

**Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche scientifique**

e°ÑâuÄJÖâx wx V"àx wË\ä  
*Union - Discipline - Travail*



**Groupe ITA - ingénierie SA**



## *MEMOIRE DE FIN DE CYCLE*

*Option*

**Ingénieurs en Sciences  
Informatiques et Télécommunications**

Thème

### **Etude de la desserte d'une commune par la norme 802.11 Cas de la Commune de Marcory**

*Elaboré par :*

**KOUAKOU Kouassi Achille**

*Directeur de Mémoire*

**M. KANGA Gabin**  
Ingénieur Réseau et  
Télécom à Konansystem

Année universitaire : 2007-2008

**Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche scientifique**

e°ÑâuÄjÖâx wx V"àx wÈ\ä  
*Union - Discipline - Travail*



**Groupe ITA - ingénierie SA**



## *MEMOIRE DE FIN DE CYCLE*

*Option*

**Ingénieurs en Sciences  
Informatiques et Télécommunications**

Thème

### **Etude de la desserte d'une commune par la norme 802.11 Cas de la Commune de Marcory**

*Elaboré par :*

**KOUAKOU Kouassi Achille**

*Directeur de Mémoire*

**M. KANGA Gabin**  
Ingénieur Réseau et  
Télécom à Konansystem

Année universitaire : 2007-2008

**THEME :**

**Etude de la desserte d'une commune  
par la norme 802.11 : Cas de Marcory**

## PLAN DU MEMOIRE

<i>Dédicace</i>	1
<i>Avant-propos</i>	2
<i>Remerciements</i>	3
<b>INTRODUCTION</b>	4
<b><u>PARTIE I</u> : ETUDE PRELIMINAIRE</b>	5
I – THEORIE DE LA PROPAGATION DES ONDES	6
II – LA NORME 802.11 OU WIFI	16
III – LE MATERIEL WIFI	21
<b><u>PARTIE II</u> : CONCEPTION DE LA SOLUTION</b>	28
I – ETUDE TECHNIQUE DE L'ENVIRONNMENT DE DEPLOIEMENT	29
II – ELABORATION DE LA SOLUTION RESEAU	32
III – PROPOSITION ENERGETIQUE	55
IV – ETUDE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET DE LA VIABILITE ECONOMIQUE	56
<b><u>PARTIE 3</u> : PROPOSITION D'EQUIPEMENTS ET OUTILS D'ADMINISTRATION</b>	59
I – TABLEAU RECAPITULATIF DES EQUIPEMENTS DE BASE	60
II – COUT DES EQUIPEMENTS	63
III – OUTILS D'ADMINISTRATION COMPLEMENTAIRES	63
<b>CONCLUSION</b>	65
<b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b>	66
<b><u>WEBOGRAPHIE</u></b>	67

# Dédicace

**Hier une pure vue d'esprit, aujourd'hui réalité, la fin du cycle d'ingénieur dont le présent mémoire est dédiée à :**

- **Dieu le tout puissant. Grâce à lui, la succession des moments tristes et très souvent mal perçue dans l'immédiat se révèle aujourd'hui comme une symphonie.**
- **A mon père KOUAKOU N'GBANDAMAN qui a su mettre à notre disposition les moyens nécessaires aux moments opportuns en plus du dosage parfait et la rigueur.**
- **A ma mère KOUAME AYA qui sans moyens me rendait plus riche dans mon milieu par ses conseils et son encadrement depuis mes premiers pas dont j'ignorais.**
- **A mes frères et sœurs qui ont été pour nous une source de motivation et nous représentons un modèle.**

**K. K. Achille**

## REMERCIEMENTS

La rédaction de ce mémoire est le fruit de trois années d'études. Etudes au cours desquelles certaines personnes ne pourraient être passées sous silence au regard de l'énormité de leur contributions tant financières que morale. Ainsi nous tenons à remercier :

- Mr et Mme YAO KOUADIO ; si les faiseurs de roi existaient vous en faite partie. Vous en avez été dissuadé mais vous avez cru et persisté à m'ouvrir vos bras sans grands moyens, voyez donc ce mémoire comme le votre, « papa » et « maman » le temps vous récompensera.
  
- Mr DIAYE A. BOCAR ; si aujourd'hui je suis le canari tant apprécié, le mérite vous revient en tant que potier. maître, je vous serai reconnaissant à vie.
  
- Mr KANGA GABIN, votre disponibilité, votre engouement m'a exhorté au travail.
  
- A tous ceux qui pensent être oubliés, recevez ici ma reconnaissance pour toutes vos prières à mon égard.

## AVANT-PROPOS

“L’Afrique a raté la révolution industrielle, l’Afrique a raté la révolution scientifique, l’Afrique ne doit pas rater la révolution technologique” telle était l’exhortation d’un leader Africain à l’égard de ses pairs. Cette prescription semble avoir été bien perçue par les fondateurs d’établissements privés professionnels de Côte d’Ivoire. Un accent particulier a été mis sur les filières informatiques à travers un certain nombre d’actions dont l’objectif est d’inciter la jeunesse ivoirienne aux NTIC. C’est le pari que se sont donné les fondateurs de l’Institut des Technologies d’Abidjan (ITA) en créant cet établissement en 2005. A l’image des prestigieuses Universités de l’Occident, l’ITA ambitionne de former des ingénieurs talentueux et compétents dans tous les domaines d’activité. Ingénieur dont l’objectif n’est pas seulement d’exercer dans les entreprises existantes, mais d’en créer ou d’innover dans le domaine des NTIC. La formation de ces ingénieurs dans sa diversité passe par la présentation d’un mémoire de fin de cycle. L’ingénieur a le choix entre la réalisation d’un thème de stage à lui donner dans une entreprise ou l’étude et l’exécution d’un thème de recherche d’intérêt public.

Le présent mémoire s’inscrit dans le dernier cas de figure énoncé.

## INTRODUCTION

Lié à la nature de l'homme, le besoin de communiquer s'est amplifié avec l'évolution des moyens de communication. Hier perçu comme un « LUXE » en Afrique ; aujourd'hui avoir en permanence un équipement doté de fonction multimédia est une évidence même dans les zones rurales assez reculées. C'est cet état de fait qui est décrit par RAFI HALADJIAN en subdivisant l'histoire de l'informatique en trois périodes comme suit : *un ordinateur pour plusieurs personnes (utilisateurs), un ordinateur pour un utilisateur, plusieurs ordinateurs pour un utilisateur*. L'op assiste à une diversification des moyens de communication et à une plus grande accessibilité des pays en voie de développement. A l'opposé, le coût de la communication et de l'accès à l'information est toujours perceptible au regard du pouvoir d'achat de l'africain en général et de l'ivoirien en particulier. Il s'avère opportun de concevoir une infrastructure réseau offrant les mêmes services mais à des coûts (presque) négligeables.

Autrement, cela revient à fournir des services à moindres coûts à partir des technologies non soumises à des licences.

C'est pour cette raison que **l'étude de la desserte d'une commune par la norme 802.11 cas de Marcory**; thème de ce mémoire, trouve son intérêt.

Pour l'élaboration, la première partie décrit les notions essentielles, le vocabulaire employé et les évolutions de la norme 802.11. Elle aboutira à la conception et la proposition de la solution. Cette partie permettra de faire des recommandations pour l'implémentation et de donner des exemples d'équipements outils d'administration à mettre en place pour un éventuel usage commercial de cette infrastructure.

# **PARTIE I :**

# **ETUDE PRELIMINIAIRE**

## I – THEORIE DE LA PROPAGATION DES ONDES

### 1 - La théorie des ondes

Elaboré depuis la fin du 18ème siècle, la théorie mathématique de l'électromagnétisme a servi de base pour les travaux de James Clerk Maxwell. Il publia ses travaux en 1855 et affirme " *la possibilité de l'existence d'une onde électromagnétique, constituée d'un champ électrique et d'un champ magnétique se propageant même dans le vide, à vitesse finie*". Ses travaux seront repris et amplifiés par d'autres physiciens dont Heinrich Hertz entre 1887 et 1888. Hertz construit les premières antennes émettrices et réceptrices d'ondes électromagnétiques, il s'ensuit une évolution technique très rapide et Marconi réalise la première liaison sans fil en 1889. Depuis lors, la théorie des ondes a favorisé la conception et l'évolution des nouvelles technologies de la communication. Aujourd'hui de multiples produits indispensables au bien être de l'homme moderne s'appuient sur les ondes électromagnétiques. Ce présent mémoire porte sur l'une des applications des ondes hertziennes qu'est la norme 802.11. Avant tout propos il convient de définir un certain nombre de concept et de phénomène liés à la communication hertzienne.

### 2 - Définition et représentation des ondes

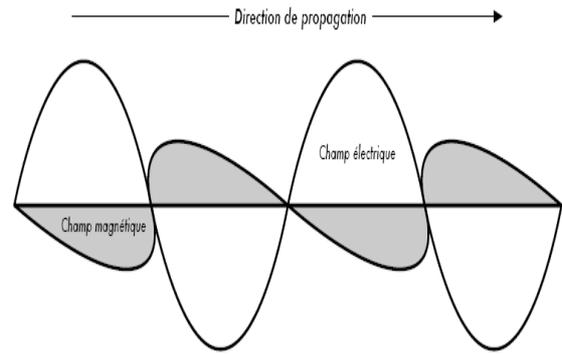
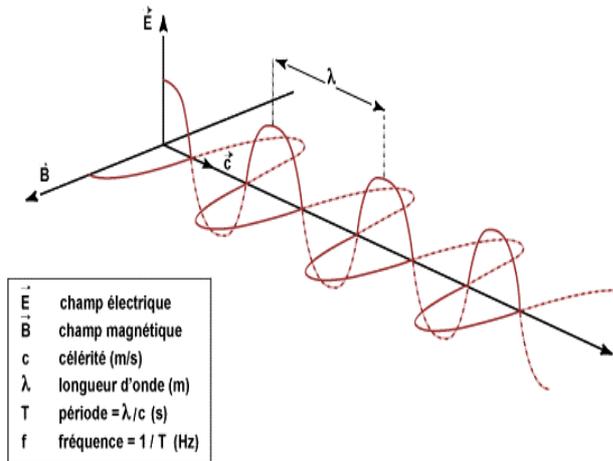
Une onde électromagnétique est l'association d'un champ électrique périodique sinusoïdal, E, et d'un champ magnétique, B, sinusoïdal de même période, perpendiculaire en tout point. Cette onde a les propriétés suivantes :

- l'onde électromagnétique se propage dans le vide
- Dans le vide, l'onde électromagnétique se propage perpendiculairement au plan (vecteurs E et B) à une vitesse constante ( $c = 3.10^8$  m.s-1).
- La propagation de cette onde, plane, est rectiligne

Ses caractéristiques essentielles sont :

- la fréquence (f), commune à E et B, est le nombre de vibrations par unité de temps, en Hz ou le nombre d'ondes entières qui passent par un point fixe en une seconde
- la période :  $T = 1/f$  (temps mis par une vibration pour se retrouver dans le même état, en s).
- la longueur d'onde dans le vide :  $\lambda = c.T = c/f$  (longueur parcourue pendant une vibration ou la distance séparant deux crêtes successives ; en m).
- l'amplitude : distance entre le centre d'une onde et l'extrémité d'une de ses crêtes, pouvant être illustrée comme étant la « hauteur » d'une vague d'eau
- la célérité :  $c = \lambda/T$

La schématisation ci-dessous de l'onde nous permet de comprendre le concept de base sur lequel s'appuie le réseau sans fil que nous envisageons déployer.



Les deux composantes complémentaires d'une onde électromagnétique: son champ électrique son champ magnétique. La polarisation décrit l'orientation du champ électrique.

### 3 - Vitesse de propagation des ondes

La vitesse de propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu de perméabilité  $\mu$  et de permittivité  $\epsilon$  est donnée par la formule :

$$v = \sqrt{\frac{1}{\mu \cdot \epsilon}}$$

En remplaçant  $\mu$  et  $\epsilon$  par la perméabilité et la permittivité du vide on peut calculer  $c$ , la vitesse de propagation des ondes qui est aussi la célérité de la lumière :

$$c = \sqrt{\frac{1}{8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}} \approx 300000000 \text{ m/s}$$

La vitesse de propagation d'une onde électromagnétique est en tout point identique à la vitesse de propagation de la lumière (sauf la fréquence).

Il est donc possible de déduire grâce à l'équation suivante, la fréquence pour une transmission dans un milieu «parfait» (le vide).

$$F = \frac{C}{\lambda}$$

- F = Fréquence en Hz
- C = Célérité (m/s)
- $\lambda$  = Longueur d'onde (m)

C : correspondant à la vitesse de propagation de l'onde est variable et dépend du milieu traversé (l'air, l'eau, un milieu boisé, ...). Certains matériaux et milieux laisseront en effet plus facilement passer les ondes que d'autres. Il faudra en tenir compte dans le déploiement sur une couverture extérieure plus grande.

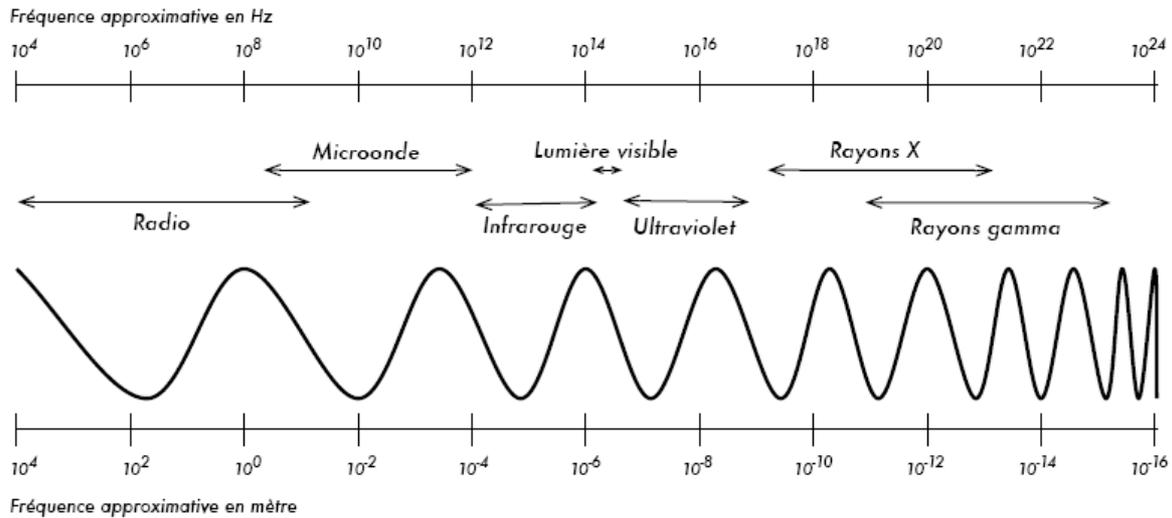
Il y a cependant quelques règles simples qui peuvent être très utiles pour concevoir un réseau sans fil:

- Moins la longueur d'onde est grande, plus loin celle-ci ira.
- Plus la longueur d'onde est grande, mieux celle-ci voyagera à travers et autour des choses.
- À plus courte longueur d'onde, plus de données pourront être transportées.

## 4 - Le spectre électromagnétique

Les ondes électromagnétiques couvrent un large éventail de fréquence; par équivalence autant de longueur d'ondes. Cette gamme de fréquences et de longueurs d'ondes est appelée le spectre électromagnétique. Il inclut une partie visible par l'œil humain à savoir la lumière (7,5\*10<sup>14</sup> hertz et 3,8\*10<sup>14</sup>) et correspond aux longueurs d'ondes comprises entre 400 nm (violet/bleu) à 800 nm (rouge).

La radio est le terme utilisé pour la partie du spectre électromagnétique dans lequel des ondes peuvent être produites en appliquant le courant alternatif à une antenne soit une plage allant de 3 hertz à 300 gigahertz.

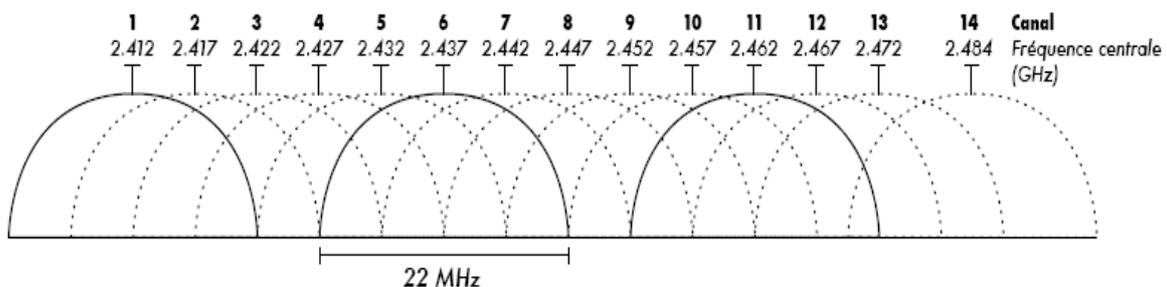


### Le spectre électromagnétique

Les fréquences qui nous intéressent pour dans l'élaboration de ce projet sont :

- les 2,400-2,484 GHz, utilisées par les standards de radio 802.11b et 802.11g (ce qui correspond à des longueurs d'ondes d'environ 12,5 cm).
- D'autres équipements disponibles sur le marché utilisent le standard 802.11a, qui fonctionne à 5,150-5,850 GHz (avec des longueurs d'ondes d'environ 5 à 6 cm).

