SetSimultaneousExcitAutoLabel (True)
.SetSimultaneousExcitationOffset ("Phaseshift")
'.AlwaysExcludePec (False)
.RestartAfterInstabilityAbort (True)
.HardwareAcceleration (False)
.MPIParallelization (False)
.SetPMLType ("ConvPML")
.start
End With

```

3.3.3 Les possibilités offertes par cette méthode

Parmi les possibilités offertes par la programmation VBA, on cite

1. Automatiser les tâches communes pour augmenter la productivité et gagner du temps.
On peut gagner du temps sur CST en automatisant les tâches récurrentes.
2. Étendre les capacités du programme.

Comme dans le cas de l'algorithme génétique, on ne peut pas toujours implémenter des fonctionnalités de comparaison, d'itérativité et d'évaluation de performances...

D'où, vient la nécessité de la programmation VBA.

3. Copier et modifier les macros existantes.

Aussi, on peut créer des commandes pour ne pas les répéter dans le future.

3.3.4 Les limitations

D'une part, la programmation VBA offre plusieurs possibilités, mais reste toujours un outil moins utilisé pour les applications simples. Parce qu'en général, on n'a pas besoin de toutes les extras fonctionnalités qu'elle offre.

Donc, on peut dire que la méthode de programmation VBA est seulement utilisée pour les application plus complexes.

3.4 Exemple d'utilisation

3.4.1 Cas d'une antenne simple avec des contraintes imposés

On va illustrer le principe de la programmation VBA en l'utilisant pour créer une antenne rectangulaire et la simuler tout en affichant les résultats de simulation à la fin.

Pour cela, on doit premièrement créer la matière du substrat

```
' creation du materiau du substrat
Material.reset
Material.Epsilon 4.4
Material.TanDGiven True
Material.TanD 0.019
Material.name "SUBS"
Material.create
```

Ensuite, on crée le substrat et la masse (GND)

```
' creation du substrat
Brick.Reset
Brick.Name "SUBSTR"
Brick.Xrange -W/2,W/2
Brick.Yrange 0, L
Brick.Zrange Mt, Mt+1.6
Brick.Layer "SUBS"
Brick.Create

' creation de la masse GND
Brick.Reset
Brick.Name "GND"
Brick.Xrange - W/2 , W/2
Brick.Yrange 0, L
Brick.Zrange 0, Mt
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create
```

Après cette étape, on procède à la création de l'antenne de l'autre côté du substrat qui se compose de deux parties, la ligne d'alimentation et le patch rectangulaire

```
' creation de la ligne d'alimentation
Brick.Reset
Brick.Name "FED"
Brick.Xrange - Wi/2 , Wi/2
Brick.Yrange 0, Li
Brick.Zrange Mt+1.6, 2*Mt+1.6
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create

' creation du patch
Brick.Reset
Brick.Name ""PATCH
Brick.Xrange - Wp/2 , Wp/2
Brick.Yrange Li, Li+Lp
Brick.Zrange Mt+1.6, 2*Mt+1.6
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create
```

Tout ce qu'il reste maintenant est la création du port d'alimentation

```
'@ pick face
Pick.PickFaceFromId "PEC:FED", "3"
'@ define port: 1
With Port
.Reset
.PortNumber "1"
.Label ""
.NumberOfModes "1"
.AdjustPolarization "False"
.PolarizationAngle "0.0"
.ReferencePlaneDistance "0"
.TextSize "50"
.Coordinates "Picks"
.Orientation "positive"
.PortOnBound "True"
.ClipPickedPortToBound "False"
.Xrange n*d/2-Wi/2, n*d+Wi/2
.Yrange -Li, -Li
.Zrange "1.63", "1.66"
.XrangeAdd "3*WF", "3*WF"
.YrangeAdd "0.0", "0.0"
.ZrangeAdd "1.6+0.03", "4*1.6"
.SingleEnded "False"
.Create
End With
```

Au niveau de cette étape, le modèle 3D de l'antenne est prêt à être simulé. La simulation est faite de la façon suivante

```
With Solver
.PBAFillLimit (99)
.UseSplitComponents (True)
.TimeBetweenUpdates (20)
.SParaAdjustment (True)
.SPara ("1, 1")
.FrequencyRange ( 2, 13 )
.AutoNormImpedance (False)
.NormingImpedance (50.0)
.MeshAdaption (False)
.UseDistributedComputing (False)
.StoreTDRResultsInCache (False)
.ConsiderTwoPortReciprocity (True)
.EnergyBalanceLimit (0.03)
.TimeStepStabilityFactor (1.0)
.AutomaticTimeSignalSampling (True)
.SParaAdjustment (True)
.CalculateModesOnly (False)
.StimulationMode (1)
.SetBBPSamples (5)
```

```

.WaveguideBroadband (False)
.UseOpenBoundaryForHigherModes (False)
.SetModeFreqFactor (0.5)
.FullDeembedding (False)
.SetSamplesFullDeembedding (20)
.AdaptivePortMeshing (True)
.AccuracyAdaptivePortMeshing (1)
.PassesAdaptivePortMeshing (3)
.NumberOfPulseWidths (20)
.SteadyStateLimit ("-40")
.UseArfilter (False)
.ArMaxEnergyDeviation (0.1)
.ArPulseSkip (1)
.SetTimeWindow ("Rectangular", 100, False)
.SurfaceImpedanceOrder (10)
.TimestepReduction (0.45)
.UseTSTAtPort (True)
.SetSubcycleState ("Automatic")
.NumberOfSubcycles (4)
.SubcycleFillLimit (70)
.EnableSubgridding (False)
.SetSubgridCycleState ("Automatic")
.SimplifiedPBAMethod (False)
.SetSimultaneousExcitAutoLabel (True)
.SetSimultaneousExcitationOffset ("Phaseshift")
'.AlwaysExcludePec (False)
.RestartAfterInstabilityAbort (True)
.HardwareAcceleration (False)
.MPIParallelization (False)
.SetPMLType ("ConvPML")
.start      'l'instruction qui monque
End With

