

IUT DE COLMAR

R403 – PHYSIQUE DES TÉLÉCOMS

ANNÉE 2022-23

Etat de l'art et fabrication d'un antenne YAGI

MARTIN BAUMGAERTNER

26 juin 2023

Table des matières

1	Introduction	2
1.1	Définition	2
1.2	Présentation	3
2	Caractéristiques et propriétés des antennes Yagi	3
2.1	Fréquences et largeur de bande	3
2.2	Gain et directivité	4
3	État de l'art des antennes Yagi	6
3.1	Fonctionnement	6
3.2	Avantages et limitations	7
3.3	Une antenne en constante évolution	7
4	Fabrication d'une antenne YAGI	8
4.1	Logiciels de conception et de simulation	8
4.2	Formules et équations utiles pour le dimensionnement	8
4.3	Outils et matériaux nécessaires	10
4.4	Fabrication de l'antenne	10
4.4.1	Le boom	10
4.4.2	Les éléments	10
4.4.3	L'épingle	10
4.4.4	Le montage	11
4.5	Exemples de projets de fabrication d'antennes Yagi	12
5	Conclusion	13

Table des figures

1	Schéma d'une antenne Yagi [1]	2
2	Le dipôle vu de face [1]	2
3	Gain en fonction du nombre d'éléments	4
4	Corrélation entre le nombre d'éléments, gain et longueur du boom [2]	5
5	Diagramme 3D de propagation des ondes [3]	6
6	Calcul des dimensions de l'antenne	9
7	Schéma de l'antenne Yagi selon Hugues F4GSN	9
8	Epingle sur le dipôle [4]	11
9	Antenne Yagi 3 éléments [4]	11
10	Antenne Yagi 4 éléments [5]	12
11	Antenne Yagi Wi-Fi [6]	12

1 Introduction

1.1 Définition

L'antenne Yagi est un type d'antenne directive utilisée pour la réception et la transmission de signaux radio. Elle se compose de trois principaux éléments. Un réflecteur, placé à l'opposé du sens de propagation, au milieu, un dipôle, puis un directeur qui lui permet d'orienter le signal.

Voici un schéma représentatif d'une antenne Yagi :

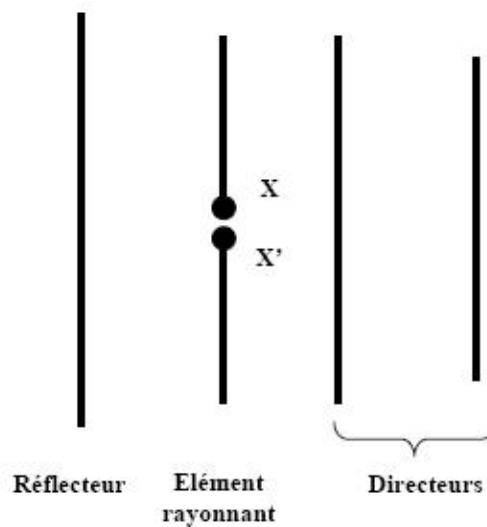


FIGURE 1 – Schéma d'une antenne Yagi [1]

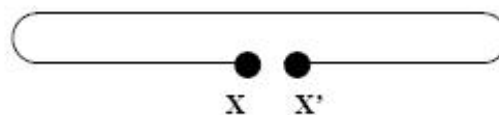


FIGURE 2 – Le dipôle vu de face [1]

Le dipôle peut être aussi appelé "trombone" en raison de sa forme. Il est composé de deux éléments de même longueur. La longueur du dipôle est liée à la fréquence du signal que l'on souhaite recevoir/émettre. En effet, la longueur du dipôle doit être égale au quart de la longueur d'onde pour l'antenne Yagi la plus facile à réaliser : la quart d'onde.

