



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Réseaux et télécommunications
Réseaux et télécommunications

Présenté et soutenu par :
LOUCIF Radia & MAOUCHE Nadjah

Thème :

Répéteur WIFI en utilisant l'interface Raspberry PI

Jury

Mr. <i>DHIABI Fathi</i>	MAA	Université de Biskra	Président
Mr. ABDESSLAM Salim	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
Mr. <i>BOUKERDINE Salah</i>	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2020 - 2021



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Réseaux et télécommunication
Réseaux et télécommunication

Réf. : Entrez la référence du document

Répéteur WIFI en utilisant l'interface Raspberry PI

Le :

Présenté par :

LOUCIF Radia

MAOUCHE Nadjah

Avis favorable de l'encadreur :

ABDESSLAM Salim

Signature Avis favorable du Président du Jury

Cachet et signature

Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord DJEU le tout puissant qui nous a donné durant toutes ces années la santé, le courage et la foi.

Nous exprimons notre profonde et sincère expression de remerciement à notre encadreur, Dr. ABDESSELAM SALJM à l'université de BJSKRA, D'avoir dirigé ce travail et patienter avec nous et pour la confiance qu'il nous a accordée, pour sa disponibilité, ses conseils et ses idées innovantes tout au long de notre travail. Nous avons appris avec lui comment développer nos sens d'écoute, d'analyse et de communication. A travers sa longue expérience combinant l'ingénierie, la recherche scientifique, l'enseignement et finalement la direction.

Nous adressons nos remerciements pour tous les membres du jury d'avoir accepté de participer à cette soutenance, nous ont fait l'honneur d'évaluer et d'examiner notre travail et pour le temps qui ont perdu pour lire ce mémoire.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants de l'université et également tout le personnel du Laboratoire de Télécommunications pour leurs gentillesse ainsi qu'à la

Promotion MASTER Réseaux et Télécommunications.

Enfin, nous exprimons nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Au nom de Dieu, le clément, le très miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail particulièrement à :

Mon papa :

*J'espère qu'il trouvera dans ce travail les valeurs qu'il m'a
transmis, notamment : la*

Rigueur, la méthode, la patience et la persévérance.

Ma maman :

*J'espère qu'elle trouvera aussi tout ce qu'elle m'a transmis
dans le résultat de ces travaux : la générosité, la créativité et le
courage d'aller jusqu'au bout.*

Je n'oublie pas mon frère, mes sœurs .

A mes amies chacune son nom pour leurs aides précieuses.

*A ma promotion de master Réseaux et Télécommunications
2021/2022*

*A tout ceux que je n'ai pas cité leurs noms mais je n'oublie
jamais leurs aides.*

RADJA

Dédicaces

Au nom de Dieu, le clément, le très miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail particulièrement à :

MON Père NAOURI Ma mère SAIDA

*J'espère qu'elle trouvera dans ce travail les valeurs qu'elle m'a
transmis, notamment :*

La rigueur, la méthode, la patience et la persévérance.

Je n'oublie pas ma sœur KOKI.

A mes amies chacune son nom pour leurs aides précieuses.

*A ma promotion de master Réseaux et Télécommunications
2021/2022*

*A tout ceux que je n'ai pas cité leurs noms mais je n'oublie
jamais leurs aides.*

NADJAH

Table des matières

Table des matières

Remerciements	
<i>Dédicaces</i>	
<i>Dédicaces</i>	
Liste des figures.....	
Résumé.....	
Introduction Générale.....	
Chapitre I : Généralité sur les antennes	1
I.1 Introduction	1
I.2 Définition d'une antenne	1
I.2.1 Rôle de l'antenne	1
I.2.2.Courant dans une antenne	2
I.3 Notions sur l'électromagnétisme	2
I.3.1 Les charges électriques	3
I.3.2 Le Champ magnétique	3
I.3.3 Le rayonnement électromagnétique	4
I.4 Équations de Maxwell	5
I-4-1.Présentation des équations de Maxwell	5
I-4-2. L'équation de Maxwell-Gauss-électrique	6
I-4-3.L'équation de Maxwell-Gauss-magnétique :.....	6
I-4-4. L'équation de Maxwell-Faraday :	6
I-4-5.L'équation de Maxwell-Ampère :	6
I.5 Rayonnement électromagnétique d'une source électrique	6
I.6 Onde électromagnétique	7
I.6.1 Equation de propagation	7
I.6.2 Propriétés d'une onde électromagnétique plane	7
I.6.3 Polarisation d'une onde électromagnétique	8
I.6.4 Puissance transportée par une onde électromagnétique	9
I.7 Caractéristiques d'une antenne	9
I.7.1 Diagramme de rayonnement	10
I.7.2 Angle d'ouverture	10
I.7.3 Directivité, gain et rendement d'une antenne	11
I.7.3.1 Directivité	11
I.7.3.2 Gain	11

I.7.3.3 Rendement.....	11
I.7.4 Circuit équivalent d'une antenne	12
I.7.5. Adaptation et condition d'adaptation	12
I.8 Type des antennes	13
I.8.1 Les antennes omnidirectionnelles	13
I.8.2 Les antennes semi-directionnelles	14
I.8.3 Les antennes directionnelles	14
Conclusion.....	15
Chapitre II: La technologie sans fil.....	16
II.1. Introduction.....	16
II.2 Définition d'un réseau sans fil.....	16
II.2.1 Présentation	17
II.2.2 Fonctionnement d'un réseau sans fil	17
II.3 Les type du réseau sans fil.....	18
II 3.1. Réseaux personnels sans fil (WPAN).....	18
II.3.2 Réseaux locaux sans fil (WLAN)	19
II.3.3 Réseaux métropolitains sans fil (WMAN).....	20
II.3.4 Réseaux sans fil à longue distance (WWAN)	20
II 4. Architecture réseau WIFI.....	21
II.4.1 Le mode Infrastructure.....	21
II.4.2Le mode Ad-Hoc	21
II.5. La norme 802.11	22
II.5.1 Différents débits et portées.....	22
II.5.1.1 La norme 802.11a.....	23
II.5.1.2 La norme 802.11b.....	23
II.5.1.3 La norme 802.11g.....	24
II.5.2. Les autres normes	24
II.6 Les équipements de transmission	24
II.6 1 Les Adaptateurs Sans Fil Ou Cartes d'accès	25
II.6.1.1 La carte réseau sans fil PCI.....	25
II.6.1.2 La Carte PCMCIA	25
II.6.1.3 Une carte sans fil connecte à un port USB	26
II.6.2 Les modes d'interconnexion Access Point (AP)	26
II.6.2.1 Wireless Bridge	26
II.6.2.2 Multi point Bridge.....	26
II.7 Les fréquences wifi	27

II.8 La confidentialité des échanges avec les technologies WEP, WPA et WPA2	28
II.8.1 Les technologies WEP	28
II.8.2 Les technologies WPA	28
II.8.3 Les technologies WPA2	29
II.9 Les avantages et Inconvénients	29
II.9.1 Avantages du Wi-Fi.....	29
II.9.2 Inconvénients du wifi	30
Conclusions	30
Chapitre III:Réalisation répéteur WI-FI en utilisant Raspberry Pi	31
III.1 Introduction	31
III.2 Le Système proposé	31
III.2.1. Description de la partie hardware.....	32
III.2.1.1 Matériels utilisés	32
III.2.1.2 Répéteur wifi :	32
III.2.1.3 Critères de choix d'un répéteur wifi.....	33
III.3.Connecter le Raspberry PI à l'internet	36
III.4.Premières configurations	38
III.4.1. Les premiers réglages.....	38
III.4.2. Passer le clavier en français	38
III.4.3.Configurer la localisation	39
III.4.4 Modifier le mot de passe	40
III.4.5. Activer le SSH :	41
III.5.Utiliser l'interface de configuration Raspi-Config	42
III.5.1-Ouvrir un terminal, au moyen de l'icône en haut à gauche	42
III.5.2.Empêcher la mise en veille de l'écran après 10 minutes	43
III.6. Installer un hotspot WiFi avec RaspAP en un rien de temps	44
III.6.1Préparer le Raspberry Pi.....	45
III.6.2Installer raspAP-webgui	45
III.6.3 Les accès à RaspAP	46
III.6.4.Un nouveau point d'accès WiFi	47
III.7.Les Paramétrage de RaspAP	50
III.8.Le point d'accès en service.....	52
III. 9Les résultats finaux obtenus après la réalisation répéteur WI-FI.....	53
II.9.1Vitesse de connexion	53
III.9.2 Vitesse de réception/envoi	54
III.9.3 Débit de signale	55

Conclusion	55
Conclusion générale	57
Références	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure I.1 : Un système de communication radio par (OEM).

Figure I.2 : Illustration de l'intensité du courant dans un brin.

Figure I.3 : La règle de la main droite

Figure I.4: Rayonnement électromagnétique créé par la variation d'un courant dans un circuit de petite taille

Figure I.5. Représentation d'une onde électromagnétique TEM se propageant dans l'espace

Figure I.6. Polarisation rectiligne et circulaire.

Figure I.7. Représentation du diagramme rayonnement d'une d'antenne

Figure I.8. Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture.

Figure I.9 Circuit équivalent d'une antenne.

Figure I.10. Source relié à ligne Z_c et antenne

Figure I.11. Bande passante d'une antenne.

Figure II.1 : Composition d'un réseau wifi

Figure II .2 : Classification des réseaux sans fil

Figure II.3: mode infrastructure

Figure II.4: mode Ad-Hoc

Figure II.5. Carte réseau sans fil D-Link

Figure II .6 La Carte PCMCIA TP-LINK

Figure II.7. Une carte sans fil USB

Figure II.8 .Point d'accès en mode pont sans fil

Figure II .9. Point d'accès en mode multi ponts sans fil

Figure II.10 : La variation des (Interférence ; Portée ; Débit) Dans la fréquence

Figure III.1 : Structure du système Hardware et software

Figure III.2 : Raspberry pi 4 (modèle B

Figure III.3: Un répéteur sans fil

Figure III.4 : Raspbian Logo

FigureIII.5 : Kit Raspberry Pi 4

FigureIII.6 : Allumage le Raspberry Pi pour la première fois

Figure III.7:Page d'accueil (d'écran HD)

Figure III.8 : Exécution du système pour la première Fois

Figure III.9 : Installer un hotspot Wi-Fi avec RaspAP en un rien de temps

Figure III.10: Variation de vitesse de connexion

Figure III.10: Variation de vitesse réception/envoi

Figure III.10: Variation de débit de signale

Liste de tableaux :

Tableaux II.1 : Présenté la variation de débit et la portée de fréquence 5 Ghz(8 canaux)

Tableaux II.2 : Présenté la variation de débit et la portée de fréquence 2.4 Ghz(3canaux)

Tableaux II.3 : Présenté la variation de débit et la portée de fréquence 5 Ghz(3 canaux)

Résumé

Dans ce travail, nous avons installé un répéteur Wi-Fi par connexion filaire via Raspberry. Cette installation est basée sur l'étude du réseau de signal Wi-Fi et des différents facteurs l'affectant. Cette étude nous a permis de modifier le réseau Wi-Fi en termes de vitesse de transmission du réseau, de bande de fréquence et de capacité.

Après avoir installé la structure, nous avons enregistré les résultats de l'analyse du Wi-Fi et avons conclu que le répéteur Wi-Fi a un rôle majeur dans l'expansion et la correction du réseau Wi-Fi et de sa bande passante.

ملخص

في هذا العمل ، قمنا بتركيب مكرر Wi-Fi عن طريق الاتصال السلكي عبر Raspberry. يعتمد هذا التثبيت على دراسة شبكة إشارة Wi-Fi والعوامل المختلفة التي تؤثر عليها. سمحت لنا هذه الدراسة بتعديل شبكة Wi-Fi من حيث سرعة نقل الشبكة ونطاق التردد والسعة.

بعد تثبيت الهيكل، سجلنا نتائج تحليل Wi-Fi وخلصنا إلى أن مكرر Wi-Fi له دور رئيسي في توسيع وتصحيح شبكة Wi-Fi وعرض النطاق الترددي الخاص بها..

Abstract

In this work we have installed a Wi-Fi repeater by wired connection via Raspberry. This installation is based on the study of the Wi-Fi signal network and various factors affecting it. This study allowed us to modify the Wi-Fi network in terms of network transmission speed, frequency band and capacity.

After installing the chassis, we recorded the results of the Wi-Fi analysis and concluded that the Wi-Fi repeater has a major role in expanding and debugging the Wi-Fi network and its bandwidth.

Introduction Générale

Aujourd'hui, les systèmes de communication sans fil sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne et ils tendent à remplacer l'utilisation excessive des câbles.

En effet, il existe aujourd'hui de nombreuses technologies sans fil standardisées, chacune présente un équilibre entre différents facteurs (portée, débit, capacité, services, niveau d'interférences...etc.

Depuis quelques années, le Wifi révolutionne les réseaux mais on parle déjà d'une nouvelle technologie : le Répéteur WI-FI, qui est basé sur les standards IEEE 802.11. Bien que les connexions haut-débit de type ADSL se multiplient dans le monde, elles ne permettent pas la souplesse d'utilisation que procure par exemple un réseau sans fil Wifi. Cependant, le Wifi ne permet qu'un débit et une portée très faibles rendant par la même occasion son utilisation limitée.

Plusieurs kilomètres et est donc destiné principalement aux réseaux métropolitains

En effet, la portée prévue des ondes est d'environ 50 km. Néanmoins cette portée est théorique et la portée réelle devrait se situer plutôt aux alentours de 8 ou 30 km. Ce qui reste néanmoins suffisant pour proposer une connectivité à l'échelle d'une ville.

Le répéteur WI-FI offre la possibilité de couvrir une large bande d'ondes soit de 2 à 66 GHz. Avec ce grand choix de fréquences, il est plus facile d'interagir avec divers types de produits existant sur le marché. Les technologies cellulaires, Wifi, Bluetooth et autres types d'ondes à courte portée pourront ainsi être relayées à des antennes qui ont une portée théorique de 50 Km et un débit de 75Mbit/s.

Ce mémoire se divise en trois chapitres est organisé comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons la définition des antennes. Nous donnerons ensuite leurs caractéristiques et domaines d'utilisation ; le deuxième parti dans ce chapitre donne un aperçu sur la technique sans fil en général, et le Wi-Fi en particulier et leur différent types ainsi qu'une classification de ces réseaux.

Ensuite dans le dernier chapitre, il est consacré à la configuration des points d'accès en mode répéteur wifi en utilisant interface raspberry pi en plat forme raspbian .

Chapitre I : Généralité sur les antennes

I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons, en premier lieu, la définition des antennes. Nous donnerons ensuite leurs caractéristiques et domaines d'utilisation, Le but de ce chapitre est de comprendre le principe des antennes, est orienté de la manière suivante notions de base d'électromagnétisme afin de mieux comprendre le principe de fonctionnement, la seconde partie sur les (impédance d'entrée, diagramme de rayonnement, gain).. Principaux types d'antennes (dipôles, cornet, antenne patch, ouverture rayonnante ...).

I.2 Définition d'une antenne

Les antennes sont des dispositifs permettant de rayonner ou de capter les ondes électromagnétiques [1] ; ou en d'autres termes, une structure de transition entre espace libre et ondes guidée [2] ; Il sert à transmettre l'énergie d'une source vers l'antenne de récepteur. En simplifiant on dit qu'un conducteur électrique sous forme de chaleur, de lumière (lampe), du transformateur) et électrique (principe d'émission est de faire en sorte que lorsqu'elle est parcourue par chauffer ni s'illuminer, va créer tout un champ électrique et ainsi Ce champ se propage, c'est alors une onde Une onde électromagnétique se transforme en énergie électrique, c'est le principe de l'antenne de réception qui électromagnétique de l'air soit transformé en énergie utilisable (signal électrique).

I.2.1 Rôle de l'antenne

Voici un système de communication radio qui transmet des informations d'une onde électromagnétique (OEM).

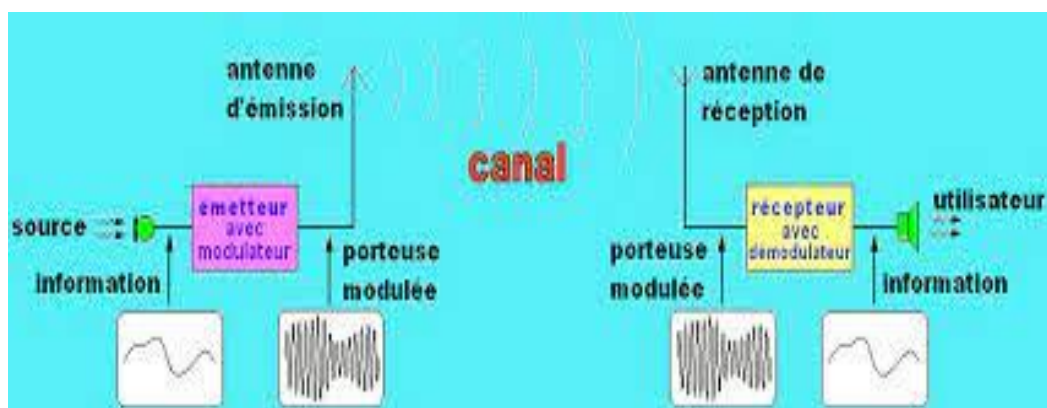


Figure I.1 : Un système de communication radio par (OEM)

L'antenne d'émission reçoit le signal électrique de l'émetteur et produit l'onde électromagnétique. Cette OEM se propage dans l'espace autour de l'antenne d'émission en fonction du type et de la forme d'antenne utilisée, certaines directions de propagation peuvent être privilégiées. La puissance produite par l'émetteur ou appliquée à l'antenne se disperse dans l'espace. L'antenne de réception capte une faible partie de cette puissance et la transforme en signal électrique.

I.2.2. Courant dans une antenne

Pour le courant dans le brin (antenne) : L'émetteur produit une porteuse sinusoïdale modulée à la fréquence f qui est conduite à l'antenne par un câble coaxial. L'antenne est alors parcourue par un courant $i(t)$ ayant les caractéristiques suivantes : Le courant $i(t)$ est sinusoïdal à la fréquence de la porteuse. Le courant n'a pas la même intensité en tout point. Ce courant peut occasionner des pertes Joule si les matériaux utilisés sont de mauvaise qualité. Alimentée par la tension $v(t)$ et absorbant un courant $i(t)$, l'antenne présente donc une impédance équivalente Z_a . Cette impédance dépend toujours de la fréquence, elle est résistive pour certaines longueurs uniquement. Pour que toute la puissance fournie par l'émetteur soit rayonnée, il faut adapter le câble en sortie, ce qui supprime l'onde réfléchiée. Souvent le câble a une impédance $Z_c = 50$ ohms, on s'efforce donc de fabriquer des antennes d'impédance d'entrée de 50 ohms.