' T-solver
With SolverParameter
.SolverType "Transient solver", "Hexahedral"
.IgnoreLossyMetals "False"
.IgnoreLossyDielectrics "False"
.IgnoreLossyMetalsForWires "False"
.UseThinWireModel "False"
.UseZeroWireRadius "False"
End With

```

Chapitre 4

Conception et optimisation des antennes imprimées avec un filtre à défaut de masse

4.1 Introduction

Au cours des dernières années, les antennes à défaut de masse ont beaucoup attiré l'attention par leur capacité à augmenter les performances du système sans fil. Elles montrent un meilleur résultat par rapport aux antennes imprimées conventionnelles, en effet le défaut de masse supprime efficacement la fréquence indésirable. Dans ce chapitre nous proposons une nouvelle méthode pour faire la conception des antennes à défaut de masse en utilisant les algorithmes génétiques.

4.2 Optimisation de la masse des antennes microstrips

4.2.1 Présentation du problème

Pour satisfaire le cahier de charges (rejeter une bande de fréquence), on a introduit un défaut de masse sous forme d'une fenêtre de pixels. Les pixels peuvent être remplis ou vides ce qui nous donne deux états possibles, absence ou présence de la matière.

Ainsi, on peut représenter le code décrivant la structure de la fenêtre par une chaîne de

caractères représentés par des 0 ou des 1. Un 1 représente un pixel rempli et un 0 représente un pixel vide. Cette chaîne de caractères est l'équivalent de l'ADN chez les êtres vivants car elle décrit la structure globale du défaut de masse.

La figure 4.1 montre un modèle de cette chaîne de caractères et son défaut de masse équivalent.

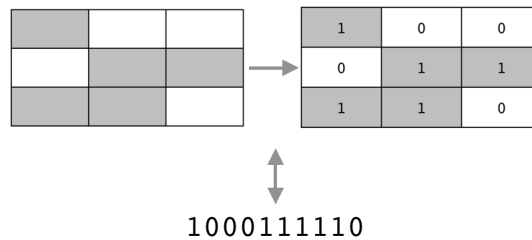


FIGURE 4.1 – Equivalence entre le code génétique et la structure de l'antenne.

On a utilisé le code binaire parce qu'il est à la fois facile à manipuler surtout pour les tests logiques (if, while. . .) et à comprendre en étant une convention internationale pour la représentation des variables à deux états.

4.2.2 Implémentation du code d'optimisation dans le logiciel CST

Fonction coût

La fonction coût est une mesure du degré de réponse d'une solution au cahier des charges, donc de la qualité d'une solution donnée. Elle fait un calcul sur les grandeurs à optimiser pour faire une évaluation globale des différentes solutions. Le but est de trouver le minimum global de la fonction coût. Dans notre cas, on veut filtrer une bande de fréquence, pour cela, on a essayé de maximiser le coefficient de réflexion dans cette bande, lorsque celui-ci augmente, on a une diminution de la fonction coût.

Génération de la population initiale

La génération de la population de départ est critique car elle va déterminer la tendance de l'optimisation. Une génération qui n'est pas bien répartie dans l'espace des solutions risquera de converger vers un minimum local de la fonction coût (risque de ne pas trouver le minimum global). La taille de la population initiale doit être supérieure à 20 individus

(Shaffer et al. [11]). On a pris une population initiale de 40 individus ce qui garantit la diversité des solutions.

Pour la génération aléatoire des pixels de la population de départ, on a associé une probabilité de présence de pixels. Pour une probabilité de 0.7, les pixels sont remplis aléatoirement avec une moyenne de 70%.

Principe de sélection

Le principe de sélection est de ne faire passer que la meilleure moitié de chaque génération vers la génération suivante. Cela veut dire qu'une vingtaine de configurations est prise (survivante) et une vingtaine est rejetée (morte). Ainsi, on a une convergence garantie de la solution.

Opérateur de croisement

C'est l'opérateur équivalent à la reproduction chez les êtres vivants. On associe une probabilité d'avoir un mélange non homogène entre les deux parents. Par exemple, une probabilité de 0.8 veut dire que 80% du code génétique vient du côté de la mère alors que seulement 20% vient du côté du père.

Opérateur de mutation

L'opérateur de mutation permet de diversifier plus l'espace des solutions possibles. Dans la nature, une mutation peut influencer d'une façon positive ou négative sur l'être vivant. Le même effet pourra prendre place dans ce cas. L'absence ou la présence d'un pixel peut augmenter comme diminuer la fonction coût. Mais parce qu'on ne prendra que les meilleures solutions, on ne finira que par les mutations qui ont donné des changements favorables.

On associe une probabilité de mutation pour changer un pixel choisi au hasard. Une probabilité de mutation de 0.1 veut dire que la probabilité de changement du pixel choisi est de 10%.

4.3 Conception et optimisation d'une antenne ultra-large bande avec un filtre à défaut de masse (DGS) par les algorithmes génétiques

L'objectif de cette partie est de concevoir un filtre à défaut de masse par les algorithmes génétiques pour une antenne ultra-large bande qui a été réalisée par K. Fertas [11]. Cette antenne a une très large bande de résonance.

Le rôle de DGS est de d'éliminer la fréquence 3.7 GHz, qui est une fréquence fonctionnant dans les applications WiMAX. La nouvelle antenne doit être capable de fonctionner dans toute sa bande de résonance sauf autour de la fréquence 3.7 GHz.

4.3.1 Étude de l'antenne de départ

La géométrie de la structure de départ est donnée par la figure (4.2). Elle consiste en un pavé rayonnant de dimensions (20x20) mm imprimé au-dessus d'un plan de masse de dimensions (32x12.5) mm. Cette antenne est réalisée sur un substrat verre téflon de permittivité relative 2,5 et de hauteur $h=1,6$ mm et des pertes $\tan(\alpha) = 0.0019$. L'alimentation est réalisée par une ligne micro-ruban adaptée à une impédance caractéristique de 50Ω .

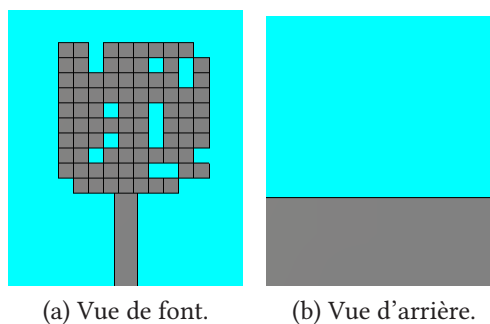


FIGURE 4.2 – Structure de départ.