1.2 Présentation

L'antenne Yagi, également connue sous le nom de "rateau", tire son nom de l'ingénieur japonais Shintaro Uda de l'université Tohoku à Sendai, qui l'a développée en collaboration avec son professeur Hidetsugu Yagi. En 1924, Uda conçut cette antenne directive, et la première publication sur sa découverte eut lieu en 1926 en japonais, puis en 1928 en anglais dans la revue scientifique "The Proceedings of the Institute of Radio Engineers" aux États-Unis. À partir de 1934, les radioamateurs ont commencé à expérimenter cette antenne.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, l'antenne Yagi a été largement utilisée pour les radars. Toutefois, c'est dans les années 1950, avec le développement de la télévision, qu'elle s'est répandue massivement sur les toits des habitations. Elle est devenue populaire sous le nom commun de "rateau", en raison de sa ressemblance.

Ainsi, l'antenne Yagi, de par son origine au Japon et son utilisation répandue pendant la guerre et l'ère de la télévision, a joué un rôle significatif dans l'histoire des communications et continue d'être utilisée de nos jours.

De nos jours les antennes Yagi sont principalement utilisées pour la réception de signaux de télévision terrestre, pour la réception de signaux radioamateurs et de téléphonie mobile. Ou bien même encore pour l'utilisation de Wi-Fi, bien installée, l'antenne permet de couvrir une bien plus grande surface qu'un petit modem.

2 Caractéristiques et propriétés des antennes Yagi

2.1 Fréquences et largeur de bande

La largeur de bande des antennes Yagi est relative à l'utilisation que l'on en fait. En effet, la largeur de bande pour un réseau Wi-Fi sera bien plus grande que celle d'une antenne de télévision. Voici quelques exemples de largeur de bande pour différentes utilisations :

- Télévision numérique : 470-862 MHz
- Réseaux Wi-Fi : 2,4-5,8 GHz
- Radioamateur : varie en fonction des bandes de fréquences souhaitées (HF, VHF, UHF)

2.2 Gain et directivité

Le gain d'une antenne varie en fonction du nombre d'éléments qui la compose. En effet, plus il y a d'éléments, plus le gain est important mais arrivé à un certain point, le gain ne varie plus. Comme nous pouvons le voir ci-dessous, arrivé aux alentours de 20 éléments on se rend compte que le gain commence à stagner tout doucement. Il faut savoir adapter le nombre d'éléments en fonction de ses besoins car cela va venir jouer sur la directivité du signal. Plus il y a d'éléments directeurs plus on va venir concentrer l'énergie émise et donc, nous serons plus précis, et donc la fréquence choisie peut être plus précise. À contrario la largeur de bande sera donc réduite.