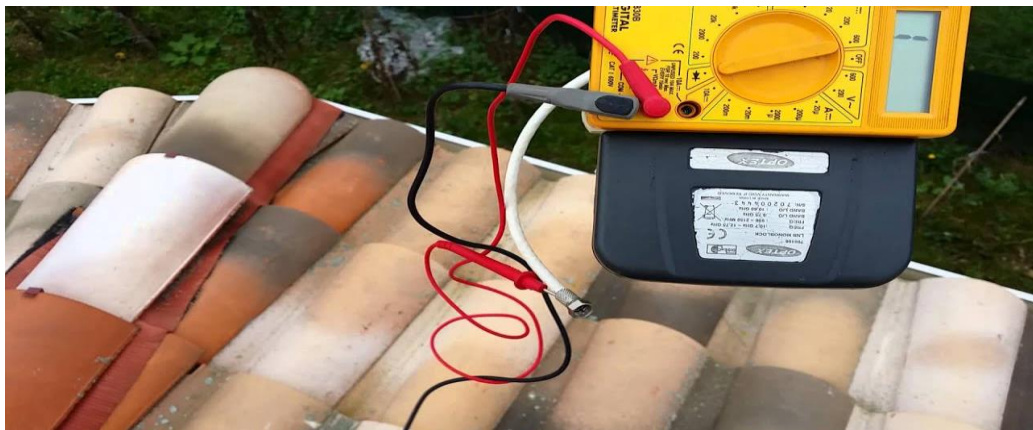


Figure I.2 : Illustration de l'intensité du courant dans un brin.

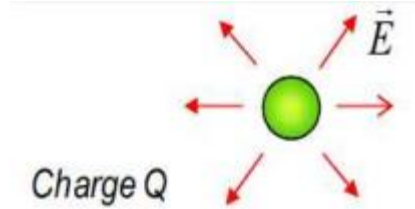
Le courant qui circule dans le brin rayonnant produit à son voisinage une onde électromagnétique L'OEM est constituée d'un champ électrique E et d'un champ magnétique B Les vecteurs E et B existent en tout point M autour de l'antenne et oscillent au rythme du courant et donc de la porteuse. Leur module n'est pas le même partout et dépend du type d'antenne utilisé du point de mesure

I.3 Notions sur l'électromagnétisme

Le but est de revenir sur certaines notions fondamentales d'électromagnétisme avant de se concentrer sur les antennes. Il s'agit de répondre aux questions suivantes pourquoi une antenne rayonne ? Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ?

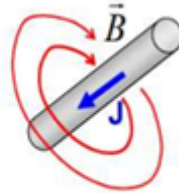
I.3.1 Les charges électriques

Les charges électriques au repos peuvent exercer des forces électriques entre elles cette action à distance se fait par l'intermédiaire d'un champ électrique. Tout les charges électrique Q immobile créé un champ électrique E dans l'espace environnant, qui décroît inversement avec le carré de la distance. On peut assimiler ça à la force de gravitation qui exerce une force sur les objets pour les déplacer dans une direction bien précise.



I.3.2 Le Champ magnétique

Toute circulation de courant (c'est-à-dire des charges en mouvement) est à l'origine d'un champ magnétique tournant autour de la ligne. Cette ligne exercera une force à distance sur toute autre interconnexion parcourue par un courant.



$$\vec{\beta}(M) = \iiint_{(r)} \frac{\mu \circ \vec{j}(p) \wedge \vec{u}(p)}{4\pi r^2} d\tau \quad (I.1)$$

Pour bien comprendre ce phénomène on fait appel à l'expérience d'Ørsted qui le vérifie. Tout déplacement de charges, que ce soit un faisceau d'électrons dans le vide ou un courant électrique dans un fil crée un champ magnétique. L'expérience d'Ørsted démontre que la circulation d'un courant dans un fil fait dévier l'aiguille d'une boussole placée à proximité. La direction du champ magnétique (B) est celle d'une aiguille au point considéré et son sens est du pôle Sud vers le pôle Nord de l'aiguille aimantée. Son intensité dépend du courant qui crée le champ, mesurable avec un Teslamètre à sonde de Hall, et s'exprime en Teslas (T).

Un fil rectiligne, dans le vide (ou dans l'air) crée un champ B en Teslas égal à

$$B_r = U_0 \frac{I}{2\pi.r} \quad (I.2)$$

Ou U_0 est la perméabilité du vide, I l'intensité du courant en Ampères et r le rayon en mètres de la ligne de champ.

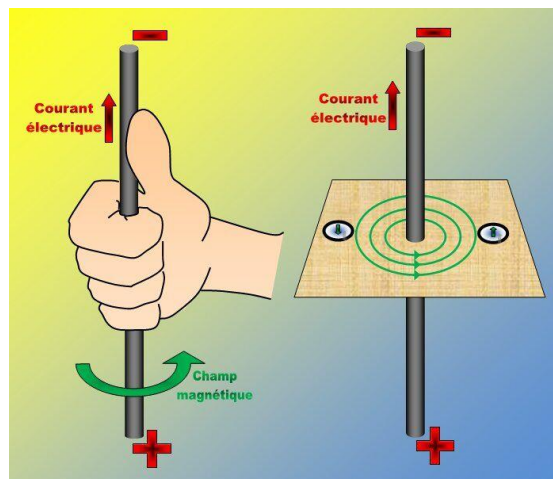


Figure I.3 : La règle de la main droite.

Pour un conducteur, le pouce dans le sens du courant, les doigts s'enroulent dans le sens du champ. Pour une bobine, les doigts s'enroulent dans le sens du courant et le pouce pointe vers le Nord.

I.3.3 Le rayonnement électromagnétique

Les charges électriques et les courants constituent donc les sources élémentaires des champs électromagnétiques. Les deux cas précédents correspondent au cas où les charges sont immobiles (électrostatique) et les courants continus (magnétostatique), qui conduisent à des champs constants dans le temps. Cependant, l'action d'une charge ou d'un courant n'est pas instantanée mais retardée par un temps $t = r/c$, où c 'est la vitesse de la lumière. Ainsi, tout mouvement de charges ou toute variation de courant induira une variation de champ électrique ou magnétique en un point donné de l'espace après un temps de retard donné. Bien qu'en électrostatique et en magnétostatique les champs électriques et magnétiques soient indépendants, cela n'est plus le cas dès que la quantité de charge ou le courant varient. Les champs électriques et magnétiques sont alors liés. On parle alors de champ électromagnétique

Dans l'exemple suivant, un courant continu se met à parcourir une petite boucle carrée à $t = 0$. Bien que les contributions des 2 côtés de la boucle (notés éléments 1 et 2).

Soient identiques en amplitude et de signe inverse, la contribution de l'élément 1 de l'antenne arrive un peu avant celle de l'élément 2 (ou les contributions des 2 éléments sont déphasées), permettant la création d'un rayonnement électromagnétique pendant un temps très bref. Si maintenant un courant variable se met à parcourir la boucle, un rayonnement électromagnétique sera produit continuellement.

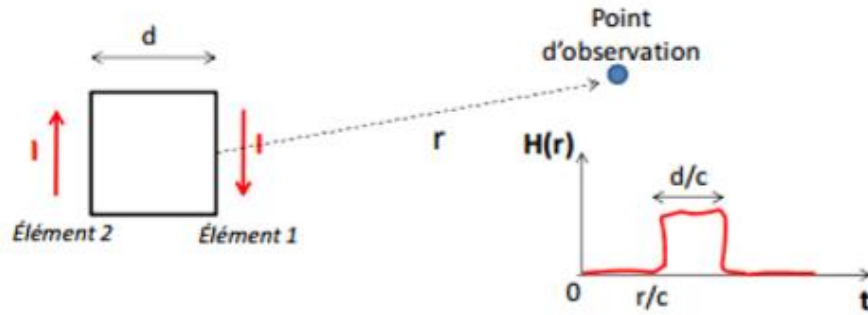


Figure I.4: Rayonnement électromagnétique créé par la variation d'un courant dans un circuit de petite taille

On peut donc voir le rayonnement électromagnétique comme la résultante des différences de phase des contributions de chaque élément de l'antenne.

I.4 Équations de Maxwell

Toute l'électromagnétisme est contenue dans les équations de Maxwell. La présentation des équations de Maxwell permet de donner un cadre un peu plus mathématique à la discussion précédente. En réalité ces équations sont des postulats qui veut dire qu'elles ne se démontrent pas. [10]

I.4.1. Présentation des équations de Maxwell

La répartition des champs électriques et magnétiques dans l'espace produite par une Distribution donnée de charges et de courants peut être déterminée en résolvant les équations de Maxwell. En outre, celles-ci permettent de déterminer comment l'onde électromagnétique se propage dans l'espace. Pour un milieu homogène et isotrope (cas général de la propagation en espace libre ou guidée), celles-ci sont données par les équations ci-dessous :

$$1\text{- Equation de Maxwell-Gauss} \quad \text{div}(\vec{E}) = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{I.3})$$

$$2\text{- Equation de Maxwell-Thompson} \quad \text{rot}(\vec{E}) = -\frac{\delta \vec{B}}{\delta t} \quad (\text{I.4})$$

$$3\text{- Equation de Maxwell-Faraday} \quad \text{div}(\vec{B}) = 0 \quad (\text{I.5})$$

$$4\text{- Equation de Maxwell-Ampère} \quad \text{rot}(\vec{B}) = U_0 \vec{J} + \frac{1}{c^2} \frac{\sigma E}{\sigma t} \quad (\text{I.6})$$

Avec:

ϵ : la permittivité diélectrique du matériau.

μ : La perméabilité magnétique du matériau.

ρ : est la densité volumique de charge électrique.

\vec{J} : est le vecteur densité de courant.

I.4.2. L'équation de Maxwell-Gauss-électrique

Issue du théorème de Gauss, elle indique que toute distribution de charges dans l'espace conduit à l'apparition d'un champ électrique, de telle sorte que pour tout volume contenant ces charges, le flux du champ électrique sortant de cette surface est proportionnel à somme algébrique de toutes les charges intérieures.

I.4.3. L'équation de Maxwell-Gauss-magnétique : Indique qu'un courant induit un champ magnétique qui forme une boucle autour de ce courant. Contrairement au champ électrique créé par une charge, le flux de champ magnétique sortant de toute surface fermée est nul. Comparant cette équation avec celle de Maxwell-Gauss, on peut en conclure qu'il n'y a pas de charges magnétiques analogues aux charges électriques.

I.4.4. L'équation de Maxwell-Faraday : Elle est issue de la loi de Faraday et décrit le phénomène d'induction d'une force électromotrice par un champ magnétique variable. Le flux d'un champ magnétique variable à travers toute surface incluse à l'intérieur d'un contour fermé donne naissance à une force électromotrice.

I.4.5. L'équation de Maxwell-Ampère : Elle permet de relier le champ magnétique au courant circulant dans un circuit. Elle est issue de la loi d'Ampère $\text{rot} \mathbf{E} = \mathbf{J} + \dot{\mathbf{c}}$ qui relie le champ magnétique et le courant de conduction \mathbf{J} et $\mathbf{c} = \sigma \mathbf{E}$. Il s'agit du flux d'électrons apparaissant dans un conducteur électrique entre chaque molécule lorsqu'on le soumet à une force électromotrice.

I.5 Rayonnement électromagnétique d'une source électrique

Les courants et les charges sont les sources primaires du champ électromagnétique. Selon le principe de

Huygens, elles rayonnent dans l'espace des ondes sphériques dont la propagation est fonction de: $\frac{e^{-jkr}}{r}$ Ainsi, tout courant I_0 créé un rayonnement proportionnel à de $I_0 = \frac{e^{-jkr}}{r}$.

Et chaque charge Q_0 un rayonnement proportionnel à de $Q_0 = \frac{e^{-jkr}}{r}$.

Il est possible d'exprimer la contribution de toute source primaire caractérisée par une distribution volumique de courant $\mathbf{I}_{(p)}$ et de charge $Q_{(p)}$ en un point P par les potentiels scalaires V et vecteur A [4].

$$\vec{A}(\mathbf{M}) = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_{(r)} \vec{J}(\mathbf{P}) \frac{\exp(-jkr)}{r} d\tau \quad (\text{I.7})$$

$$\vec{V}(\mathbf{M}) = \frac{\mu}{4\pi\epsilon} \iiint_{(r)} \vec{\rho}(\mathbf{P}) \frac{\exp(-jkr)}{r} d\tau \quad (\text{I.8})$$

A partir de ces potentiels, il est possible de calculer les champs électriques et magnétiques en tout point de l'espace :

$$\vec{E} = -\frac{dA}{dt} - \text{grad} V \quad (\text{I.9})$$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot} \vec{A} \quad (\text{I.10})$$

I.6 Onde électromagnétique

A partir des équations de Maxwell, il est possible de déterminer la distribution dans l'espace des champs électriques et magnétiques produits par une source. Le couple formé par les champs électriques et magnétiques forme une onde électromagnétique. Ce terme vient du fait que, en raison des liens qui existent entre ces 2 champs, ceux-ci gagnent tout le milieu ambiant de proche en proche ou se propagent, à l'image d'une onde qui se forme à la surface d'un lac dans lequel on aurait jeté une pierre. Nous allons commencer par donner quelques éléments de démonstration succincts de ce comportement.

I.6.1 Equation de propagation

La résolution des équations de Maxwell va nous permettre de déterminer l'équation de propagation des champs. Nous ne considérerons ici que le cas d'un milieu de propagation sans pertes caractérisé par une constante diélectrique et magnétique réelle, où il n'y a donc aucune charge et courant. En combinant alors les équations de Maxwell-Ampère et de Maxwell Faraday, il est possible d'écrire les 2 équations différentielles dites de propagation:

$$\Delta \vec{E} - \epsilon \mu \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} = \vec{0} \quad (\text{I.11})$$

$$\Delta \vec{H} - \epsilon \mu \frac{d^2 \vec{H}}{dt^2} = \vec{0} \quad (\text{I.12})$$

I.6.2 Propriétés d'une onde électromagnétique plane

Nous allons chercher à donner une image à l'onde électromagnétique issue des équations de propagation en régime sinusoïdale. On considère que l'onde se propage le long de l'axe z. A grande distance de la source, l'onde est localement une onde plane. A partir des équations de Maxwell, il est possible de montrer les propriétés suivantes

- Les champs E et H sont perpendiculaires à la direction de propagation. Ils sont donc inclus au plan d'onde. On parle alors d'onde transversale électromagnétique (onde TEM). □ Les champs E, H et la direction de propagation forment un trièdre direct. Les champs E et H sont donc perpendiculaires entre eux.

- Dans le cas d'un milieu de propagation sans pertes, les champs E et H sont en phase et sont reliés entre eux par l'équation suivante :

$$\bullet \frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{\epsilon}} = \frac{E}{H} = \eta \quad (\text{I.13})$$

- η : est appelé impédance d'onde du milieu. Dans le vide, $\eta = 120\pi \approx 377 \Omega$.

- La figure I.5 représente une vue d'une onde électromagnétique dans l'espace à un instant donné. L'onde est formée par la superposition des champs électriques et magnétiques qui évoluent de manière sinusoïdale dans l'espace. A un instant après, la position des maximums et des minimums de champs se déplaceraient le long de l'axe z, indiquant la propagation de l'onde. A noter la longueur d'onde qui correspond à la distance entre 2 maximums de l'onde. Celle-ci se calcule à l'aide de l'équation suivante.

$$\bullet \lambda = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu} f} \quad (\text{I.14})$$

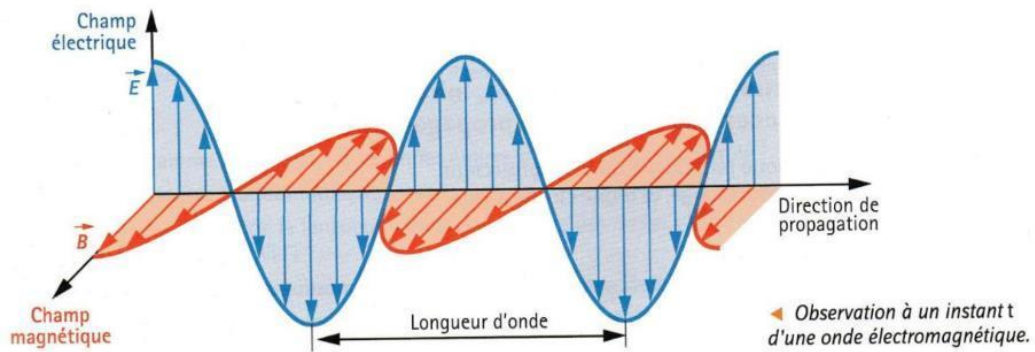


Figure I.5. Représentation d'une onde électromagnétique TEM se propageant dans l'espace

• **Remarque** : Les plans E et H pour une antenne à polarisation rectiligne, on appelle le plan E le plan formé par la direction de propagation et par la direction du champ électrique. Le plan H est celui formé par la direction de propagation et par la direction du champ magnétique.

I.6.3 Polarisation d'une onde électromagnétique

On définit la polarisation d'une onde électromagnétique comme la direction du champ électrique. En se plaçant dans un repère sphérique ayant pour origine la source de l'onde avec l'axe r orienté le long de la direction de propagation, on peut décrire la direction du

Champ E par les relations suivantes:

$$\vec{E} = E_{\theta} \cdot \vec{U}_{\theta} + E_{\phi} \cdot \vec{U}_{\phi} \tag{I.15}$$

$$E_{\theta} = A \cdot \sin(W_t + \Phi_{\theta}) \tag{I.16}$$

$$E_{\phi} = A \cdot \sin(W_t + \Phi_{\phi}) \tag{I.17}$$

Si les deux composantes du champ électrique vibrent en phase ou en opposition de phase ($\varphi_{\phi} = \varphi_{\theta} = \pm \pi$), les champs E et H conservent une direction constante dans le temps. La polarisation est dite rectiligne. L'onde électromagnétique présentée à la figure I.3 est rectiligne. Sinon, la polarisation est elliptique et la direction du champ E varie dans le temps. L'extrémité du vecteur représentant le champ électrique décrit une ellipse. Dans le cas particulier où les 2 composantes sont en quadrature ($\varphi_{\phi} = \varphi_{\theta} = \pm \pi/2$), la polarisation est alors circulaire. [3]

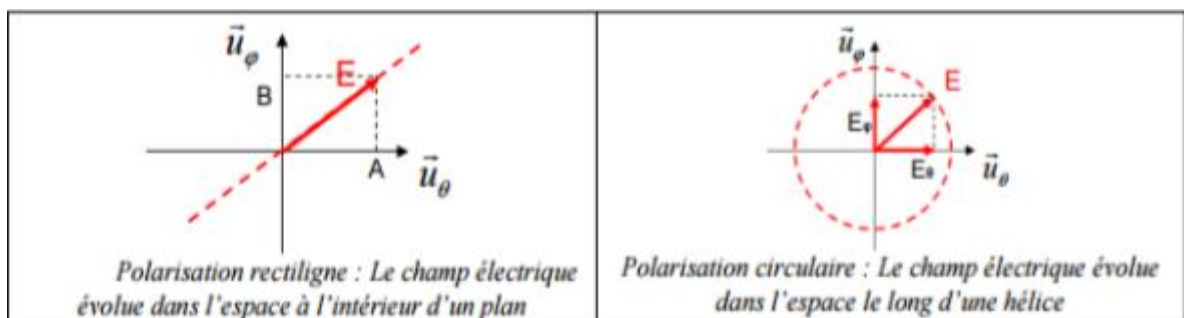


Figure I.6. Polarisation rectiligne et circulaire.