Cette antenne est une antenne ultra large-bande construite par les algorithmes génétiques [11]. La simulation du module du coefficient de réflexion de cette antenne est illustrée sur la figure 4.3.

L'antenne de départ résonne entre 2.9 GHz et 13 GHz, donc elle présente une très large bande [11].

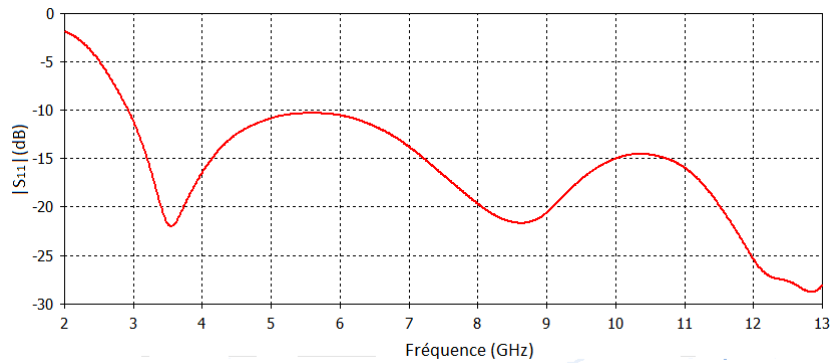


FIGURE 4.3 – Coefficient de réflexion de l’antenne de départ

4.3.2 Optimisation d’un filtre à défaut de masse par les algorithmes génétiques

Dans cette partie il s’agit d’optimiser un filtre à défaut de masse en utilisant le logiciel CST avec le code développé sur la plateforme VBA (Annexe B). Nous allons montrer l’intérêt de l’utilisation de l’algorithme génétique pour optimiser un filtre rejeteur appliqué sur l’antenne de départ (Fig 4.2) afin de supprimer la bande de 3.7 GHz qui est utilisable dans les applications de WiMAX.

Positionnement du filtre DGS

La position du filtre est illustrée dans la figure 4.4.

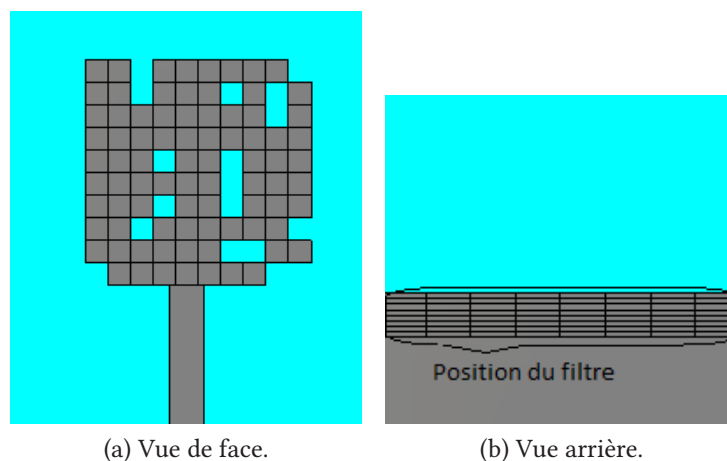


FIGURE 4.4 – Position du filtre.

L’emplacement du défaut de masse est choisi de telle sorte à couvrir une large portion du courant de surface pour assurer la perturbation maximale du courant. La distribution du

courant dans la fréquence 3.7 GHz sur le plan de masse est donnée dans la figure 4.5.

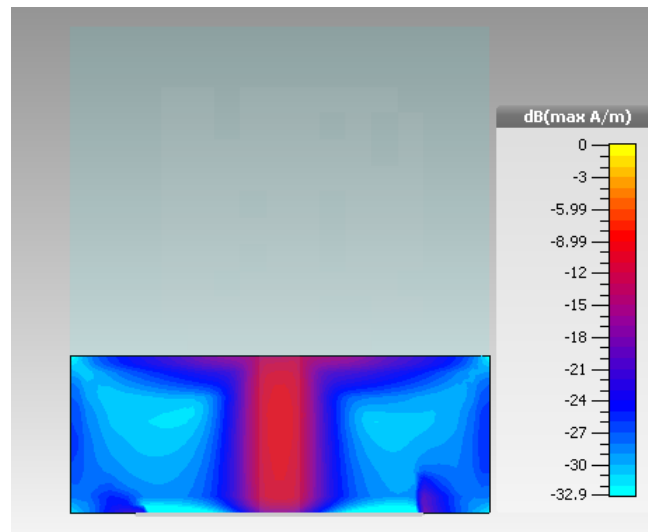


FIGURE 4.5 – Distribution surfacique du courant dans l'antenne ultra-large bande dans la fréquence 3.7 GHz.

Suivant le diagramme de courant de surface, on a deux surfaces potentielles pour l'emplacement du défaut de masse. Les deux surfaces, sous forme de deux rectangles 1 et 2, sont illustrées dans la figure 4.6.

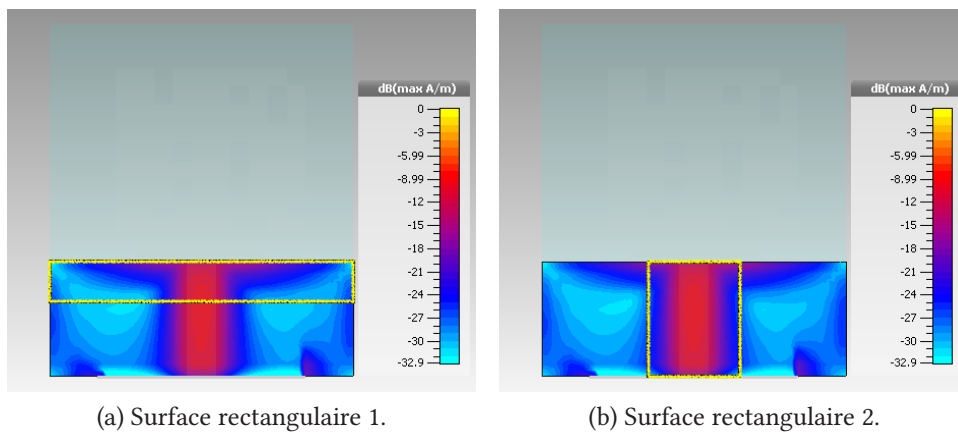


FIGURE 4.6 – Surfaces possibles.

On a travaillé avec les deux rectangles mais seulement le rectangle 1 a donné un résultat acceptable. Le résultat donné par le rectangle 1 est présenté dans la partie simulation.

Dimensionnement du défaut de masse

Le choix des dimensions (Fig 4.7) du défaut de masse est étudié pour être le plus efficace possible.

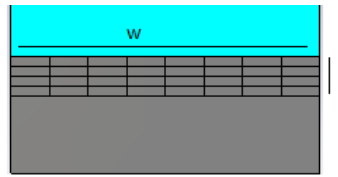


FIGURE 4.7 – Dimensions de DGS.

Pour cela, on doit choisir les dimensions du rectangle qui couvrent les endroits chauds du courant surfacique. Selon la figure 4.8, un bon choix de la longueur du rectangle sera 4 mm. La largeur sera égale à la largeur du substrat car le courant s'étend jusqu'aux extrémités de l'antenne.

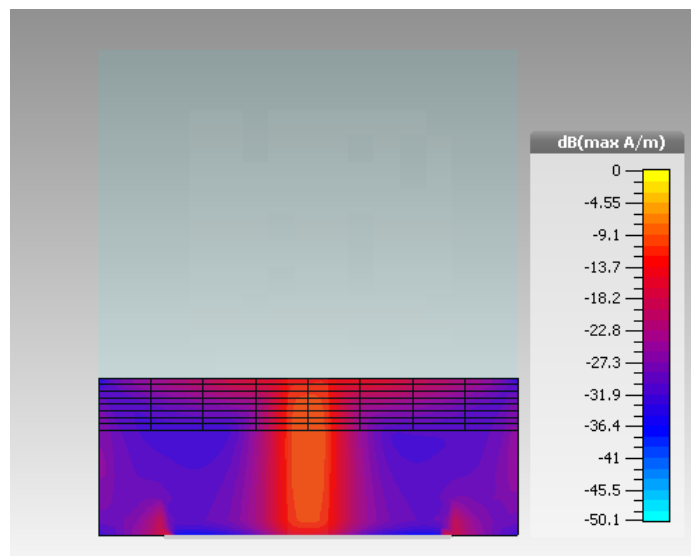


FIGURE 4.8 – Zone couverte de courant.

Paramètres de l'algorithme génétique

La figure 4.9 représente la zone d'optimisation située sur le plan de masse.

Elle est composée de 64 subdivisions où chaque subdivision a des dimensions de (0.5x2) mm. Le patch et la ligne d'alimentation restent identiques à celles de la structure de départ (Fig 4.2).

Les dimensions d'une subdivision sont choisies comme précédemment. On a essayé des dimensions différentes (0.5x4) mm, (1x2)mm, et (0.5x2) mm. la meilleur solution est obtenue pour les dimensions (0.5x2) mm.

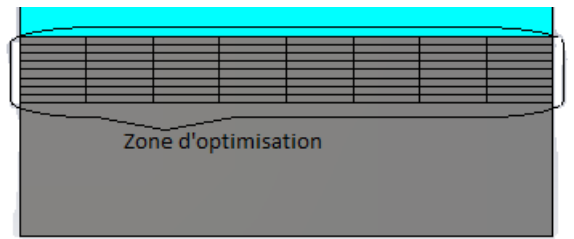


FIGURE 4.9 – Zone d'optimisation de l'antenne.

Les paramètres de l'algorithmes génétiques, restent les même en comparé à l'antenne multi-bande, on a seulement changé trois paramètres comme illustré dans le tableau 4.1.

Taille de la population	30
Nombre de générations	40
Probabilité de croisement	1
Probabilité de présence des pixels	0.8
Probabilité de mutation	0.1
Longueur de filtre l	4 mm
Largeur de filtre w	32 mm
Dimensions de subdivision	(0.5x2) mm

TABLE 4.1 – Paramètres de l'algorithmes génétique pour l'antenne ULB.

Résultats de simulation

On a lancé la simulation de l'algorithmes génétique dans le but de concevoir un filtre pour supprimer la fréquence 3.7 GHz. Le meilleur individu est obtenu à partir de la 18 ème génération, ce qui nécessite un temps de simulation de 40 (population) x 18 (génération) x 1.5 minutes (par individu) = 1080 minutes = 18 heures avec un ordinateur possédant un processeur i5 et 4 Go de RAM. Donc la convergence vers la meilleure solution reste en un temps relativement rapide par rapport aux méthodes conventionnelles.

La meilleure structure trouvée est représentée dans la figure 4.10.

La figure 4.11 illustre les variations fréquentielles du module du coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne modifiée.

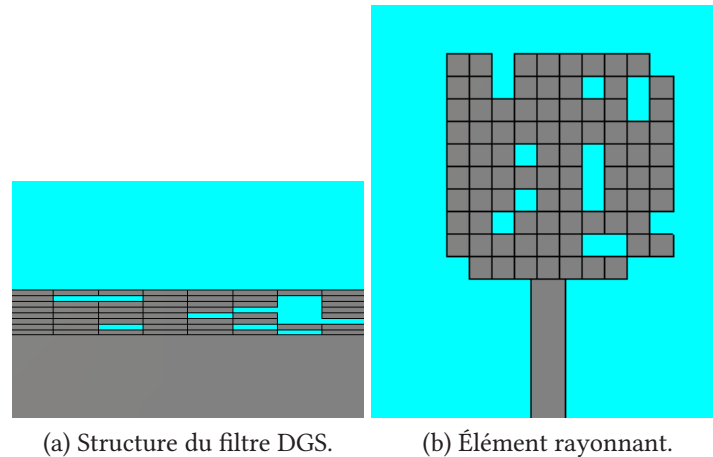


FIGURE 4.10 – Antenne ultra-large bande modifiée.

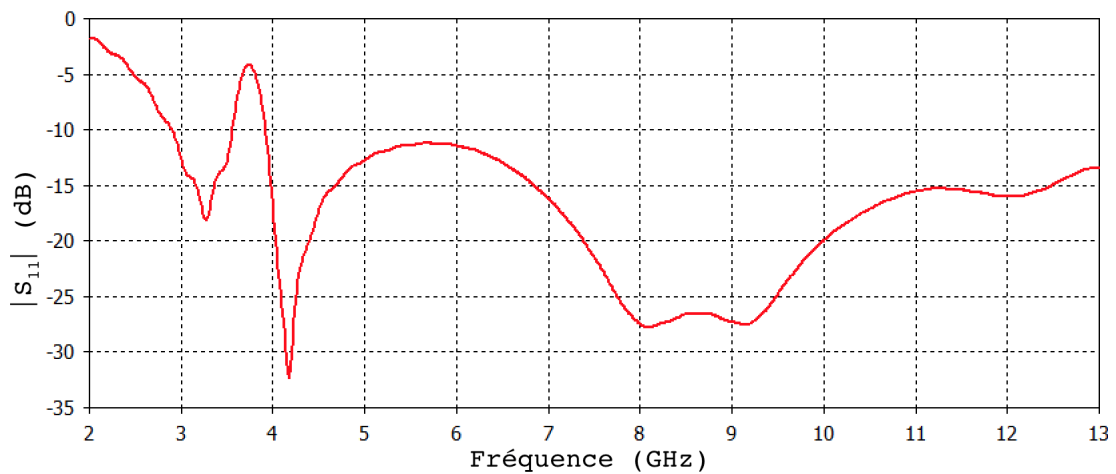


FIGURE 4.11 – Coefficient de réflexion de l'antenne simulée ultra-large bande à défaut de masse.

On observe que la fréquence indésirable a été complètement éliminée.

La figure 4.12 montre le module du coefficient de réflexion de l'antenne de départ et l'antenne modifiée (avec DGS).

Nous constatons que l'antenne garde les mêmes fréquences de travail, à savoir, l'ultra-large bande entre 3 et 12 GHz et présente une bonne adaptation avec sa ligne d'excitation et que cette bande garde les mêmes caractéristiques mais avec un filtrage de la fréquence autour de 3.7 GHz. La largeur de la bande éliminée est de 360 MHz.

Le résultat essentiel dû à l'introduction du filtre DGS est que la fréquence indésirable a été éliminée.

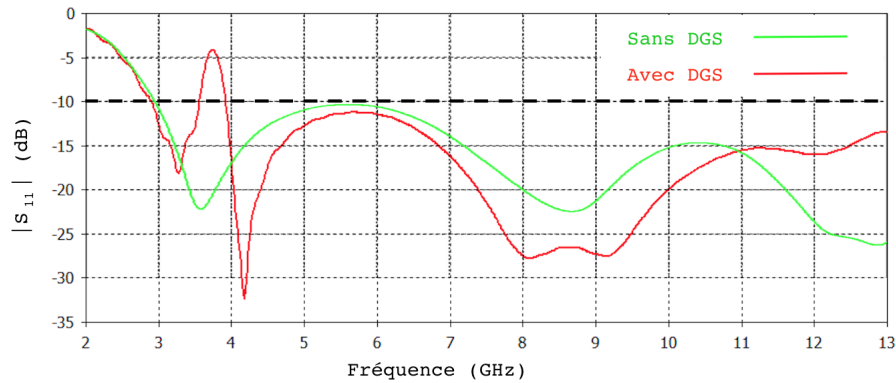


FIGURE 4.12 – Comparaison entre le module du coefficient de réflexion avec et sans DGS.

Remarque Concernant la réalisation, on n'a pas pu trouvé le substrat avec un $\epsilon_r = 2.5$ dans le marché Algérien. Par conséquent, la réalisation de cette antenne n'est pas effectuée.

4.4 Conception, optimisation et réalisation d'une antenne multibandes avec un filtre à défaut de masse (DGS) par les algorithmes génétiques

4.4.1 Etudes de l'antenne de départ