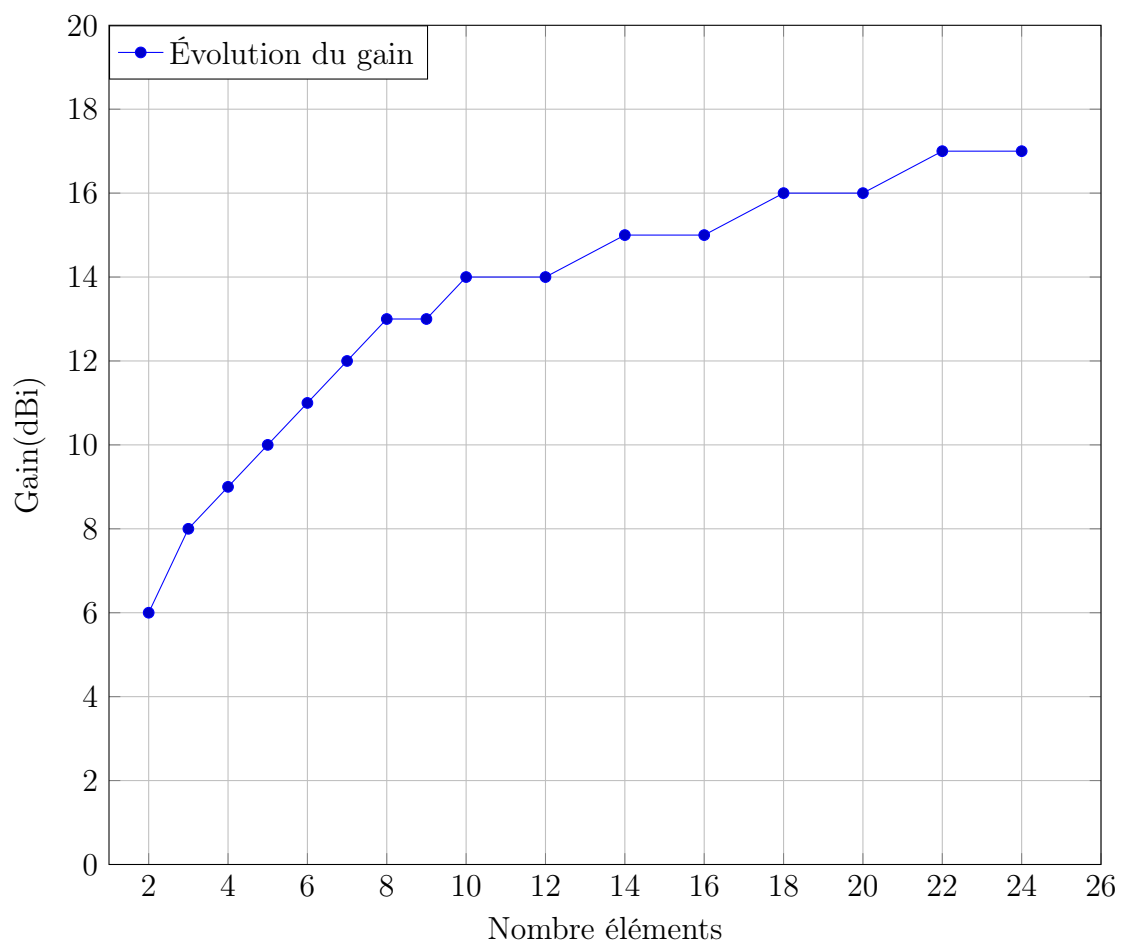


FIGURE 3 – Gain en fonction du nombre d'éléments

Le nombre d'éléments et le gain est directement corrélié à la longueur totale du boom. Ce dernier représente la partie centrale de l'antenne, c'est sur cette partie que l'on va venir fixer tous les éléments de l'antenne Yagi perpendiculairement au boom.

Sur le tableau qui suit nous pouvons nous rendre compte de la liaison direct entre le nombre d'éléments et la longueur du boom.

Nombre d'éléments	Longueur du boom	Gain
3	0,4 λ	6 dBi
4	0,7 λ	8 dBi
5	1,1 λ	9 dBi
6	1,4 λ	10 dBi
7	1,8 λ	11 dBi
8	2,1 λ	12 dBi
9	2,5 λ	13 dBi
10	2,8 λ	13 dBi
12	3,2 λ	14 dBi
14	3,9 λ	14 dBi
16	4,6 λ	15 dBi
18	5,3 λ	15 dBi
20	6 λ	16 dBi
22	6,7 λ	16 dBi
24	7,4 λ	17 dBi

FIGURE 4 – Corrélation entre le nombre d'éléments, gain et longueur du boom [2]

3 État de l'art des antennes Yagi

3.1 Fonctionnement

L'antenne Yagi est une antenne directive utilisée pour la réception de signaux radio et les communications sans fil. Elle est constituée d'un dipôle, d'un réflecteur et de directeurs. Les ondes radio sont propagées par le dipôle. En avant du dipôle, les directeurs concentrent l'énergie dans la direction désirée, créant ainsi le lobe principal de rayonnement. Le réflecteur à l'arrière du dipôle réduit la directivité de l'antenne en réfléchissant les ondes émises. Pour garantir une performance optimale, les dimensions des éléments sont soigneusement calculées en fonction de la fréquence voulu. En combinant ces composants et leur positionnement de manière approprié, l'antenne Yagi peut concentrer l'énergie rayonnée dans une direction spécifique, ce qui permet un gain élevé et une réception et une transmission améliorées dans cette direction.

Voici le diagramme 3D de propagation des ondes d'une antenne Yagi, on peut voir que les ondes sont concentrées dans une direction précise.