Le spectre des 2,4 GHz de la norme 802.11 est subdivisée sur toute la largeur de la bande en partie égale appelée canaux. Ces canaux ont une largeur de 22 MHz mais sont séparées seulement de 5 MHz.



### Canaux de la bande de fréquence 2.4 GHz

## 5 - Les phénomènes

### 5-1 Le Free Space Loss et l'atténuation

#### a - Free Space Loss

La puissance du signal est diminuée par la propagation géométrique des ondes généralement connue sous le nom de perte en espace libre. Plus les deux radios sont éloignées, plus petit est le signal reçu, dû à la perte en espace libre. Ceci est indépendant de l'environnement mais de la distance. Elle se produit parce que l'énergie rayonnée du signal augmente en fonction de la distance de l'émetteur. Cette perte en espace libre, exprimée en Décibel pour un signal dans la bande de fréquence 2,4 GHz est définie par l'équation :

$$L_{fsl} = 40 + 20 \cdot \log(r)$$

L est exprimé en dB

r est exprimé en mètre m et définit la distance entre les deux antennes

#### b - L'atténuation

L'atténuation est la deuxième cause de perte lors du parcours. Elle se produit lorsqu'une partie de la puissance du signal est absorbée quand l'onde traverse des objets solides tels que des arbres, des murs, des fenêtres et des planchers de bâtiments. L'atténuation peut varier considérablement selon la structure de l'objet que le signal traverse et elle est très difficile à mesurer. Son impact sur la perte totale est exprimé en ajoutant une perte supplémentaire à l'espace libre.

Les arbres ajoutent une perte de 10 à 20 dB par arbre dans le chemin direct, alors que les murs contribuent à une perte de 10 à 15 dB dépendant de la construction.

### 5-2 L'Absorption

L'onde électromagnétique qui voyage rencontre des électrons qu'elle va exciter. Ceux-ci vont réémettre à leur tour un rayonnement qui perturbera le signal de départ et donc l'atténuera. Il est important de noter que plus la fréquence est élevée plus ce phénomène d'absorption est élevé donc plus la distance de couverture est faible. C'est pour cela que les communications radio se font sur des fréquences d'une centaine de Mhz.

Pour les micro-ondes, les deux matériaux absorbants principaux sont:

- Le Métal. Les électrons peuvent bouger librement dans les métaux, et peuvent aisément balancer et absorber ainsi l'énergie d'une onde qui passe.
- L'eau. Les micro-ondes font que les molécules d'eau se bousculent, capturant de ce fait une partie de l'énergie de l'onde.

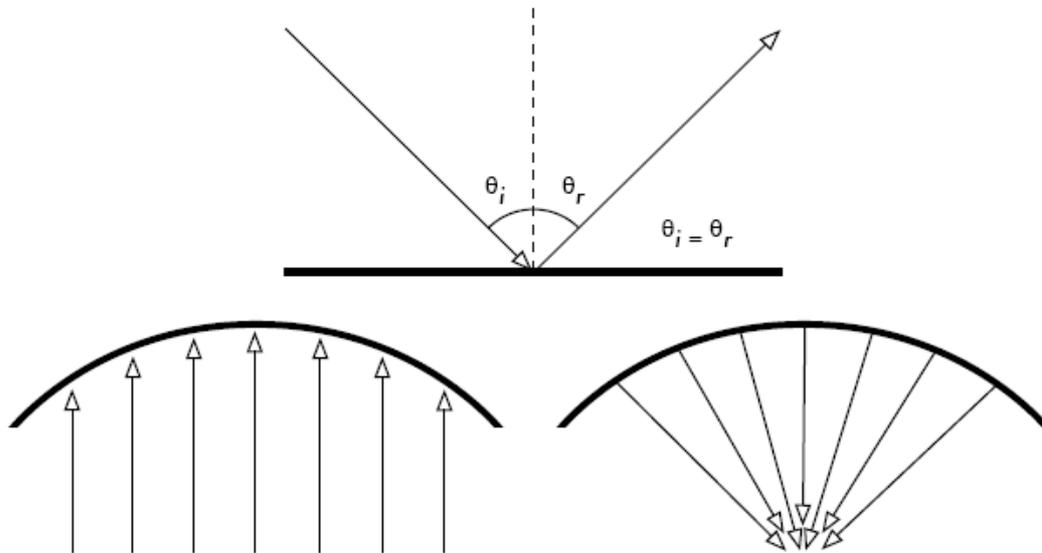
Pour une conception pratique du réseau sans fil ; ces deux matériaux sont considérés comme absorbants parfaits. De ce fait ils sont pour la micro-onde ce qu'est un mur de brique à la lumière.

Les plastiques et matériaux similaires n'absorbent généralement pas beaucoup d'énergie de radio, mais ceci varie dépendamment de la fréquence et du type de matériel. Néanmoins pour construire une composante avec du plastique (une protection climatique pour un dispositif de radio), il est toujours mieux de vérifier que le matériel en question n'absorbe pas l'énergie de radio autour de 2,4 GHz. Ce test consiste à mettre un échantillon de ce plastique dans un four à micro onde pour quelques minutes. S'il se réchauffe alors il absorbe et ne doit donc pas être utilisé.

Le corps humains étant constitué en grande partie d'eau ; il est aussi un absorbant. Un point d'accès doit être orienté de sorte que le signal ne traverse pas plusieurs personnes.

### 5-3 La réflexion

La réflexion est le brusque changement de direction d'une onde à l'interface de deux milieux. Après réflexion l'onde reste dans son milieu de propagation initial. Les règles pour la réflexion sont assez simples: l'angle sur lequel une onde frappe une surface est le même angle sur lequel elle sera déviée. Les ondes électromagnétiques peuvent être réfléchies totalement ou en partie, exactement de la même manière que pour la lumière. Il n'est toutefois pas impossible de rencontrer ce phénomène dans le déploiement d'un réseau utilisant la norme 802.11 comme celui que nous comptons déployer.

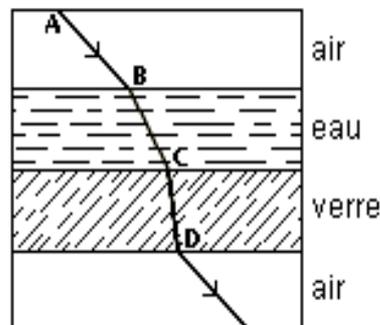


#### Réflexion d'ondes radio.

L'angle d'incidence est toujours égal à l'angle de réflexion. Une antenne parabolique utilise cet effet afin de conduire dans une même direction les ondes radio éparpillées sur sa surface.

### 5-4 La réfraction

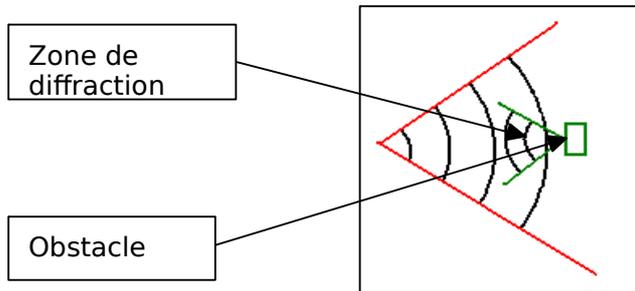
Une onde électromagnétique traversant différents milieux change de direction et ce proportionnellement à l'indice de réfraction des milieux traversés. Dans le cas d'une desserte dans une agglomération comme la ville d'Abidjan par la norme 802.11, ce changement est inévitable au regard des bâtiments assemblant divers matériaux. La définition de la réfraction est importante pour l'étude que nous menons.



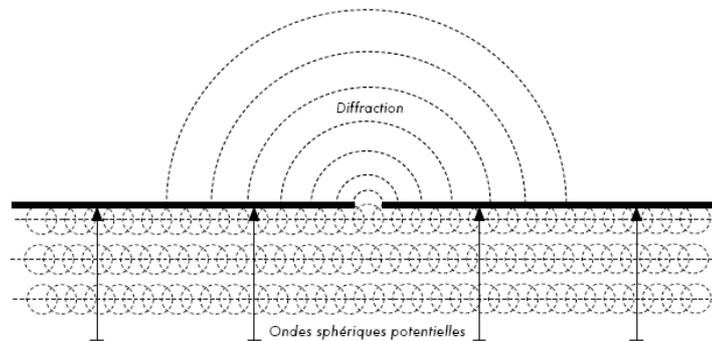
Exemple d'une onde traversant différents milieux

### 5-5 La diffraction

La diffraction est une zone d'interférence entre l'onde directe d'une source et l'onde réfléchie par un obstacle, en quelque sorte l'onde s'interfère elle-même.

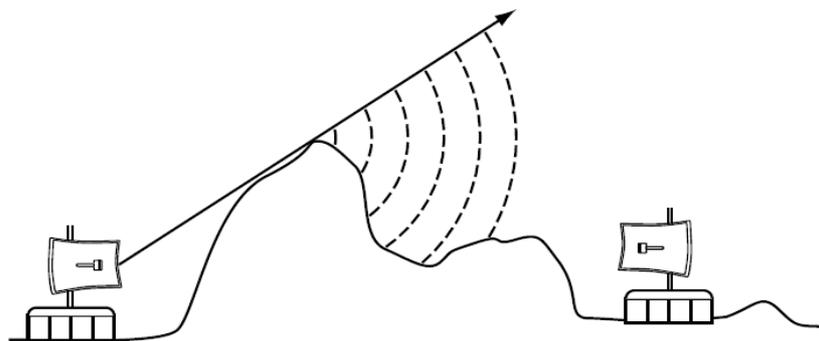


Par l'effet de la diffraction, les ondes vont se replier autour des coins ou par une ouverture dans une barrière.



#### Le principe Huygens.

Les micro-ondes, avec une longueur d'onde de plusieurs centimètres, montreront les effets de la diffraction lorsque les ondes frappent des murs, des sommets de montagne, et d'autres obstacles. Une obstruction semble faire changer la direction de l'onde en la faisant « tourner » les coins.



#### Diffraction sur le sommet d'une montagne.

Avec la diffraction il y a perte de puissance: l'énergie de l'onde diffractée est significativement plus faible que celle du front d'ondes qui l'a causé.

Ce phénomène sera aussi fréquent en milieu urbain, par conséquent il ne peut être ignoré dans le déploiement d'un réseau basé sur la norme 802.11

Une manière simple d'appliquer les effets de la diffraction dans le calcul de la perte de trajet est de changer l'exposant du facteur de distance dans la formule de perte en espace libre. L'exposant a tendance à augmenter avec la portée dans un environnement avec beaucoup de diffusion. Un exposant de 3 peut être employé dans un environnement extérieur avec des arbres, alors qu'un exposant de 4 peut être employé dans un environnement intérieur. Lorsque nous combinons perte en espace libre, l'atténuation et la diffusion, la perte de trajet est:

$$L(\text{dB}) = 40 + 10 \cdot n \cdot \log(r) + L(\text{permise})$$

Où  $n$  est l'exposant mentionné.

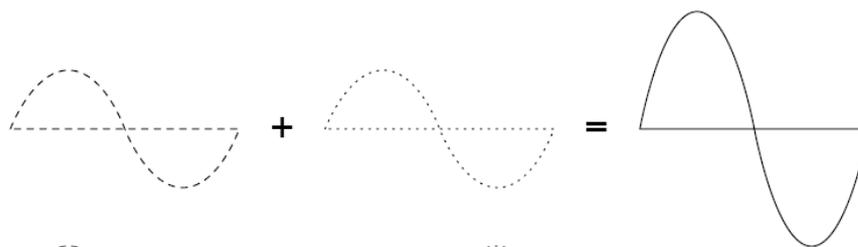
Pour une évaluation approximative de la viabilité du lien, on peut évaluer uniquement la perte liée à l'espace libre. Cependant, l'environnement peut causer davantage de perte de signal et devrait être considéré pour une évaluation exacte du lien. L'environnement est en fait un facteur très important et ne devrait jamais être négligé.

### 5-6 L'interférence

Le mot interférence est typiquement employé dans un sens plus large, pour la perturbation par d'autres sources de radio fréquence, par exemple des canaux adjacents. Ainsi, en réseau sans fil l'interférence désigne toutes sortes de perturbations par d'autres réseaux, et d'autres sources de microondes. L'interférence est l'une des sources principales de difficulté dans la construction de liens sans fil, particulièrement dans les environnements urbains ou les espaces fermés (telle qu'une salle de conférence) où plusieurs réseaux peuvent se faire concurrence dans un même spectre.

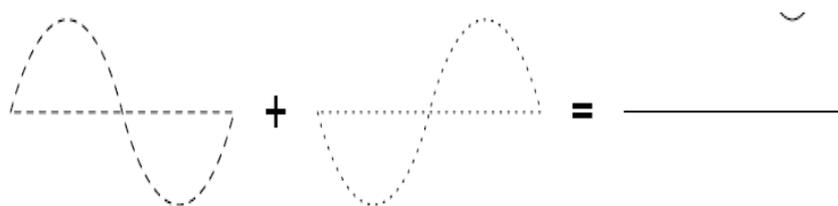
Toutes les fois que des ondes d'amplitudes égales et de phases opposées se croisent, l'onde est annihilée et aucun signal ne peut être reçu. Plus couramment, les ondes se combineront pour donner une onde complètement déformée qui ne pourra pas être employée efficacement pour la communication.

Les techniques de modulation et l'utilisation de canaux multiples aident à résoudre les problèmes d'interférence, mais ne l'éliminent pas complètement.



*Interférence constructive*

Lorsqu'une pointe coïncide avec une autre, l'on obtient les résultats maximum ( $1 + 1 = 2$ ). Ceci s'appelle **l'interférence constructive**



*Interférence destructrice*

Lorsqu'une pointe coïncide avec une vallée, l'on obtient une annihilation complète ((1 + (-)1 = 0), appelée une **interférence destructive**.

## 6 - Quelques concepts clés

### 6-1 Gain et directivité

#### a -La directivité

Il permet de mesurer la capacité d'une antenne à concentrer les ondes radio dans une direction donnée. Plus le signal est concentré dans un faisceau étroit, plus le gain de l'antenne sera fort, et inversement.

#### b - Le Gain

Le gain n'est pas une quantité qui peut être définie en termes de quantité physique tel que le Watt ou l'Ohm, c'est plutôt un rapport sans dimensions. Le gain est donné en référence à une antenne standard. Les deux antennes de référence les plus communes sont l'antenne isotrope (dBi) et l'antenne dipôle à demi onde résonnante (dBd). On a : 1dBi = 2,15 dBd

Le gain d'une antenne dans une direction donnée est la quantité d'énergie rayonnée dans cette direction comparée à l'énergie qu'une antenne isotrope rayonnerait dans la même direction avec la même puissance d'entrée.

### 6-2 La Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE)

La PIRE est le produit de la puissance fournie à l'antenne par son gain dans une direction donnée comparativement à une antenne dite isotrope (gain isotrope ou absolu). Dans ce cas elle est exprimée en Watt et traduite par la formule suivante :

$$\text{PIRE [W]} = \text{Puissance électrique appliquée à l'antenne [W]} * \text{Gain de l'antenne}$$

La PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente) est définie dans la direction de l'antenne où la puissance émise est maximale: Elle est la Puissance qu'il faudrait appliquer à une antenne isotrope (antenne idéale pouvant rayonner uniformément dans toutes les directions) pour obtenir le même champ dans cette direction.

Pour une antenne connectée directement à l'émetteur :

$$\text{PIRE [dBm]} = \text{Puissance électrique appliquée à l'antenne [dBm]} + \text{Gain de l'antenne [dBi]}$$

Pour une installation incluant le câble de liaison :

$$\text{PIRE [dBm]} = \text{Puissance de transmission [dBm]} - \text{Pertes dans les câbles et connecteurs [dB]} + \text{Gain de l'antenne [dBi]}$$

$$dBm = 10 \cdot \log \left( \frac{\text{puissance}}{1mW} \right)$$

$$dBW = 10 \cdot \log \left( \frac{\text{puissance}}{1W} \right)$$

- La loi ivoirienne autorise la PIRE maximale de 20 dBm à 2.45 GHz et de 30 dBm à 5 GHz.