La structure de départ (Fig 4.13) consiste en un pavé rayonnant $18\text{mm} \times 14\text{mm}$ imprimé au-dessus d'un plan de masse plein de dimensions $40\text{mm} \times 35\text{mm}$. Cette antenne est réalisée sur un substrat de type FR4 de permittivité relative $\epsilon_r=4.3$, de hauteur $h=1,6$ mm et des pertes $(\tan \alpha)=0.0019$. L'alimentation est réalisée par une ligne micro-ruban de longueur $L_f = 12\text{mm}$, et de largeur $W_f = 3.1\text{mm}$ adaptée à une impédance caractéristique de 50Ω .

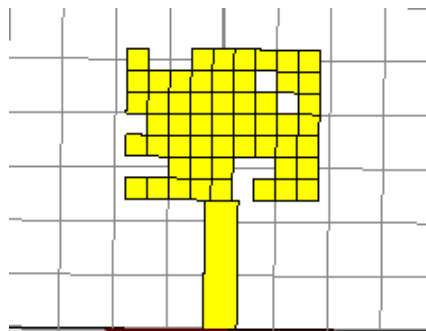


FIGURE 4.13 – Structure de départ.

Cette antenne est construite par les algorithmes génétiques afin de travailler dans trois bandes de fréquence. La simulation du coefficient de réflexion de cette antenne est illustrée sur la figure 4.14.

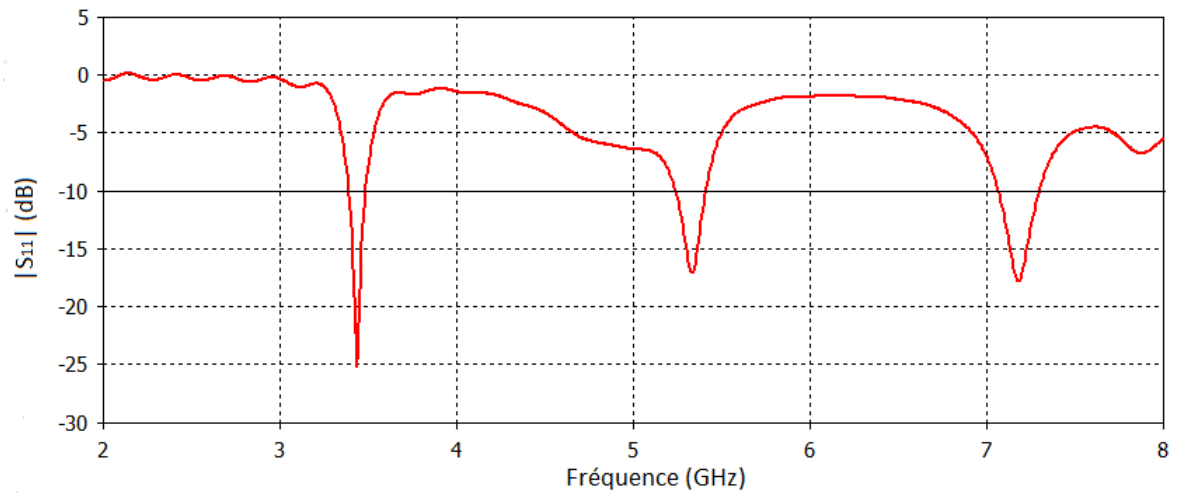


FIGURE 4.14 – Coefficient de réflexion de l'antenne de départ.

Le tableau 4.2 donne l'interprétation de la figure 4.14

Fréquence (GHz)	Niveau d'adaptation (dB)	Bande passante (%)
3.43	-25	2.72
5.33	-17	3.51
7.18	-18	3.14

TABLE 4.2 – Interprétation du resultat de simulation de l'antenne de départ.

Diagramme de rayonnement

La figure (4.15) représente le diagramme de rayonnement en coordonnées polaires pour les trois fréquences de résonances.

Pour la fréquence de 3.43 GHz, le gain maximum est de 1.69 dB. La direction du lobe principal est 6.0° avec une ouverture à $-3dB$ de 99.1° .

Pour la fréquence de 5.33 GHz, le gain maximum est de 2.43 dB. La direction du lobe principal est 12.0° avec une ouverture à $-3dB$ de 86° .

Pour la fréquence de 7.18 GHz, le gain maximum est de 3.7 dB. La direction du lobe principal est 18.0° avec une ouverture à $-3dB$ de 74° .

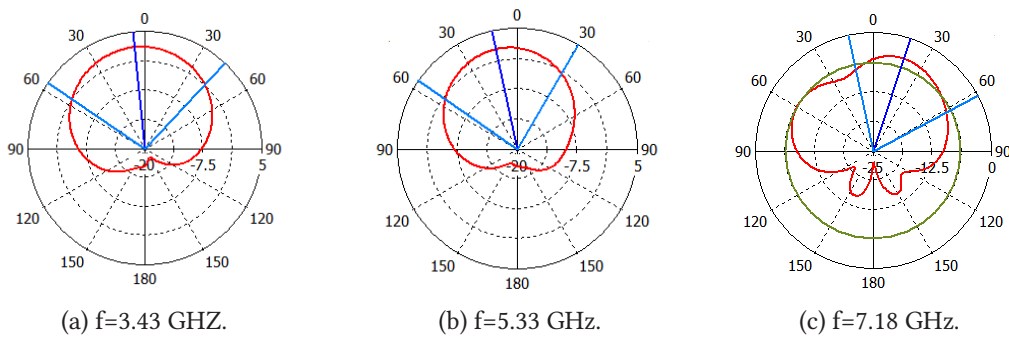


FIGURE 4.15 – Diagramme de rayonnement dans le plan $\phi = 90^\circ$ pour les trois résonances.

4.4.2 Optimisation du filtre à défaut de masse par les algorithmes génétiques

Dans cette partie il s'agit d'optimiser un filtre à défaut de masse en utilisant le logiciel CST avec le code développé (Annexe A). Nous allons montrer l'intérêt de l'utilisation de l'algorithme génétique pour optimiser un filtre rejeteur appliqué sur l'antenne de départ (Fig 4.13) afin de supprimer la bande de 7.18 GHz.

Positionnement du filtre DGS

La position du filtre est illustrée dans la figure 4.16.

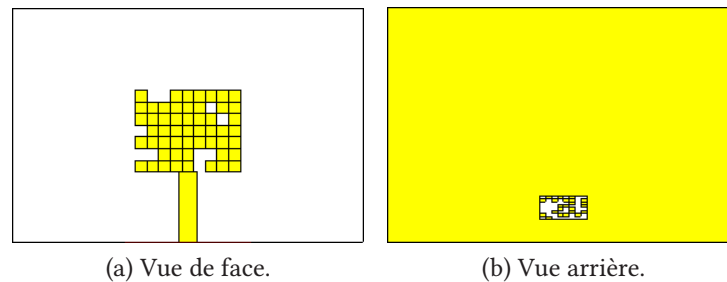


FIGURE 4.16 – Position du filtre.

L'emplacement du défaut de masse est choisi de telle sorte à couvrir une large portion du courant de surface pour assurer la perturbation maximale du courant. La distribution du courant dans la fréquence 7.18 GHz sur le plan de masse est donnée dans la figure 4.17.

Suivant le diagramme de courant de surface, on doit placer le défaut de masse sous la ligne d'excitation. Pour effectuer l'étude, on a choisi le milieu de la ligne d'excitation comme position potentielle pour l'emplacement du défaut de masse. (Fig. 4.18).

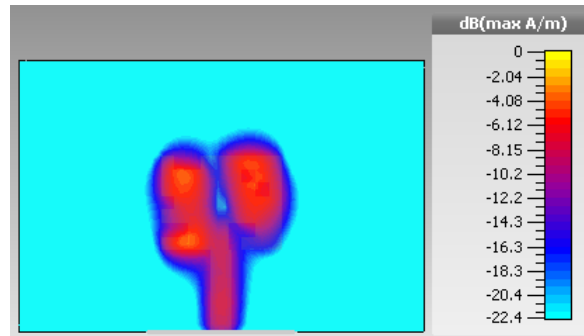


FIGURE 4.17 – Distribution surfacique du courant dans l’antenne ultra-large bande dans la fréquence 7.18 GHz.

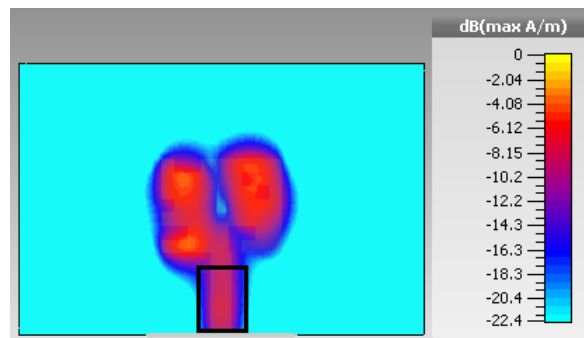


FIGURE 4.18 – Diagramme de .

On a étudié plusieurs possibilités, la figure 4.19 représente les différentes positions étudiées.

Ce choix n’est pas fait au hasard. En fait, on a essayé d’éviter le courant de surface résultant du pavé rayonnant tout en laissant un petit espacement en dessous du filtre DGS pour effectuer la soudure du connecteur SMA.

Il s’avère que la position 1 est très proche de l’extrémité donc elle peut être affecter par la soudure. Les positions 3 et 4 ont des zones communes avec le courant de surface résultant du pavé rayonnant donc on ne va pas les utiliser pour effectuer la première optimisation par

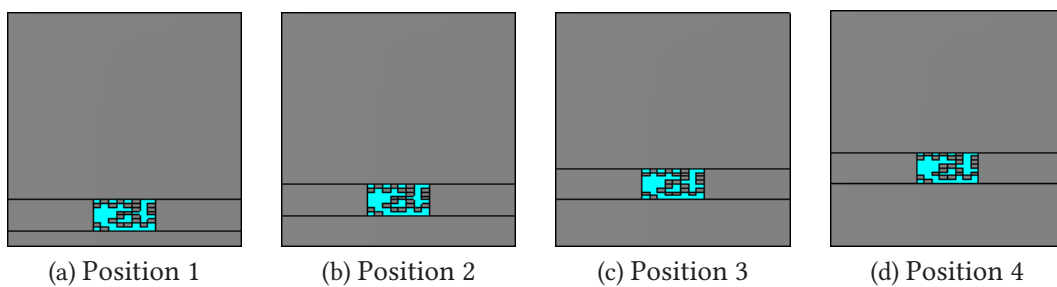


FIGURE 4.19 – Les différentes positions étudiées.

l'algorithme génétique. Il nous reste seulement la position 2 dont on a utilisé pour trouver le filtre DGS de la figure 4.20.

Nous allons examiner l'effet de l'intersection avec ce courant dans la suite de cette section.

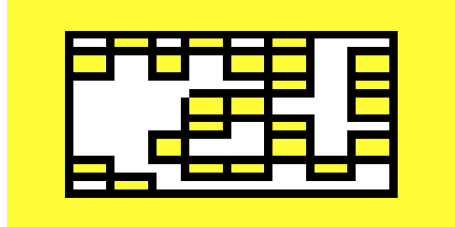


FIGURE 4.20 – Filtre DGS trouvé en utilisant la 2^{ème} position.

Différence entre les différent positions

On a simulé la structure de la figure précédente avec toutes les positions, afin de comparer les performances.

Comparaison de la position 2 avec la position 1 La figure 4.21 montre que la qualité de rejection dans la position 1 est meilleure que celle de la position 2.

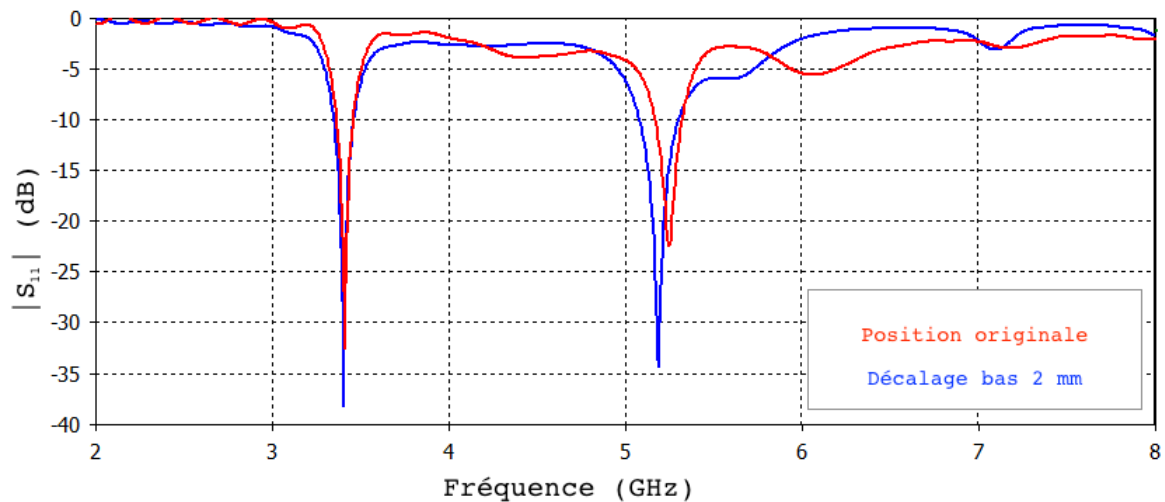


FIGURE 4.21 – Module du coefficient de réflexion pour les positions 2 et 1.

Comparaison de la position 2 avec la position 3 La figure 4.22 montre que la qualité de rejection dans la position 2 est meilleure que celle de la position 3. Cela est dû au fait

que le filtre DGS a affecté le courant de surface résultant du pavé rayonnant.

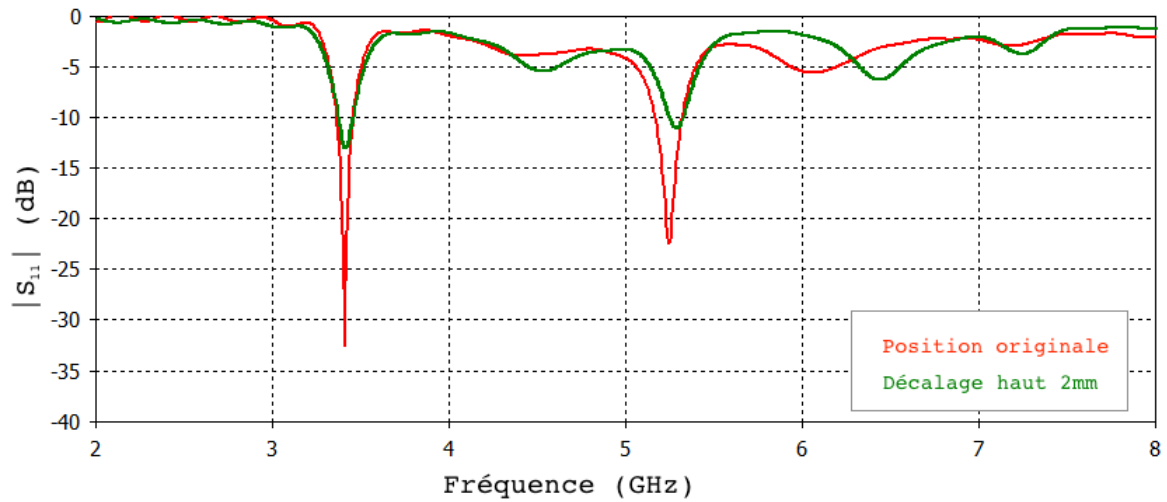


FIGURE 4.22 – Module du coefficient de réflexion pour les positions 2 et 3.

Comparaison de la position 2 avec la position 4 La figure 4.23 montre que la qualité de rejection est complètement perdue car cette position implique une grande intersection indésirable avec le courant de surface du pavé rayonnant .

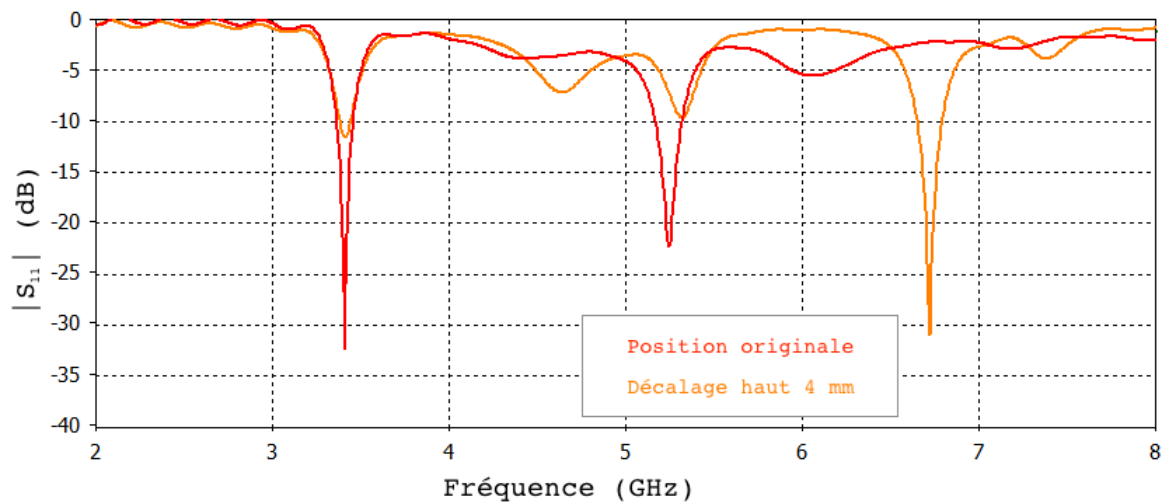


FIGURE 4.23 – Module du coefficient de réflexion pour les positions 2 et 4.

La combinaison de tous les résultats de simulation est donné dans la figure 4.24.

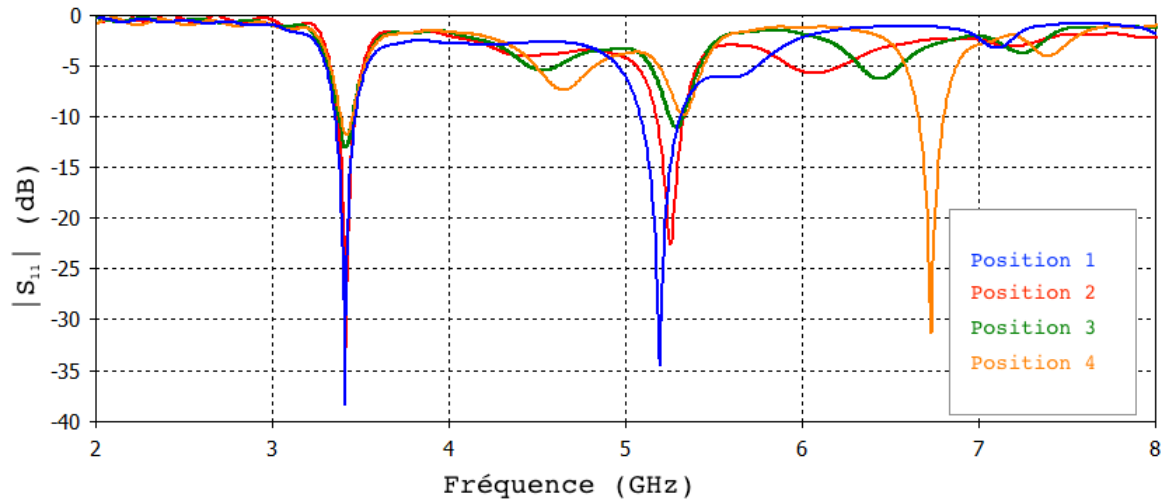


FIGURE 4.24 – variations fréquentielles du module du coefficient de réflexion S_{11} pour la simulation des différentes positions.

On remarque que le résultat le plus adapté au cahier de charge est celui de la position 1 car elle n'influe pas sur le courant résultant du pavé rayonnant. Néanmoins, on ne va pas l'utiliser pour des raisons pratiques. La soudure du connecteur SMA peut affecter le filtre DGS.