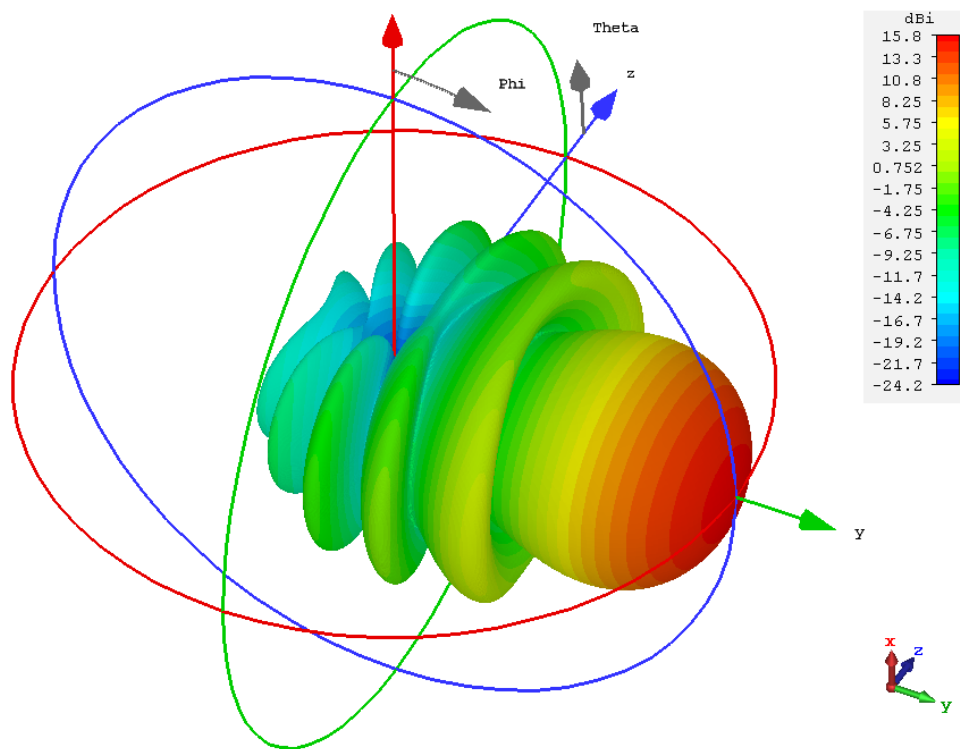


FIGURE 5 – Diagramme 3D de propagation des ondes [3]

3.2 Avantages et limitations

Les avantages d'une antenne Yagi sont nombreux. Sa directivité permet de concentrer l'énergie dans une direction précise, et donc, une communication sélective. Sa directivité permet également d'avoir un gain plus élevé que les antennes omnidirectionnelles. De plus, les antennes Yagi sont facilement concevables comme nous le verrons dans une partie après, ce qui la rend donc réalisable par les radio-amateurs.

Bien que l'antenne Yagi possède de nombreux avantages, ces derniers peuvent se transformer en inconvénients. En effet, la directivité de l'antenne lui permet de concentrer l'énergie dans une direction précise, mais cela implique que l'antenne doit être orientée dans la direction voulue. De plus, la directivité de l'antenne implique que la communication ne peut se faire que dans une direction précise, ce qui peut être un inconvénient dans certains cas. Dans le cas où nous voudrions fabriquer une antenne Yagi, il faut être précis et rigoureux dans les calculs, car la moindre erreur peut avoir un impact. Enfin, une antenne Yagi maison sera limitée à donc une largeur de bande, il faudra donc construire plusieurs antennes si l'on souhaite communiquer sur plusieurs fréquences.

3.3 Une antenne en constante évolution

L'antenne Yagi est en constante évolution, elle reste une des plus utilisées dans le monde et est améliorée de jour en jour. En effet, de nombreux domaines en ont besoin et est donc améliorée en fonction des usages requis.

De nos jours plusieurs méthodes de simulation sont utilisées pour améliorer les antennes Yagi à moindre coût. La méthode des éléments finis est la plus utilisée car elle permet de simuler le comportement de l'antenne en fonction d'une multitude de paramètres. Cette méthode "permet de vérifier l'adéquation de produits numériquement avant même leur construction[...]" [7]. Cette méthode est particulièrement adaptée pour résoudre des problèmes complexes avec des matériaux hétérogènes.

Les matériaux utilisés sont eux aussi en constante évolution. Désormais, de plus en plus d'aluminium est préconisé pour offrir une meilleure résistance aux intempéries et offre un gain de poids non négligeable.