La polarisation de l'onde dépend des caractéristiques de l'antenne émettrice. Ainsi, les antennes filaires présentent une polarisation rectiligne. Cependant, la polarisation d'une onde peut être modifiée par le milieu de propagation et les objets environnants. Par exemple, le passage d'une onde à travers un milieu chargé (comme le passage d'une onde à travers l'ionosphère terrestre) conduit à une rotation du plan de polarisation par effet Faraday et donc à l'introduction de déphasage de propagation

I.6.4 Puissance transportée par une onde électromagnétique

Dans un volume dV , une onde électromagnétique transporte une énergie composée de :

$$1- \text{Une énergie électrique} = \frac{\epsilon E^2}{2} dV \quad (\text{I.18})$$

$$2- \text{Une énergie magnétique} = \frac{\mu H^2}{2} dV \quad (\text{I.19})$$

$$3- \text{L'énergie totale est donc de} = \frac{\epsilon E^2 + \mu H^2}{2} dV = \frac{1}{c} \mathbf{E} \cdot \mathbf{H} \cdot dV \quad (\text{I.20})$$

On peut montrer que l'onde transporte la puissance suivante, exprimée sous la forme d'un vecteur appelée vecteur de Poynting.

H^* :est le conjugué du champ magnétique.

$$\vec{P} = \frac{1}{2} \vec{E} \wedge \vec{H}^* \quad (\text{I.21})$$

I.7 Caractéristiques d'une antenne

Après la validation du phénomène de propagation, une thématique de recherche a été introduite. Cette dernière s'occupe des antennes, autrement dit les structures qui permettent de transformer l'énergie électrique en une énergie électromagnétique rayonnée. Dans ce paragraphe on s'intéresse plutôt à la caractérisation d'une antenne sans rentrer dans les principes qui permettent à une antenne d'émettre une énergie électromagnétique, Donc on va considérer l'antenne comme une boîte noire et on s'intéresse principalement à l'énergie électromagnétique rayonnée et l'énergie électrique d'alimentation. [4]

Avant de commencer à développer les caractéristiques d'une antenne, il est très indispensable de comprendre la définition d'une antenne isotrope. On appelle antenne isotrope une antenne rayonnant uniformément dans toutes les directions de l'espace. Une telle antenne

N'a donc pas de direction de propagation privilégiée. On dit qu'elle n'est pas directive. À une distance r , la densité de puissance d'une antenne isotrope P_{iso} est donnée par l'équation.

$$P_{iso} = \frac{P_e}{4\pi r^2} \quad (\text{I.22})$$

L'antenne isotrope est une antenne fictive utile pour les calculs théoriques, mais il est important de noter qu'elle est impossible à réaliser dans la pratique. C'est juste un élément de comparaison pour déterminer les caractéristiques générales des antennes [5].

I.7.1 Diagramme de rayonnement

Les antennes sont rarement omnidirectionnelles et émettent ou reçoivent dans des directions privilégiées. Le diagramme de rayonnement représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il indique les directions de l'espace (θ, φ) dans lesquelles la puissance rayonnée est maximale.

Il est important de noter que le diagramme de rayonnement n'a de sens que si l'onde est sphérique.

On trace dans le diagramme de rayonnement la fonction caractéristique de rayonnement $r(\theta, \varphi)$, qui varie entre 0 et 1 selon la direction. Celui-ci peut se représenter sous différentes formes. En général, le diagramme de rayonnement d'une antenne est représenté dans les plans horizontaux ($\varphi = 90^\circ$) et verticaux ($\theta = \text{constante}$), ou bien dans les plans E et H.

$$r(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta; \varphi)}{p_0(\theta_0; \varphi_0)} \quad (I.23)$$

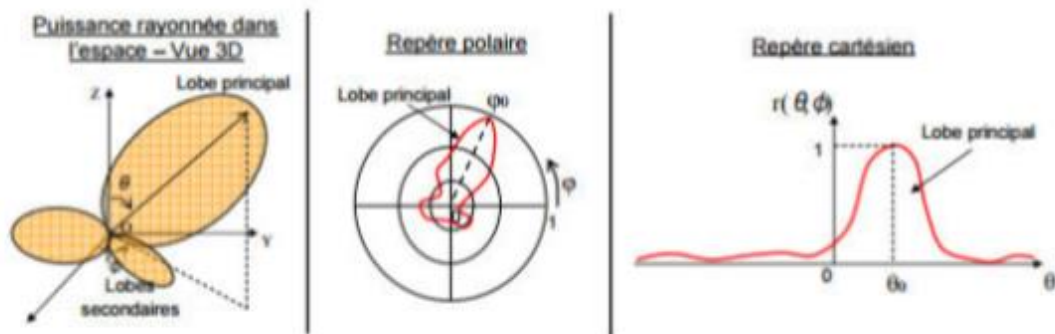


Figure I.7. Représentation du diagramme rayonnement

D'une d'antenne

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est principalement relié à sa géométrie mais peut aussi varier avec la fréquence. Hormis les antennes omnidirectionnelles, les antennes ne rayonnent pas la puissance de manière uniforme dans l'espace. Dans ce cas, la fonction caractéristique de rayonnement est égale à 1 quel que soit la direction considérée. En général, la puissance est concentrée dans un ou plusieurs « lobes ». Le lobe principal correspond à la direction privilégiée de rayonnement. Les lobes secondaires sont généralement des lobes parasites. Dans ces directions, l'énergie rayonnée est perdue donc on cherche à les atténuer.

I.7.2 Angle d'ouverture

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

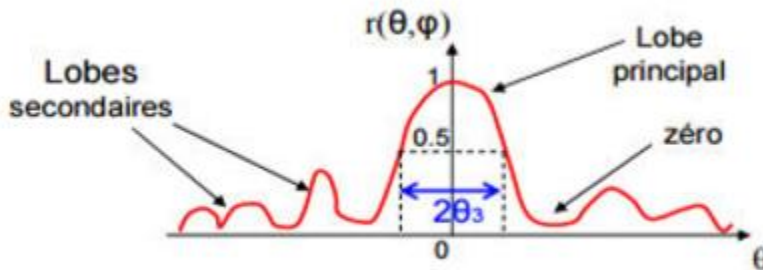


Figure I.8. Diagramme de rayonnement et angle d'ouverture.

I.7.3 Directivité, gain et rendement d'une antenne

Ces trois grandeurs permettent de caractériser la façon dont une antenne convertit la puissance électrique incidente en puissance électromagnétique rayonnée dans une direction particulière. Le gain et la directivité permettent de comparer les performances d'une antenne par rapport à l'antenne de référence qu'est l'antenne isotrope.

I.7.3.1 Directivité

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre l'intensité rayonnée dans une direction donnée $U(\theta, \varphi)$ et l'intensité que rayonnerait une antenne isotrope.

$$D(\theta, \varphi) = \frac{U(r, \theta, \varphi)}{U_{iso}(r, \theta_0, \varphi_0)} \quad (\text{I.24})$$

I.7.3.2 Gain

Le gain $G(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes. En général, le gain G correspond au gain dans la direction de rayonnement maximal $(0, \varphi_0)$. Cette propriété caractérise la capacité d'une antenne à focaliser la puissance rayonnée dans une direction.

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(r, \theta, \varphi)}{U_{iso}(r, \theta_0, \varphi_0)} \rightarrow G = 4\pi \frac{U_{max}(r, \theta_0, \varphi_0)}{U_{iso}(r, \theta, \varphi)} \quad (\text{I.25})$$

I.7.3.3 Rendement

Dans une antenne toute la puissance d'alimentation (PF) n'est pas nécessairement rayonnée (PE), il y a des pertes plus ou moins importantes. On définit le rendement d'une antenne appelé aussi coefficient d'efficacité d'une antenne par le rapport :

$$\eta = \frac{PF}{PE} \quad (\text{I.26})$$

I.7.4 Circuit équivalent d'une antenne

Afin de modéliser une antenne, en général on a besoin d'une capacité et une bobine puis deux résistances (figure 1.6). Pour éliminer la partie réactive on est amené à ajouter un circuit d'adaptation de l'antenne.

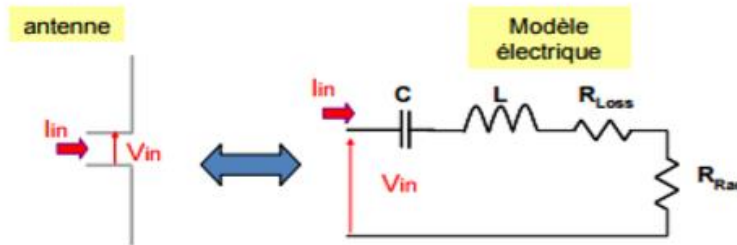


Figure I.9: Circuit équivalent d'une antenne.

I.7.5. Adaptation et condition d'adaptation

Une antenne est reliée à la source par une ligne de transmission d'impédance caractéristique Z_c (en général, $Z_c = \eta_0 \Omega$). Pour assurer un transfert maximal de puissance entre l'alimentation et l'antenne, il est nécessaire d'assurer une adaptation d'impédance. L'adaptation permet d'annuler le coefficient de réflexion Γ_{in} ou S_{11} en entrée de l'antenne

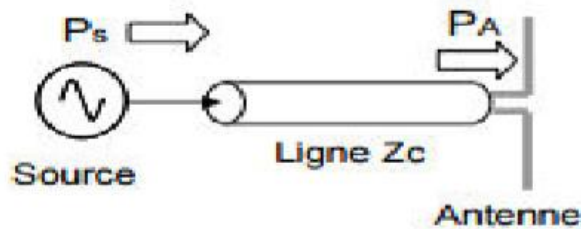


Figure I.10: Source relié à ligne Z_c et antenne

Le coefficient de réflexion est le rapport entre l'onde réfléchi en entrée de l'antenne et l'onde incidente. Il dépend de l'impédance d'entrée de l'antenne et de l'impédance caractéristique.

$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \tag{I.27}$$

Condition d'adaptation $S_{11}=0$ $Z_{in}= Z_c$

La bande passante d'une antenne est le domaine des fréquences pour lesquelles son opération est satisfaisante ($|S_{11}| < -10\text{dB}$) comme le montre la figure I.8.

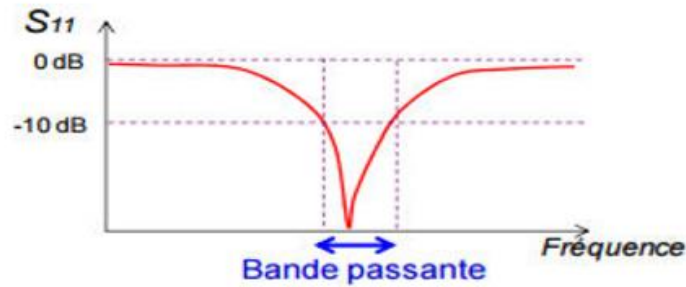


Figure I.11. Bande passante d'une antenne. [5]

I.8 Type des antennes

Il existe plusieurs types d'antennes qui diffèrent par leur fonctionnement, leur géométrisé, et leur technologie. Il est possible d'identifier plusieurs familles, à l'origine de l'ensemble des structures rayonnantes : les antennes filaires (comme le dipôle, le monopole, l'antenne Yagi), les antennes patches (antennes à structures planaires), les antennes à ouverture (comme le cornet), et les antennes à réflecteurs (comme les paraboles). Une grande variété d'antennes existe et chaque type peut prendre une forme afin d'accomplir une caractéristique de rayonnement désirée pour une application donnée. On va voir les grandes familles d'antennes à l'origine de l'ensemble des structures rayonnantes [3]

On distingue les antennes :

1. omnidirectionnelles (ou dipôle) ;
2. semi-directionnelles ;
3. hautement directionnelles.

I.8.1 Les antennes omnidirectionnelles

Une antenne directionnelle ou une antenne à faisceau est une antenne rayonnant ou recevant une plus grande puissance dans des directions spécifiques, permettant ainsi de réduire les interférences venant de sources indésirables et des performances accrues. Les antennes directionnelles offrent des performances améliorées par rapport aux antennes dipolaires et aux antennes omnidirectionnelles en général, lorsqu'on souhaite une plus grande concentration de rayonnement dans une certaine direction.

-C'est la plus courante dans les réseaux Wifi

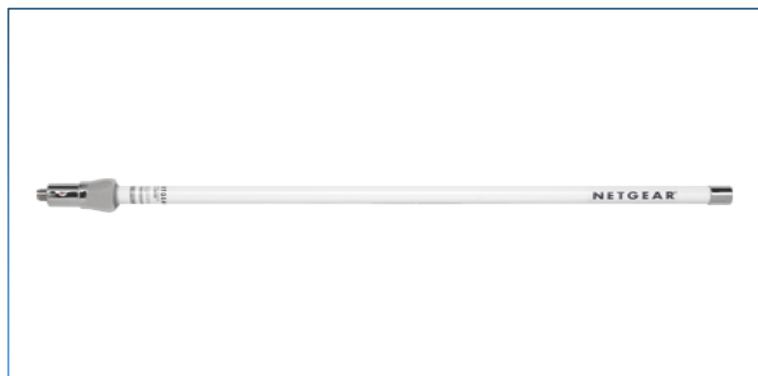


Figure I.12 : Netgear Antenne omnidirectionnelle

I.8.2 Les antennes semi-directionnelles

Elles couvrent une zone plus étendue du fait que leur puissance est plus importante. Elles sont adaptées à des locaux en longueur ou, placées en plafond, pour couvrir un local.

Antenne Patch Se présentent le plus souvent sous forme de panneau (Antenne NETGEAR 18 dBi Patch Panel Directionnel)



Figure I.13 Patch antenne semi-directionnelles

I.8.3 Les antennes directionnelles

Sous la forme de paraboles pleines ou ajourées, ces antennes hautement directionnelles sont utilisées deux par deux dans un parfait alignement pour interconnecter des bâtiments. Leur gain est généralement élevé



Figure I.14:D-link antenne directionnelles

Cette antenne peut être utilisée pour augmenter le taux de transmission et étendre la portée de transmission de votre matériel sans fil opérant sur la bande de fréquence de 2.4GHz. Elle peut être installée sur un produit équipé d'un connecteur de type N

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité les notions d'électromagnétisme et l'importance de équations de Maxwell pour la compréhension des phénomènes de propagation électromagnétique, les caractéristiques de base de toutes les antennes tel que l'impédance d'entrée, le diagramme de rayonnement, le gain, la polarisation...etc. qui devraient être acquises pour se lancer dans n'importe quel étude sur les antennes d'où leur importances, ces notions sont considérées comme fondamentales.

Chapitre II

La technologie sans fil

II.1. Introduction

Un réseau sans fil (en anglais Wireless network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux (ordinateur portable, PDA, etc.) peuvent communiquer sans liaison filaire.

Grâce à eux, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité".

Ils sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) en lieu et place des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions.

Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

En contrepartie se pose le problème de la réglementation relative aux transmissions radioélectriques. En effet, les transmissions radioélectriques servent pour un grand nombre d'applications (militaires, scientifiques, amateurs,), mais sont sensibles aux interférences, c'est la raison pour laquelle une réglementation est nécessaire dans chaque pays afin de définir les plages de fréquence et les puissances auxquelles il est possible d'émettre pour chaque catégorie d'utilisation.

De plus les ondes hertziennes sont difficiles à confiner dans une surface géographique restreinte, il est donc facile pour un pirate d'écouter le réseau si les informations circulent en clair (c'est le cas par défaut). Il est donc nécessaire de mettre en place les dispositions nécessaires de telle manière à assurer une confidentialité des données circulant sur les réseaux sans fil.

II.2 Définition d'un réseau sans fil

Un réseau sans fil (en anglais : Wireless network) est un réseau informatique ou numérisé [12], autrement dit c'est un ensemble d'appareils connectés entre eux et qui peuvent

s'envoyer et recevoir des données sans qu'aucune connexion « filaire » physique reliant ces différents composants entre eux ne soit nécessaire [13].

Les réseaux sans fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) en lieu et place des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions.



Figure II.1:Composition d'un réseau wifi

II.2.1 Présentation

En raison de leur facilité de déploiement et de leur coût relativement faible, les réseaux sans fil sont de plus en plus utilisés. Ce chapitre donne un aperçu sur les différents types des réseaux sans fil. Il définit aussi Les réseaux mobiles de type 802.xx spécialement 802.11 qui seront étudiés tout au long de ce le chapitre

II.2.2 Fonctionnement d'un réseau sans fil

Un réseau sans fil fonctionne de manière analogue au tandem téléphone sans fil socle que vous utilisez peut-être chez vous. Le téléphone sans fil communique avec un correspondant par l'intermédiaire du socle qui fait office de point d'accès vers le réseau téléphonique.

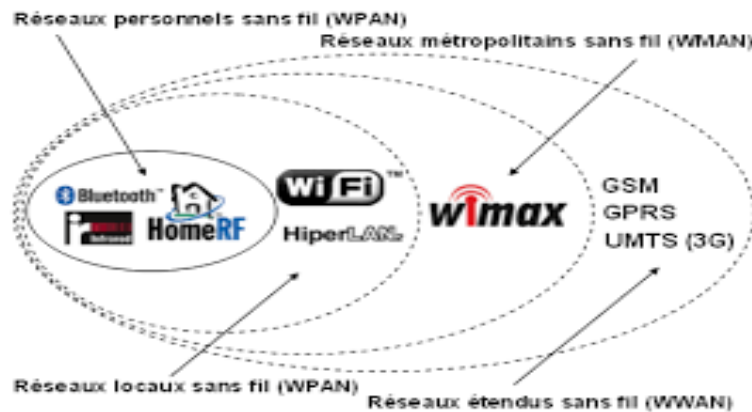
De même, chaque ordinateur du réseau sans fil muni d'une carte réseau adéquate peut émettre (et recevoir) des données vers (et depuis) un point d'accès réseau. Ce dernier peut être physiquement connecté au réseau câblé et fait alors office de point d'accès vers le réseau câblé.