### 6-3 Ligne de vue directe ou Line of sight (LoS)

Le terme ligne de vue (LOS en anglais pour Line Of Sight), est assez facile à comprendre lorsque nous parlons de lumière visible: si nous pouvons apercevoir un point B à partir du point A où nous sommes situés, nous avons une ligne de vue. Cette vue doit être exempt de tout obstacles physiques (arbre, branche, forêt, murs, bâtiments, toits de construction, etc)

Un "line-of-sight (LOS) path" est composé de deux parties : Une ligne de vue libre (LOS optique) et une zone de Fresnel suffisamment libre (LOS radio)

Ainsi on peut avoir une ligne de vue dégagée (on voit l'autre antenne) et un très mauvais signal (zone de Fresnel) et inversement une liaison radio acceptable bien que la ligne de vue n'existe pas.

#### a - Zone de Fresnel

Une zone de Fresnel est un ellipsoïde imaginaire décrit entre deux antennes.

Un lien radio aura la première zone de Fresnel dégagée ( *first Fresnel zone clearance* ) s'il n'y a pas d'obstacle à l'intérieur capable de causer suffisamment de *diffraction*. En pratique, il suffit d'avoir 60 % de la première zone de Fresnel dégagée. En dessous, les perturbations vont être significatives...

Le rayon  $r$  maximal de la première zone de Fresnel est donné par la formule :

$$r = 17,31 * \sqrt{(N(d1*d2)/(f*d))}$$

Où  $r$  est rayon de la zone en mètres,

$N$  est la zone à calculer,

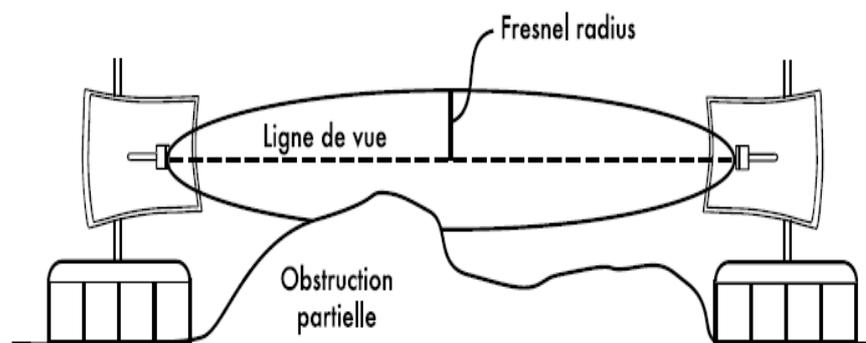
$d1$  et  $d2$  sont les distances de l'obstacle par rapport aux extrémités lien en mètres,

$d$  est la distance totale du lien en mètres,

et  $f$  est la fréquence en MHz.

Notez que ceci vous donne le rayon de la première zone en son centre si  $d1$  est égale  $d2$ .

Cependant, les obstacles ne sont pas toujours situés au milieu de la LOS optique. Il faudra calculer le rayon de l'ellipsoïde au niveau de l'obstacle afin, de savoir si cette première zone de Fresnel est dégagée à au moins 60 %



Zone de Fresnel

#### 6-4 Bilan de liaison

**Puissance de transmission.** Elle est exprimée en milliwatts ou en dBm. La puissance de transmission s'étend de 30mW à 200mW ou davantage. La puissance TX dépend souvent du taux de transmission. La puissance TX d'un dispositif donné devrait être indiquée dans la documentation fournie par le fabricant.

Cette puissance TX s'ajoute d'un seul côté du lien (émetteur) lors de l'évaluation du bilan de liaison.

**Gain d'Antenne.** Les antennes sont des dispositifs passifs qui créent un effet d'amplification en vertu de leur forme physique. Les antennes ont les mêmes caractéristiques en réception et en transmission. Ainsi une antenne de 12 dBi est simplement une antenne de 12 dBi, sans spécifier si elle est en mode transmission ou réception. Les antennes paraboliques ont un gain de 19-24 dBm, les antennes omnidirectionnelles, dBi 5-12 et les antennes sectorielles ont un gain approximatif de 12-15 dBi.

• **Niveau minimum de signal reçu,** ou simplement la sensibilité du récepteur. Le RSL minimum est toujours exprimé en dBm négatif (- dBm) et est la plus faible puissance de signal que la radio peut distinguer. Le RSL minimum dépend du taux de transmission et en règle générale, le taux le plus bas (1 Mbps) a la plus grande sensibilité. Le minimum sera habituellement dans la gamme de -75 à -95 dBm. Comme la puissance TX, les caractéristiques de RSL devraient être fournies par le fabricant de l'équipement.

• **Pertes dans les câbles.** Une partie de l'énergie du signal est perdue dans les câbles, les connecteurs et d'autres dispositifs, allant des radios aux antennes. La perte dépend du type de câble utilisé et de sa longueur. La perte de signal pour les câbles coaxiaux courts comprenant des connecteurs est assez faible, dans la gamme de 2 ou 3 dB. Il est préférable d'avoir des câbles aussi courts que possible.

On doit tenir compte de la *perte en espace libre* de l'*atténuation* et la *diffusion* pour évaluer la perte totale à considérer dans le bilan de liaison.

La somme de toutes ces valeurs donne le bilan de liaison potentiel de puissance

```

TX puissance de Radio 1
+ Gain de l'antenne de Radio 1
- Perte dans les câbles de Radio 1
+ Gain de l'antenne de Radio 2
- Perte dans les câbles de Radio 2
□□□□□□□□□□□□□□□□□□
= Gain total

```

Soustraire la perte de trajet du Gain Total:

```

Gain total
- Perte de trajet
□□□□□□□□□□
= Niveau du signal à un des côtés du lien

```

Si le résultat du niveau du signal est plus grand que le niveau minimum de signal reçu, alors le lien est viable! Le signal reçu est assez puissant pour que les radios puissent l'employer.

## II – LA NORME 802.11 OU WIFI

### 1 - L'IEEE 802.11 et ses canaux

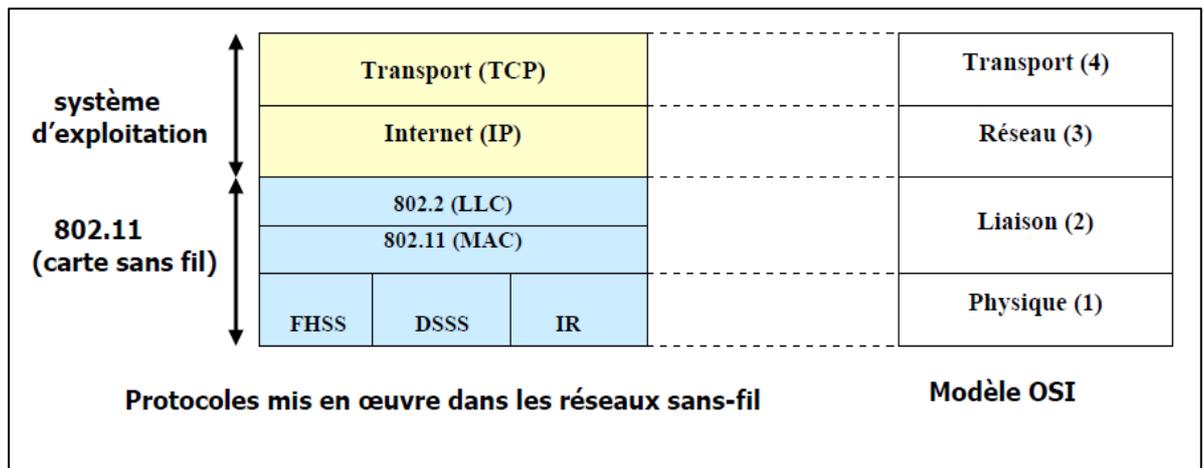
L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a normalisé plusieurs catégories de Réseaux locaux : Ethernet (802.3), le Token Bus (802.4) et le Token Ring (802.5). En 1990 le projet d'un réseau local sans fil, nommé 802.11, est lancé. Il a pour but de fournir une liaison sans fil à un ensemble d'utilisateurs fixes ou mobiles. La norme 802.11 s'adresse essentiellement aux niveaux lien et physique du modèle OSI. L'IEEE a initialement défini trois couches physiques initiales :

- FHSS : pour Frequency Hopping Spread Spectrum, c'est une technique d'accès radio qui consiste en l'émission des symboles sur une bande de fréquence de largeur fixe et de porteuse variable dans le temps. L'émetteur doit se mettre en accord avec le récepteur sur la séquence de porteuses à utiliser. En mode infrastructure, c'est le point d'accès qui annonce les fréquences à utiliser pendant les émissions.
- DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum, le fonctionnement est similaire à FHSS sauf qu'il n'y a pas de changement de porteuse dans le temps, d'où un plus large spectre d'émission et donc un meilleur débit.
- IR : pour Infrared, les infra rouges sont utilisés pour le transfert des données. Cette méthode impose que les distances entre émetteurs/récepteurs soient limitées. Elle offre un débit de 1 Mbps.

L'amendement 802.11b, qui définit une quatrième couche physique, utilise la méthode DSSS, couplé avec un encodage utilisant la modulation de phase améliorée, pour la transmission des données. 802.11b permet d'atteindre un débit théorique de 11 Mbps. 802.11a, la cinquième couche, fait encore mieux en autorisant des débits jusqu'à 54 Mbps (codage OFDM). Toutefois, 802.11a utilise la gamme des 5 GHz et, est de facto, considérée comme étant un cas particulier de la norme. Plus tard, l'IEEE va standardiser une nouvelle couche physique, nommée 802.11g, qui utilise les techniques de 802.11a pour obtenir le même débit dans la bande ISM (2,4 GHz).

Dans 802.11, la couche liaison est divisée en deux sous-couches : LLC (Logical Link Control) et MAC (Medium Access Control). La couche LLC a les mêmes propriétés que celles définies pour la couche LLC 802.2. Il est donc concevable de relier un réseau sans fil (WLAN) à n'importe quel réseau qui adopte cette couche pour gérer ses accès. La couche MAC est responsable de la procédure d'allocation du support (accès), de l'adressage des paquets, du formatage des trames, du contrôle d'erreur (via un CRC, Cyclic Redundancy Check), ainsi que de la fragmentation et du réassemblage.

La première utilise la technique CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) pour arbitrer l'accès au support. Elle est conçue de façon à ce que tous les utilisateurs aient une chance égale d'accéder au médium. La deuxième technique est basée sur l'interrogation régulière, par le point d'accès, de l'ensemble des stations pour leur demander s'ils ont des données à transmettre.



## 2 - Les variantes du 802.11

La norme 802.11 a connu plusieurs améliorations appelées variantes ayant chacune des caractéristiques distinctes qu'il convient de préciser. Le Wifi, acronyme de « Wireless Fidelity » est un label commercial défini par le Groupe de travail WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) pour garantir l'interopérabilité des équipements qui communiquent à partir de norme 802.11. Le Wifi est utilisé dans le langage courant pour désigner les réseaux de données (réseaux locaux) sans fils, devenant ainsi le symbole de l'informatique et de l'Internet nomades.

Plusieurs variantes de la norme 802.11 ont été définies pour apporter des améliorations aux performances et des adaptations :

Normes	Caractéristiques
802.11	L'"ancêtre" du réseau sans fil, sur 2,4 GHz modulation DSSS ou saut de fréquence (aucune norme imposée), d'un débit de 2 Mbit/s et pratiquement pas interopérable de constructeur à constructeur.
802.11a	Haut débit (30 Mbit/s effectifs) sur la bande des 5 GHz Historiquement le second projet de réseau Ethernet sans fil sur 5 GHz, disposant d'une bande passante physique de 54 Mbs, mais dont la sophistication a fortement retardé l'industrialisation.
802.11b	Haut débit (6 Mbit/s effectifs) sur la bande des 2,4 GHz Premier réseau Ethernet sans fil interopérable, sur 2,4 GHz, offrant un débit physique de 11 Mb/s (modulation DSSS, accès par CSMA/CA et détection de porteuse).
802.11c	Travaux suspendus Complément de la couche MAC améliorant les fonctions « pont », reversé au

Normes	Caractéristiques
	Groupe de Travail 802.11d.
802.11d	Travaux suspendus Adaptation des couches physiques pour conformité aux exigences de certains pays particulièrement strictes (essentiellement la France et le Japon).
802.11e	Travaux sur la qualité de service ( <b>QoS</b> ). Norme en voie d'achèvement Complément de la couche MAC apportant une qualité de service ( <b>QoS</b> ) aux réseaux 802.11a, b et g. Par exemple, pouvoir assurer des transmissions synchrones (voix sur IP).
802.11f	Travaux sur le protocole Inter Access Point Protocol ( <b>IAPP</b> ), qui doit permettre aux bornes d'accès de dialoguer entre elles. Norme en voie d'achèvement Document normatif décrivant l'interopérabilité inter constructeurs au niveau de l'enregistrement d'un point d'accès (AP) au sein d'un réseau, ainsi que les échanges d'information entre AP lors d'un saut de cellule (roaming).
802.11g	Haut débit (54 Mbit/s théoriques) sur la bande des 2,4 GHz. Norme en voie d'achèvement Adaptation de l'OFDM aux réseaux 802.11b (passage à 54 Mb/s), mode "turbo" apportant également les mécanismes de code de protection par redondance ( <b>PBCC</b> )
802.11h	Adoption des technologies DFS (Dynamic Frequency Solution) et TPC (Transmit Power Control), pour une conformité avec les normes européennes. En cours d'élaboration, travail commun entre l'IEEE et l'ETSI. Amélioration de la couche MAC visant à rendre compatible les équipements 802.11a avec les infrastructures Hiperlan2. 11h s'occupe notamment de l'assignation automatique de fréquence de l'AP et du contrôle automatique de la puissance d'émission visant à éliminer les interférences entre points d'accès (à ne pas confondre avec un asservissement de la puissance d'émission de l'AP en fonction de la force du signal du client, tel que c'est le cas pour le MMAC IsWan japonais).
802.11i	Travaux sur la sécurité des transmissions sur les bandes de fréquence 2,4 GHz et 5 GHz. Amélioration au niveau MAC destinée à renforcer la sécurité des transmissions, et se substituant au protocole de cryptage WEP. Norme composée de nombreuses étapes de travail ne devant pas s'achever avant la fin 2003.

Normes	Caractéristiques
802.11j	Convergence des standards américain 802.11 et européen Hiperlan, tous deux fonctionnant sur la bande de fréquence des 5 GHz
802.11x	Sous-section du groupe de travail 802.11i visant à l'intégration du protocole <b>EAP</b> (authentification) dans les trames Ethernet (indépendamment de tout protocole <b>PPP</b> , contrairement aux accès <b>RAS</b> conventionnels). 1x permet l'usage d'un serveur d'authentification de type <b>Radius</b> .
802.11 n	La 802.11n propose un débit théorique de 500 à 600 Mb/s - soit presque dix fois plus que la standard actuel 802.11g et ses 54 Mb/s - et une portée deux fois supérieure. En situation réelle, les tests réalisés sur le pré-standard constatent des débits réels de 150 à 200 Mb/s. Pour atteindre un tel débit, 802.11n s'appuie notamment sur la technologie d'antennes multiples MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) et sur la technologie de multiplexage des ondes radio OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) dans la bande des 2,4 ou 5 GHz.

### 3 - Les types de réseau (Indoor ou Outdoor)

#### a - Indoor

Un réseau wifi est qualifié de indoor lorsqu'il est déployé pour des utilisateurs géographiquement regroupés dans un bureau ou un bâtiment. Ces utilisateurs pouvant être dénombrés et identifiés de façon exhaustive par le concepteur du réseau. La couverture du réseau est assez restreinte. Ce type de configuration du réseau wifi est le plus connu. Le wifi indoor est utilisé comme complément d'un réseau ethernet pour l'accès à internet.

#### b - Outdoor

Wifi outdoor est aussi un réseau basé sur la norme 802.11 mais d'une couverture plus grande et bâti pour des utilisateurs relativement éloignés de la borne. Il peut être constitué de un ou plusieurs HOTSPOTS couvrant un quartier ; une commune ou une ville entière. A la différence du indoor ; le outdoor permet le déploiement de plusieurs services (voix ; TV ; streaming...) en plus de l'accès à l'internet. Quoique utilisant la même bande de fréquence que le indoor ; ce type de réseau wifi est assez complexe à bâtir et nécessite des antennes externe de plus grande couverture. Le déploiement d'un réseau de ce genre nécessite la prise en compte de plusieurs paramètres. C'est ce type de réseau qui fait l'objet de cette étude.

### 4 - La méthode d'Accès CSMA/CA

Offrant les mêmes services que le réseau Ethernet ; le réseau wifi utilise une méthode d'accès au média différente de celle de l'Ethernet (CSMA/CD).