Pour finir, les antennes Yagi sont devenues polyvalentes. En effet, celles que l'on retrouve dans le commerce sont désormais multi-bandes. Cela permet de couvrir plusieurs fréquences avec une seule antenne. L'ajout de commutateurs d'alimentation permet de choisir la fréquence que l'on souhaite utiliser.

4 Fabrication d'une antenne YAGI

Réaliser une antenne Yagi est tout à fait possible, chez soit, en utilisant des matériaux de tous les jours. Nous allons voir ci-après les étapes à suivre pour fabriquer une antenne Yagi maison que l'on pourrait utiliser pour la recherche de balise. Sa fréquence de réception sera de 121Mhz, et son coût une trentaine d'euros. Notre antenne sera constituée de 3 éléments, un dipôle, un réflecteur et un directeur. Pour concevoir cette antenne je me suis inspiré et aidé de l'internaute **Hugues F4GSN** de la page **Radioamateurs du Haut-Rhin** [4].

4.1 Logiciels de conception et de simulation

Il existe de nombreux logiciels de conception et de simulation d'antennes Yagi. Pour essayer notre projet et le valider avant de l'essayer nous pouvons utiliser **4NEC2** qui est gratuit et nécessite windows. Vu la simplicité de notre antenne, nous n'avons pas besoin d'utiliser de logiciel de simulation.

J'utiliserai cependant un calculateur en ligne **Yagi Calculator** qui permet de me donner la longueur du boom, du directeurs et de tous les autres éléments de mon antenne. Grâce à ce calculateur, je pourrai vérifier mes calculs comme nous le verrons ci-après.

4.2 Formules et équations utiles pour le dimensionnement

Pour concevoir notre antenne il faut calculer les dimensions des éléments. Pour cela nous allons commencer par calculer la longueur d'onde de notre antenne. Pour cela nous utilisons la formule suivante :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8}{121 * 10^6} = 2.47m \quad (1)$$

Une fois notre longueur d'onde trouvée, nous pouvons en déduire la longueur approximative du boom de notre antenne. Pour ce faire, nous prenons juste mon tableau d'avant, et nous voyons que pour 3 éléments nous divisons d'à peu près 25% la longueur d'onde. Nous obtenons donc une longueur de boom de 801mm.

Ce calcul est vérifié par le calculateur en ligne **Yagi Calculator** :

DESIGN DATA FOR YOUR YAGI

Frequency : 121 MHz, (useful from 118.58 to 123.42)
Wavelength : 2479 mm
Rod Diameter : 10 mm
Boom Diameter : 20 mm
Boom Length : 801 mm
d/lambda : 0.004 (min.: 0.002 , max.: 0.01)
D/lambda : 0.010 (min.: 0.01 , max.: 0.05)
Elements : 3
Gain : 5.23 dBd (approx.)

Reflector Length : 1195 mm
Reflector Position : 0 mm

Dipole Position : 595 mm

Director #1 Position : 781 mm , Length : 1127 mm
Distance Dipole - Dir. #1 : 186 mm

Directors / Parasitics are isolated.

FIGURE 6 – Calcul des dimensions de l'antenne

Nous retrouvons à peu près les mêmes valeurs sur le schéma de l'internaute Hugues :

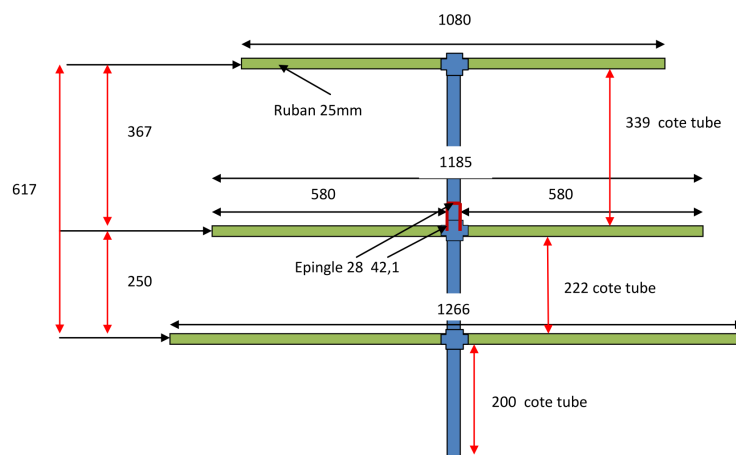


FIGURE 7 – Schéma de l'antenne Yagi selon **Hugues F4GSN**

4.3 Outils et matériaux nécessaires

Pour réaliser cette antenne il faut se munir du matériel suivant :