Le choix des dimensions du défaut de masse est justifié dans la section suivante.

Dimensionnement du défaut de masse

Le choix des dimensions (Fig 4.25) du défaut de masse est étudié pour être le plus efficace possible.

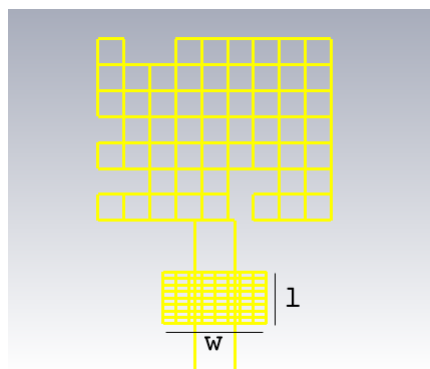


FIGURE 4.25 – Dimensions de DGS.

Pour cela, on doit choisir les dimensions du rectangle qui couvrent les endroits chauds

du courant surfacique. Selon la figure 4.26, un bon choix de la longueur l du rectangle sera 4 mm. On a une distribution uniforme du courant le long de la ligne d'alimentation. La largeur sera égale à la largeur de la zone de courant qui est égale à 8 mm à peu près.

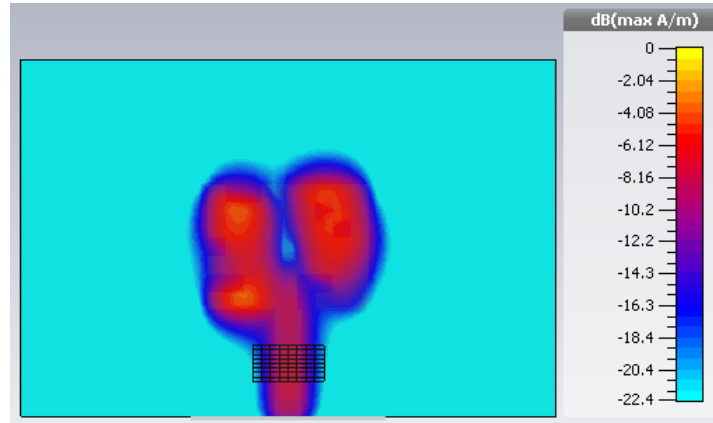


FIGURE 4.26 – Zone couverte de courant.

Premièrement, sa largeur w est choisie de telle sorte à couvrir toute la région chaude sur la masse. Cela permettra de maximiser la perturbation du courant à cette fréquence.

Deuxièmement, selon nos observations, une grande partie des travaux sur les antennes à défaut de masse comporte un défaut de masse ayant les dimensions suivantes

- Largeur = 2 fois la largeur de la ligne d'alimentation
- Longueur = la largeur de la ligne d'alimentation

Les dimensions des pixels sont choisies de façon à maximiser le nombre de combinaisons pareilles aux formes déjà étudiées par les chercheurs dans ce domaine.

Deux critères sont nécessaires pour ce choix

1. La possibilité de contenir les structures DGS connues dans la fenêtre des pixels. Par exemple, si on veut trouver un DGS de la forme U montrée sur la figure 1.8, il faut que la taille de la fenêtre soit supérieure à celle du U.
2. La probabilité de trouver des structures pareilles à ces derniers. En revenant sur l'exemple précédent du DGS en U, la taille optimale des pixels serait une largeur de pixel égale à la largeur du U et une longueur qui permettrait de maximiser les chances d'alignement des pixels. Un choix de petite taille augmente le nombre de pixels qu'il faut aligner pour avoir une forme connue tel que U ou H (fig 4.27), ce qui diminue la probabilité de trouver cette combinaison.

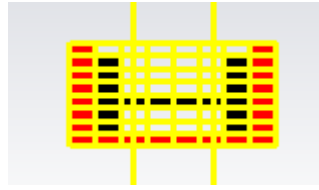


FIGURE 4.27 – Combinaison de pixels formant la lettre U.

La géométrie de la structure optimale est illustrée dans la figure 4.28.

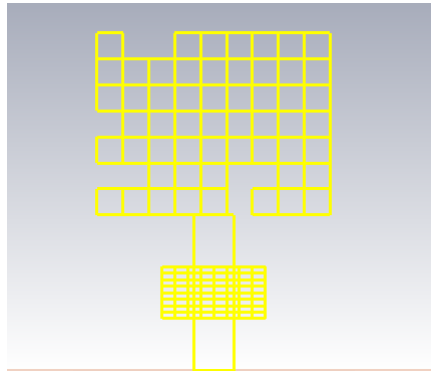


FIGURE 4.28 – Structure initiale.

Paramètres de l'algorithme génétique

Avant de mettre en œuvre l'optimisation, il est nécessaire de connaître les paramètres de l'algorithme génétiques influents sur les résultats.

La figure (4.29) représente la zone d'optimisation située sur le plan de masse. Elle est composée de 64 subdivisions où chaque subdivisions à des dimensions de (0.5x1) mm. Le patch et la ligne d'alimentation restent identiques à celles de la structure de départ (Fig 4.13).

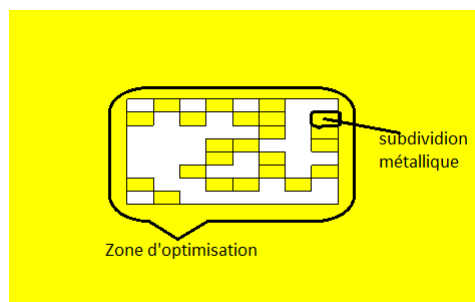


FIGURE 4.29 – Zone d'optimisation de l'antenne.

Le choix des dimensions d'une subdivision est un paramètre très important et son choix est partiellement expérimental. Pour les trouver, on a fait une variation des dimensions des pixels et nous avons choisi celles qui donnent les meilleurs résultats.

Dans notre cas, les meilleures dimensions sont (0.5x1) mm. Ces derniers sont obtenus après trois essais des différentes dimensions (1x1) mm, (0.5x2) mm et (0.5x1) mm. La simulation de l'algorithme génétique n'a donné les résultats souhaités qu'avec les dimensions (0.5x1) mm.

Les paramètres de l'algorithmes génétiques, discutés auparavant, sont choisis et résumés sur le tableau 4.3.

Taille de la population	30
Nombre de générations	40
Probabilité de croisement	1
Probabilité de présence des pixels	0.5
Probabilité de mutation	0.1
Longueur de filtre	4 mm
Largeur de filtre	8 mm
Dimensions de subdivision	(0.5x1) mm

TABLE 4.3 – Paramètres de l'algorithme génétique pour l'antenne multi bandes

Résultats de simulation

On a lancé la simulation de l'algorithme génétique dans le but de concevoir un filtre pour supprimer la fréquence 7.18 GHz avec une bande de 3.06 %. Le meilleur individu est obtenu à partir de la 23^{ème} génération, ce qui nécessite un temps de simulation de 40 (population) x 23 (génération) x 1.5 minutes (chaque individu) = 1380 minutes \approx 23 heures avec un ordinateur possédant un processeur i5 et 4 Go de RAM. La convergence vers la meilleure solution est atteinte en un temps relativement rapide par rapport aux méthodes conventionnelles.

La meilleure structure trouvée est représentée dans la figure 4.30.

La figure 4.31 illustre les variations fréquentielles du module du coefficient de réflexion

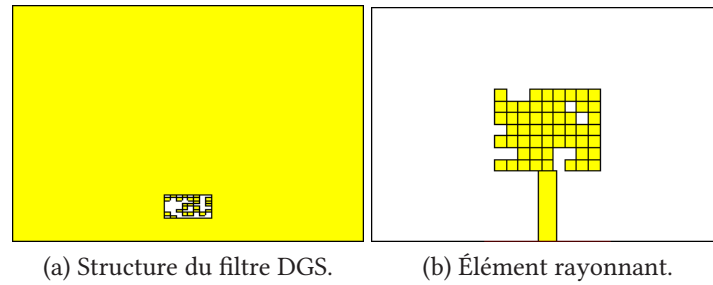


FIGURE 4.30 – Antenne multifréquence modifiée

S_{11} de l'antenne modifiée.

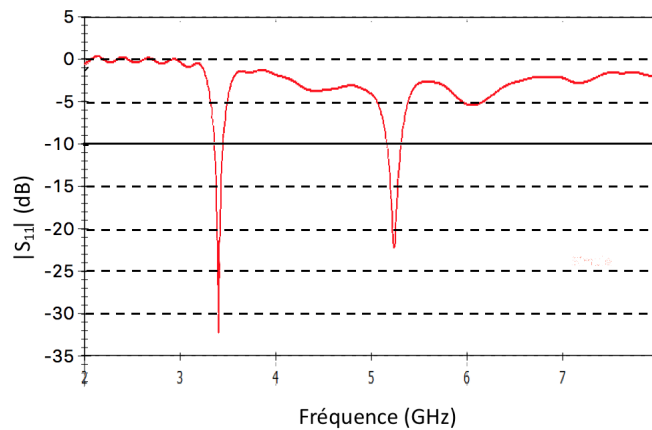


FIGURE 4.31 – Coefficient de réflexion de l'antenne à défaut de masse.

On observe que la fréquence indésirable a été complètement éliminée.

La figure 4.32 montre le module du coefficient de réflexion de l'antenne de base et l'antenne modifiée (avec DGS).

Nous constatons que l'antenne garde la même fréquence de travail, à savoir, 3.43GHz et présente une bonne adaptation de l'ordre de -32 dB avec sa ligne d'excitation. Cette bande de fréquence garde la même largeur mais avec un décalage négligeable de 0.5%.

Autour de la fréquence $f = 5.33GHz$, on constate un léger décalage mais qui n'a aucune influence car il reste dans la bande de fréquence désirée, à savoir, la deuxième bande WiMAX. Ce décalage est estimé à 1.5%.

Le résultat essentiel dû à l'introduction du filtre DGS est que la fréquence indésirable a été éliminée.