Le protocole CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) utilise un mécanisme d'esquive de collision basé sur un principe d'accusé de réception réciproque entre l'émetteur et le récepteur :

La station voulant émettre écoute le réseau. Si le réseau est encombré, la transmission est différée. Dans le cas contraire, si le média est libre pendant un temps donné (appelé DIFS pour *Distributed Inter Frame Space*) alors la station peut émettre. La station transmet un message appelé Ready To Send (ou *Request To Send* noté RTS signifiant prêt à émettre) contenant des informations sur le volume des données qu'elle souhaite émettre et sa vitesse de transmission. Le récepteur (généralement un point d'accès) répond un *Clear To Send* (CTS), signifiant *Le champ est libre pour émettre* puis la station commence l'émission des données.

À réception de toutes les données émises par la station, le récepteur envoie un accusé de réception (ACK). Toutes les stations avoisinantes patientent alors pendant un temps qu'elles considèrent être celui nécessaire à la transmission du volume d'information à émettre à la vitesse annoncée.

## 5 - Les modes de fonctionnement

Lorsque deux cartes sans fil sont configurées pour employer le même protocole sur le même canal radio, alors elles peuvent négocier la connectivité de la couche liaison de données. Chaque dispositif 802.11a/b/g peut fonctionner dans un des quatre modes possibles suivants:

*Le mode maître* (aussi nommé *AP* ou *mode infrastructure*) est employé pour créer un service qui ressemble à un point d'accès traditionnel. La carte sans fil crée un réseau avec un canal et un nom spécifique (appelé le *SSID*) pour offrir ses services. Sur ce mode, les cartes sans fil contrôlent toutes les communications liées au réseau (authentification des clients sans fil, contrôle d'accès au canal, répétition de paquets, etc...) Les cartes sans fil en mode maître peuvent seulement communiquer avec les cartes qui sont associées à lui en mode administré.

*Le mode administré* (*managed mode* en anglais) est également désigné sous le nom de *mode client*. Les cartes sans fil en mode administré rejoindront un réseau créé par un maître et changeront automatiquement leur canal pour que celui-ci corresponde à celui du maître. Ensuite, elles présentent leurs identifications au maître. Si celles-ci sont acceptées, elles sont alors *associées* au maître. Les cartes en mode administré ne communiquent pas entre-elles directement et communiqueront uniquement avec un maître associé.

*Le mode ad hoc* crée un réseau multipoint à multipoint où il n'y a aucun nœud maître ou AP. En mode ad hoc, chaque carte sans fil communique directement avec ses voisins. Les nœuds doivent être à la portée des autres pour communiquer, et doivent convenir d'un nom de réseau et un canal.

*Le mode moniteur* est employé par certains outils (tels que **Kismet**,) pour écouter passivement tout le trafic radio sur un canal donné. Lorsqu'elles se trouvent en mode moniteur, les cartes sans fil ne transmettent aucune donnée. Ceci est utile pour analyser des problèmes sur un lien sans fil ou observer l'utilisation de spectre dans le secteur local. Le mode moniteur n'est pas utilisé pour des communications normales. Lorsque nous réalisons une liaison point à point ou point à multipoint, une radio fonctionnera typiquement en mode maître, alors que l'autre (ou les autres) fonctionneront en mode réseau. Dans un réseau maillé multipoint à multipoint, toutes les radios fonctionnent en mode ad hoc de sorte qu'elles puissent communiquer les unes avec les autres directement.

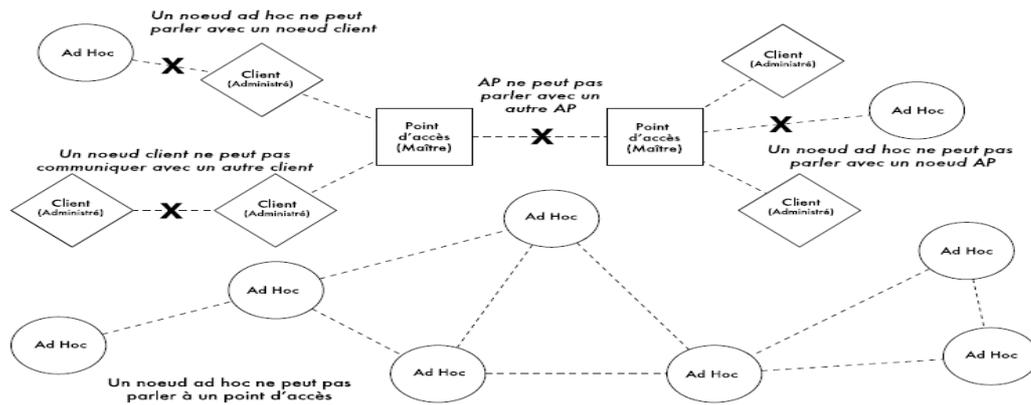


Figure 3.17: AP, Clients et nœuds Ad Hoc.

Il est important d'avoir à l'esprit ces modes lors de la conception d'un réseau. Les clients en mode administré ne peuvent pas communiquer entre eux directement.

### III – LA MATERIEL WIFI

L'utilisation de la norme 802.11; objet de cette étude n'est possible qu'à partir d'un ensemble de matériel. Plusieurs réseaux wifi peuvent être créés sans utiliser impérativement les mêmes types de matériels. Toutefois tout nœud connectés ou devant être connectés à un réseau wifi doit intégrer un composant de la norme 802.11 d'où la nécessité de la connaissance des différents types d'équipements de base wifi nécessaire pour le déploiement d'un réseau de grande couverture.

#### 1 - Les adaptateurs Wifi

Un adaptateur Wifi désigne un composant nécessaire à un terminal pour la connexion à une borne ou un réseau wifi. Au-delà des puces intégrées au téléphones et ordinateurs portables de dernières génération ; il existe plusieurs autres adaptateurs capables de conférer cette même capacité à un équipement ne l'ayant pas nativement.

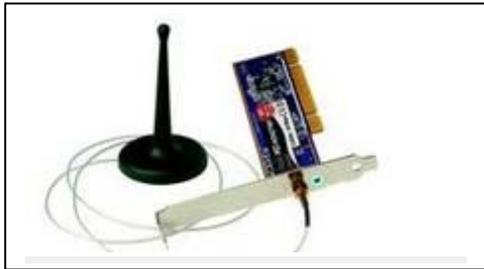
##### 1-1 Les clés USB wifi dongle

Un dongle Wifi ou clé USB wifi est un support ayant l'allure d'une clé USB classique, sauf que celle-ci permet d'envoyer et de recevoir des données via un réseau wifi ( borne HotSpot, routeur etc...). Il peut s'utiliser sur un desktop ou un ordinateur portable.



##### 1-2 Les cartes wifi PCI

Les cartes wifi PCI sont des composants wifi enfichables dans les slots PCI des unités centrales. Ces cartes wifi permettent de connecter un ordinateur de bureau à un réseau wifi.



### 1-3 Les cartes PCMCIA

Les cartes wifi PCMCIA sont des composants wifi enfichables dans les ordinateurs portables. Elles sont exclusivement dédiées pour usage sur ordinateur portable.



## 2 - Les points d'accès

### 2-1 Professionnels

Le point d'accès wifi ou borne wifi est l'équipement indispensable pour le déploiement d'un réseau de grande couverture. Il constitue le nœud central auquel tous les terminaux du réseau seront connectés et pilote le réseau grâce à un micro logiciel embarqué depuis la fabrication. La plupart de ces équipements sont prêts à être installés, seuls les câbles d'antenne doivent être joints et scellés puis quelques paramètres personnels doivent être fournis par l'utilisateur. Il existe beaucoup d'équipements professionnels sur le marché. Le choix dépend des objectifs assignés au projet pour il est acheté. Les points d'accès ont des paramètres ont généralement des paramètres de base communs ; mais différent sur des options qu'il faut considérer lors du choix.



## 2-2 Implémentés

A la différence des points d'accès dits professionnels ; un utilisateur averti peut créer un point d'accès à partir d'un ordinateur de capacité minimale doté d'un système d'exploitation LINUX. Ce type de point peut être utilisé à titre expérimental ; il ne sera donc pas l'objet d'une étude détaillée dans ce présent document. Il convient donc de préciser que nous ne l'emploierons non plus dans cette étude car basée sur des spécifications techniques réelles. Néanmoins pour un déploiement dans un environnement restreint ce type de point d'accès peut être adopté en vue de minimiser les coûts.

## 3 - Les antennes

En radioélectricité, une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou, de capter (récepteur), les ondes électromagnétiques. L'antenne est un élément fondamental dans un système radioélectrique. Ses caractéristiques de rendement : gain et directivité influencent directement les performances de qualité et de portée du système d'où leur importance dans une telle étude.

### 3-1 Les différents types d'antenne

Plusieurs dizaines de types d'antennes sont connues, différents par leur fonctionnement, leur géométrie, leur technologie. Pour la norme 802.11 seules trois types d'antennes seront cités et cette classification est basée sur la directivité de ces antennes:

#### a - Antenne directionnelle

Les antennes directionnelles sont des antennes pour lesquelles la largeur de faisceau est beaucoup plus étroite que dans les antennes sectorielles. Elles ont un gain plus élevé et sont donc employées pour des liens de longue distance. Les types d'antennes directives sont les Yagi, les biquad, les cornets, les hélicoïdales, les antennes patch, les antennes paraboliques, et plusieurs autres

#### b - Antenne sectorielle

Les antennes sectorielles rayonnent principalement dans un secteur spécifique. Le faisceau peut être aussi large que 180 degrés ou aussi étroit que 60 degrés.

#### c - Antenne omnidirectionnelle

Les antennes omnidirectionnelles rayonnent approximativement le même signal tout autour de l'antenne dans un angle complet de 360°. Les types d'antennes omnidirectionnelles les plus populaires sont le dipôle et le ground plane.

### 3-3 Caractéristiques des antennes (Gain, directivité, polarisation)

#### a - Gain

Il permet de mesurer la capacité d'une antenne à concentrer les ondes radio dans une direction donnée. Plus le signal est concentré dans un faisceau étroit, plus le gain de l'antenne sera fort, et inversement. Le gain est exprimé généralement en décibels, soit par rapport au dipôle, soit par rapport à l'antenne isotrope. L'unité utilisée dans le premier cas est le dBd (décibel par rapport au dipôle) et dans le second cas le dBi (décibel par rapport à l'antenne isotrope). Le dBd est une unité pratique car elle permet de se faire une idée de l'amélioration apportée par l'antenne au gain mais le dBi est une meilleure référence car elle est universelle. La différence entre le dBi et le dBd est 2,15 décibels, autrement dit un dipôle demi-onde à un gain de 2,15 dBi (1dBd = 2,15 dBi).

Il est fréquent que les gains des antennes soient exprimés simplement en dB sans autre précision, par précaution on considérera qu'il s'agit de dBi plutôt que de dBd. Le gain est un facteur important, il est donc déterminant dans le choix des antennes.

## **b - Directivité**

La directivité est la capacité d'une antenne à focaliser l'énergie dans une direction particulière au moment de transmettre ou de recueillir l'énergie provenant d'une direction particulière au moment de recevoir. Si un lien sans fil est fixe aux deux extrémités, il est possible d'utiliser la directivité d'antenne pour concentrer le faisceau de rayonnement dans la direction voulue. Dans une application mobile où l'émetteur-récepteur n'est pas fixe, il peut être impossible de prévoir où l'émetteur-récepteur sera, et donc l'antenne devrait, dans la mesure du possible, rayonner dans toutes les directions.

## **c - Polarisation**

La polarisation est définie comme étant l'orientation du champ électrique d'une onde électromagnétique. La polarisation est en général décrite par une ellipse. La polarisation linéaire et la polarisation circulaire sont deux cas spéciaux de polarisation elliptique. La polarisation initiale d'une onde radio est déterminée par l'antenne.

Avec la polarisation linéaire, le vecteur de champ électrique reste tout le temps dans le même plan. Le champ électrique peut laisser l'antenne dans une orientation verticale, une orientation horizontale ou dans un angle entre les deux.

Le rayonnement verticalement polarisé est légèrement moins affecté par des réflexions dans le chemin de transmission.

## **5 - Les câbles et connecteurs**

### *5-1 Tableau comparatif des câbles*

Lors d'un déploiement d'un réseau wifi outdoor, il faut un câble coaxial pour raccorder le point d'accès WiFi à l'antenne. Ces câbles ont toujours une impédance de 50Ω. Par contre le câble utilisé pour les applications TV a une impédance de 75Ω, il ne doit être utilisé pour les réseaux sans fil même s'ils sont physiquement identiques.

Voici quelques règles générales pour choisir le bon câble en fonction du besoin:

S'applique aux normes 802.11b et 802.11g (2.4GHz)

- Jusqu'à 3m opter pour le RG-58, le H-155 est meilleur
- Jusqu'à 8m opter pour le H-155
- Au dessus de 8m vous devriez utiliser les Ecoflex-10, Aircom+ ou Ecoflex-15, utilisez des "Pigtails" pour adapter à des systèmes de petits connecteurs

	<b>RG-316</b>	<b>RG-58</b>	<b>H-155</b>	<b>Ecoflex-10</b>	<b>Aircom+</b>	<b>Ecoflex-15</b>
Diamètre [mm]	2,6	5,0	5,5	10,2	10,3	14,6
Atténuation/100m à 2450MHz [dB]	165	140	48	23,1	21,5	16
Atténuation/100m à 5450MHz [dB]	~330	~272	~93	---	34,1	~27

## ECOFLEX 10



Câble faible perte à diélectrique mousse et conducteur central tressé, plus flexible que le Aircom+, avec un peu plus d'atténuation, fréquence max. 4GHz. Double blindage: tresse de cuivre et feuille de cuivre. Nécessite les mêmes connecteurs que le Aircom+.

## ECOFLEX 15



Câble similaire à l'Ecoflex-10, mais diamètre plus important. Utilisable jusqu'à 6 GHz. Les connecteurs peuvent être montés sans souder.

## AIRCOM plus



Avec diélectrique air et très peu de pertes, conçues pour aller jusqu'à 10GHz. blindage extérieur en feuille de cuivre avec tresse de cuivre additionnelle.

## H-155



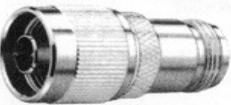
Câble à faible perte avec diélectrique mousse et conducteur central tressé, double blindage. Du au petit diamètre extérieur il est flexible comme le RG-58, mais avec beaucoup moins de pertes. Utile pour les nappes de câbles d'équipement et les câbles de réseau WLAN courts.

## RG 58



Le câble RG58 est un câble coaxial de 50 Ohm d'impédance caractéristique. C'est une ligne de transmission. Il se compose d'une gaine en plastique, d'une tresse de blindage, d'un isolant ainsi que d'une âme aussi appelé point chaud.

### 5-2 Tableau comparatif des connecteurs N

<p><b>N-71</b> PROTECTIVE CAP FOR N FEMALE</p> 	<p><b>N-80</b> N MALE TO TNC FEMALE</p> 
<p><b>N-72</b> PROTECTIVE CAP FOR N MALE</p> 	<p><b>N-81</b> N MALE TO UHF MALE</p> 
<p><b>N-73</b> N MALE TO MALE</p> 	<p><b>N-82</b> N MALE TO UHF FEMALE</p> 
<p><b>N-74</b> N MALE TO N FEMALE</p> 	<p><b>N-83</b> N FEMALE TO RCA FEMALE</p> 
<p><b>N-75</b> N FEMALE TO N FEMALE</p> 	<p><b>N-84</b> N FEMALE TO TNC FEMALE</p> 
<p><b>N-76</b> N MALE TO BNC FEMALE</p> 	<p><b>N-85</b> N FEMALE TO UHF FEMALE</p> 
<p><b>N-77</b> N MALE TO F FEMALE</p> 	<p><b>N-86</b> RIGHT ANGLE N DOUBLE MALE</p> 
<p><b>N-78</b> N MALE TO RCA FEMALE</p> 	
<p><b>N-79</b> N MALE TO TNC MALE</p> 	

## 6 - Les Pylônes

Un **pylône** est un support utilisé dans la télécommunication. Il abrite une partie des éléments de l'opposition

### 6-1 Haubané

Les modèles courants sont: ST15, ST40, ST60, ST61, ST100, ST150

	ST 40	Vitesse du vent		
		130 km/h	150 km/h	
	Charges	En-tête	2,6m <sup>2</sup>	2 m <sup>2</sup>
		mi-hauteur	de 2,6 à 3 m <sup>2</sup>	de 2 à 2,4 m <sup>2</sup>
	Hauteurs	06 m, 09m, 12m, 15m, . . . , 51 m		

### 6-2 Autoportant Auto stables

Les pylônes auto stables ont une hauteur variant de 4 à 81m

Les modèles courants sont : TC100, TC150, Auto 30, Auto 60, Auto 61, Auto 100, Auto 200.