Il existe plusieurs solutions de réseau sans fil commercialisées, chacune offrant plus ou moins de fonctionnalités suivant le constructeur (elles ont en commun pour la plupart - le

respect de la norme 802.11a, 802.11b et 802.11g qui détaille les spécifications des réseaux sans fil offrant des débits atteignant les 11Mbps ou 55Mbps).

II.3 Les type du réseau sans fil

Une première distinction entre les réseaux sans fils dépend de leur champ d'action. Suivant leur portée, selon le périmètre géographique offrant une connectivité (appelé zone de couverture)



FigureII.2: Classification des réseaux sans fil

II 3.1. Réseaux personnels sans fil (WPAN)

Les réseaux personnels sans fil (WPAN pour Wireless Personale Area Networks) sont de 3 types : **Bluetooth**, **Infrarouges**, **ZigBee** Les réseaux personnels servent à relier différents appareils dans un rayon réduit. [14].

Aujourd'hui, le réseau personnel sans fil le plus connu est **Bluetooth**. Deux nouvelles technologies apparaissent l'une permettant le haut débit UWB et l'autre la connexion d'équipements très peu chers Zigbee. Le réseau personnel sans fil (appelé également réseau individuel sans fil ou réseau domestique sans fil et noté WPAN pour Wireless Personale Area Network) concerne les réseaux sans fil d'une faible portée de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques, caméra sans fil.) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fil entre deux machines très peu distantes. La principale technologie WPAN est la technologie Bluetooth, lancée par Ericsson en 1994, proposant un débit théorique de 1Mbps pour une portée maximale d'une trentaine de mètres. Bluetooth, connue aussi sous le nom IEEE 802.15.1, possède l'avantage d'être très peu gourmande en énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée à une utilisation au sein de petits périphériques. [16].



Home RF (pour Home Radio Frequency), lancée en 1998 par le HomeRF Working Group (formé notamment par les constructeurs Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola et Microsoft) propose un débit théorique de 10 Mbps avec une portée d'environ 50 à 100 mètres sans amplificateur. La norme HomeRF soutenue notamment par Intel, a été abandonnée en Janvier 2003, notamment car les fondateurs de processeurs misent désormais sur les technologies Wi-Fi embarquée (via la technologie Centrino, embarquant au sein d'un même composant un microprocesseur et un adaptateur Wi-Fi).



La technologie **ZigBee** (aussi connue sous le nom IEEE 802.15.4) permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégrée dans de petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, jouets, ...). La technologie Zigbee, opérant sur la bande de fréquences des 2,4 GHz et sur 16 canaux, permet d'obtenir des débits pouvant atteindre 250 Kb/s avec une portée maximale de 100 mètres environ. Enfin les liaisons infrarouges permettent de créer des liaisons sans fil de quelques mètres avec des débits pouvant monter à quelques mégabits par seconde. Cette technologie est largement utilisée pour la domotique (télécommandes) mais souffre toutefois des perturbations dues aux interférences lumineuses. L'association IRDA (infrared data association) formée en 1995 regroupe plus de 150 membres. [17].



II.3.2 Réseaux locaux sans fil (WLAN)

Les réseaux locaux sans fil (WLAN pour Wireless Local Area Networks): Technologies WiFi, Hyperlan . La percée de Wi-Fi ces dernières années a fait connaître les réseaux sans fil. La famille Wi-Fi s'agrandit peu à peu. Dans le domaine des réseaux locaux sans fil, seul l'Hyperlan II tente de le concurrencer. Cependant la montée en puissance des réseaux personnels jusqu'à présent limités à quelques mètres, montre des velléités de briser les

barrières (ce fut le cas avec les annonces de Bluetooth 2.0 ou plus récemment avec les évolutions d'UWB). A l'inverse, Wi Fi a été utilisé au niveau métropolitain du fait du manque jusqu'à présent de réseaux sans fil plus appropriés.

Le réseau local sans fil (noté WLAN pour Wireless Local Area Network) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Il permet de relier entre-eux les terminaux présents dans la zone de couverture. Il existe plusieurs technologies concurrentes : Le Wifi (ou IEEE 802.11), soutenu par l'alliance WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) offre des débits allant jusqu'à 54Mbps sur une distance de plusieurs centaines de mètres.



hiperLAN2 (High Performance Radio LAN 2.0), norme européenne élaborée par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). HiperLAN 2 permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps sur une zone d'une centaine de mètres dans la gamme de fréquence comprise entre 5 150 et 5 300 MHz



II.3.3 Réseaux métropolitains sans fil (WMAN)

Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN pour Wireless Métropolitain Area Networks) sont adaptés à la couverture de villes et de villages arrivent quelques années après les réseaux locaux sans fils de type Wi-Fi. Nous pouvons distinguer trois grandes familles Wi MAX, bien adapté aux réseaux métropolitains fixes sans fil à très haut débit (ou par la suite faiblement mobiles). Les réseaux mobiles (GSM , GPRS) et la 3e génération (UMTS), bien que constituant un réseau national (pour chaque opérateur de téléphonie mobile), permettent de couvrir les villes et les village. MBWA qui dans quelques années pourrait permettre des réseaux mobiles à très haut débit.

Le réseau métropolitain sans fil (WMAN pour Wireless Métropolitain Area Network) est connu sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication. La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue est le Wi MAX permettant d'obtenir des débits de l'ordre de 70 Mbit/s sur un rayon de plusieurs kilomètres.

II.3.4 Réseaux sans fil à longue distance (WWAN)

Les réseaux étendus sans fil (WWAN pour Wireless Wide Area Networks) ce sont des réseaux qui donne à l'utilisateur la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un

périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité". Le satellite permet des cellules de la taille de plusieurs pays et facilite l'accès à l'internet dans les zones rurales non accessibles avec les méthodes traditionnelles filaires et sans fil

II 4. Architecture réseau WIFI

Il existe deux modes de fonctionnement

II.4.1 Le mode Infrastructure

Le mode infrastructure se base sur une station spéciale appelée Point d'Accès (PA). Ce mode permet à des stations wifi de se connecter à un réseau (généralement Ethernet) via un point d'accès. Elle permet à une station wifi de se connecter à une autre station wifi via leur PA commun. Une station wifi associée à un autre PA peut aussi s'interconnecter. L'ensemble des stations à portée radio du PA forme un BSS (Basic Service Set). Chaque BSS est identifié par un BSSID (BSS Identifier) de 6 octets qui correspond à l'adresse MAC du PA.

Chaque ordinateur se connecte à un point d'accès via une liaison sans fil. L'ensemble formé par le point d'accès et les stations situées dans sa zone de couverture est appelé ensemble de services de base BSS (basic service set). Il est possible de relier plusieurs BSS (basic service set) par une liaison appelée système de distribution (DS, Distribution System) afin de constituer un ensemble de services étendu (extended service set ou ESS).

Le système de distribution (DS) peut être un réseau filaire, ou un câble entre deux points d'accès. Un ESS (Extended Service Set) est repéré par un ESSID (Extended Service Set Identifier), qui est un nom du réseau. Lorsqu'un utilisateur nomade passe d'un BSS (basic service set) à un autre en se déplaçant l'adaptateur réseau sans fil de sa machine est capable de changer de point d'accès selon la qualité des signaux provenant des différents points d'accès. Les points d'accès communiquent entre eux Cette caractéristique permet aux stations de passer de façon transparente d'un point d'accès à un autre (roaming) [18].



FigureII.3: mode infrastructure [18].

II.4.2Le mode Ad-Hoc

Le fonctionnement de ce mode est totalement distribué, il n'y a pas d'élément structurant hiérarchiquement la cellule ou permettant de transmettre les trames d'une station à une autre.

Ce mode permet la communication entre deux machines sans l'aide d'une infrastructure. Les stations se trouvant à portée de radio forment un IBSS (Indépendant Basic Service Set). En mode ad hoc les ordinateurs sans fil clients se connectent les uns aux autres pour constituer un réseau point à point (peer to peer), c'est un réseau dans lequel chaque ordinateur est un client et un point d'accès. Cet ensemble est appelé, IBSS (indépendant basic service set). Dans un réseau ad hoc, la portée du IBSS est déterminée par la portée de chaque station. Contrairement au mode infrastructure, le mode ad hoc ne propose pas de diffuser régulièrement une trame balise d'une station à une autre. Ainsi un IBSS est par définition comme un réseau sans fil restreint. [14]



Figure II.4: Mode Ad-Hoc

II.5. La norme 802.11

Le WIFI (Wireless Fidelity), la norme IEEE802.11 est un standard décrivant le réseau local sans fils (WLAN). Avec le wifi, il est possible de mettre en place des réseaux locaux sans fils à haut débit sous réserve d'être à proximité d'un point d'accès. Le wifi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA) et tous les périphériques de liaison à haut débit sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres. La norme 802.11 définit les couches basses du modèle OSI pour une liaison sans fil utilisant des ondes électromagnétiques : La couche physique (DSSS, FHSS, Infrarouge), proposant trois types de codage de l'information. La couche liaison de données, constituée de deux sous-couches, le contrôle de liaison logique (Logiciel Link Control, ou LLC) et le contrôle d'accès au support Media Access Control, ou MAC).

II.5.1 Différents débits et portées

Les normes 802.11a, 802.11b et 802.11g, appelées «normes physiques» correspondent à des révisions du standard 802.11 et proposent des modes de fonctionnement, permettant d'obtenir différents débits en fonction de la portée.

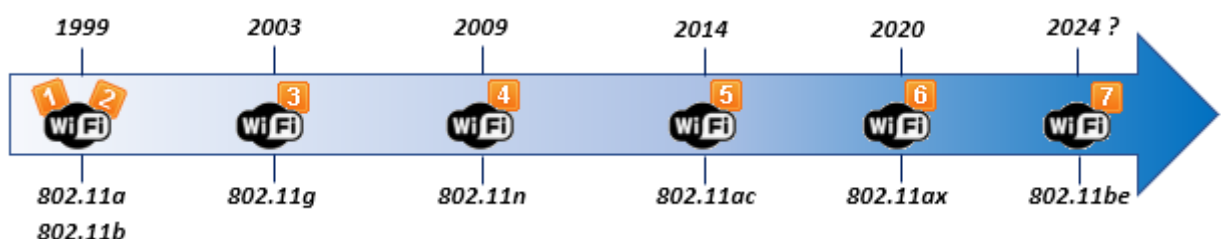


Figure II.5: Développement les normes de WI-FI

II.5.1.1 La norme 802.11a

Cette norme :

- fixe un haut débit maximum à 54 Mbits/s théorique
- spécifie 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 Ghz

Tableaux II.1 : Présenté la variation de débit et la portée de fréquence 5 Ghz(8 canaux)

Débit théorique (intérieur)	Portée
54 Mbits/s	10 m
48 Mbits/s	17 m
36 Mbits/s	25 m
24 Mbits/s	30 m
12 Mbits/s	50 m
6 Mbits/s	70 m

II.5.1.2 La norme 802.11b

Une des normes les plus répandues avec la 802.11g. Elle :

- fixe un débit moyen maximum à 11 Mbits/s théorique une portée pouvant aller à 300 mètres
- spécifie 3 canaux radio (1, 6 et 11) sur la bande de fréquence des 2,4 Ghz (voir plus loin).

On trouve une norme propriétaire 802.11b+ qui améliore le débit

Tableaux II.2 : Présenté la variation de débit et la portée de fréquence 2.4 Ghz(3canaux)

Débit théorique	Portée (en intérieur)	Portée (en extérieur)
11 Mbits/s	50 m	200m
5.5 Mbits/s	75m	300m
2 Mbits/s	100m	400m
1 Mbits/s	150m	500m

-les normes 802.11a et 802.11b sont incompatibles. Néanmoins certains matériels offrent les 2 normes.

II.5.1.3 La norme 802.11g

Norme compatible avec la 802.11b qui offre

- un haut débit à 54 Mbits/s théoriques (30 Mbits/s réels).
- spécifie 3 canaux radio (1, 6 et 11) sur la bande de fréquence des 2,4 Ghz (voir plus loin).

Tableaux II.3 : Présenté la variation de débit et la portée de fréquence 5 Ghz(3canaux)

Débit théorique	Portée (en intérieur)	Portée (en extérieur)
54 Mbits/s	27m	75m
48 Mbits/s	29m	100m
36 Mbits/s	30m	120m
24 Mbits/s	42m	140m
18 Mbits/s	55m	180m
12 Mbits/s	64m	250m
9 Mbits/s	75m	350m

II.5.2. Les autres normes

- **(802.11d)** Internationalisation de la norme 802.11 afin de permettre au matériel d'échanger des informations sur les puissances et les bandes de fréquences définies par chaque pays.
- **(802.11c)** Modification de la norme 802.11d pour créer un pont de 802.11 vers 802.11d.
- **(802.11e)** Pour améliorer la qualité du service afin d'obtenir une meilleure utilisation de la bande passante pour transmettre de la voix et de la vidéo.
- **(802.11f)** Elle définit l'interopérabilité des points d'accès (itinérance ou roaming).
- **(802.11h)** Rapproche la norme 802.11 de la norme européenne HiperLAN2 afin d'être en conformité avec la réglementation européenne.
- **(802.11i)** Elle améliore la sécurité (authentification, cryptage et distribution des clés) en s'appuyant sur la norme Advanced Encryption Standard (AES).

II.6 Les équipements de transmission

Il existe différents types d'équipements pour la mise en place d'un réseau sans fil Wifi ou existe deux composant de base d'un réseau WIFI sont :

II.6 1 Les Adaptateurs Sans Fil Ou Cartes d'accès

En anglais (Wireless Adapters) ou network interface contrôler, noté NIC. Il s'agit d'une carte réseau à la norme 802.11 permettant à une machine de se connecter à un réseau sans fil. Les adaptateurs WiFi sont disponibles dans de nombreux formats (carte PCI, carte PCMCIA, adaptateur USB, carte compact flash,...). On appelle station tout équipement possédant une telle carte. A noter que les composants WiFi deviennent des standards sur les portables (label, Centrino, d'Intel).

II.6.1.1 La carte réseau sans fil PCI

Dans un ordinateur de bureau, la carte est habituellement installée à l'intérieur de l'ordinateur, le plus généralement dans un des emplacements de PCI qui sont communs dans la tour ou les configurations de bureau de PC. Sur une carte sans fil, une antenne courte, environ 10cm (4 pouces) dépasse en dehors de l'ordinateur et peut être pivotée environ pour recevoir le meilleur signal.



Figure II.6 Carte réseau sans fil D-Link

II.6.1.2 La Carte PCMCIA

Dans un ordinateur portable, la carte serait très probablement installée dans une des fentes de PCMCIA dans le côté de l'ordinateur portable. Sur une carte sans fil, environ 2cm (3/4 pouces) de la carte dépasse au-delà de la fente pour agir en tant qu'antenne. Sur des ordinateurs d'Apple Macintosh, la carte d'aéroport est installée à l'intérieur de l'ordinateur et n'est pas évidente de l'extérieur.



FigureII.7 : La Carte PCMCIA TP-LINK

II.6.1.3 Une carte sans fil connecte à un port USB

Une troisième possibilité est de connecter la carte par l'intermédiaire d'un câble d'USB à l'ordinateur. Dans ce cas-ci, l'antenne sera sur la carte, qui peut être placée n'importe où que le câble d'USB lui permettra, qui pourrait être jusqu'à 5 mètres partir de l'ordinateur. La carte est actionnée bien que le câble d'USB, ainsi aucune alimentation d'énergie supplémentaire ne soit exigée



Figure II.8: Une carte sans fil USB

II.6.2 Les modes d'interconnexion Access Point (AP)

Ce mode permet de créer un réseau à part entière en interconnectant les diverses connexions sans fil.

II.6.2.1 Wireless Bridge

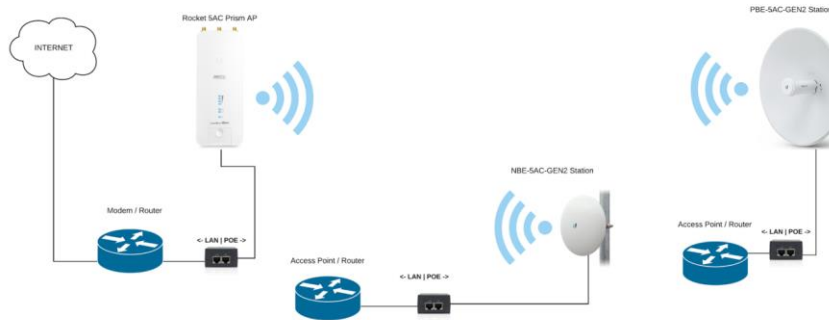
Ce mode permet d'interconnecter deux réseaux entre eux par un "pont sans fil". Ainsi, le réseau A disposant de 2 ordinateurs reliés à un routeur pourra être interconnecté avec le réseau B disposant de 2 ordinateurs reliés entre eux avec un hub ou un switch puis à l'AP. [19]



Figure II.8: Point d'accès en mode pont sans fil [19]

II.6.2.2 Multi point Bridge

Similaire au précédent si ce n'est que l'on peut relier plusieurs "points d'accès" entre eux et disposer ainsi du roaming.



FigureII.9:Point d'accès en mode multi ponts sans fil

II.7 Les fréquences wifi

Pour fréquences bien spécifiques: la fréquence 2.4Ghz et la fréquence 5Ghz.

Ces fréquences jouent également un rôle sur le débit de la connexion. La fréquence 2.4Ghz peut offrir des débits théoriques allant jusqu'à 600Mbps.

Son avantage est que cette fréquence est à « ondes longues », elle convient donc mieux à une longue distance et peut mieux traverser les murs et différents obstacles, on dit qu'elle a une meilleure portée (*en moyenne de 20 à 100 mètres en intérieur*).

Le point noir de cette fréquence est qu'elle est complètement saturée. C'est la même fréquence que celle utilisée par de nombreux équipements comme par exemples, les radioamateurs, les moniteurs pour les bébés ou cardiaques, le Bluetooth, les caméras ou plus courants, les micro-ondes. De nombreux facteurs peuvent donc venir parasiter le signal sur cette fréquence.