- 1m de tube PVC pression DN20 diamètre extérieur 25mm
- 1 Té PVC pression DN20 diamètre intérieur 25mm
- 2 croix PVC pression DN20 diamètre intérieur 25mm
- 0,13m de fil de cuivre nu 1,5 mm² pour faire l'épingle
- 3,55m de ruban métallique largeur 25mm (type mètre ruban)
- 2m de câble coaxial RG-58 avec fiche selon besoin PL/N/SMA/BNC...
- Visserie inox, écrous, rondelles grower (pour les vis 3×15mm ou 3×20mm)
- 4 cosses à souder pour la connexion du câble coaxial et de l'épingle

4.4 Fabrication de l'antenne

4.4.1 Le boom

Pour construire l'antenne il faut venir respecter les longueurs de coupes indiquées sur le schéma fourni au millimètre près. Voici les dimensions à respecter du tube PVC pour constituer le boom :

- 1 tube DN20 de 339mm
- 1 tube DN20 de 222mm
- 1 tube DN20 de 200mm

4.4.2 Les éléments

Pour les éléments, il faut venir découper le ruban métallique en fonction des dimensions suivantes :

- 1 réflecteur de 1266mm
- 1 dipôle de 1185mm
- 1 directeur de 1080mm

4.4.3 L'épingle

Pour réaliser l'épingle, il faut installer l'élément le plus important de l'antenne. Il faut se munir d'un câble coaxial de 2m et venir le dénuder sur 10cm. Nous allons venir le fixer sur le dipôle à l'aide d'une épingle en cuivre. Pour cela, il faut venir couper un fil de cuivre en respectant les valeurs énoncées un peu plus tôt. Ensuite, nous viendrons souder les cosses sur le câble coaxial et sur l'épingle. Pour finir,

fixerons l'épingle sur le dipôle à l'aide de vis et de rondelles. Voici le résultat final :

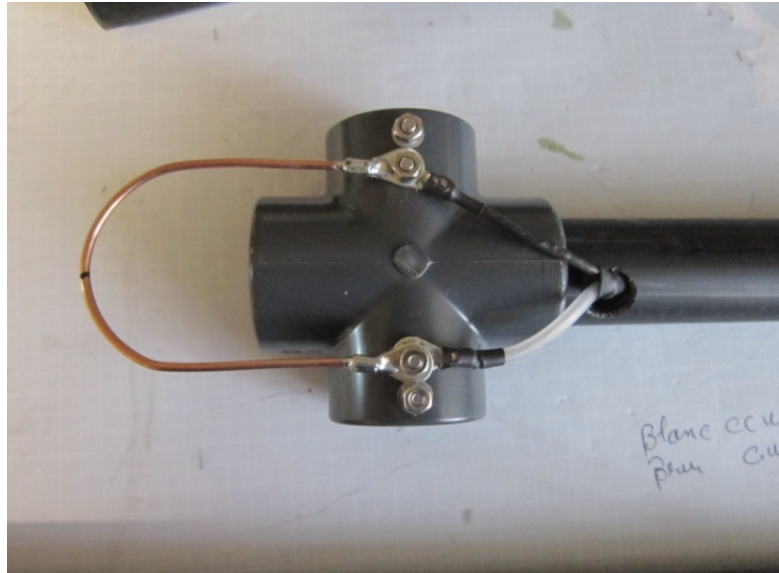


FIGURE 8 – Epingle sur le dipôle [4]

4.4.4 Le montage

Pour finir, il suffit d'assembler tous les éléments en veillant à le câbler sur un analyseur d'antenne. Voici le résultat final par l'internaute Hugues :



FIGURE 9 – Antenne Yagi 3 éléments [4]

4.5 Exemples de projets de fabrication d'antennes Yagi

Comme énoncé tout au long de ce devoir, il existe de nombreuses utilisations possibles pour les antennes Yagi. Voici quelques exemples de réalisations que j'ai pour trouvé.