	TC 100	Vitesse du vent		
		130 km/h	150 km/h	
	Charges	En-tête	3,3 m <sup>2</sup>	2,5 m <sup>2</sup>
		mi-hauteur	3,6 m <sup>2</sup>	2,9 m <sup>2</sup>
	Hauteurs	04m, 08m, 12m, 16m, 20m		

### 6-2 Mats ou trépieds

Les trépieds ont une hauteur variant de 4 à 10m et leurs massifs sont calculés pour une terrasse.

Les modèles standards sont : ST11, ST21, ST31, ST52

	Trépieds à 3 jambes de forces à ballast.		
	Surface en tête : 1 m <sup>2</sup>		
	Hauteurs : 4 à 6m		
	Tube diamètre : 114mm		

# **PARTIE II :**

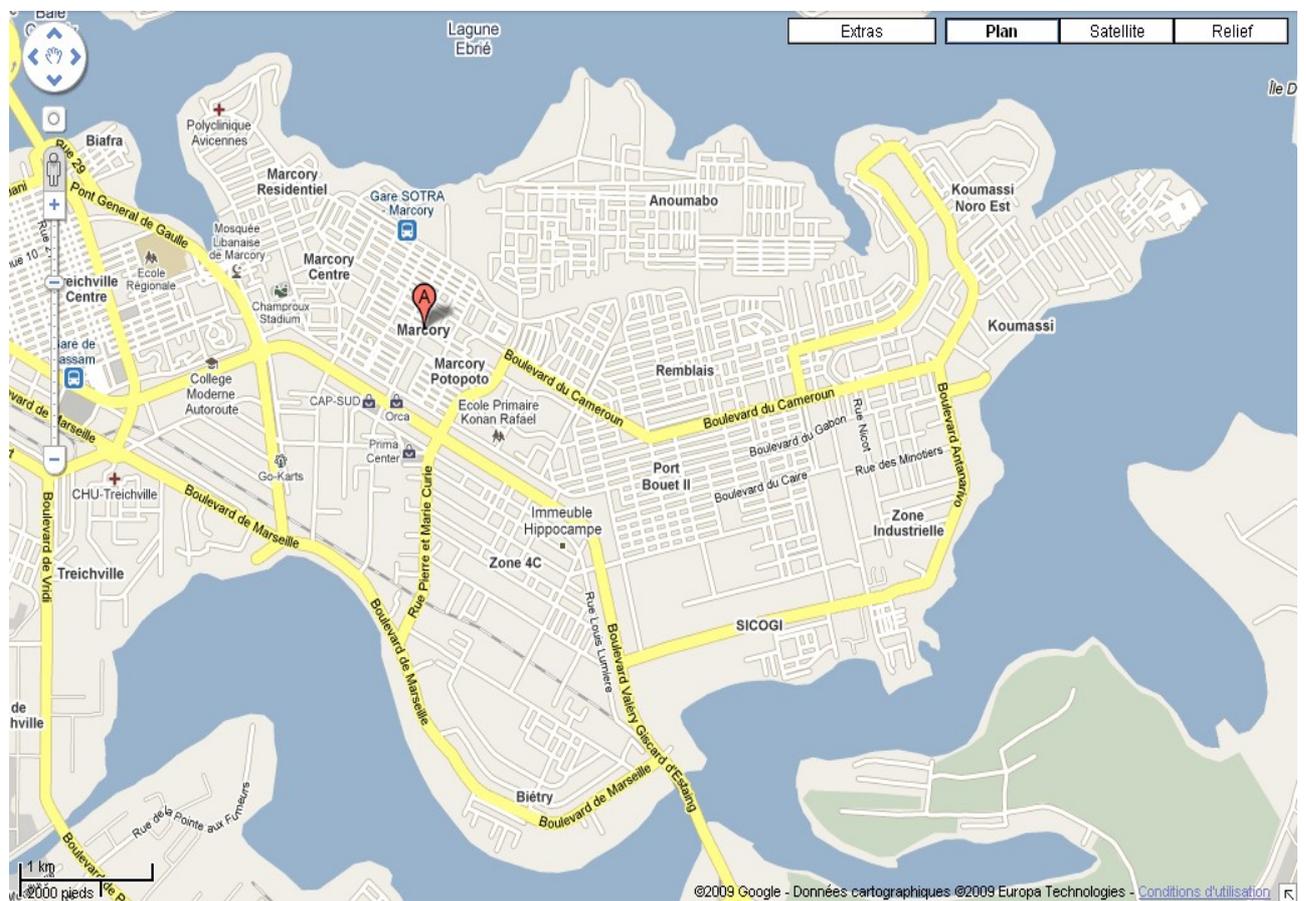
# **CONCEPTION DE LA SOLUTION**

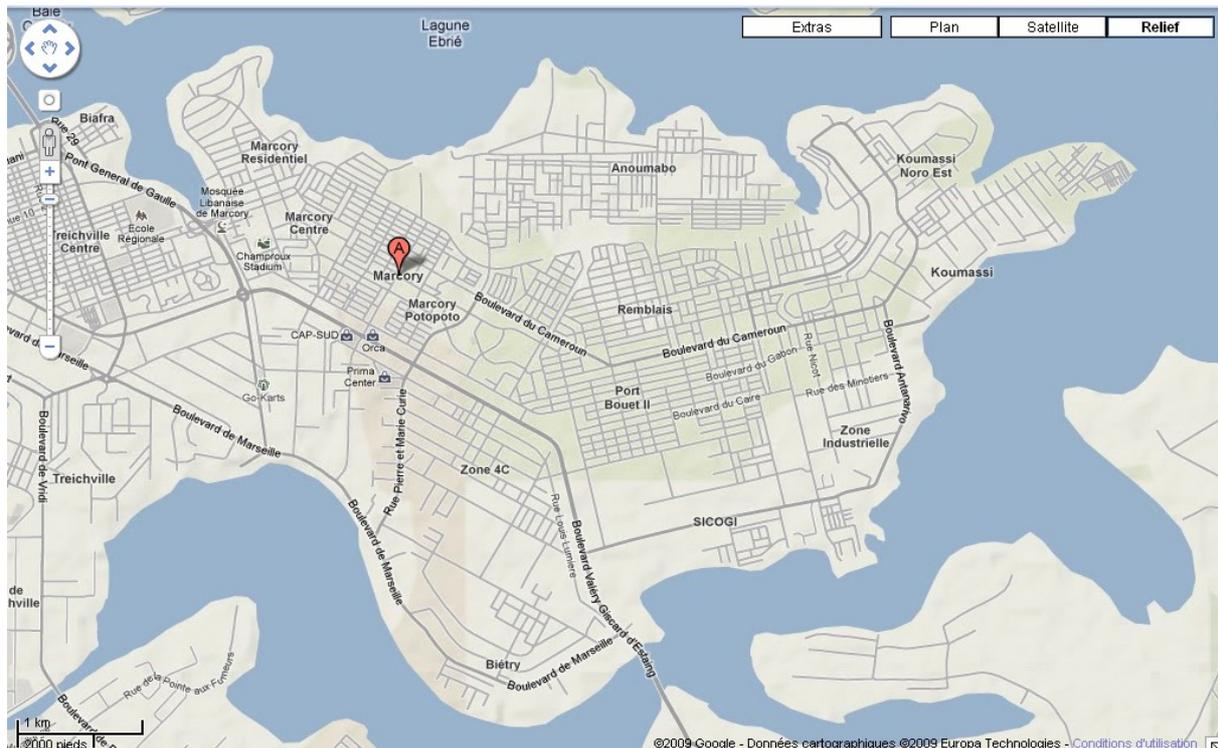
## I – ETUDE TECHNIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DE DEPLOIEMENT

A l'instar de la rigueur de toute démarche d'ingénierie, celle-ci s'appuiera sur des données concrètes de Marcory pour évaluer les contraintes spécifiques à cette commune. Partant de ces contraintes il sera aisé de déterminer le nombre ; le types et les spécifications techniques des équipements à utiliser dans un cas de déploiement. Toute démarche et calcul n'ayant pas comme référent les données de la commune de Marcory conduirait à un dysfonctionnement probable du réseau.

### 1 - Géologie de la commune de Marcory

L'analyse géologique de cette commune devrait permettre de déterminer la courbure du sol. Elle permettra d'identifier les éventuels points élevés de la superficie communale qui pourront être exploités pour l'emplacement des ho spots. Les données réelles n'ayant pas été obtenues et à défaut d'équipement comme le GPS; la surface sera considérée comme plane. La vue aérienne se présente comme suit :





Comme présenté sur ces cartes la commune de Marcory est établie sur un seul bloc de terre entouré dans sa quasi-totalité par un plan d'eau lagunaire. Elle est bâtie sur un terrain qui peut être considéré comme plat car la courbure de la terre n'est pas perceptible d'un bout à l'autre du territoire communal. Cette commune ne comprend aucun parc forestier et de flanc montagneux, elle est entièrement couverte par les habitations.

### *Incidence sur le projet*

- Aucun risque d'atténuation du signal par une étendue d'eau ; tout le territoire peut être couvert au besoin et n'importe emplacement avec un rayonnement omnidirectionnel.
- Le pointage et l'orientation des antennes n'imposeront par l'utilisation d'équipement GPS pour identifier l'emplacement des hot spots des cellules voisines du réseau.
- L'absence de parc forestier favorise le dégagement des premières zones de Fresnel pour les liaisons point à point du réseau.

## **2 - Démographie et densité de la population**

La commune de Marcory a une superficie approximative de 3.703 km<sup>2</sup> ; une population estimée à 177.748 habitants soit une densité de 48 habitant / Km<sup>2</sup>. Elle comprend en environ cinq Quartiers dont trois Résidentiels ; un de classe moyenne et un de classe modeste. L'intérêt accordé par cette population aux NTIC est assez perceptible au regard du nombre assez considérable de cybercafé enregistré depuis les années 2000.

Nous pouvons dénombrer cinq Établissement secondaires et cinq Établissement supérieurs. En outre plusieurs opérateurs de téléphonie mobile exploitent cette commune dans l'exercice de leur activité.

### *Incidence sur le projet*

- Le réseau doit être capable de garantir la qualité de service à un nombre d'utilisateur équivalent au double de la densité de la population sur chacune des cellules.  
Soit N le nombre de personne susceptible de connecter à un hotspot

$N = 2 * \text{densité}$

- Plusieurs couches sociales vivent dans cette commune ; la répartition des hotspots d'accès et des hotspots de distribution se fera de façon inégale en fonction du quartier ; toutefois la capacité du réseau pourra être renforcée selon la demande.

### 3 - Hydrographie et météorologie

La Côte d'Ivoire est la zone de transition entre le climat équatorial humide et le climat tropical sec. Ainsi, le pays peut être divisé en deux zones principales : le Sud et le Nord

Le Sud est très humide et connaît quatre saisons : une grande et une petite saison des pluies alternant avec une petite et une grande saison sèche. Ainsi dans la zone d'Abidjan :

- **D'avril à mi-Juillet** alizés humides en provenance de l'Océan soufflent sur le Sud du pays. Les vents gorgés d'humidité provoquent de fréquents grains et de nombreux orages. C'est ce qu'on nomme la mousson ou grande saison des pluies.

- **De mi-Juillet à Septembre**, les pluies cessent mais le ciel peut rester couvert. C'est la petite saison sèche.

- **De Septembre à Novembre** saison des pluies débute pour donner quelques petites précipitations.

- **De Décembre à Mars** c'est la grande saison sèche, rendue plutôt agréable par les alizés du nord (Harmattan)

#### *Incidence sur le projet*

- Le signal wifi pouvant être affaibli par la pluie ; en tenant compte des saisons pluvieuses énumérées ci haut, la zone de couverture de chaque hotspot sera très limitée. Ainsi la Qualité de services pourra être garantie aussi bien pendant la saison pluvieuse que la saison sèche. Il faudra réduire la zone de couverture théorique trouvée.

### 4 - Contraintes liées à la forte urbanisation

La commune de Marcory est couverte par différents types d'habitats selon les quartiers. Partant des habitations basses en bois aux habitations à plusieurs niveaux. Les quartiers résidentiels où le réseau wifi est susceptible d'être utilisé sont essentiellement constitués de bâtiments à étage. A l'opposé, les quartiers démunis sont constitués de maisons en bois.

#### *Incidence sur le projet*

- La présence de bâtiment à étages crée des difficultés de couverture de zone et d'établissement de liaison. Il faudra contourner ces bâtiments pour préserver la première zone de Fresnel des liaisons de distribution.
- Ces bâtiments à étage constituent sous un autre angle un atout majeur pour les hotspots d'accès ; ainsi la hauteur des mâts à concevoir se réduira à la hauteur nécessaire moins la hauteur du bâtiment le plus propice de la zone d'emplacement.  
Soit  $H$  la hauteur utile du mât de l'antenne pour le bon fonctionnement du lien,  
Et  $n$  désignant le nombre d'étage du bâtiment le plus propice.  
En supposant  $h$  la hauteur nécessaire du mât à concevoir :  
On obtient :  $h = H - 3n$
- L'absence de bâtiment à étage dans certains quartiers impose l'utilisation de mâts plus élevés pour le réseau de distribution ; pour ce projet, différents types de pylônes seront donc utilisés.

## 5 - Bruits (ondes existantes)

La commune de Marcory est couverte par les cinq opérateurs de téléphonie mobile utilisant la technologie GSM ; soit une bande de fréquence (900 Mhz et 1800 Mhz) différente de celle du 802.11 (2400 MHz et 5000 Mhz). Il faut noter aussi la présence de réseau sans fil déployé par des fournisseurs d'accès Internet.

Certains établissements d'enseignement secondaires ont déployé des réseaux wifi pour des usages internes ; ces réseaux sont bien définis dans des zones assez précises du territoire communal. A ceux là il faut ajouter les réseaux wifi des particuliers déployés à domicile.

### *Incidence sur le projet*

- Le choix des canaux non encore utilisés dans les zones où existent déjà des réseaux wifi s'impose surtout pour les hotspots du réseau de distribution situés dans des zones déjà couvertes.
- Nécessité d'utilisation d'un outil de détection et d'analyse de réseau wifi (netstumbler, Kismet) afin d'identifier les réseaux wifi et les canaux déjà utilisés.

## II – ELABORATION DE LA SOLUTION RESEAU

L'infrastructure réseau constitue la partie essentielle du projet. Son élaboration doit se faire de façon rigoureuse à partir de donnée réelle ; gage de viabilité et de fiabilité du réseau en phase de production. Il apparaît plus qu'important de connaître certains principes fondamentaux nécessaires à la planification et au déploiement de réseau sans fil de grande couverture en général et en particulier un réseau basé sur la norme 802.11.

- la vitesse mentionnée d'un dispositif sans fil (la vitesse de transfert de données ou « data rate » en anglais) se rapporte au taux auquel les radios peuvent échanger des symboles et non au rendement que l'utilisateur va observer. Par exemple un lien 802.11g peut employer 54 Mbs de radio, mais le rendement réel sera de 22 Mbps. Le reste est le taux (overhead) que les radios 802.11g ont besoin afin de coordonner leurs signaux.
- Lorsque les données transitent par un point d'accès en mode maître avant d'atteindre leur cible ; elles sont reçues puis réémises par le point d'accès. Le point d'accès à un rendement équivalent à ½ de son rendement total théorique.
- Les différentes applications susceptibles d'être utilisées par les usagers du réseau nécessitent des capacités de traitement différentes répertoriées dans le tableau suivant :

Application	Largueur de bande / Usager	Notes
Messagerie de texte / IM	< 1 kbps	Comme le trafic est peu fréquent et asynchrone, IM tolérera une latence élevée
Courriel	1 - 100 kbps	Comme IM, le courriel est asynchrone et intermittent, il tolérera la latence. Les grandes pièces jointes, virus et spam augmenteront de manière significative à l'utilisation de la largeur de bande. Notez que les services de courriel (tels que Yahoo ou Hotmail) devraient être considérés comme de la navigation Web et non comme du courriel.
Navigaton Web	50 - 100+ kbps	Les navigateurs Web utilisent le réseau seulement lorsque des données sont demandées. Comme la communication est asynchrone, une quantité considérable de délai peut être tolérée. Plus les navigateurs Web requièrent des données (grandes images, longs téléchargements, etc...), plus l'utilisation de la largeur de bande augmente
Streaming audio	96 - 160 kbps	Chaque usager d'un service streaming audio utilisera une quantité constante d'une largeur de bande relativement importante aussi longtemps qu'il est en marche. Ce service peut tolérer de la latence passagère en utilisant une mémoire tampon côté client. Mais des périodes prolongées de délai causeront des «sauts» audio ou des échecs de session
Voix sur IP (VoIP)	24 - 100+ kbps	Comme le streaming audio, la VoIP nécessite une quantité constante de largeur de bande pour chaque usager pour la durée de l'appel. Mais avec VoIP, la largeur de bande employée est approximativement égale dans les deux directions. La latence sur une connexion de VoIP est immédiate et gênante pour les usagers. Un délai supérieur à quelques millisecondes est inacceptable pour VoIP.
Streaming vidéo	64 - 200+ kbps	Comme avec le streaming audio, une faible quantité de latence intermittente peut être compensée en utilisant une importante mémoire tampon côté client. Le Streaming vidéo demande une capacité de traitement élevée et une faible latence pour fonctionner correctement.
Applications d'échange de fichiers Poste-à-poste ( <i>Peer-to-Peer</i> ou P2P en anglais): BitTorrent, KaZaA, Gnutella, eDonkey, etc.	0 - infinis Mbps	Même si les applications peer to peer vont tolérer n'importe quelle quantité de latence, ils tendent à épuiser toute la largeur de bande disponible en transmettant des données à autant de clients que possible et aussi rapidement que possible. L'utilisation de ces applications posera des problèmes de latence et de rendement pour tous les autres usagers du réseau à moins que vous mettiez en oeuvre une mise en forme du trafic (bandwidth shaping).