Ce filtre DGS a montré une très bonne qualité de rejection. Comme illustré dans la figure 4.32, on a une rejection de $-18dB$ à $-3dB$.

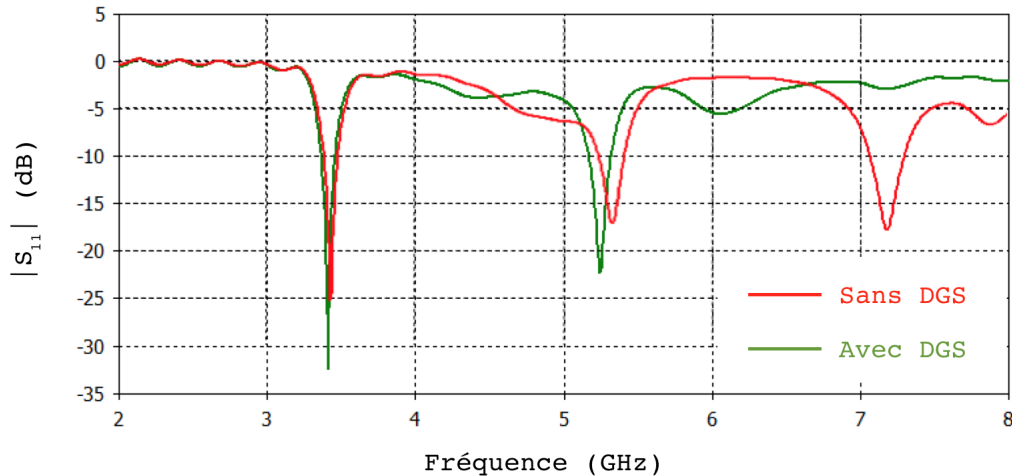


FIGURE 4.32 – Comparaison entre le module du coefficient de réflexion avec et sans DGS.

Diagramme de rayonnement

Les diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires en chaque fréquence de l'antenne avec DGS.

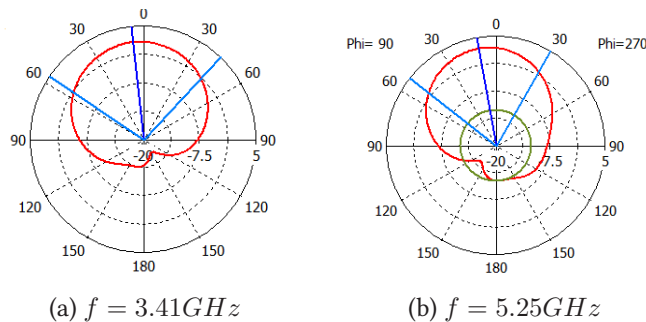


FIGURE 4.33 – Diagramme du gain de l'antenne avec DGS.

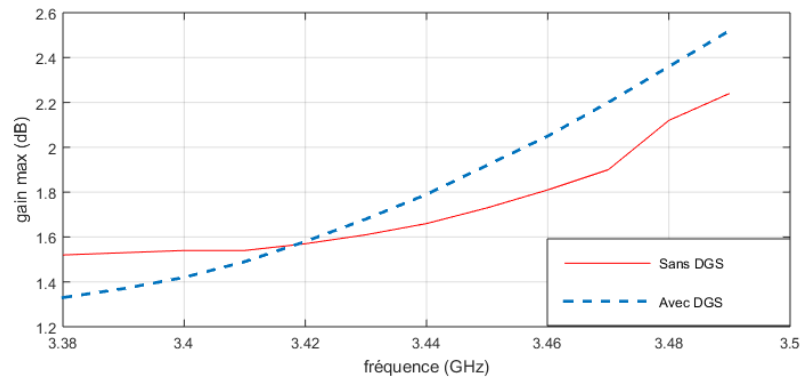
Pour la fréquence de 3.41GHz , le gain maximal est de 1.49dB . La direction du lobe principal est 6.0° avec une ouverture à -3dB de 99.6° .

Pour la fréquence de 5.25GHz , le gain maximal est de 3.27dB . La direction du lobe principal est 10.0° avec une ouverture à -3dB de 81.7° .

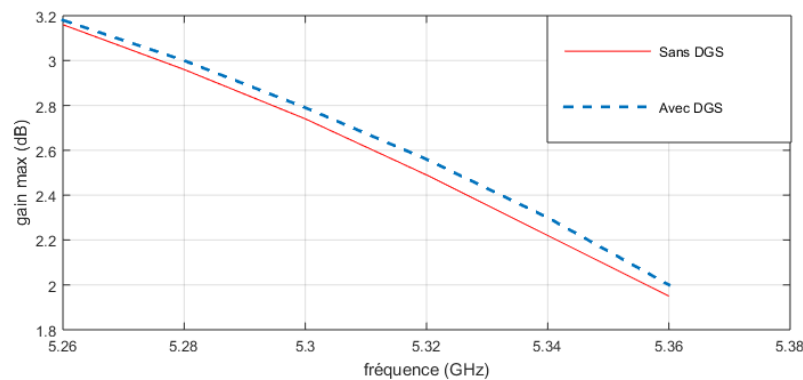
On observe une légère diminution du gain dans la fréquence 3.41GHz . La direction et la largeur du lobe principal restent pratiquement inchangées.

Pour la fréquence 5.25GHz observe une augmentation du gain de 2.43dB à 3.29dB . La direction du lobe principal a changé de 12° à 10° donc un changement de 2° négligeable devant la largeur du lobe principal.

La figure 4.34 représente le gain en fonction de la fréquence dans les deux bandes.



(a) Première bande.



(b) Deuxième bande.

FIGURE 4.34 – Evolution de gain en fonction de la fréquence dans les deux bandes.

Résultats expérimentaux

Afin de valider notre travail, nous avons réalisé l'antenne dans sa forme optimale. La figure 4.35 montre la réalisation.

La figure 4.36 représente la comparaison entre les résultats de simulation et ceux de la mesure du module du coefficient de réflexion de l'antenne avec DGS. Les mesures sont obtenues à l'aide d'un analyseur de réseau.

Les résultats de mesure corroborent bien ceux que nous avons obtenus par simulation. Ceci met en évidence la validité et la bonne précision de la méthode des algorithmes génétiques que l'on a adoptée.

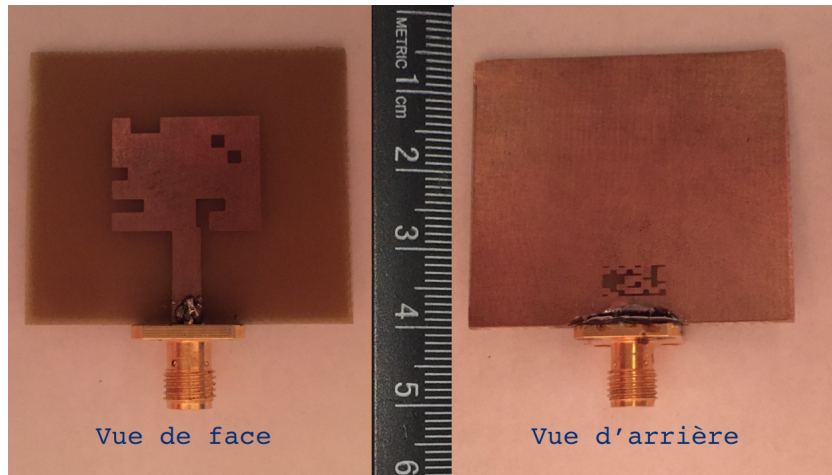


FIGURE 4.35 – Forme finale de l'antenne.

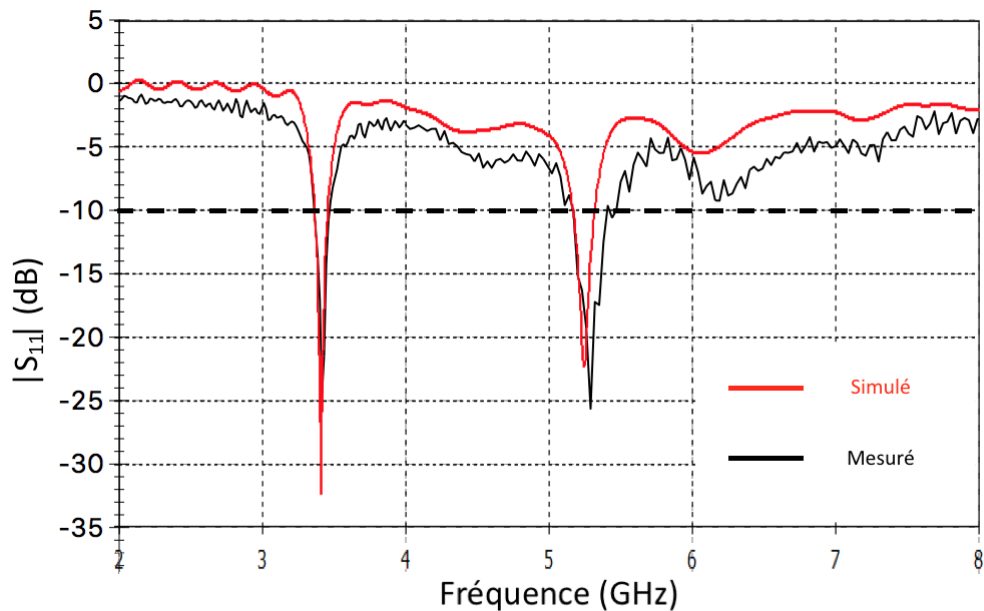


FIGURE 4.36 – Résultats de simulation en comparaison avec les résultats expérimentaux.

4.5 Conclusion

Nous avons montré l'efficacité des algorithmes génétiques pour concevoir des différents filtres à défaut de masse d'une manière optimale et rapide. Ce nouveau type de filtres a montré une bonne qualité de rejection, il a éliminé efficacement les fréquences indésirables pour les antennes ultra-large bandes et multi-bandes.

On peut conclure que les algorithmes génétiques sont très bien adaptés à l'optimisation des filtres à défaut de masse pour différents types d'antennes.

Conclusion générale et perspectives

Ce mémoire a été principalement dédié à la conception et l'optimisation d'un filtre à défaut de masse pour des antennes multi-bandes et ultralarges bandes en utilisant les algorithmes génétiques. Ce filtre a fonctionné efficacement pour les deux antennes, et il correspond bien à nos critères.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté des généralités sur les antennes imprimées, les techniques d'alimentation et aussi bien les méthodes d'analyses. Ensuite, on a fait une petite introduction sur les antenne multi-bandes et ultralarge bande, et on a terminé par une description générale sur les filtres à défaut de masse.

Dans le deuxième chapitre, on a démontré la méthode numérique utilisée par le logiciel CST pour faire la simulation ainsi que le calcul nécessaire effectué par le solveur. Puis, on a donné un exemple d'utilisation appliqué au cas d'une antenne patch rectangulaire. Finalement, on a expliqué la structure de l'interface graphique et ses différentes fonctionnalités.

Le troisième chapitre a été consacré aux définitions sur les méthodes utilisées pour la résolution d'un problème d'optimisation. Nous les avons regroupées en deux grandes familles : les méthodes déterministes, adaptées aux problèmes locaux, et les méthodes stochastiques, adaptées aux problèmes globaux. Nous avons aussi présenté par la suite les algorithmes génétiques et ses relations avec l'optimisation des filtres DGS, ensuite on a donné un exemple d'un algorithme génétique programmé en VBA pour concevoir une antenne imprimée sous le logiciel CST.

Finalement, notre contribution est présentée dans le quatrième chapitre. Il a été consacré à l'optimisation d'un filtre DGS pour une antenne multi-bande et une autre large-bande. Pour cela, nous avons développé notre propre code d'optimisation qu'on a couplé avec le logiciel CST. Nous nous sommes attachés à optimiser deux filtres DGS permettant la suppression des fréquences indésirables avec une bonne qualité de réjection. Cette nouvelle

méthode est très efficace par rapport à la méthode classique, que se soit en terme de qualité ou en terme de rapidité de convergence vers la meilleure solution. Ce travail a été validé par une réalisation de l'antenne multi-bande modifiée. Les comparaisons entre les résultats de la simulation et de l'expérimentation confirment bien la performance et l'efficacité de la méthode des algorithmes génétiques que l'on a adoptée.

Plusieurs perspectives sont offertes par ce travail :

- L'utilisation de l'optimisation des antennes imprimées par l'algorithme génétique afin d'orienter le diagramme de rayonnement vers des directions privilégiées.
- L'utilisation de l'optimisation des réseaux antennes imprimées par algorithme génétique pour augmenter leur gain au maximum.

Deuxième partie

Annexe

Annexe A : Code développé et implémenté sous CST pour l'antenne multibandes

Le code original contient 1122 lignes, nous présentons ci-dessous quelques lignes de programmation qui représentent les parties essentielles de ce code.