La fréquence 5Ghz peut offrir des débits théoriques allant jusqu'à 3500Mbps(*certaines puristes diront 4500/4800Mbps*)

Son gros point fort est sa rapidité car elle est bien moins saturée. Encore trop peu d'équipements sont compatibles avec cette fréquence (*Smartphones, satellites, télépéage*).

Son niveau d'interférence est donc plus bas ce qui permet de maximiser le débit.

A contrario son défaut c'est qu'elle utilise des « ondes courtes » ce qui réduit la portée par 2 en moyenne (*environ 35 mètres en intérieur*).

Transmettre des informations, la technologie sans fil wifi utilise des **canaux hertziens**, sur certaines.

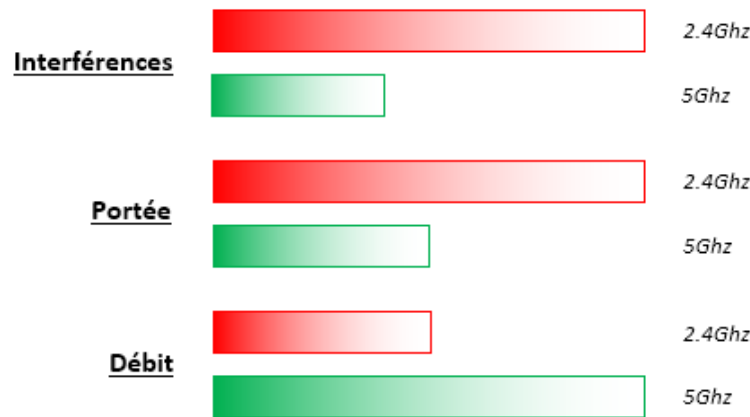


Figure II.10 : La variation des (Interférence ; Portée ; Débit) Dans la fréquence

Pour pallier à ses inconvénients au niveau des bandes de fréquences, les constructeurs ont implémenté dans les routeurs récents des technologies appelées dual-band et tri-band. Un routeur wifi dual-band va utiliser les 2 fréquences du wifi, la 2.4Ghz et la 5Ghz.

II.8 La confidentialité des échanges avec les technologies WEP, WPA et WPA2

- *WEP. Wired Equivalent Privacy*
- *WPA. Wifi Protected Access*
- *WPA2. Wifi Protected Access version 2*

II.8.1 Les technologies WEP

A la période où la norme de sécurité sans fil 802.11i était en développement, WPA a été utilisé en tant qu'amélioration de la sécurité temporaire pour WEP. Une année avant que WEP soit officiellement abandonné, WPA a formellement été adopté.

La plupart des applications WPA modernes utilisent une clé pré-partagée (PSK), plus souvent appelé WPA personnel et le Temporal Key Integrity Protocol ou Tkip (/ti:'Kip/) pour le codage.

II.8.2 Les technologies WPA

WPA Enterprise utilise un serveur d'authentification pour des clés et une génération de certificats.

WPA, tout comme WEP, après avoir passé une prévue du concept et appliqué des démonstrations publiques, IL s'est avéré être assez vulnérable aux intrusions. Les attaques qui représentent la plus grande menace pour le protocole n'étaient cependant pas les attaques directes, mais ceux qui étaient fait sur Wifi Protected Setup (WPS)-système auxiliaire développé pour simplifier la connexion des dispositifs aux points d'accès modernes.

II.8.3 Les technologies WPA2

La norme de sécurité sans fil 802.11i basée sur le protocole a été introduite en 2004. L'amélioration plus importante de WPA2 sur WPA était l'usage d'Advanced Encryption Standard (AES). AES est approuvé par le gouvernement des États-Unis pour le codage des informations classées top secrètes, il doit donc être suffisamment bon pour protéger des réseaux particuliers.

Les suggestions de sécurité des vulnérabilités connues de WPA2 sont principalement sensibles aux réseaux professionnels, et pas vraiment pertinents pour les petits réseaux particuliers. Malheureusement, la possibilité des attaques via le Wifi Protected Setup (WPS) est encore très élevée au sein des points d'accès disposant de WPA2 actuels, c'est un problème pour WPA également. Et même si s'introduire au sein d'un réseau sans fil sécurisé WPA/WPA2 prendra entre 2 et 14 heures, c'est encore un véritable problème de sécurité et le WPS devrait être désactivé et il serait bien que le firmware du point d'accès soit réinitialisé pour une redistribution non compatible avec le WPS pour exclure complètement ce vecteur d'attaque.

II.9 Les avantages et Inconvénients

II.9.1 Avantages du Wi-Fi

- **Mobilité** : La connexion au réseau sans fil permet de se déplacer librement dans le rayon disponible. On peut ainsi emmener son lap top de la salle de réunion à l'atelier sans avoir à brancher/débrancher quoi que ce soit.
- **Facilité** : Un réseau WIFI bien configuré permet de se connecter très facilement, à condition, bien sûr, de posséder une autorisation. Il suffit généralement de se trouver dans la zone de couverture pour être connecté.
- **Souplesse** : La souplesse d'installation du WIFI permet d'adapter facilement la zone d'action en fonction des besoins. Si le point d'accès est trop faible, on ajoute des répéteurs pour étendre la couverture.

- **Coût** : La plupart des éléments du réseau WIFI (point d'accès, répéteurs, antenne) peuvent être simplement posés. L'installation peut donc parfois se faire sans le moindre outillage, ce qui réduit les coûts de main-d'œuvre. Le budget de fonctionnement est similaire à un réseau filaire.
- **Evolutivité** : La facilité d'extension ou de restriction du réseau permet d'avoir toujours une couverture WIFI correspondant aux besoins réels [20].

II.9.2 Inconvénients du wifi

- **Qualité et continuité du signal** : Un réseau Wifi bien installé et bien configuré est généralement fiable et d'une qualité constante. Cependant, il suffit parfois de peu pour perturber le signal : un radar de gendarmerie ou un émetteur Bluetooth, par exemple.
- **Sécurité** : Le Wifi étant un réseau sans fil, il est possible de s'y connecter sans intervention matérielle. Cela veut dire qu'il faut particulièrement étudier la sécurisation du réseau si l'on veut éviter la présence d'indésirables ou la fuite d'informations [22].

Conclusions

Lors du déploiement d'un réseau sans fil, le wifi (802.11) semble être la solution répondant au mieux aux besoins des réseaux locaux sans fil grâce à l'avantage qu'elle procure, qui est son interopérabilité avec les réseaux de type Ethernet.

On a vu que le wifi souffrait de beaucoup de problèmes de sécurité, mais cette faiblesse a été surmontée par l'utilisation de répéteur wifi en utilisant les interfaces raspberry pi

Mais L'installation d'un réseau sans fil permet aussi de régler les nombreux problèmes techniques que connaissent les réseaux filaires, comme les problèmes de câblages, d'insuffisances de locaux pouvant accueillir beaucoup machines. Dans le chapitre qui suit nous allons procéder à la configuration d'un répéteur WI-FI.

Chapitre III : Réalisation répéteur WI-FI en utilisant Raspberry Pi

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons le projet général de notre expérience et les procédures que nous avons suivies lors de l'expérimentation de création d'un répéteur Wifi, d'envois et de réception du réseau Wifi et de sans activation utilisé dans le programme et les matériels utilisés, Et enfin nous présentons l'organigramme que nous avons suivant.

III.2 Le Système proposé

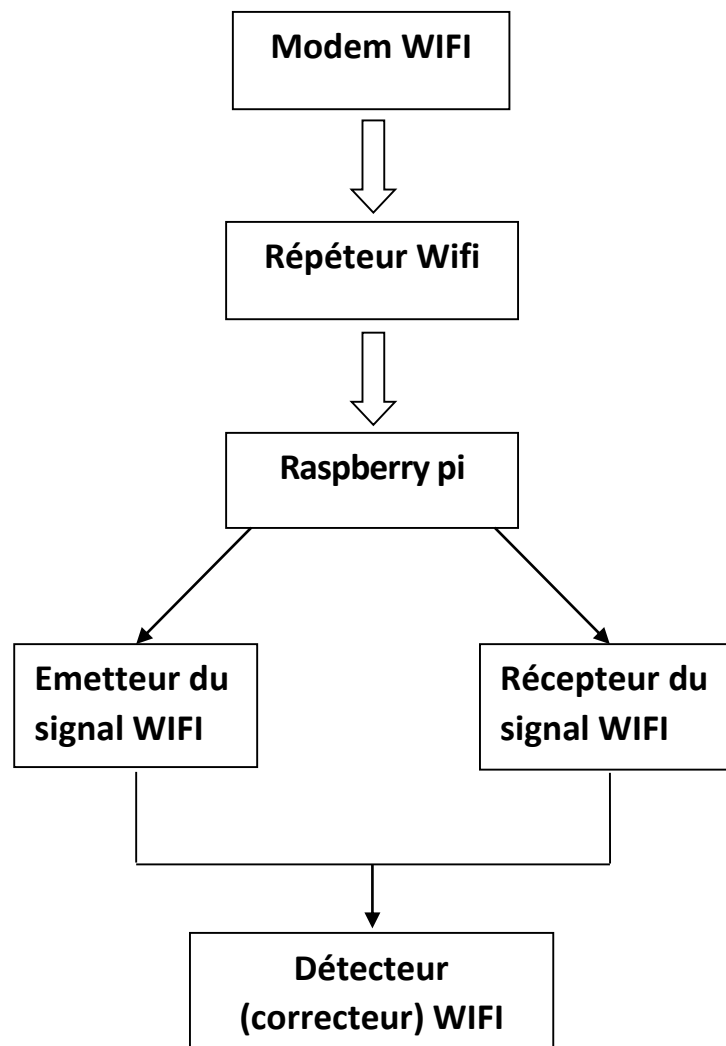


Figure III.1 : Structure du système Hardware et software

III.2.1. Description de la partie hardware

Pour la partie Hardware d'un répéteur WIFI électrique équipé avec Raspberry pi nous besoin les matériels suivant.

III.2.1.1 Matériels utilisés

Raspberry pi 4 : Le Raspberry Pi est ce qu'on appelle un micro-ordinateur, c'est-à-dire un ordinateur avec de plus faibles performances mais aussi de très petite taille

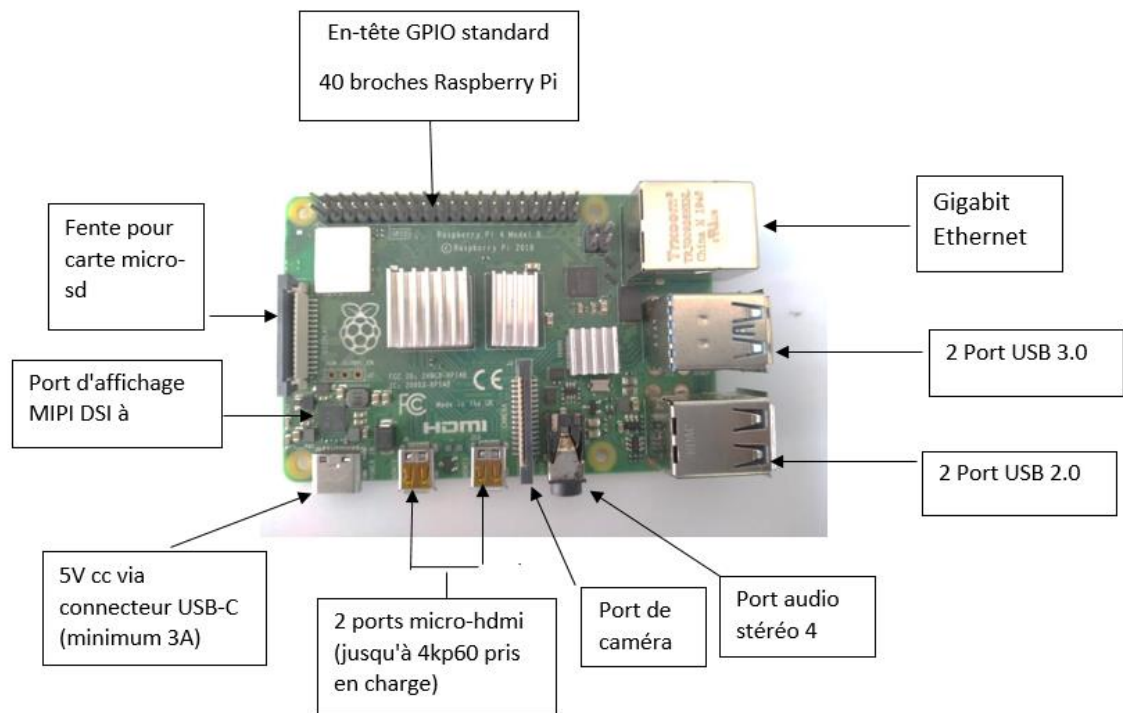


Figure III.2 : Raspberry pi 4 (modèle B)

III.2.1.2 Répéteur wifi :

Un répéteur wifi est un appareil se présentant sous la forme d'un petit boîtier qui, placé dans la zone de couverture wifi de votre routeur, va à son tour diffuser le wifi dans une zone non couverte de votre logement. De cette manière, vous pourrez capter le wifi depuis un espace plus vaste.

Un répéteur wifi fait partie de la catégorie des "amplificateurs" mais il ne peut pas vraiment amplifier le wifi de votre box. Il peut en revanche, comme son nom l'indique, répéter le signal émis. Le répéteur fonctionne comme un second box, et va ainsi **reproduire le signal wifi à l'identique**. Un **répéteur wifi** permet de conserver le même nom de réseau wifi que celui de votre box.

III.2.1.3 Critères de choix d'un répéteur wifi

Il existe plusieurs normes et plusieurs fréquences disponibles en fonction du répéteur. La norme la plus répandue actuellement est la **norme 802.11 n** (débit théorique de 450 Mbit/s). La plupart des répéteurs supportent cette norme au minimum. D'autres supportent également la norme la plus récente, **802.11 ac** (débit théorique de 1300 Mbit/s). Un répéteur supportant la norme ac supporte automatiquement les normes inférieures (n, b, g).

Quant aux fréquences, elles peuvent être de **2,4 GHz** ou **5 GHz**. Cette dernière fréquence permet le débit le plus élevé mais c'est aussi la fréquence la plus sensible à la distance. En effet, le répéteur ne doit pas se situer trop loin de votre box pour fonctionner correctement.



Figure III.3: Un répéteur sans fil

III.2.2 Description de la partie Software

Premièrement nous présentons le système d'exploitation Ras PI ensuite en présent le matériel utilisé dans cette réalisation.

III.2.2.1 Système d'exploitation de Raspberry Pi

Il existe de nombreux systèmes d'exploitation dédiés au Raspberry Pi [68]. Dans ce projet nous utiliserons Raspbian comme système d'exploitation pour Raspberry Pi.

Il s'agit d'un système d'exploitation GNU/Linux, spécialement conçu et optimisé pour les Raspberry Pi. Sa version actuelle est basée sur la dernière version de la distribution Debian, baptisée Stretch (version 9.X).



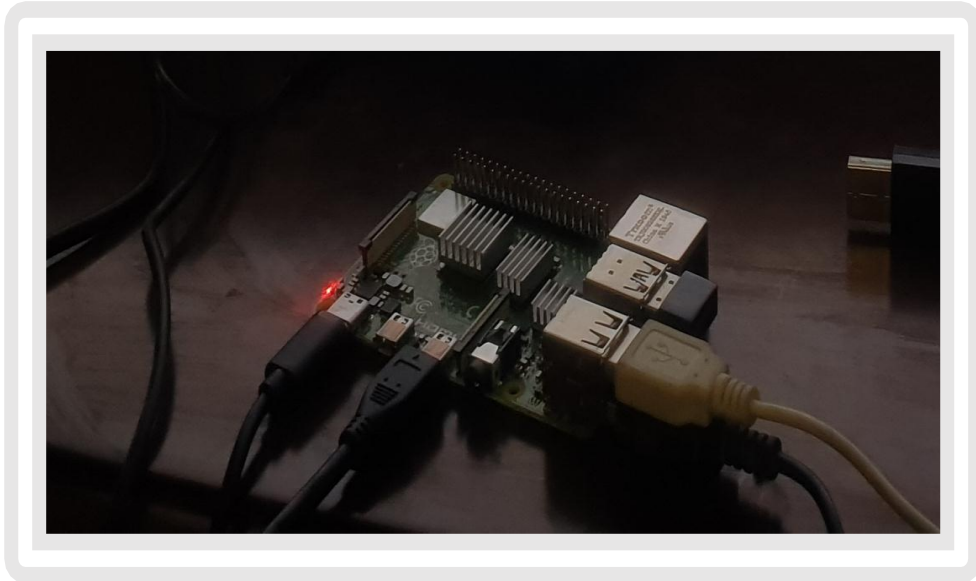
Figure III.4 : Raspbian Logo

Téléchargement du système Raspbian et déplacer sur la carte SD:

Tout d'abord, on va donc commencer par télécharger son système d'exploitation Raspbian Stretch sur le PC. Pour cela, nous aurons besoin d'une Carte SD avec la capacité qu'il faut (16 Go minimum recommandé). Si on ne dispose pas d'ordinateur sous Linux, il est bien évidemment possible de réaliser la préparation de la Carte SD à partir d'un ordinateur Windows. Pour cela, on aura besoin d'installer tout d'abord un logiciel spécifique, dédié à cette opération : le logiciel libre Win32DiskImager. C'est un programme qui nous laisse déplacer l'image de système d'exploitation (forme ISO) dans la carte SD puis nous mettons la carte SD dans Raspberry Pi [25] [26].