## 1 - Evaluation de la capacité des liens

Le but du réseau qui sera déployé est d'offrir plusieurs services aux usagers. Il doit non seulement inclure la tolérance de panne, mais permettre une administration centralisée garantissant une qualité de services aux usagers. Nous avons opté pour une architecture à 3 niveaux qui peut être décrite comme suit :

Le réseau cœur, la distribution et le réseau d'accès.

Pour une démarche plus rigoureuse dans l'évaluation de la capacité des liens du réseau ; il s'avère nécessaire de partir du niveau le plus bas. Ainsi l'évaluation de la capacité du réseau d'accès permettra de déterminer la capacité nécessaire des réseaux de distribution et cœur.

### *Convention de nommage*

**Hospot principal** : Borne principale unique rattachée au réseau cœur qui recevra tout le trafic réseau.

**Hospot de distribution** : une borne du réseau de distribution inaccessible aux usagers et destinée au transport de données.

**Hospot d'accès** : une borne du réseau d'accès à laquelle les usagers pourront se connecter

### a - Réseau d'accès

#### *Données de base*

Densité 48 habitants/ Km<sup>2</sup>

Capacité de lien pour un usager qui utilise tous types d'applications simultanément :

Cap max nec Messagerie de texte	1kps
Cap max nec Courriel 100	kbps
Cap max nec Navigation Web	100 kbps
Cap max nec Streaming audio	160 kbps
Cap max nec Voix sur IP (VoIP)	100 kbps
Cap max nec streaming video	200 kbps

-----  
Cap max Total/ usager = 661 kbps

Capacité de lien nécessaire pour un hospot d'accès couvrant 1 Km<sup>2</sup>

Cap max Total/Km<sup>2</sup> :  $661 * 48 = 31728$  kbps

Soit Cap max Total/Km<sup>2</sup> = 30,984 Mbs

Nombre de point d'accès (AP) nécessaire/Km<sup>2</sup> pour un hospot d'accès afin de couvrir ce besoin :

Avec le 802.11 g la capacité utile est de 22 Mbs donc

Nbre AP nec :  $30,984 / 22$

Nbre AP nec = 1,4

Le besoin réel est d'environ 2 points d'accès utilisant la norme 802.11 g par hospot de distribution. Pour des besoins d'optimisation et des contraintes liées au type d'architecture qui sera déployée, le nombre de point d'accès retenu pour chaque cellule est de 3.

Pour garantir une fluidité de la liaison et limiter les risques d'interférence chaque point d'accès sera connecté à une antenne qui couvrira un secteur de 120°. L'ensemble des trois formera une cellule entière de 360°. Ce choix présente les avantages suivants :

- Une plus grande tolérance aux pannes car un dysfonctionnement d'un point d'accès entrainera une défaillance partielle de la cellule (1/3 ou 2/3 de la capacité de la cellule).
- L'utilisation d'antenne sectorielle permet de concentrer la pleine capacité du point d'accès dans une zone bien précise.
- Le découpage de chaque cellule en zone permet une inclinaison de chaque antenne en fonction des conditions géographiques.

### **b - Réseau de distribution :**

Il constitue le deuxième niveau de toute l'architecture du projet ; sa fiabilité conditionne aussi bien celle de tout le projet. Cette partie doit être en adéquation avec le réseau d'accès ; autrement l'intégralité des flux générés par le réseau d'accès doit être prise en compte par le réseau de distribution. D'où l'importance d'évaluer la capacité minimale nécessaire des liens de la partie distribution.

#### *Données de base*

Flux de service générés par le protocole de routage : 30 Mbs

Flux générés par le réseau d'accès = 30,984Mbs

-----  
Total : 60,984 Mbs

Capacité de bande minimum nécessaire pour un hotspot de distribution : 60,984 Mbs

#### Contraintes du réseau de distribution

- Un hotspot de distribution doit avoir une capacité de 60 Mbs minimum.
- Le hotspot de distribution ne doit être constitué que d'un seul point d'accès pour permettre la faisabilité du réseau et un plan d'adressage plus élaboré.
- Une seule interface radio doit être utilisée pour toute la couverture de la cellule d'où le choix d'une antenne omnidirectionnelle.
- Vu le nombre de hotspot pour une couverture totale de la commune ; les liaisons de types point à point sont proscrites.
- Pour une plus grande tolérance aux pannes de cette partie du réseau ; il est raisonnable d'opter pour des liaisons point à multipoint ; autrement un maillage complet du réseau de distribution.

Le réseau de distribution sera constitué de point d'accès compatible 802.11n offrant un débit théorique de 600 Mbs. Ce débit est largement suffisant pour évacuer le flux maximum généré par une cellule (60 ,98)

Le protocole OLSR sera implémenté sur l'ensemble des points d'accès du réseau de distribution.

### **c - Réseau cœur**

Etant totalement transparent pour les usagers ; il sera exclusivement de types filaires. Sa capacité sera déterminée par la capacité minimale des équipements à interconnecter. Il est préférable d'utiliser des équipements avec des interfaces Fastethernet et Gigabits en vue de garantir la prise en compte de tout le flux généré par le réseau de distribution.

Cette partie du réseau est dédiée à l'administration des deux autres parties citées plus haut. Pour un usage optimal du protocole de routage envisagé (OLSR), il faut donc que ce réseau cœur soit situé géographiquement au centre ou presque du réseau de distribution. Cette contrainte permet de créer au-delà d'un point de contact avec le réseau de distribution.

La structure de l'ensemble des équipements sera décrite dans l'élaboration de l'architecture. Mais avant, il est important de planifier les liens du réseau.

## **2 - Planification des liens et optimisation du trafic**

La planification des liens se fera en deux étapes différentes en fonctions des deux niveaux plus bas du découpage de l'architecture. Le réseau de distribution et celui d'accès n'ont pas les mêmes buts d'où la nécessité de déterminer la zone de couverture de chacune de ses parties.

### **a - Réseau d'accès**

#### **Zone de couverture d'un hotspot du réseau d'accès**

Cette évaluation part des capacités minimales qui puissent exister ; elle permettra de déterminer le rayon minimum de la zone de couverture d'un hotspot du réseau d'accès pour que le lien soit viable. Ce principe s'appelle le calcul du potentiel de puissance et correspond à :

La puissance de Radio d'une antenne sectorielle : elle ne doit excéder celle autorisée par la législation ivoirienne qui est de 100 mW (soit 20 dBm).

+ Gain de l'antenne d'une sectorielle (elles sont toutes identiques pour ce projet) : les gains des antennes sectorielles varient entre 12 dBi et 15 dBi

- Perte dans les câbles de l'antenne sectorielle : la longueur ne doit pas excéder 1 m ; la valeur par défaut de 2 dBi

+ Gain de l'antenne de l'équipement de l'utilisateur (qui peut être un ordinateur portable...) ; un gain minimum de 1dBi à été considéré.

- Perte dans le câble de l'équipement réception de l'utilisateur ; cette valeur est quasi nulle car l'antenne est directement intégrée à l'équipement.

Le calcul est donc le suivant.

TX puissance de Radio 1	+ 20 dBm
+ Gain d'une antenne sectorielle	+ 12 dBi
- Perte dans les câbles de l'antenne sectorielle	- 2 dBi
+ Gain de l'antenne de l'équipement de l'utilisateur	+ 1dBi
- Perte dans les câbles de l'équipement de l'utilisateur	- 0
-----	
Gain	Total = 31 dB

La perte de trajet pour un lien de 1km en considérant uniquement la perte en espace libre est:

$$\text{Perte de trajet} = 40 + 20\log(1000)$$

Perte de trajet = 100 dB ; ce qui permet d'évaluer le tableau récapitulatif suivant :

### Perte d'espace libre à 2,4GHz

Distance (m)	100	500	1 000	3 000	5 000	10 000
Perte (dB)	80	94	100	110	113	120

$$\text{Gain Total} = 31\text{dBi} - 100 \text{ dBm}$$

**Gain Total = - 69 dB**

La sensibilité de réception d'un ordinateur portable est moyennement égale à - 80 dBm. Par simple comparaison (-69 > -80) l'on peut affirmer la viabilité du lien d'un utilisateur se trouvant à 1 Km du hotspot d'accès.

Par rapprochement successif ; cette méthode démontre la viabilité de ce lien dans les mêmes conditions au-delà de 2 Km (Gain Total= -76 dBm).

Ces liens ont été évalués avec les capacités minimales des équipements. Le choix d'équipement de qualité bien supérieure permettra d'étendre davantage la zone de couverture. Plusieurs facteurs n'ont pas été considérés dans cette estimation ; le rayon de couverture adopté pour la partie réseau d'accès est de 2 Km.

## b - Réseau de Distribution

### Zone de couverture d'un hotspot du réseau de distribution

La seconde partie non moins importante de ce déploiement est le réseau de distribution. Il doit être évalué et la taille des bonds entre différents hotspots déterminée. Contrairement au réseau d'accès ; cette évaluation se fera avec les valeurs maximales afin de déterminer la distance maximale d'un bond du réseau de distribution.

Calcul du potentiel de puissance entre deux hotspots de distribution

TX puissance du point d'accès 1		+ 20 dBm
+ Gain maximum de l'antenne omnidirectionnelle 1		+ 12 dBi
- Perte dans les câbles de l'antenne omnidirectionnelle 1		- 2 dBi
+ Gain de l'antenne de l'utilisateur antenne omnidirectionnelle 2		+ 12dBi
- Perte dans les câbles de l'antenne omnidirectionnelle 2		- 2 dBi
		-----
Gain	Total	40
		dBi
Perte de trajet entre les deux points d'accès distant de 4 Km		= 40+ 20 log(4000)
=		112 dB

Gain Total = 40 - 112

Gain Total = -72 dB

Ce gain est raisonnablement atteignable avec des équipements ayant certaines caractéristiques. Ce résultat peut changer lors du déploiement selon la variation des autres facteurs de perte de puissance du signal. La distance maximale retenue entre deux hospots du réseau de distribution pour ce projet est de 3 Km. Ce choix donne les garanties suivantes :

- Une certitude de l'existence d'une première zone de Fresnel entre deux hospots de distributions voisins car chacun rayonne théoriquement à 4Km
- Une couverture totale du territoire communal sans risque de zone vide car les hospots d'accès rayonnent sur des rayons de 2 km. (2 x 2 km > 3)

Après l'évaluation des capacités et des longueurs des liens l'élaboration d'une architecture optimale du projet peut être envisagée.

### 3 - Architecture

L'architecture du projet constitue le socle indéniable qui définira la stabilité et la performance du réseau. Son élaboration nécessite une rigueur qui permet de prendre en compte tous les aspects techniques. Ainsi l'architecture doit obéir aux contraintes suivantes :

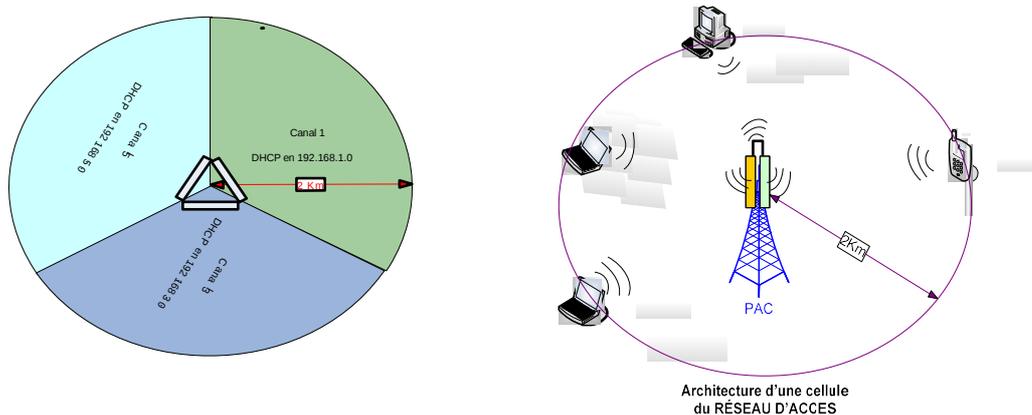
- Un maillage total des hotspot de distribution à partir du protocole de routage choisit pour permettre la création de chemins multiples entre un usager et le réseau cœur.
- La définition d'un minimum de cinq points d'entrée du réseau de distribution sur le réseau cœur qui augmentera la tolérance aux pannes entre le réseau de distribution et le réseau cœur.
- La mise en œuvre de chemins multiples entre un usager et le réseau cœur.
- L'emplacement géographique centralisé du réseau cœur pour permettre la création de plusieurs points de contact avec le réseau de distribution.
- L'installation des points d'accès des réseaux de distribution et d'accès sur le même pylône pour permettre l'utilisation de système de Distribution filaire entre les points d'accès de chacun de ces deux entités.
- L'impossibilité d'envisager un serveur DHCP centralisé pour les usagers du réseau.

Au vu de toutes ces contraintes il convient de déterminer l'emplacement géographique du réseau cœur au sein duquel se trouvera l'administration de toute cette infrastructure du réseau. L'élément de base en absence de coordonnées GPS du territoire communal sera une carte avec une échelle bien définie. Par recoupement successif l'emplacement le mieux indiqué sur le territoire communal en fonction des contraintes élaborées plus haut pourra être identifié.



- Deux usagers connectés à la même cellule et pas à la même antenne ne seront pas dans le même réseau logique ; donc pas de risque de conflit d'adresse car celle-ci seront attribuées par deux points d'accès différents de la même cellule.
- Chaque cellule du réseau d'accès peut gérer 3 x 254 usagers de façon fiables
- Chaque point d'accès émet sur un canal unique différent de celui du voisin.
- Toutes les requêtes des usagers seront NATtées et envoyées via les adresses statiques des points d'accès par câble vers le point d'accès de distribution.

Vue de façon logique une cellule du réseau d'accès se présentera théoriquement comme suit :



Synoptique d'un hotspot d'accès

## b - Un hotspot de distribution

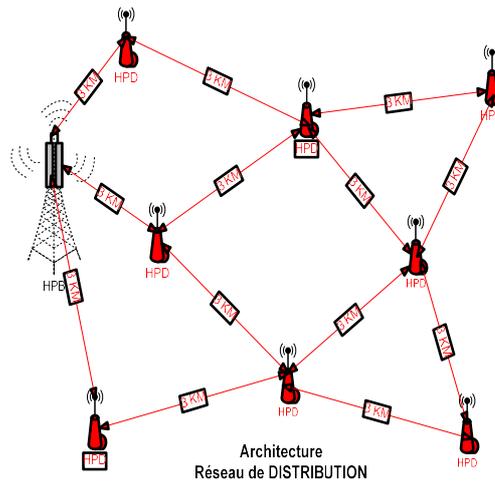
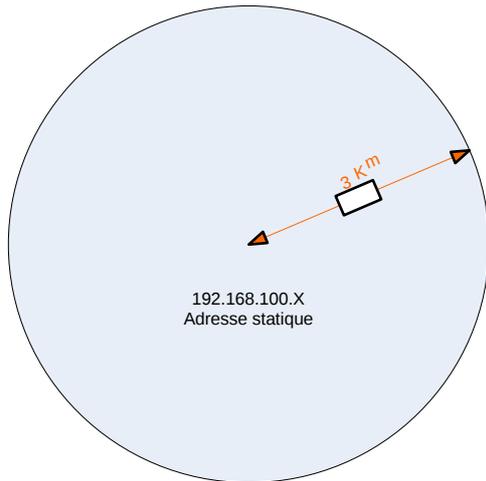
Un hotspot de distribution est composé d'une antenne omnidirectionnelle qui forme une cellule d'une couverture de 360°. Le rayon de couverture théorique d'un lien viable obtenu après calcul est de 4 Km ; par contre le rayon de couverture considéré dans ce projet est de 3 km comme spécifié plus haut. La distance entre deux hotspots de distribution contigus est maintenue à 4 Km.