Antenne Yagi 4 éléments 100Mhz

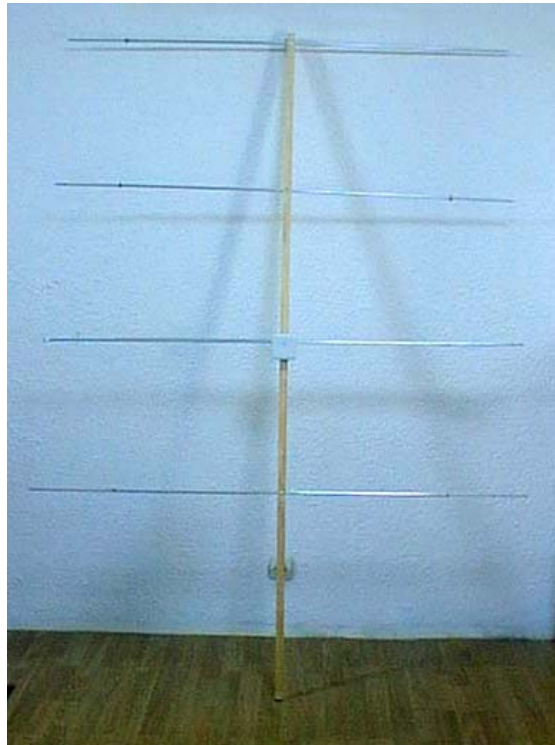


FIGURE 10 – Antenne Yagi 4 éléments [5]

Antenne 2,4GHz pouvant être utilisé pour amplifié le signal Wi-Fi



FIGURE 11 – Antenne Yagi Wi-Fi [6]

5 Conclusion

En definitive, nous avons pu voir au travers de ce devoir que les antennes Yagi sont des antennes très polyvalentes. Elles peuvent être utilisées pour de nombreuses applications.

Nous avons abordé l'état de l'art des antennes Yagi, révélant leur fonctionnement interne et leur évolution continue pour répondre aux demandes croissantes des utilisateurs. Nous avons souligné ses avantages, tels que leur facilité de fabrication, leur efficacité et leur polyvalence, tout en mentionnant également certaines limitations, telles que la sensibilité aux conditions environnementales et la nécessité d'un réglage très précis.

En ce qui concerne la fabrication des antennes Yagi, nous avons exploré à travers un cas concret, comment construire facilement une antenne, en mettant l'accent sur des méthodes accessibles et des composants disponibles dans les centres de bricolage.

Enfin, nous avons entrevu différents projets amateurs de fabrication d'antennes Yagi, démontrant des différentes utilisations qu'elles permettent, même fait maison.

En somme, les antennes Yagi continuent de jouer un rôle important dans le domaine des communications, offrant une solution pratique et efficace pour des applications variées. Leur conception et leur fabrication peuvent être abordées avec les bons outils, les connaissances appropriées et une approche créative, permettant aux passionnés d'explorer et d'exploiter les avantages de ces antennes dans leurs propres projets de recherche.

Références

- [1] <https://www.electronique-radioamateur.fr/radio/antenne/antenne-yagi.php>.
- [2] S. M. Marc Hummel, Le gain d'une antenne yagi-uda, <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM08/RM08y/RM08y03.html> (2015).
- [3] D. Thomas, 10-element yagi antenna for 70 cm, <https://dl2ic.de/10-element-yagi-for-70-cm/> (2018).
- [4] Hugues, Construire son antenne yagi pour la recherche de balises, <https://www.ref68.com/construire-son-antenne-yagi-pour-la-recherche-de-balise/> (2015).
- [5] http://radio.meteor.free.fr/yagi_fm.html.
- [6] Anonyme, Antenne yagi wi-fi 2,4 ghz facile à construire, <http://www.radioamateurs.news.sciencesfrance.fr/?p=36754> (2014).
- [7] G. Mueller, L'origine de la méthode des éléments finis, <https://www.cadfem.net/fr/fr/cadfem-informe/media-center/cadfem-journal/les-origines-de-la-methode-des-elements-finis.html> (2023).