FigureIII.5 : Kit Raspberry Pi 4



FigureIII.6 : Allumage le Raspberry Pi pour la premier fois

- Brancher le câble HDMI sur la prise correspondante du Raspberry Pi, derrière votre écran pour établir la connexion.
- Brancher le clavier et la souris sur les ports USB du Raspberry Pi.
- Brancher le cordon d'alimentation du Raspberry dans sa prise dédiée puis le boîtier transformateur sur le secteur, et voir que Raspberry Pi commence à installer le système automatiquement.
- Le Raspberry et l'écran s'allument, au bout de quelques secondes vous êtes « sur le bureau » de votre tout nouvel ordinateur



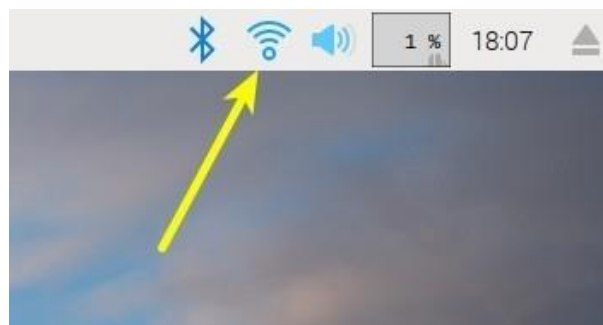
Figure III.7:Page d'accueil (d'écran HD)

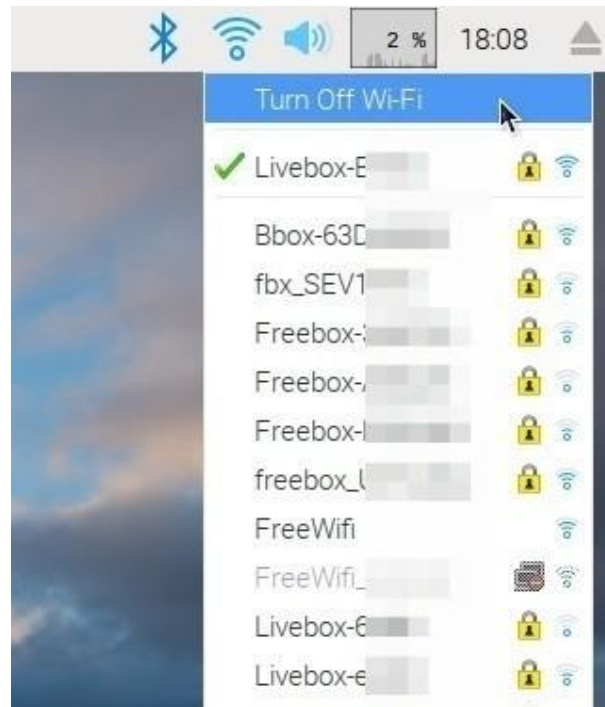
III.3.Connecter le Raspberry PI à l'internet

Pensez dès à présent à connecter le Raspberry Pi à internet il dispose du WIFI, si vous êtes à portée de votre box

IL suffit de cliquer sur l'icône du WIFI en haut à droite de l'écran, de choisir votre réseau puis de saisir la clé de sécurité

Sinon, le connecter directement à la box avec un câble Ethernet





- Par défaut, le système est en langue anglaise ; on va le changer par la suite pour le mettre en français.
- Par défaut également, le système d'exploitation démarre entièrement jusqu'à l'affichage du bureau de l'utilisateur sans exiger d'identification à l'ouverture de session. Là aussi, on pourra changer ce comportement par défaut pour l'adapter à son utilisation.
- Par défaut toujours, le nom de la machine (le « hostname ») est « raspberrypi », le nom de l'utilisateur est « pi » et son mot de passe est « raspberry ».
- D'où l'invite de commande qu'on peut voir quand on ouvre le terminal : `pi@raspberrypi` (comprendre : c'est l'utilisateur « pi » qui a ouvert une session sur la machine « raspberrypi »).

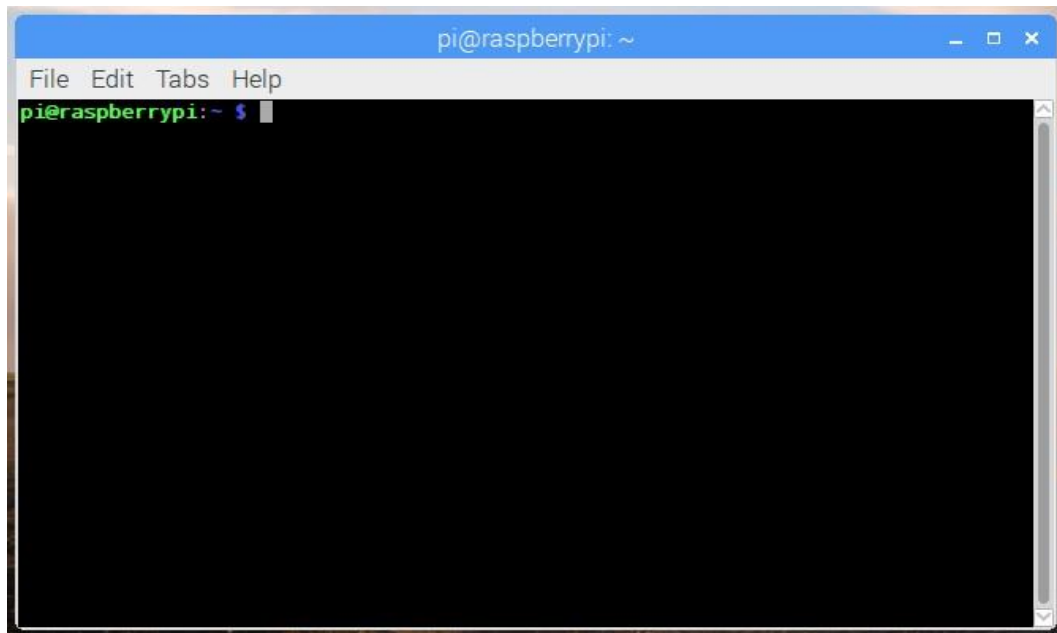


Figure III.8 : Exécution du système pour la première fois

Remarque

- Le Hostname peut lui aussi être changé par la suite, cela peut être utile dans le cas d'une utilisation de plusieurs Raspberry dans un réseau local.
- Le nom d'utilisateur et le mot de passe par défaut évoqués ci-dessus sont valables pour la distribution Raspbian choisie pour ce guide.
- D'autres distributions auront d'autres identifiants par défaut ; ils sont toujours précisés sur les sites qui proposent les distributions pour Raspberry Pi.

III.4. Premières configurations

III.4.1. Les premiers réglages

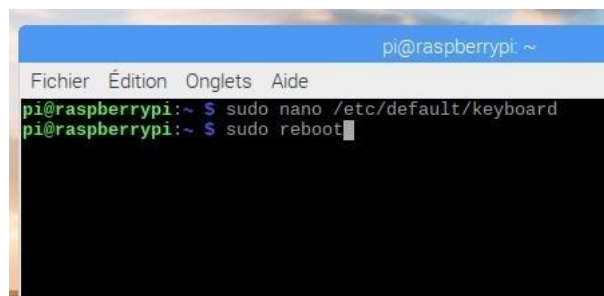
Une fois que notre Raspberry est allumé et a fini de démarrer, il va falloir faire quelques réglages et configurations « de base » avant de pouvoir commencer à l'utiliser vraiment.

III.4.2. Passer le clavier en français

Il y a deux réglages différents à faire si on veut configurer le clavier en français pour tout type d'utilisation

- la configuration du clavier pour l'utilisation du Raspberry Pi en « mode console » (c'est à dire en ligne de commande, sans interface graphique - peu fréquent pour les débutants, mais indispensable dans certains cas)
- la configuration du clavier pour l'utilisation en mode graphique (c'est à dire à travers une interface graphique avec le bureau, des menus, des fenêtres, etc. ; celle à laquelle tout le monde est habitué sur son ordinateur).

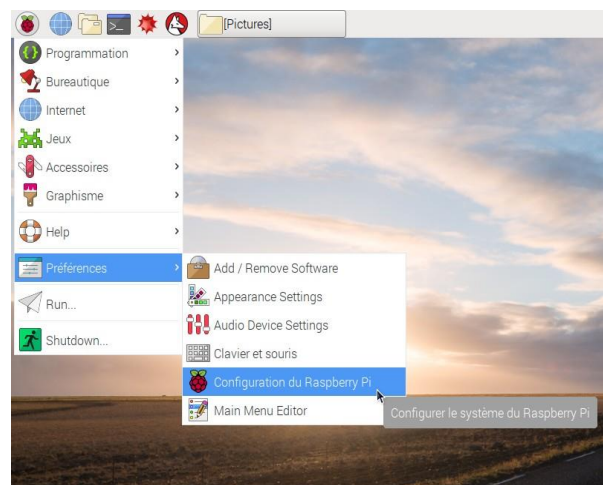
Ouvrir un terminal, au moyen de l'icône en haut à gauche



III.4.3. Configurer la localisation

Un ensemble de réglages qui vont modifier la langue du système pour la passer en français, ainsi que le fuseau horaire, la configuration du clavier et la région du WiFi.

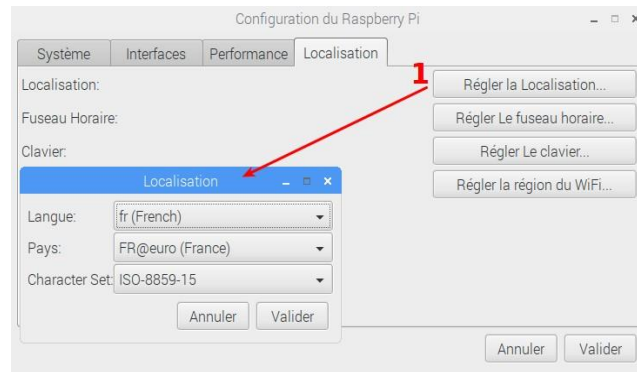
Accéder au menu des applications ----- **Préférence**-----**Configuration** du Raspberry Pi



Dans la fenêtre qui s'ouvre (que vous pouvez redimensionner à la souris), accéder au 4e onglet « **Localisation** »

-Cliqué sur le bouton « **Régler la localisation** » puis sélectionner la langue et le pays.

-validé

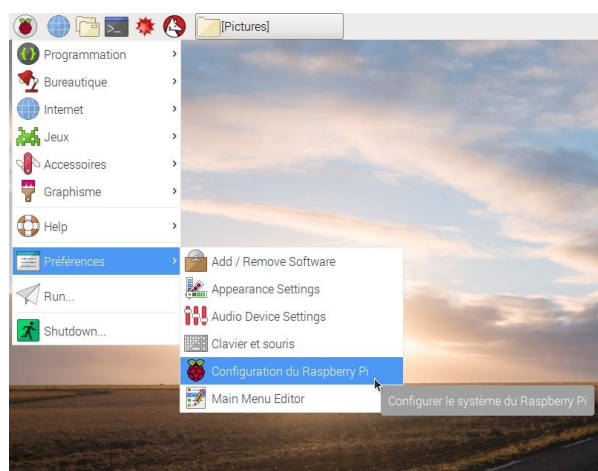


III.4.4 Modifier le mot de passe

Notre Raspberry Pi, on l'a vu précédemment, est configuré par défaut pour démarrer automatiquement jusqu'à l'affichage du bureau, sans avoir à saisir de mot de passe pour l'ouverture de session. De plus, le mot de passe par défaut « **raspberrypi** » est universellement connu, accessible par une simple recherche sur internet. Or, ce mot de passe d'administrateur est indispensable quand vous exécutez des commandes dans le terminal ou en mode console, par exemple pour modifier votre configuration ou pour effectuer des mises à jour du système.

Il est donc **ESSENTIEL** pour la sécurité de votre machine de modifier ce mot de passe par défaut, à plus forte raison si vous destinez votre Raspberry Pi à une utilisation en tant qu'objet connecté, accessible depuis internet.

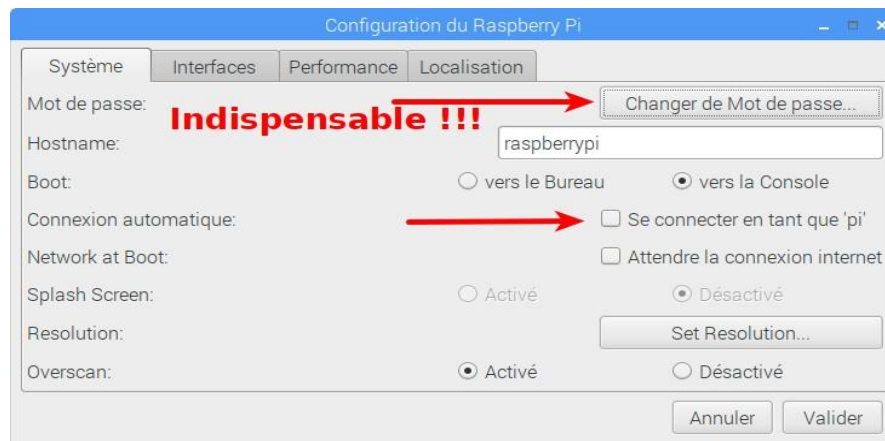
1. Accéder au menu des applications -----Préférences----- Configuration du Raspberry Pi



2. Dans la fenêtre qui s'ouvre (que vous pouvez redimensionner à la souris), accéder au 1^{er} onglet «Système»

-Cliquer sur le bouton « **Changer le mot de passe** » saisissez votre nouveau mot de passe.

-Valide.



Sur cette même fenêtre, profitez-en pour décocher la case « Se connecter en tant que 'pi' » : l'ouverture de session ne se fera plus de manière automatique.

Au cours du démarrage, vous serez invités à saisir :

- votre login : pi
- votre mot de passe : celui que vous venez de personnaliser

C'est également sur cet onglet que vous pourrez modifier le nom d'hôte, c'est à dire le nom de la machine tel qu'il apparaît sur votre réseau local.

Par défaut, ce nom d'hôte est « raspberry ».

Vous pouvez le personnaliser et mettre ce que vous voulez. Ce sera plus particulièrement intéressant et nécessaire si vous utilisez deux ou plusieurs Raspberry Pi sur votre réseau local.

III.4.5. Activer le SSH :

Le protocole SSH (Secure Shell) est un protocole de communication sécurisé, dans lequel toutes les données échangées entre deux machines distantes sont chiffrées

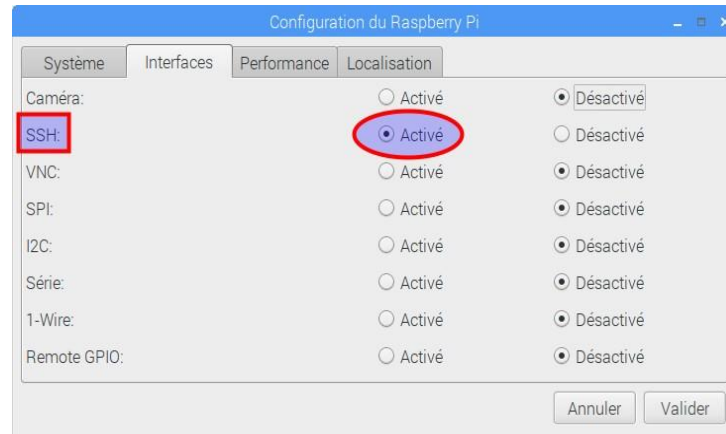
Remarque : Avec notre Raspberry Pi, il peut être particulièrement intéressant d'utiliser ce protocole SSH pour se connecter au Raspberry depuis une autre machine et pouvoir lui faire exécuter des commandes (par exemple pour faire les mises à jour du système) ou lancer des applications à distance (par exemple lancer un mediacenter pour diffuser des contenus sur un écran public), depuis un autre ordinateur connecté.

Cela nous permet de contrôler le Raspberry Pi à distance, sans nécessiter le branchement d'un clavier et d'une souris ainsi que d'un écran dédiés.

1-Dans la fenêtre qui s'ouvre (que vous pouvez redimensionner à la souris), accéder au 2^e onglet **Interfaces**

-Cocher le bouton « **Activé** » sur la seconde ligne **SSH**.

-Valider



Le **serveur SSH** du Raspberry Pi est désormais activé. Il est prêt à fonctionner.

Pour pouvoir s'y connecter depuis un autre ordinateur et le contrôler à distance, il va falloir ensuite installer sur cet ordinateur distant un *client SSH*.

Cela sera décrit plus bas, dans le chapitre « *Configurations avancées* »

III.5.Utiliser l'interface de configuration Raspi-Config

Il existe un utilitaire de configuration nommé *raspi-config* qui se lance en ligne de commande, depuis un terminal.

Dans cet utilitaire, on peut configurer la plupart des paramètres du Raspberry Pi, comme ceux que nous venons de détailler un par un (changer le mot de passe, configurer le réseau, la langue du système, les options de démarrage, etc.)

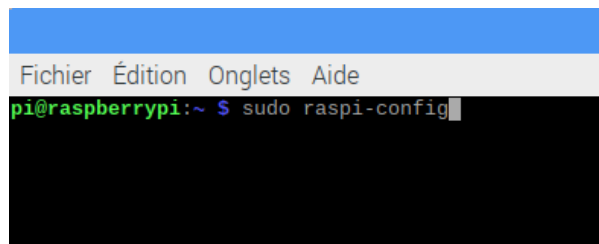
Cet utilitaire de configuration est un peu moins commode que l'application accessible depuis le bureau, dans l'interface graphique du Raspberry : ici, on travaille dans la fenêtre du terminal et la souris est inopérante, il faut tout faire au clavier, avec les flèches de direction et la touche *Entrée* pour valider ou *Échap.* pour annuler.

Il faut néanmoins connaître cet utilitaire qui offre plus de possibilités que la fenêtre de configuration classique

III.5.1-Ouvrir un terminal, au moyen de l'icône en haut à gauche



2-Saisir la commande **sudo raspi-config**, valider par la touche Entrée ; saisissez le mot de passe et valider



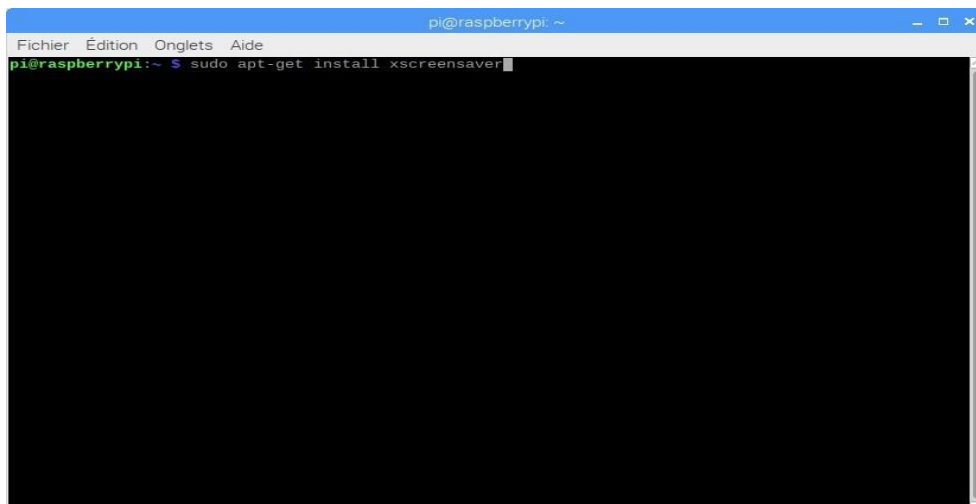
III.5.2. Empêcher la mise en veille de l'écran après 10 minutes

Par défaut, le **Raspberry Pi est configuré pour éteindre l'écran au bout de 10 minutes d'inactivité** et ne propose pas d'utilitaire d'économiseur d'écran facilement paramétrable, comme sur la plupart des systèmes d'exploitation.