Le réseau de distribution utilisera la norme 802.11n offrant un débit maximum de 600 Mbps dédié exclusivement au transport des données et autres paramètres de routage. Le choix de cette norme est justifié par son optimisation pour la gestion des chemins multiples vers une destination et un débit plus élevé.

Le hotspot de distribution aura la charge du routage de toutes les données d'une cellule. Pour cette tâche le protocole Optimized Link State Routing (OLSR) sera implémenté sur chacun des points d'accès de cette partie du réseau. Chaque point d'accès de la distribution se verra attribué une adresse fixe et unique dans tout le réseau.

En phase d'exploitation :

- Chaque point d'accès du réseau de distribution fonctionnera en mode Adhoc
- Aucun usager ne doit pouvoir se connecter à un point d'accès
- Chaque point d'accès doit avoir une adresse WAN fixe
- Vue de façon logique une cellule du réseau d'accès se présentera théoriquement comme suit :

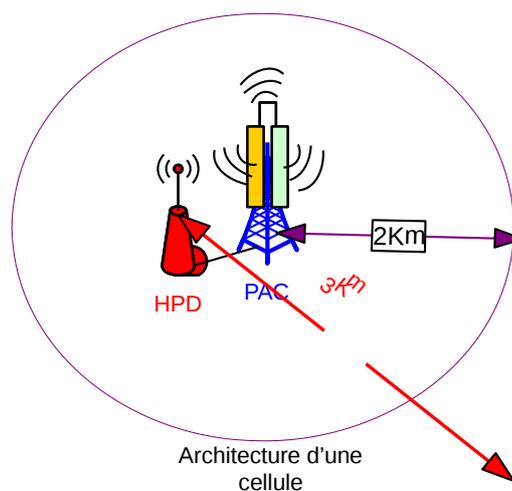
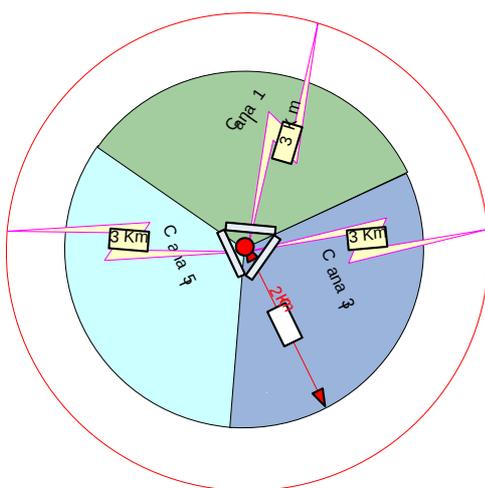


Synoptique d'un hotspot d'accès

### c -La cellule du réseau

La cellule du réseau est constituée du couplage d'un hotspot d'accès et d'un hotspot de distribution. Elle hébergera deux réseaux avec des objectifs différents, l'un totalement transparent pour les usagers (la distribution) et l'autre destiné et accessible aux usagers (l'accès). Ces deux réseaux communiqueront par câble entre les points d'accès du réseau de distributions et ceux du réseau d'accès. Le principe de fonctionnement envisagé est le suivant :

- Connexion de chacun des ports WAN des points d'accès d'accès sur un port switch du point d'accès de la distribution
- Consécration exclusive des points d'accès de la distribution au Routage des données préalablement NATées au niveau des sectorielles.
- Routage grâce a protocole OLSR des données vers l'un des cinq points d'accès du de l'hopspot de base d réseau cœur.



Synoptique d'une cellule du réseau

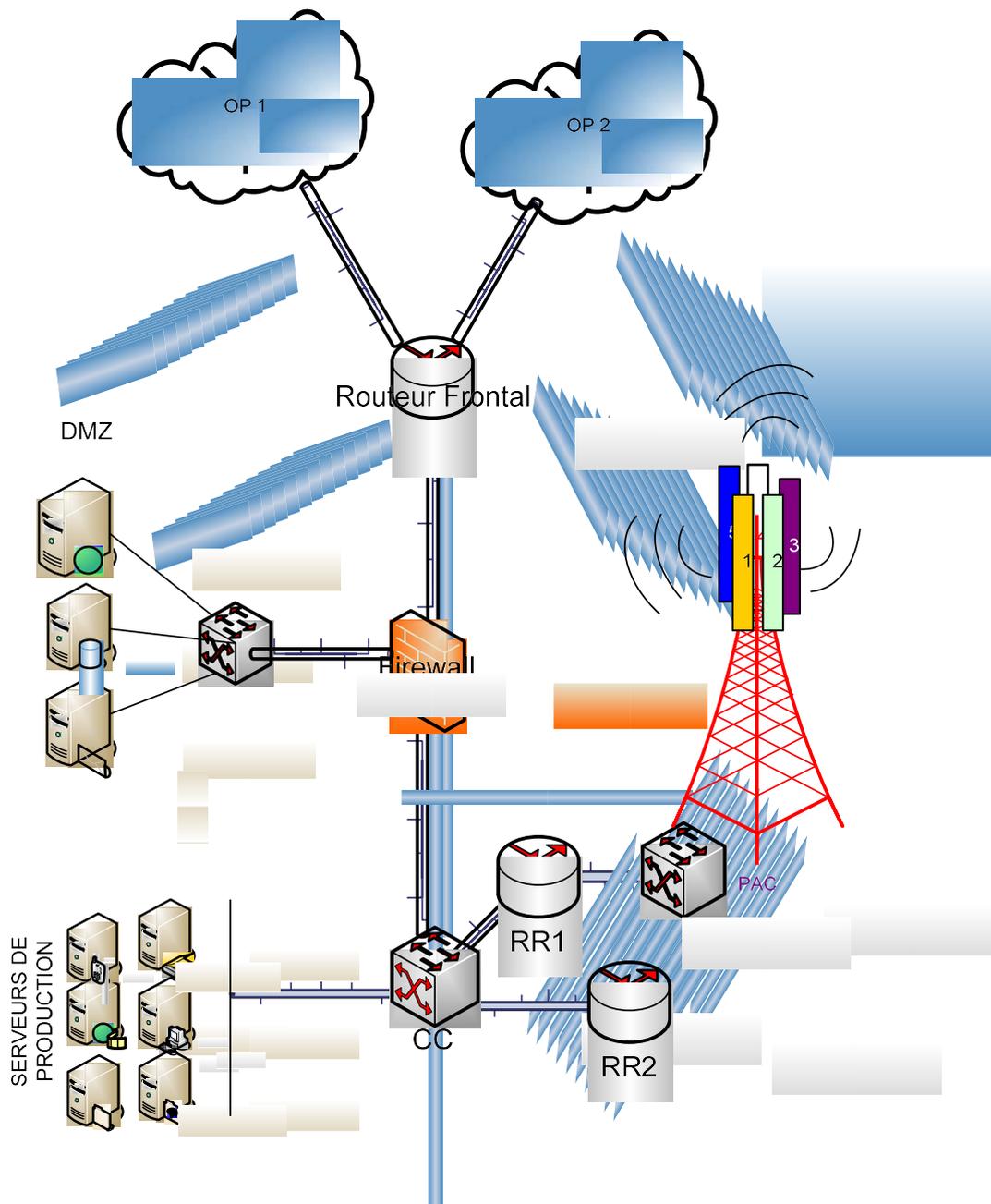
### **d - Le réseau cœur**

Le réseau cœur comprend les différents points d'arrivée des flux de l'ensemble du réseau. Il est donc constitué d'une partie sans fils qui utilisera la norme 802.11n. A la différence des autres parties du réseau ; ici seront utilisées cinq antennes sectorielles dont l'angle d'ouverture est de 80° minimum. L'intérêt est de créer plusieurs points de contact avec le réseau de distribution et de disposer d'une bande passante capable de gérer tous le flux du réseau déployé. L'ensemble des cinq sectorielles doit être compatible POE favorisant ainsi le raccordement des réseaux sans fil (distribution) et filaire de l'administration. Ce choix évite la fixation des points d'accès sur les pylônes sans pour autant générer des pertes supplémentaires.

L'essentiel de cette partie du réseau dont le but est l'administration de toute l'infrastructure est câblée. Il est nécessaire de créer une ferme de serveur comprenant plusieurs serveurs dont :

- Un serveur de supervision (administration des équipements les plus actifs du réseau)
- un serveur web Apache + mod\_ssl (gestion de l'interface de log du portail captif)
- un serveur RADIUS (authentification de connexion)
- un serveur DHCP (pour le réseau des utilisateurs de l'administration)
- un serveur DNS (résolution de nom de domaine)
- Un serveur de Base de données mysql (pour la gestion des comptes utilisateurs)
- Un serveur de gestion de temps

L'architecture du réseau cœur est la suivante :



RR1 : routeur Redondant 1

RR2 : routeur Redondant 2

CC : Commutateur Central

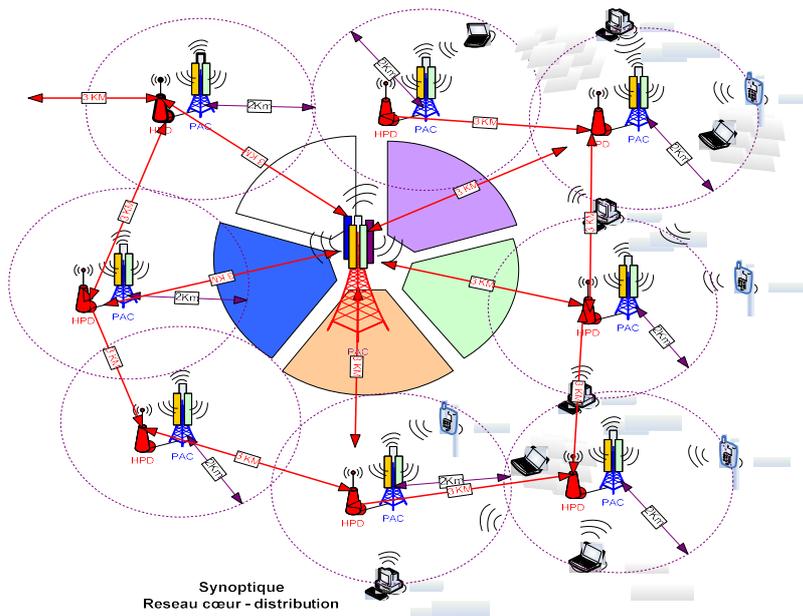
CA : Commutateur d'Agrégation de flux

Le protocole HSRP sera implémenté sur les routeurs RR1 et RR2 en vue de gérer l'équilibrage de charge et la haute disponibilité des liens entre le réseau de distribution et le réseau cœur.

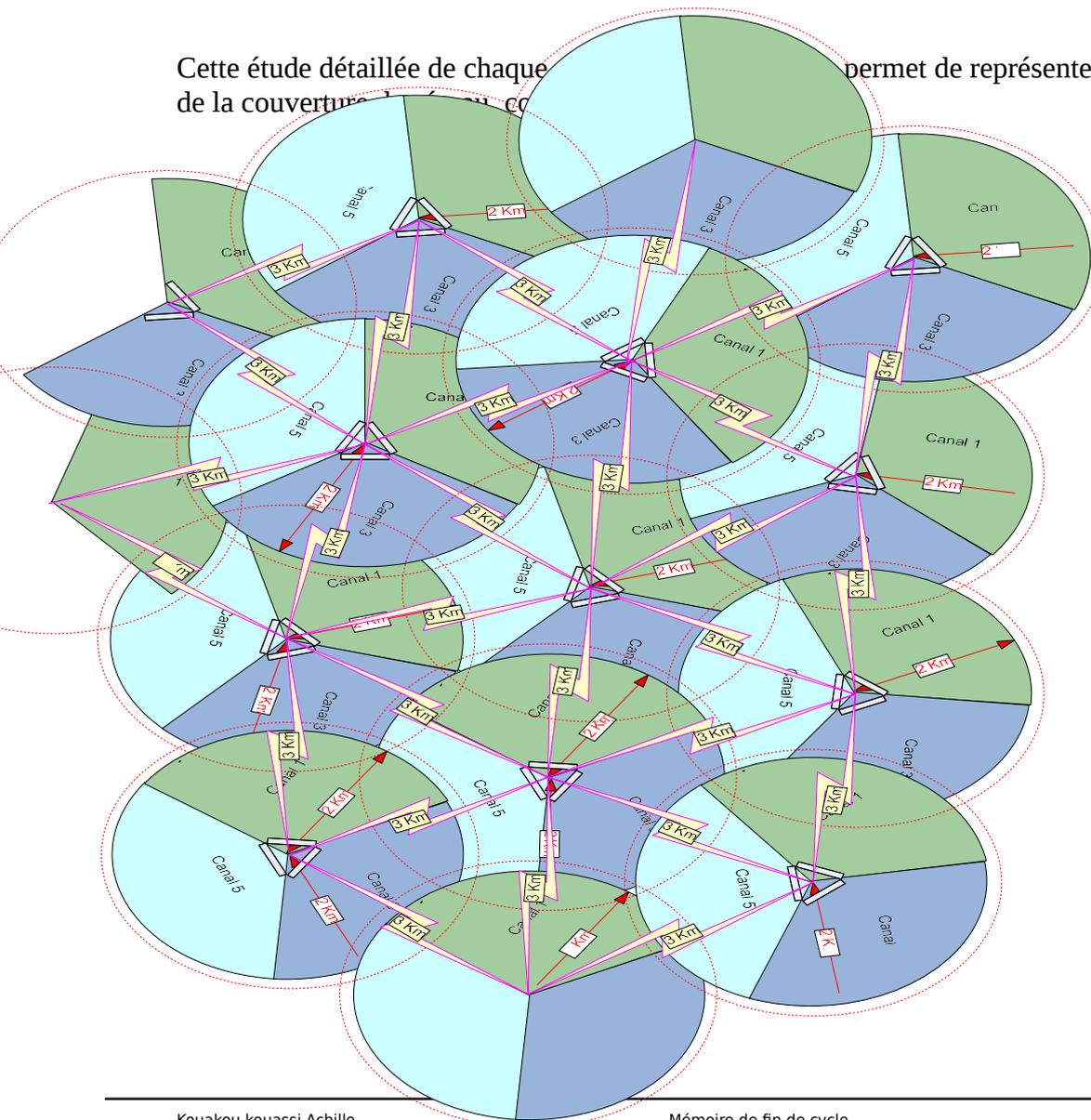
Deux liaisons seront maintenues en sortie vers internet et utilisées simultanément

Le réseau cœur intègre le hotspot central chargé d'agréger tout les flux venant du réseau de distribution. Compte tenu de son importance ce hotspot doit être représenté dans cette étude.