```
Sub Main()  
  
    Dim studio As Object  
    Set studio = CreateObject("CSTStudio.Application")  
  
    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' set units to mm, ghz,ns  
With Units  
    .Geometry "mm"  
    .Frequency "ghz"  
    .Time "ns"  
End With  
  
    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' set boundary conditions to open  
With Boundary  
    .Xmin "expanded open"  
    .Xmax "expanded open"  
    .Ymin "expanded open"  
    .Ymax "expanded open"  
    .Zmin "expanded open"  
    .Zmax "expanded open"  
    .Xsymmetry "none"  
    .Ysymmetry "none"  
    .Zsymmetry "none"  
End With
```

.....

```
    Material.reset  
    Material.Epsilon 4.4  
    Material.TanDGiven True  
    Material.TanD 0.019  
    Material.name "SUBS"  
    Material.create  
,=====  
k=0  
Nom = "SUBSTR"  
Brick.Reset  
Brick.Name Nom  
Brick.Xrange -W/2,W/2  
Brick.Yrange 0, Ls  
Brick.Zrange Mt, Mt+1.6  
Brick.Layer "SUBS"  
Brick.Create
```



```

Brick.Reset
Brick.Name "FED"
Brick.Xrange - Wi/2 , Wi/2
Brick.Yrange 0, Li
Brick.Zrange Mt+1.6, 2*Mt+1.6
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create

' ===== Patch
For j= 1 To 7 STEP 1
  For i=1 To 9 STEP 1
    If ((i=6) And (j=1) Or (i=6) And (j=2) Or (i=7) And (j=2) Or (i=2) And (j=2) Or (i
      =1) And (j=2) Or (i=1) And (j=4) Or (i=2) And (j=7) Or (i=3) And (j=7) Or (i=7)
      And (j=6) Or (i=8) And (j=5)) Then

    Else
      Nom = "Pixel" &i & "." & j
      Brick.Reset
      Brick.Name Nom
      Brick.Xrange -9 + d*(i-1), -9 + d*i
      Brick.Yrange d*(j-1)+Li, d*j+Li
      Brick.Zrange 1.6+Mt, 2*Mt+1.6
      Brick.Layer "PEC"
      Brick.Create

    End If
  Next
Next

' ===== Plan de masse sauf matrice de masse
Brick.Reset
Brick.Name "P1"
Brick.Xrange - W/2 , W/2
Brick.Yrange 0, Li/3
Brick.Zrange 0, Mt
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create

Brick.Reset
Brick.Name "P2"
Brick.Xrange - W/2 , W/2
Brick.Yrange 2*Li/3, Ls
Brick.Zrange 0, Mt
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create

Brick.Reset
Brick.Name "P3"
Brick.Xrange -W/2 , -Li/3
Brick.Yrange Li/3, 2*Li/3
Brick.Zrange 0, Mt
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create

Brick.Reset
Brick.Name "P4"
Brick.Xrange Li/3 , W/2
Brick.Yrange Li/3, 2*Li/3
Brick.Zrange 0,Mt
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create

' ===== pixels au plan de masse
For j= 1 To m STEP 1
  For i=1 To n STEP 1
    k=k+1
    If Rnd<0.5 Then

```

```

        p(k)=1
        Nom = "GND" & i & "." & j
        Brick.Reset
        Brick.Name Nom
        Brick.Xrange -Li/3 + a*(i-1), -Li/3 + a*i
        Brick.Yrange Li/3 + a*(j-1)/2, Li/3 + a*j/2
        Brick.Zrange 0, Mt
        Brick.Layer "PEC"
        Brick.Create
    Else
        p(k)=0
    End If
Next
Next
Next

'=====
',,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,          Creation du port
'@ pick face
Pick.PickFaceFromId "PEC:FED", "3"
'@ define port: 1
With Port
    .Reset
    .PortNumber "1"
    .Label ""
    .NumberOfModes "1"
    .AdjustPolarization "False"
    .PolarizationAngle "0.0"
    .ReferencePlaneDistance "0"
    .TextSize "50"
    .Coordinates "Picks"
    .Orientation "positive"
    .PortOnBound "True"
    .ClipPickedPortToBound "False"
    .Xrange -Li/2, Li/2
    .Yrange 0, 0
    .Zrange "1.63", "1.66"
    .XrangeAdd "3*Wi", "3*Wi"
    .YrangeAdd "0.0", "0.0"
    .ZrangeAdd "1.6+0.03", "4*1.6"
    .SingleEnded "False"
    .Create
End With
',,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, solver
With Solver
    .PBFillLimit (99)
    .UseSplitComponents (True)
    .TimeBetweenUpdates (20)
    .SParaAdjustment (True)
    .SPara ("1, 1")
    .FrequencyRange ( 2, 8 )
    .AutoNormImpedance (False)
    .NormingImpedance (50.0)
    .MeshAdaption (False)
    .UseDistributedComputing (False)
    .StoreIDResultsInCache (False)
    .ConsiderTwoPortReciprocity (True)
    .EnergyBalanceLimit (0.03)
    .TimeStepStabilityFactor (1.0)
    .AutomaticTimeSignalSampling (True)
    .SParaAdjustment (True)
    .CalculateModesOnly (False)
    .StimulationMode (1)
    .SetBBPSamples (5)
    .WaveguideBroadband (False)
    .UseOpenBoundaryForHigherModes (False)
    .SetModeFreqFactor (0.5)
    .FullDeembedding (False)
    .SetSamplesFullDeembedding (20)

```