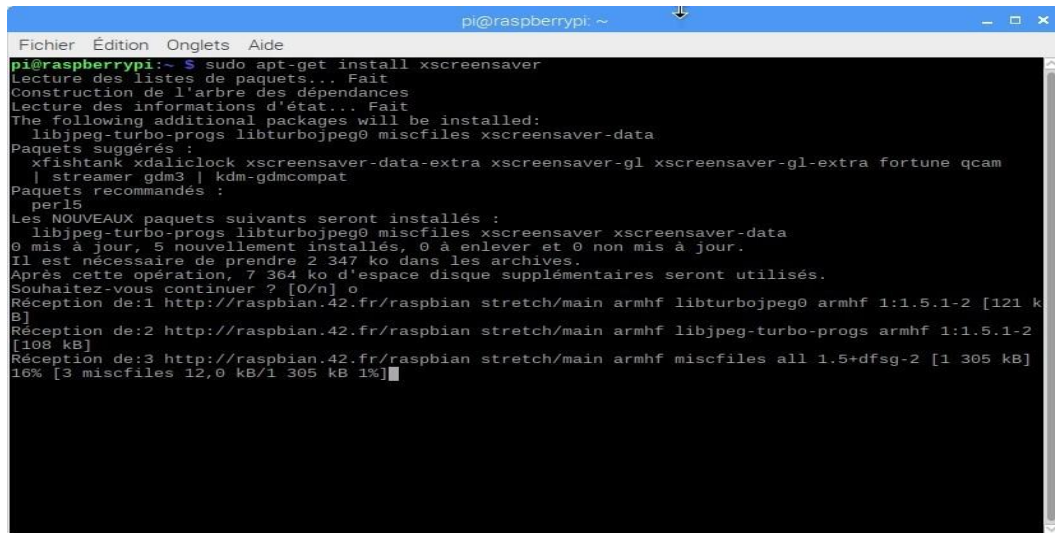
Dans la majorité des cas ce ne sera pas un problème, mais ça peut s'avérer gênant si on souhaite utiliser le Raspberry comme lecteur multimédia, branché sur un écran public, par exemple, pour diffuser en continu des vidéos, des présentations, des diaporamas, etc. C'est un sujet assez important des forums dédiés au Raspberry sur internet, des dizaines de solutions sont proposées et de nombreuses ne fonctionnent pas ; il est très difficile d'y voir clair...

I-Ouvrir le terminal et saisir la commande *sudo apt-get install xscreensaver*

Puis valider par la touche Entrée et saisir le mot de passe administrateur.



2-Répondre **O** à la question « *Souhaitez-vous continuer ?* » et laisser le téléchargement et l'installation de l'économiseur d'écran se faire.



```

pi@raspberrypi: ~
Fichier Édition Onglets Aide
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get install xscreensaver
Lecture des listes de paquets... Fait
Construction de l'arbre des dépendances
Lecture des informations d'état... Fait
The following additional packages will be installed:
  libjpeg-turbo-progs libturbojpeg0 miscfiles xscreensaver-data
Paquets suggérés :
  xfishtank xdalliclock xscreensaver-data-extra xscreensaver-gl xscreensaver-gl-extra fortune qcam
  | streamer gdm3 | kdm-gdmcompat
Paquets recommandés :
  perl5
Les NOUVEAUX paquets suivants seront installés :
  libjpeg-turbo-progs libturbojpeg0 miscfiles xscreensaver xscreensaver-data
0 mis à jour, 5 nouvellement installés, 0 à enlever et 0 non mis à jour.
Il est nécessaire de prendre 2 347 ko dans les archives.
Après cette opération, 7 364 ko d'espace disque supplémentaires seront utilisés.
Souhaitez-vous continuer ? [O/n] o
Réception de:1 http://raspbian.42.fr/raspbian stretch/main armhf libturbojpeg0 armhf 1:1.5.1-2 [121 k
B]
Réception de:2 http://raspbian.42.fr/raspbian stretch/main armhf libjpeg-turbo-progs armhf 1:1.5.1-2
[108 kB]
Réception de:3 http://raspbian.42.fr/raspbian stretch/main armhf miscfiles all 1.5+dfsg-2 [1 305 kB]
16% [3 miscfiles 12,0 kB/1 305 kB 1%]

```

3. Dès que c'est terminé, vous pouvez refermer le terminal et aller dans le menu des application----- **Préférences**----- **Économiseur d'écran**



III.6. Installer un hotspot Wi-Fi avec RaspAP en un rien de temps

RaspAP = Raspberry Pi Accès Point = Point d'accès Raspberry Pi Comme indiqué au début de l'article, hostapd est la solution qui vient à l'esprit, mais il faut configurer en ligne de commande et dans des fichiers texte. Heureusement, des personnes comme billez, ont développé une installation automatisée et une interface web (webgui = Graphique User Interface Web) pour gérer tout ça.

III.6.1 Préparer le Raspberry Pi

Comme toujours, je vous conseille de partir d'une distribution « propre » nouvellement installée. Ça évite des interférences éventuelles avec d'autres programmes. Commencez par mettre à jour le système

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
```

Si vous avez un Raspberry Pi 4, le Wi-Fi est intégré, avec les modèles 1 et 2 il faudra prévoir une clé USB Wi-Fi reconnue par Raspbian. Si nécessaire, connectez la clé dans un des ports USB du Raspberry Pi

Pour éviter d'avoir un fichier de configuration « parasite », nous allons réaliser une copie de sauvegarde du fichier de configuration original du Wi-Fi *wpa_supplicant.conf*, puis le supprimer.

```
sudo Cp /etc./wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf.org
```

Ensuite on peut supprimer le fichier de configuration du WiFi

Pensez à configurer le pays du Wifi, avec les versions actuelles du système, si le pays n'est pas configuré, le WiFi ne fonctionne pas.

```
sudo raspi-config
```

III.6.2 Installer raspAP-webgui

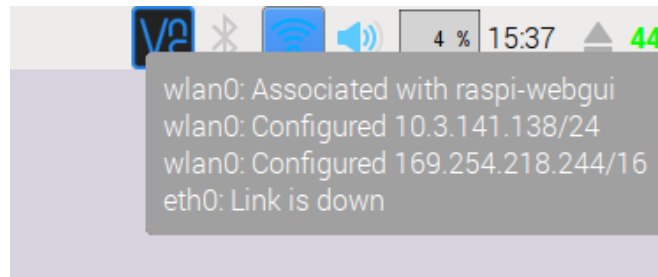


La page github de raspAP donne la commande à utiliser pour l'installation :

Pour paramétrer RaspAP, on accède à l'interface d'administration via une page web, en se connectant sur l'adresse de l'AP, c'est-à-dire **10.3.141.1**. On peut le faire soit en local sur le Raspberry Pi AP lui-même, soit depuis une autre machine connectée à l'AP.

A la fin de l'installation, après le redémarrage, le réseau sans fil sera configuré comme point d'accès avec les paramètres par défaut suivants :

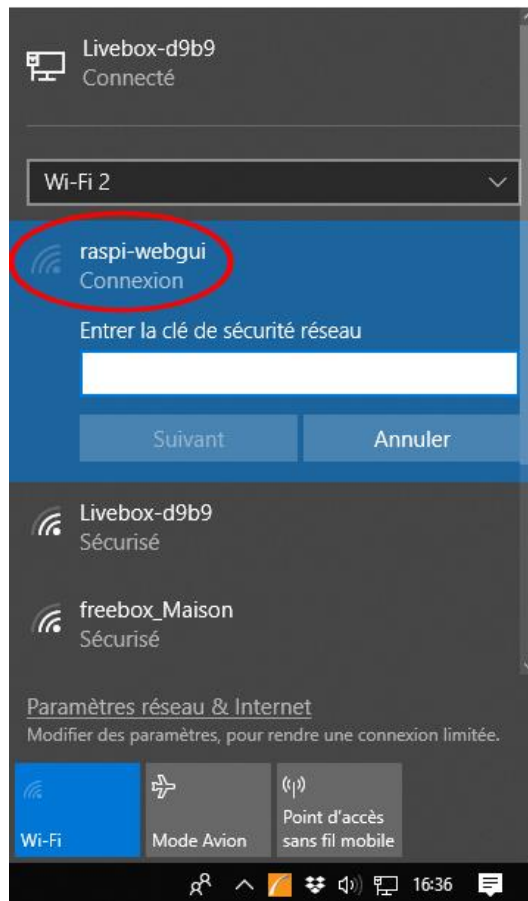
- Adresse IP : **10.3.141.1/24** et **169.254.218.244/16**
- Nom d'utilisateur gestion : **admin**
- Mot de passe gestion : **secret**
- Plage DHCP : **10.3.141.50** à **10.3.141.255**
- SSID : **raspi-webgui**
- Mot de passe du SSID : **ChangeMe**



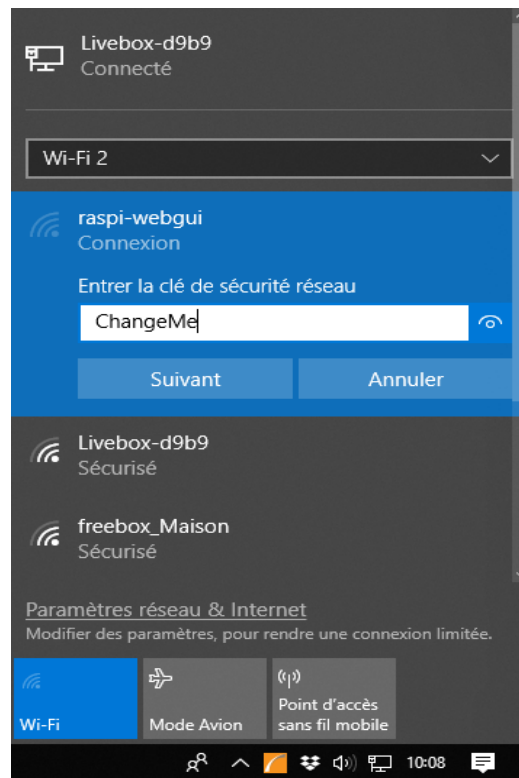
Mais vous allez pouvoir modifier tout ça.

III.6.4. Un nouveau point d'accès WiFi

PC sous Windows

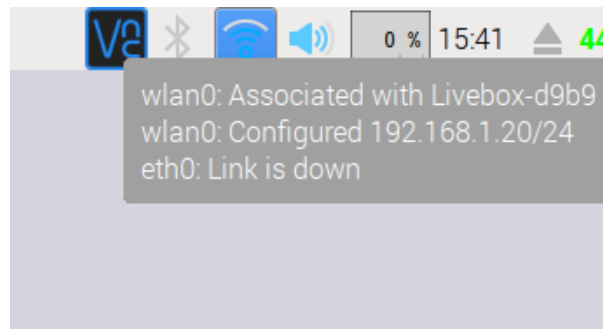


Regardez la liste de vos points d'accès WiFi trouvés par votre interface sans fil. Normalement, un AP nommé **raspi-webgui** est apparu dans la liste en plus des AP habituels. Sélectionnez-le et dites au système que vous voulez vous y connecter. (Réalisé ici sur un PC sous Windows 10)

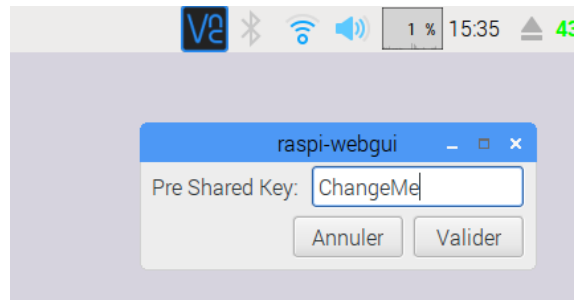


Entrez la clé de sécurité réseau qui est **ChangeMe** par défaut pour RaspAP. Comme son nom l'indique (en anglais) il est judicieux de changer ce mot de passe pour éviter que quiconque puisse accéder à votre point d'accès Pensez à le faire avant de mettre votre AP en exploitation réelle.

Raspberry Pi

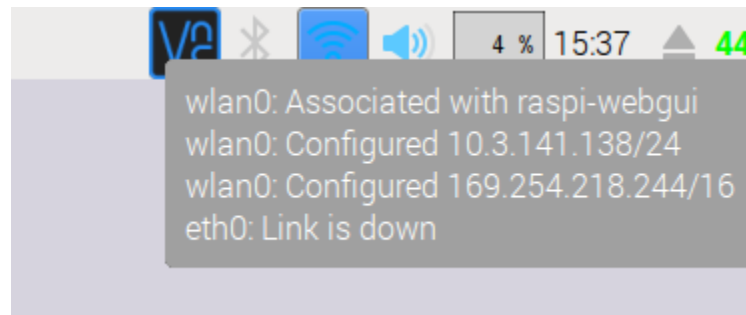


Sur un Raspberry Pi mettez la souris sur l'icône WiFi. Ici le Raspberry Pi est connecté à la LiveBox de la maison, et il a reçu l'adresse **192.168.1.20**. Déconnectez le port Wifi du Raspberry Pi. Attendez un moment que le RasPi récupère la liste des AP Wifi disponibles aux alentours. Dans la liste sélectionnez **raspap-webgui**.



Saisissez la clé WiFi de notre AP : **ChangeMe** (oui je sais, je ne l'ai pas encore changé mais pour les tests je laisse toujours les choses en l'état, je modifie après... ça permet de savoir si la modif qu'on vient de faire a créé un souci. Si vous modifiez tous les paramètres et qu'ensuite ça ne fonctionne plus, vous ne saurez pas pourquoi).

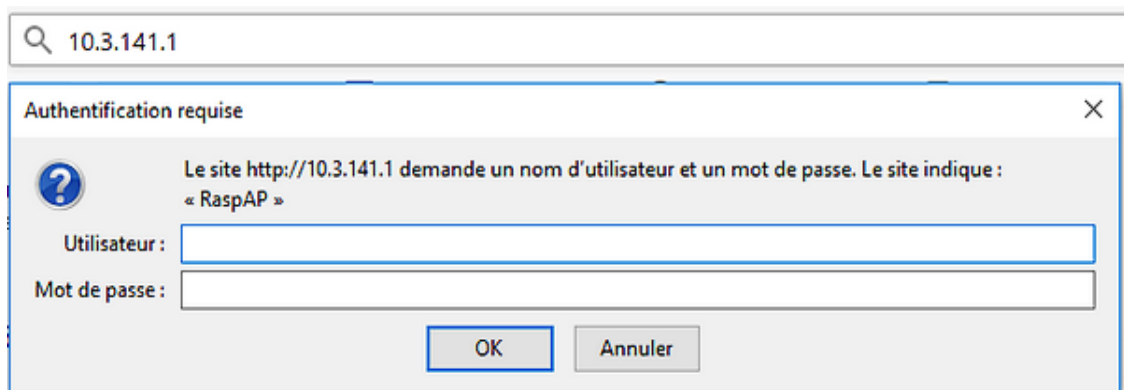
Validez. Le Raspberry Pi se connecte à l'AP **raspAP** et prend une adresse IP dans la plage gérée par le DHCP.



Vérifiez en mettant la souris sur l'icône WiFi. **wlan0** est bien associé à **raspi-webgui** et a pris l'adresse **10.3.141.138** qui est dans la plage du DHCP. Tout va bien... Remarquez que wlan0 a une adresse « de secours » en 169.254.x.x.

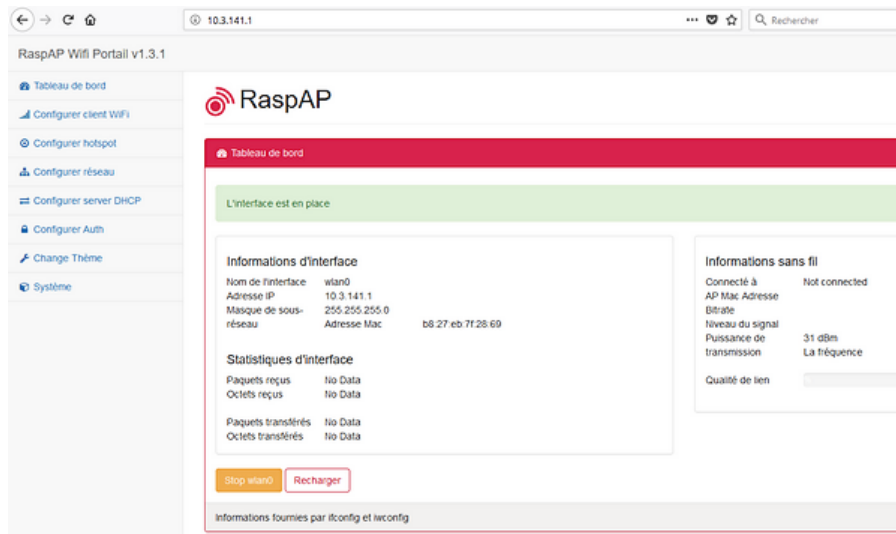
III.7. Les Paramétrage de RaspAP

Sur un PC nous allons pouvoir nous connecter à l'AP

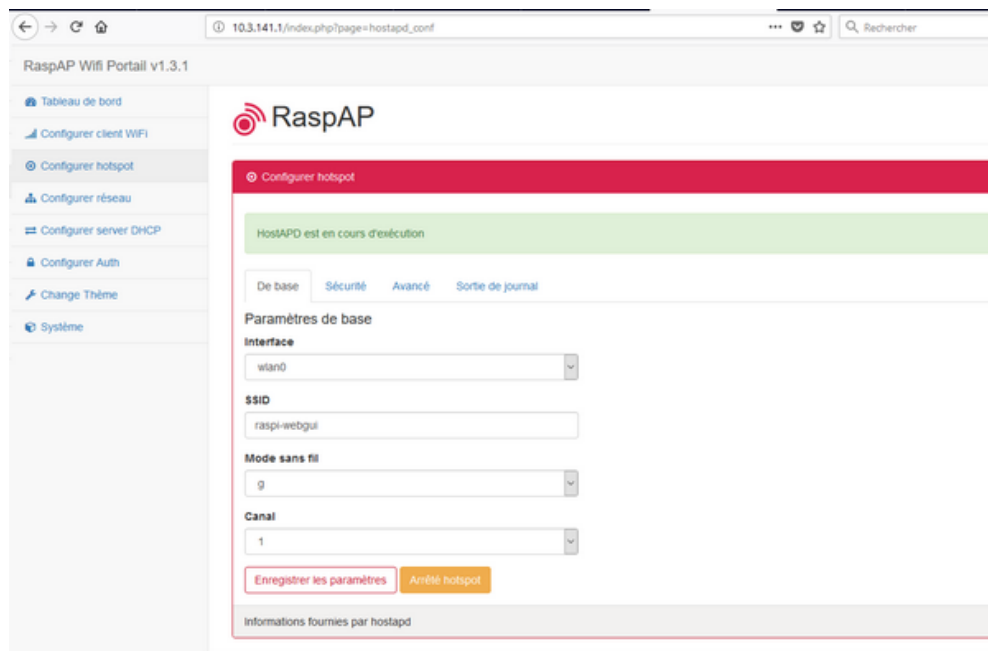


Ouvrons un navigateur web soit sur le Raspberry Pi configuré en AP, soit sur une autre machine (ici un PC sous Windows 10). raspAP demande les identifiants :

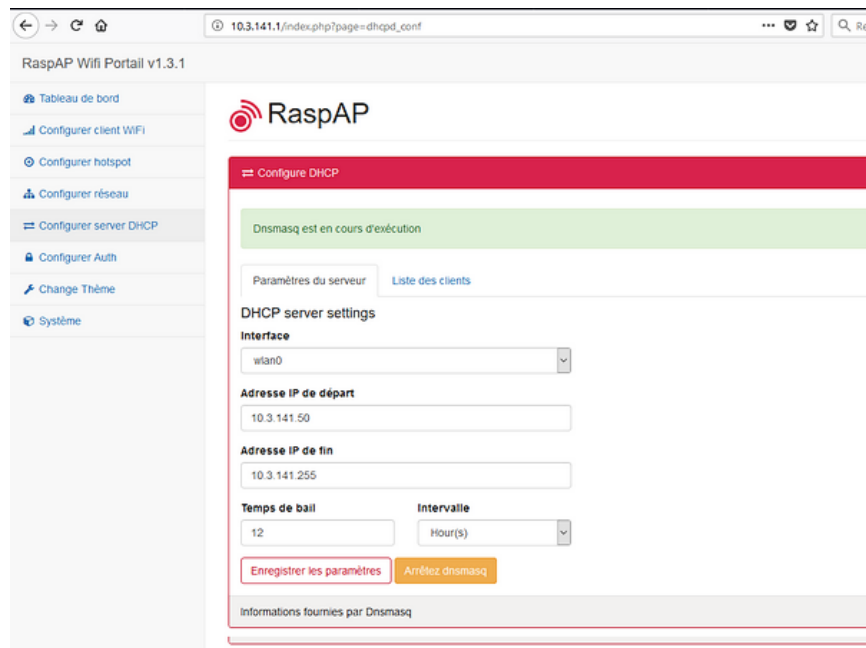
Utilisateur **admin** Mot de passe : **secret**. Bien entendu vous les changerez pour une utilisation réelle !



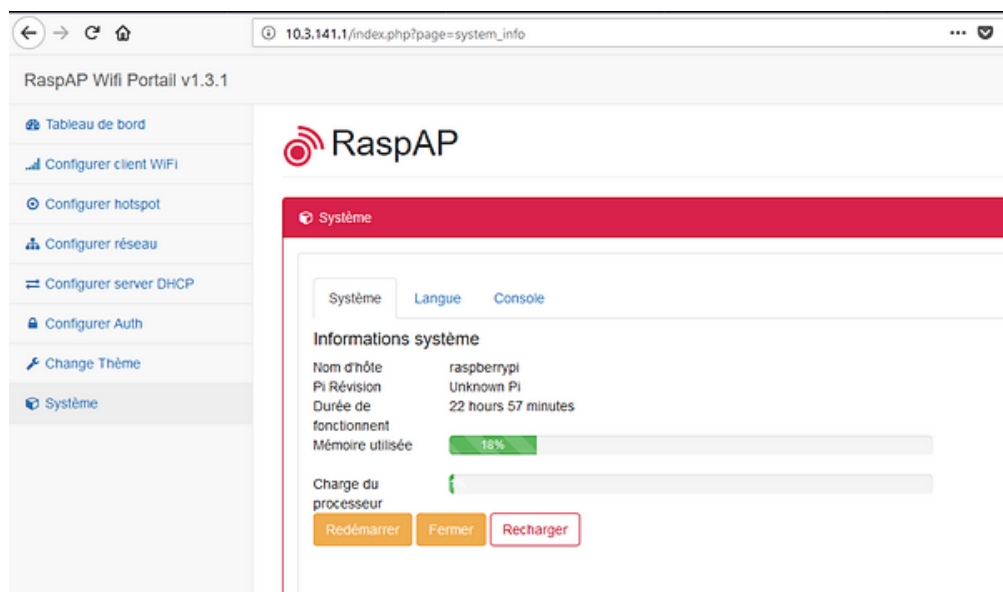
Nous accédons au tableau de bord de l'interface de gestion de raspAP.



Dans « **Configurer hotspot** » vous pourrez modifier les paramètres de l'AP (SSID, mode, canal). Par défaut laissez tel quel



Dans l'écran « **Configurer DHCP** » vous pourrez modifier la plage d'adresse du DHCP ainsi que la durée des baux. Laissez tel quel pour le moment, vous pourrez vous amuser plus tard.

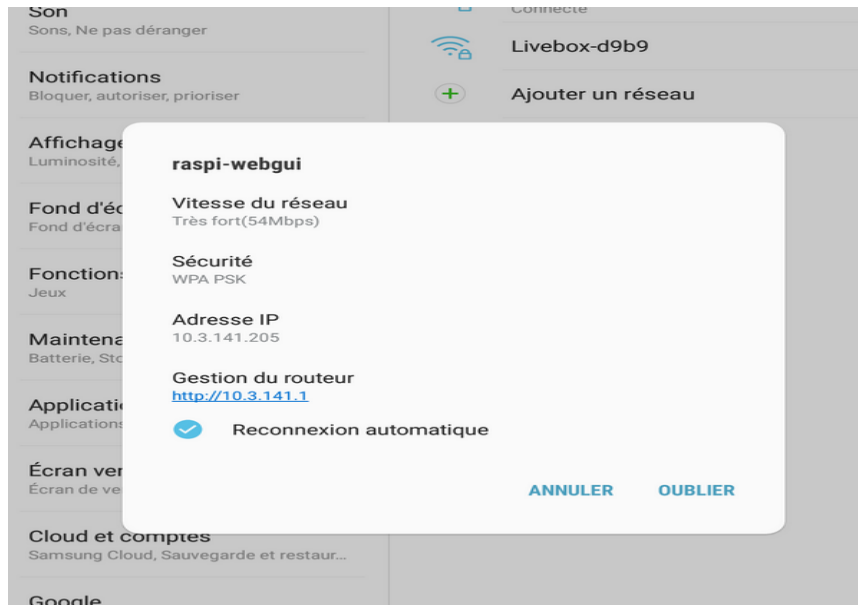


Enfin, dans système, on a obtenu des informations sur le Raspberry Pi, nous pouvons choisir la langue et accéder à une console si vous souhaitez exécuter des commandes sur le Raspberry Pi.

III.8. Le point d'accès en service

La mise en place de ce point d'accès (AP) a été faite sur le **Raspberry Pi utilisé comme broker MQTT dans le précédent article**. L'objectif étant de relier directement le(s) Raspberry Pi et ESP8266 chargés des mesures au broker, sans passer par la box. De temps en temps la box prend des malaises, il faut la redémarrer, du coup la liaison entre les capteurs et

l'affichage se coupe. Le broker a donc pris l'adresse **10.3.141.1** et le Raspberry Pi connecté à la sonde DHT22, qui lui envoie les données de température et humidité a pris l'adresse **10.3.141.138**, distribuée par le DHCP (voir copies d'écran ci-dessus).



III. 9 Les résultats finaux obtenus après la réalisation répéteur WI-FI

Wifi Analyser fait partie des premiers outils d'analyse de réseau ayant été créés spécialement pour les téléphones à système Android. Il est même considéré comme étant l'une des meilleures applications disponibles. Son plus grand avantage réside dans sa simplicité. Nous avons utilisé cette application pour enregistrer la vitesse de connexion, la vitesse de réception/envoi et le débit de signal.



Figure III.9 : Logo de l'application d'analyse des réseaux WI-FI

II.9.1 Vitesse de connexion



Figure III.10: Variation de vitesse de connexion

III.9.2 Vitesse de réception/envoi

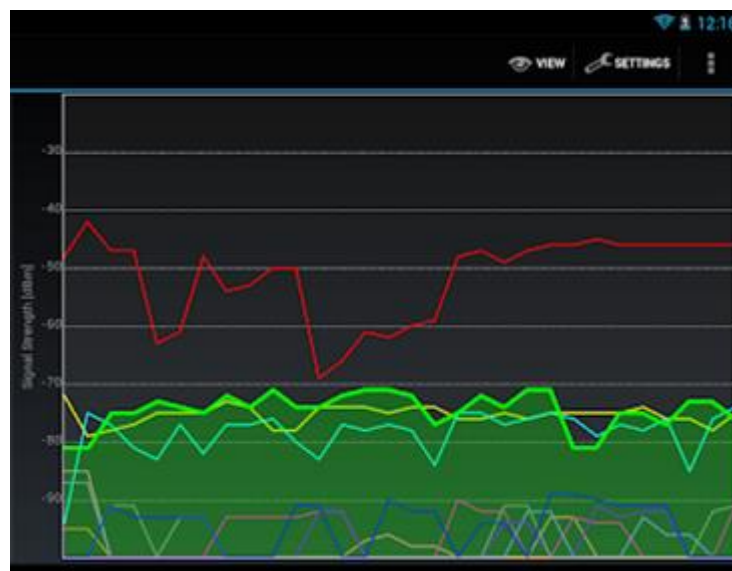


Figure III.11: Variation de vitesse réception/envoi

III.9.3 Débit de signale

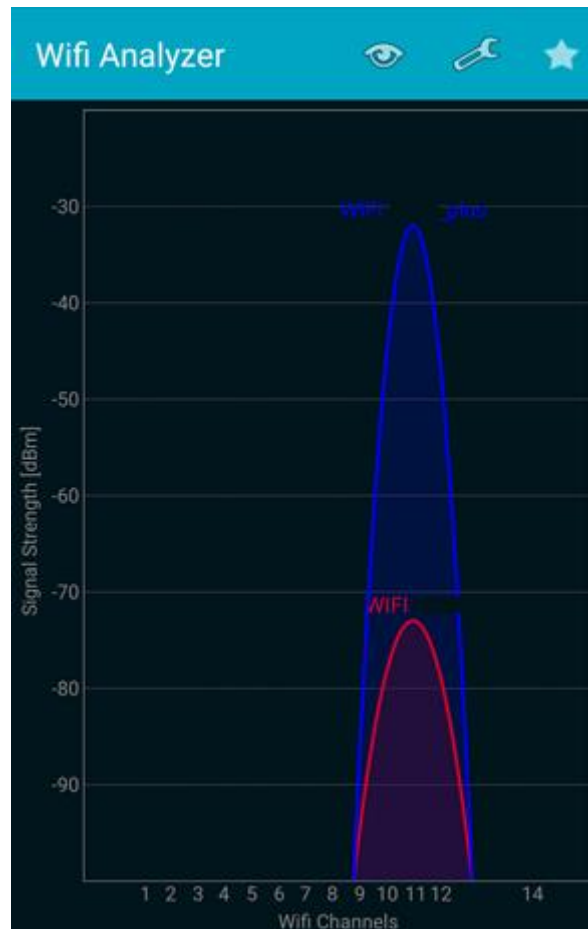


Figure III.12 : Variation de débit de signale

Résultat :

La commodité la plus importante offerte par cet appareil n'est pas la performance, mais la disponibilité des paramètres. En règle générale, pour configurer l'appareil, il vous suffit d'entrer le nom, où se connecter et comment - cela suffit amplement, le reste est généré directement par le répéteur wifi.

Entre autres choses, nous avons décidé si un répéteur WiFi était nécessaire s'il y avait déjà deux routeurs et comment les organiser rationnellement l'un par rapport à l'autre, en tenant compte des particularités de la zone dans laquelle il devrait y avoir un bon signal. Augmentation de la force du signal Améliorer la commodité de travailler dans le réseau.

Conclusion

Les connexions Internet sans fil sont pratiques, mais elles dépendent fortement de la puissance du signal émis par le routeur et reçu par l'appareil final. Il est donc peut-être normal de profiter d'une très bonne réception dans le salon, mais d'être confronté à la déconnexion

constante dans une autre pièce. La solution est un répéteur Wifi qui reçoit le signal du routeur et le redistribue. Nous avons essayé de créer facilement un tel répéteur par vous-même à l'aide d'un Raspberry Pi. Enfin, nous avons conclu que le répéteur WiFi ne sert qu'à transmettre le signal WiFi et n'augmentera pas la vitesse et les points de fréquence.

Conclusion générale

Nous voulions à l'origine accéder à Internet de manière scientifique, mais le résultat était très difficile et impliquait beaucoup, cependant, il doit d'abord être préparé.

Étant donné que Raspberry Pi est utilisé pour se connecter au WiFi pour créer un réseau local privé, le réseau est plus stable qu'auparavant. L'utilisation de votre propre routeur peut transmettre des données en toute sécurité au réseau interne. Il est également très agréable de connecter le disque dur au routeur pour obtenir une visualisation multi-stations. À l'avenir, cet ensemble d'équipements sera utilisé pour réaliser un stockage en nuage privé, ce qui est assez convaincant pour y penser

Au final, il n'y a pas grand-chose à dire, je m'arrête là, l'idée n'est pas de faire une thèse sur ce sujet, que nous n'avons pas abordé et étudié, le problème de l'interruption de transmission au sein du wifi. Réseau qui comprend de nombreux points négatifs et positifs, et nous les avons résolus grâce aux répéteurs, qui ont élargi la zone de couverture et nous ont permis une mobilité large et spacieuse est ce qui est requis j'espère que cette recherche vous a permis d'en savoir plus sur la technologie sans fil et ses développements.

Problèmes rencontrés :

Contrairement à son prédécesseur, il présente de grands avantages par rapport aux inconvénients, en particulier si vous recherchez les meilleurs moyens de renforcer votre signal Wi-Fi. Nous pouvons donc vous dire que le seul inconvénient de cette technologie est qu'elle nécessite certains appareils tribaux. Afin de l'installer et de l'équiper, et qui peut parfois avoir un prix relativement élevé, sinon, regardons les avantages les plus marquants de cette technologie :

- Une connexion solide qui couvre une très grande zone, jusqu'à deux fois la couverture du point d'accès d'origine.
- La possibilité de traiter avec des dizaines d'utilisateurs à la fois sans aucun problème de communication ni traitement intensif des demandes.
- Gestion du réseau facilement et complètement via une application mobile ou un programme informatique.
- Des appareils de haute technologie qui vous permettent de gérer facilement de nombreuses communications.

- [1] Kuloglu, Mustafa et Chi-Chih Chen. "Applications de filtres de polarisation électromagnétique à bande ultra large aux antennes à cornet conventionnelles pour des réductions substantielles du niveau de polarisation croisée." *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 55.2 (2013): 280-288.
- [2] C.A. Balanis, *Modern Antenna Handbook*, John Wiley and Sons, 2008.
- [3] <<les antennes>> 13^e édition Dunod : RAYMOUD Branlt, ROERT Piat.
- [4] Abdellatif HAFIANE, *Etude du couplage d'antennes imprimées par la méthode des différences finies et extraction du modèle électrique*. Thèse de Doctorat, université de Marne la Vallée (France), 2003.
- [5] A. Boyer <<Cour-antennes-oct11-v4-5RT>>, INSA Toulouse, octobre 2011.
- [6] G. Kossiavas, R. Staraj, C. Luxey, A. Papiernik, 'Antennes imprimées-Bases et principes', *Technique de l'ingénieur*, Référence E331.05/207.
- [7] Leil Chouitti, 'contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires doubles bandes et multi-bandes tenant compte de l'effet de couplage', *Thèse magistère, Insitu d'électronique, Université de Constantine*, 2009.
- [8] I.J. Bahl and P. Bhartia, 'Microstrip Antenna'. Dedham Artch House, 1980.
- [9] D.M POZAR 'Microstrip Antennas'. *IEEE*, VOL.80 N°1, pp.79-91. Januray 1992.
- [10] Alexandre Boyer, » support du cours », http://www.alexandreboyer.fr/alex/enseignement/cours_antennes_oct11_v4_5RT.pdf
- [11] BOUTEHOULA Sarra. *Conception des Diviseurs Optimales à base de la Technologie SIW pour Télécommunication Spatiales*. mémoire master2 en telecom université de tlemcen .
- [12] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_sans_fil
- [13] M.HADDACHE, « Cours sur les réseaux sans fil », université de Bouira, 2010/2011.
- [14] Omar Cheikhrouhou, *Sécurité des réseaux ad hoc*, Université de Sfax, 2004.
- [15] Belabdelli Abdelheq et Oukaz Mokhtar, *Dimensionnement D'un Réseau Sans Fil Wifi*, Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2012.
- [16] Mokri Karima et Ikram Sidhom Zineb, *Evaluation des performances du réseau WIFI en utilisant le simulateur OPNET* Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2015.
- [17] Kherbache Zeneb et Laribi Amina, *Etude de (QOS) dans les réseaux WIFI*, Université de Telemcen, 2011.
- [18] MERAH Hocine, *Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA.*, Université de Setif, 2012.
- [19] http://www.icriq.com/fr/productique_tfp.html/-/asset_publisher/MeX1/content/les-reseauxsans-fil/maximized

- [20] <https://reseau-informatique.prestataires.com/reseau-wifi-avantages-et-inconvenients>.
- [21] D. Pareek, « WiMAX Taking Wireless in the Max », Publié par Auerbach Publications Taylor & Francis Group, 2006.
- [22] Davor Males, ‘ ‘ WIFI par la pratique ‘ ‘ 2eme Edition, 2002,2004.
- [23] W802.11 et les réseaux sans fil
Paul Muhlethaler, édition Eyrolles, 2002
- [24] W Les réseaux Guy Pujolle, édition Eyrolles, 2003-Pujolle-Vivier, édition Eyrolles, 2001.
- [25] Alain MICHEL, "PREMIERS PAS AVEC UN RASPBERRY PI 3", <https://alain-michel.canoprof.fr/eleve/tutoriels/raspberry/premiers-pas-raspberrypi/res/premiers-pas-raspberrypi.pdf>; pp.1-50.
- [26] Abd Allah Ali Abd Allah, "Simply Raspberry pi", Mars 2014