```

.AdaptivePortMeshing (True)
.AccuracyAdaptivePortMeshing (1)
.PassesAdaptivePortMeshing (3)
.NumberOfPulseWidths (20)
.SteadyStateLimit ("-40")
.UseArfilter (False)
.ArMaxEnergyDeviation (0.1)
.ArPulseSkip (1)
.SetTimeWindow ("Rectangular", 100, False)
.SurfaceImpedanceOrder (10)
.TimestepReduction (0.45)
.UseTStatPort (True)
.SetSubcycleState ("Automatic")
.NumberOfSubcycles (4)
.SubcycleFillLimit (70)
.EnableSubgridding (False)
.SetSubgridCycleState ("Automatic")
.SimplifiedPBAMethod (False)
.SetSimultaneousExcitAutoLabel (True)
.SetSimultaneousExcitationOffset ("Phaseshift")
'.AlwaysExcludePec (False)
.RestartAfterInstabilityAbort (True)
.HardwareAcceleration (False)
.MPIParallelization (False)
.SetPMLType ("ConvPML")
.start      'l'instruction qui monque
End With
'T-solver
With SolverParameter
.SolverType "Transient solver", "Hexahedral"
.IgnoreLossyMetals "False"
.IgnoreLossyDielectrics "False"
.IgnoreLossyMetalsForWires "False"
.UseThinWireModel "False"
.UseZeroWireRadius "False"
End With

Set s11 = Result1D("d1(1)1(1)")' S11 in dB
, min   = s11.GetY(s11.GetGlobalMinimum())

```

Annexe B : Code développé et implémenté sous CST pour l'antenne ultra large-bande

Le code original contient 1122 lignes, nous présentons ci-dessous quelques lignes de programmation qui représentent les parties essentielles de ce code.

```

Option Explicit

Sub Main()

    Dim studio As Object
    Set studio = CreateObject("CSTStudio.Application")

    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' set units to mm, ghz,ns
With Units
    .Geometry "mm"
    .Frequency "ghz"
    .Time "ns"
End With

    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' set boundary conditions to open
With Boundary
    .Xmin "expanded open"
    .Xmax "expanded open"
    .Ymin "expanded open"
    .Ymax "expanded open"
    .Zmin "expanded open"
    .Zmax "expanded open"
    .Xsymmetry "none"
    .Ysymmetry "none"
    .Zsymmetry "none"
End With

```

```

.....

    Material.reset
    Material.Epsilon 2.5
    Material.TanDGiven True
    Material.TanD 0.002
    Material.name "SUBS"
    Material.create
    '=====
    k=0
    Nom = "SUBSTR"
    Brick.Reset
    Brick.Name Nom
    Brick.Xrange -W/2,W/2
    Brick.Yrange 0, L
    Brick.Zrange Mt, Mt+1.6
    Brick.Layer "SUBS"
    Brick.Create

```

```

Brick.Reset
Brick.Name "FED"
Brick.Xrange - W/2 , W/2
Brick.Yrange 0, Li
Brick.Zrange Mt+1.6, 2*Mt+1.6
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create

' ===== Patch
For j= 1 To 10 STEP 1
  For i=1 To 10 STEP 1
    If ((i=1) And (j=1) Or (i=3) And (j=3) Or (i=3) And (j=9) Or (i=3) And (j=10) Or (i
      =4) And (j=4) Or (i=4) And (j=6) Or (i=7) And (j=2) Or (i=7) And (j=4) Or (i=7)
      And (j=5) Or (i=7) And (j=6) Or (i=7) And (j=9) Or (i=8) And (j=2) Or (i=9) And
      (j=1) Or (i=9) And (j=8) Or (i=9) And (j=9) Or (i=10) And (j=1) Or (i=10) And (j
      =3) Or (i=10) And (j=10)) Then

    Else
      Nom = "Pixel" &i & "." & j
      Brick.Reset
      Brick.Name Nom
      Brick.Xrange -9 + d*(i-1), -9 + d*i
      Brick.Yrange d*(j-1)+Li, d*j+Li
      Brick.Zrange 1.6+Mt, 2*Mt+1.6
      Brick.Layer "PEC"
      Brick.Create

    End If
  Next
Next
Next

' ===== Plan de masse sauf matrice de masse
Brick.Reset
Brick.Name "P1"
Brick.Xrange - W/2 , W/2
Brick.Yrange 0, Li - 0.5 - 4
Brick.Zrange 0, Mt
Brick.Layer "PEC"
Brick.Create

' ===== pixels au plan de masse
For j= 1 To m STEP 1
  For i=1 To n STEP 1
    k=k+1
    If Rnd<0.8 Then
      p(k)=1
      Nom = "GND" & i & "." & j
      Brick.Reset
      Brick.Name Nom
      Brick.Xrange -W/2 + a*(i-1), -W/2 + a*i
      Brick.Yrange Li - 4.5 + a*(j-1)/8, Li - 4.5 + a*j/8
      Brick.Zrange 0, Mt
      Brick.Layer "PEC"
      Brick.Create
    Else
      p(k)=0
    End If
  Next
Next
Next

' =====
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
Creation du port

```

```

`@ pick face
Pick.PickFaceFromId "PEC:FED", "3"
`@ define port: 1
With Port
  .Reset
  .PortNumber "1"
  .Label ""
  .NumberOfModes "1"
  .AdjustPolarization "False"
  .PolarizationAngle "0.0"
  .ReferencePlaneDistance "0"
  .TextSize "50"
  .Coordinates "Picks"
  .Orientation "positive"
  .PortOnBound "True"
  .ClipPickedPortToBound "False"
  .Xrange n*d/2-Wi/2, n*d+Wi/2
  .Yrange -Li, -Li
  .Zrange "1.63", "1.66"
  .XrangeAdd "3*WF", "3*WF"
  .YrangeAdd "0.0", "0.0"
  .ZrangeAdd "1.63", "4*1.6"
  .SingleEnded "False"
  .Create
End With
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, solver
With Solver
  .PBFillLimit (99)
  .UseSplitComponents (True)
  .TimeBetweenUpdates (20)
  .SParaAdjustment (True)
  .SPara ("1, 1")
  .FrequencyRange ( 2, 13 )
  .AutoNormImpedance (False)
  .NormingImpedance (50.0)
  .MeshAdaption (False)
  .UseDistributedComputing (False)
  .StoreIDResultsInCache (False)
  .ConsiderTwoPortReciprocity (True)
  .EnergyBalanceLimit (0.03)
  .TimeStepStabilityFactor (1.0)
  .AutomaticTimeSignalSampling (True)
  .SParaAdjustment (True)
  .CalculateModesOnly (False)
  .StimulationMode (1)
  .SetBBPSamples (5)
  .WaveguideBroadband (False)
  .UseOpenBoundaryForHigherModes (False)
  .SetModeFreqFactor (0.5)
  .FullDeembedding (False)
  .SetSamplesFullDeembedding (20)
  .AdaptivePortMeshing (True)
  .AccuracyAdaptivePortMeshing (1)
  .PassesAdaptivePortMeshing (3)
  .NumberOfPulseWidths (20)
  .SteadyStateLimit ("-40")
  .UseArfilter (False)
  .ArMaxEnergyDeviation (0.1)
  .ArPulseSkip (1)
  .SetTimeWindow ("Rectangular", 100, False)
  .SurfaceImpedanceOrder (10)
  .TimestepReduction (0.45)
  .UseTSTAtPort (True)
  .SetSubcycleState ("Automatic")
  .NumberOfSubcycles (4)
  .SubcycleFillLimit (70)
  .EnableSubgridding (False)
  .SetSubgridCycleState ("Automatic")
  .SimplifiedPBAMethod (False)
  .SetSimultaneousExcitAutoLabel (True)

```

```

        .SetSimultaneousExcitationOffset ("Phaseshift")
        ' .AlwaysExcludePec (False)
        .RestartAfterInstabilityAbort (True)
        .HardwareAcceleration (False)
        .MPIParallelization (False)
        .SetPMLType ("ConvPML")
        .start
    End With
    'T-solver
    With SolverParameter
        .SolverType "Transient solver", "Hexahedral"
        .IgnoreLossyMetals "False"
        .IgnoreLossyDielectrics "False"
        .IgnoreLossyMetalsForWires "False"
        .UseThinWireModel "False"
        .UseZeroWireRadius "False"
    End With
Stop

    Set s11 = Result1D("d1(1)1(1)")' S11 in dB
    , min = s11.GetY(s11.GetGlobalMinimum())

```

Bibliographie

- [1] Constantine A. Balanis. *Antenna Theory : Analysis and Design*. Wiley-Interscience, 2005.
- [2] Heba Badr El Din Badr El-Din El-Shaarawi. *Structures électromagnétiques à bandes interdites pour des applications de filtre*. Theses, Université Paul Sabatier - Toulouse III, December 2009.
- [3] Debatosh Guha, Sujoy Biswas, and Yahia M. M. Antar. *Defected Ground Structure for Microstrip Antennas*, pages 387–434. John Wiley and Sons, Ltd, 2010.
- [4] Jorge R. Costa and Jerzy Guterman. *Introduction to antenna and near-field simulation in CST Microwave Studio® software*. IEEE Communications Society Portugal Chapter, 2010.
- [5] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon. *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House, 2001.
- [6] R. AKSAS. *Antennes - Théorie et Applications*. Ellipses, 1980.
- [7] J. R. James. *Microstrip Antenna Theory and Design*. Electromagnetic Waves. Institution of Engineering and Technology, 1981.
- [8] K.Abdelouahab. Etude et conception d’une antenne microruban rectangulaire adaptée par ligne quart d’onde. Master’s thesis, Ecole Nationale Polytechnique, 2015.
- [9] Jamal Muhiyadin Sh-Ali. *Performance of defected ground structure for rectangular microstrip patch antenna*. PhD thesis, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 2015.
- [10] Debatosh Guha, Sujoy Biswas, and Chandrakanta Kumar. Printed antenna designs using defected ground structures : a review of fundamentals and state-of-the-art developments. In *Forum for Electromagnetic Research Methods and Application Technologies (FERMAT)*, volume 2, pages 1–13, 2014.
- [11] K. Fertas. Contribution à l’optimisation de la synthèse des antennes microstrips par les algorithmes génétiques. Master’s thesis, Ecole Militaire Polytechnique, 2014.