### Synoptique du point d'accès principal du réseau cœur.

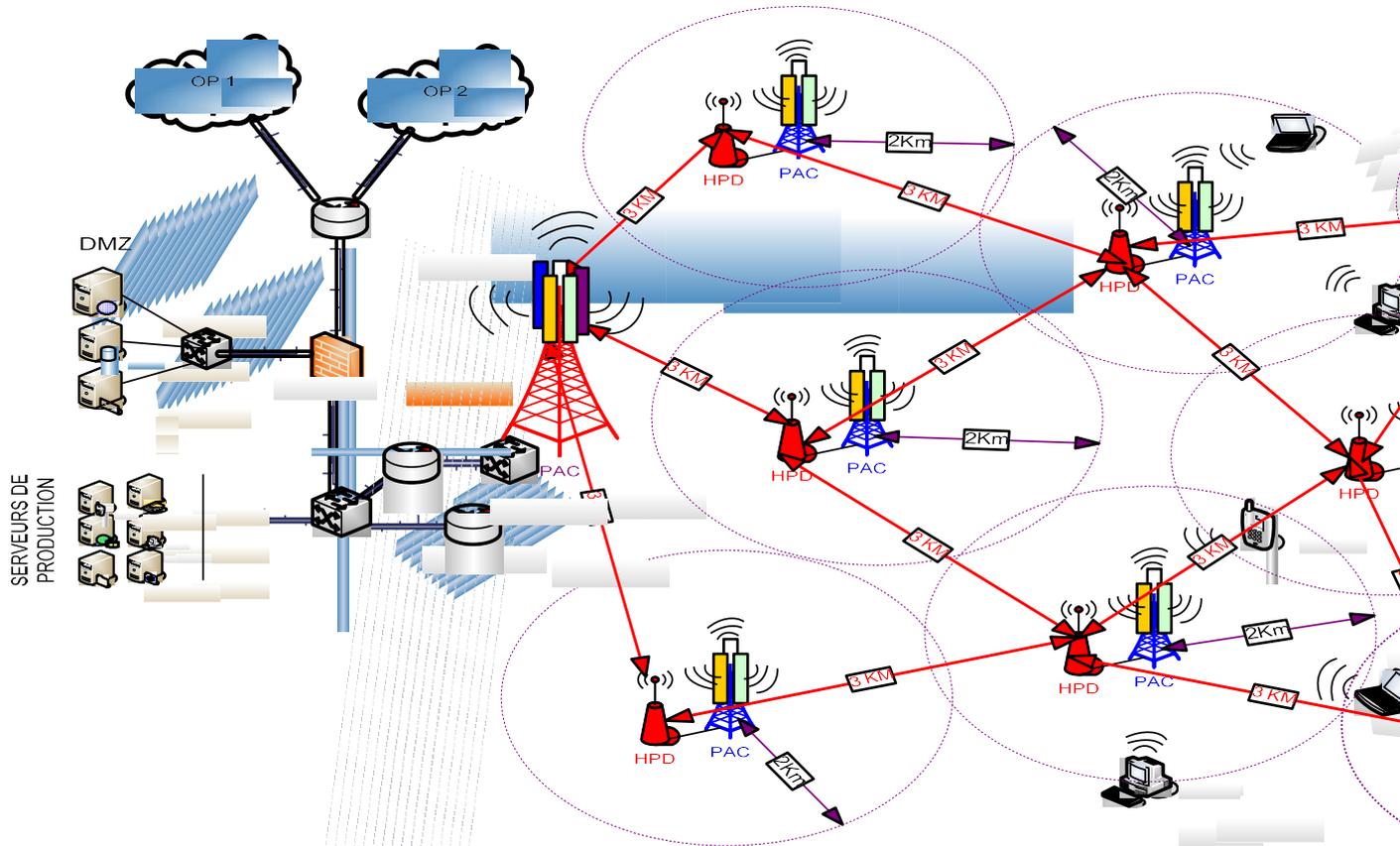


Cette étude détaillée de chaque de la couverture permet de représenter une vue globale



L'étude détaillée précédente des architectures de chacune des parties du réseau permet de déduire un document de base pour le déploiement du réseau et est un élément essentiel pour le plan d'adressage des équipements.

### Architecture globale du réseau



### Architecture du réseau

## 4 - Plan d'adressage

Au même titre que l'architecture ; le plan d'adressage doit être logique et assez rigoureux. Il doit donc :

- permettre l'extension du réseau et l'intégration de nouveaux équipements sans entraîner de dysfonctionnement.
- Annuler le risque de conflit d'adresses sur l'ensemble du réseau
- Cloisonner chaque niveau du réseau pour restreindre les domaines de diffusion
- masquer les adresses des niveaux supérieurs du réseau par la translation d'adresse.
- Permettre la prise en compte de tout usager sans assistance d'un tiers pour la configuration de sa connexion au réseau.
- Minimiser l'impact d'une défaillance d'un équipement du réseau sur le fonctionnement général.

Pour obéir aux différentes contraintes précitées ; le plan d'adressage a été élaboré pour chaque partie du réseau.

### a - Réseau d'accès

Cette partie du réseau constitue le point de contact entre l'utilisateur et l'ensemble du réseau. L'utilisateur doit pouvoir se connecter à l'un de ces équipements sans assistance quelconque. La solution la plus évidente consisterait à implémenter un serveur DHCP pour les usagers. Cette option ne peut être adoptée ici pour les raisons suivantes :

- Les requêtes ARP ne peuvent aller au-delà d'un saut donc impossible d'envisager un serveur DHCP centralisé.
- Les requêtes ARP viendront de plusieurs usagers ; les orienter vers un seul serveur inonderait le réseau de trame non utile

La solution retenue consiste à :

- définir une adresse réseau 192.168.x.0 /24 pour chacun des trois points d'accès du réseau d'accès selon que celui émet sur le canal x avec x € (1 ; 5 ; 9).
- Activer le DHCP sur ces points d'accès pour la gestion du réseau 192.168.x.0 /24
- Affecter l'adresse 192.168.x.254 /24 comme adresse locale du point d'accès gérant le réseau 192.168.x.0 /24
- Affectation de l'adresse 192.168.10.x /29 comme adresse WAN du point d'accès
- Cette logique doit être Appliquée sur l'ensemble des cellules du réseau d'accès.

Exemple d'adressage d'une cellule d'accès

Canal	de transmission	Adresse réseau	Adresse locale	IP	Adresse Wan	Capacité
Point d'accès A	Canal 1	192.168.1.0/24	192.168.1.254	1	192.168.10.1/28	253
Point d'accès B	Canal 5	192.168.5.0/24	192.168.5.254	5	192.168.10.5/28	253
Point d'accès C	Canal 9	192.168.9.0/24	192.168.9.254	9	192.168.10.9/28	253
						759

Ce principe offre l'avantage d'avoir le même principe d'adressage de toutes les cellules du réseau d'accès sans limitation du nombre d'équipement et de cellule. Aussi convient-il de souligner qu'il n'y a pas de risque de conflit d'adresse ni pour deux points d'accès de deux cellules différentes ni pour deux usagers d'une même cellule.

## b - Le réseau de distribution

A la différence du réseau d'accès ; tous les points d'accès du réseau de distribution auront une adresse fixe. Il est nécessaire de connaître le nombre exact de point d'accès avant d'opérer le choix d'une adresse réseau et du masque.

### Estimation du nombre de point d'accès :

Surface desservie par un point d'accès d'une couverture de rayon 4Km :  $s = 50,24 \text{ Km}^2$

En considérant S comme la superficie de la commune de Marcory et N étant le nombre de point d'accès :

$$N = S / s$$

$$N = 3704 / 50,24$$

$$N = 73,72$$

Le nombre de point d'accès nécessaire est de : 74

L'adresse réseau retenue pour la distribution est : 192.168.100.0 /24

Chaque point d'accès du réseau de distribution aura deux adresses :

- L'adresse WAN sera de la forme 192.168.100.y avec y € (2 ; 240). Elle doit être unique pour chaque point d'accès du réseau de la distribution. Tous les équipements de la distribution sont adressés de façon statique
- L'adresse LAN sera fixé à 192.168.10.14 /28 pour tous les points d'accès. Bien qu'elle soit commune à tous les points d'accès cette configuration n'entraînera aucunement pas un conflit d'adresse sur le réseau.

Pour mieux comprendre cela il suffit de se rappeler que les points d'accès du réseau de distribution communiqueront exclusivement entre eux avec leurs adresses WAN (unique). Leurs adresses locales ne seront sollicitées que pour les échanges avec les interfaces WAN des points d'accès du réseau d'accès. Ces échanges se déroulant au sein de la cellule via des câbles Ethernet sont transparents pour les cellules voisines.

Exemple d'adressage des points d'accès de deux cellules du réseau de distribution

Canal	de transmission	Adresse IP locale	Adresse Wan
Point d'accès Cellule A	Canal 10	192.168.10.6 /28	192.168.100.2 /24
Point d'accès Cellule B	Canal 10	192.168.10.6 /28	192.168. 100.3 /24

Cette cellule constitue le point de passage de tout le flux en provenance de tous les usagers du réseau. Elle doit pouvoir :

- obéir à la tolérance aux pannes ;
- offrir suffisamment de ressource radio.
- offrir plusieurs points de contact avec le réseau de la distribution favorisant le fonctionnement optimal du protocole de routage envisagé (OLSR).

Pour ces raisons cette cellule est composée exceptionnellement de cinq points d'accès qui émettront sur le même canal que ceux du réseau de distribution.

Chacun de ces points d'accès aura l'adresse WAN sous la forme : 192.168.100.y /24 avec y€ (240-250)

L'adresse locale sera sous la forme : 192.168.200.x /24

Exemple d'adressage des points d'accès de deux cellules du réseau de distribution

Canal	de transmission	Adresse IP locale	Adresse Wan
Point d'accès Cellule A	Canal 10	192.168.100.240 /24	192.168.200.240 /29
Point d'accès Cellule B	Canal 10	192.168. 100.241 /24	192.168.200.241 /29
Point d'accès Cellule C	Canal 10	192.168. 100.242 /24	192.168.200.242 /29
Point d'accès Cellule D	Canal 10	192.168. 100.243 /24	192.168.200.243 /29
Point d'accès Cellule E	Canal 10	192.168. 100.244 /24	192.168.200.244 /29

Les serveurs de production utiliseront comme adresse réseau 192.168.200.0 /24.

Les détails du plan d'adressage et l'organisation de la partie filaire du réseau cœur ne seront pas exposés dans ce présent document quoique étant nécessaire dans un but d'exploitation du réseau en phase de production. Cette partie filaire pourra être structurée de diverse manière selon que ce présent réseau est déployé à des fins commerciales ou communautaires. La conception du réseau cœur pourra faire l'objet d'une étude à part entière par conséquent ; seuls quelques points essentiels seront abordés dans la suite de ce document.

## 5 - Maxillae avec Optimized Link State Routing Daemon (OLSRD)

La particularité du réseau envisagé est l'utilisation de relais points à multipoints pour le transport des données des usagers vers le réseau coeur. Ce type de configuration est assez complexe pour les raisons suivantes :

- impossibilités de définir des routes statiques sur l'ensemble des points d'accès de la distribution.
- Impossibilité également d'utiliser un protocole de routage dynamique car ne prenant pas en compte certaines contraintes des réseaux sans fils (changement dynamique de la topologie).

Pour bien gérer le maillage total du réseau, le choix a été porté sur un protocole déjà éprouvé dans des déploiements de réseaux basés sur la norme 802.11. Plusieurs réseaux communautaires utilisent ce protocole à savoir l'OLSRD.

L'Optimized Link State Routing est une application de routage destinée aux réseaux sans fil. Il est qualifié de protocole de routage proactif au regard de sa capacité de modification de la table de routage en fonction de la reconstitution dynamique de la topologie du réseau. Il combine les avantages des protocoles réactifs (AODV) et les protocoles dynamiques (OSPF).

L'OLSRD est un paquetage d'installation open source qui s'installe sur certain points d'accès utilisant un firmware Linux. Peuvent être cités par les points d'accès pouvant l'implémenter : Linksys WRT54G, Asus WL500g, Access Cube ou des Pocket PCs etc...

Le package OLSR peut être installé sur un point d'accès ayant de façon native openWRT comme firmware. Dans le cas contraire plusieurs versions de firmware disponible gratuitement en ligne peuvent être téléchargées pour la mise à jour. Toutefois pour une telle opération il faudra s'assurer de la compatibilité du firmware et de la version du matériel supporté (cette information est toujours précisée).

Pour une utilisation sur un nombre assez restreint de borne ; un flashage et une mise à jour (opération assez délicate) peuvent être envisagés pour les points d'accès ne pouvant pas implémenter cette fonctionnalité de façon native.

Dans le cadre de ce projet ce cas de figure ne doit être envisagé que seulement pour des besoins de maintenance ponctuelle d'un hotspot de distribution en phase de production. Pour la phase de déploiement du projet l'exigence avant achat de la compatibilité du firmware de l'équipement qui aura été retenu nous épargnera de cette manœuvre non seulement délicate mais fastidieuse au regard du nombre d'équipement à utiliser dans ce réseau. Il apparaît plutôt plus important de comprendre les différents paramètres de configuration du protocole OLSR.

Avant la configuration ; il faut s'assurer que les points d'accès:

- ont été configurés de façon à permettre une connexion ad hoc à d'autres nœuds à portée directe (saut unique)
- utilisent le même canal sans fil,
- emploie le même nom sans fil ESSID (Extended Service Set Identifier)
- ont le même Cell-ID que tous les autres points qui constituent le maillage

Ensuite définir les paramètres suivants :

Paramètre	Exemple	Signification
ESSID	Marcory.wifi	
Frequency	2,412	
RTS threshold	250	taille d'un paquet de données (en octets) à partir de laquelle l'émetteur va faire une demande de droit de parole
Mode	Ad-hoc	Mode de fonctionnement du point d'Accès
Fragment threshold	<b>2304</b>	taille maximale des paquets envoyés (en octets)
Channel	<b>11</b>	Le canal utilisé par les nœuds du réseau de distribution
Cell-ID		Identifiant de la cellule

En mode ligne de commande ou graphique, ces paramètres doivent être identiques à chacun des points d'accès du réseau de distribution. Le maillage étant envisagé pour le transport des flux entre les utilisateurs et le réseau cœur ; il ne concerne que le réseau de distribution.

## 6 - Sécurité et surveillance

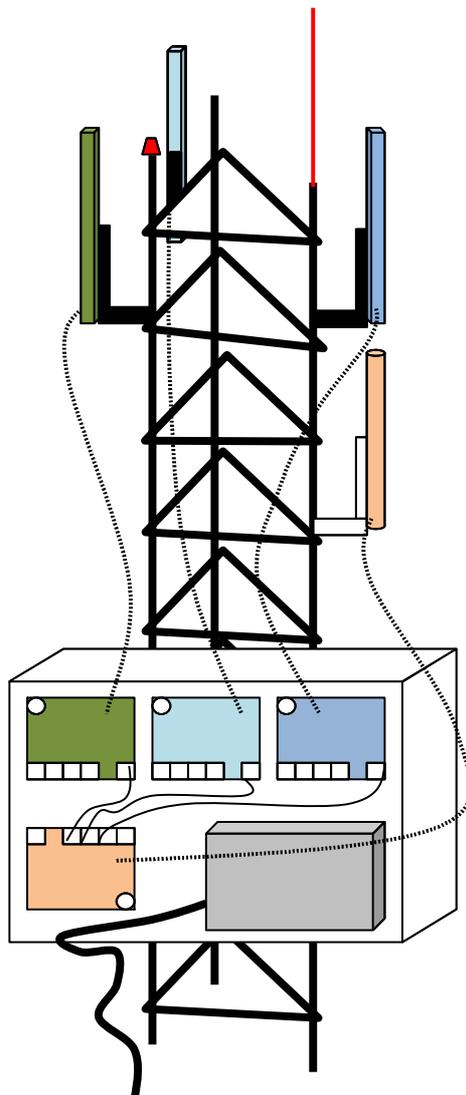
Un des aspects les plus importants du déploiement de ce réseau est la sécurité. Dans certaine condition de déploiement, la sécurité peut être abordée de façon globale mais ici compte tenu du caractère spécial du réseau ; elle a été scindée en deux parties comme suit :

### 6-1 La sécurité Physique

La sécurité physique consiste à garantir la présence des équipements et assurer le bon fonctionnement des équipements en production. Les dispositions prises pour ce réseau sont les suivantes :

- l'utilisation de coffrets étanche en plastique ou en métal avec verrouillage à clé et extracteur de chaleur pour protéger les points d'accès contre les intempéries et les vols.
- L'utilisation d'antennes plates semblables à celles utilisées par le GSM pour éviter d'attirer les vandales qui l'assimilerait à une antenne parabolique ou de télévision.
- L'installation de parafoudre sur les pylônes pour dévier les décharges
- L'installation de balisage nocturne
- L'installation de la terre sur chaque pylône.

En somme chaque cellule se présentera comme suit :



*Exemple d'un pylône d'une cellule*

Ces dispositions visent à empêcher toute personne non autorisée à accéder physiquement à l'un des équipements. Cet aspect de la sécurité ne constitue pas un des moindres ; néanmoins il ne saurait se substituer à la sécurité logique.

## 6-2 La sécurité Logique

Le réseau déployé à pour zone de couverture la commune de Marcory et est destiné au grand public. Il sera en permanence exposé aux attaques involontaires ou délibérées qu'il convient d'anticiper. Plusieurs contraintes doivent être considérées pour l'élaboration d'une politique de sécurité générale du réseau. Il s'agit en outre de :

- Simplifier la connexion de tout usager au réseau d'accès.
- Vérifier les privilèges de tout usager avant l'accès aux services offerts par le réseau.
- Archiver l'historique des accès qui s'effectuent via la connexion internet partagée. C'est à dire conserver les traces de "qui se connecte à quoi, quand et à partir de quelle machine".
- Identifier les machines qui se connectent au réseau par un couple login/mot de passe.
- La permission exclusive des personnes autorisées à accéder aux services déployés.
- Le masquage et l'interdiction absolue de l'accès des usagers au réseau de distribution.

La prise en compte de toutes ces contraintes impose la mesure de sécurité suivante :

### a - Réseau d'accès

Chacun des points d'accès se verra attribuer la fonction de DHCP sur une portion du réseau correspondant à un tiers de la surface de la cellule.

Le réseau restera ouvert (sans clé WEP) avec diffusion du nom du réseau (ESSID) pour permettre à tout usager de s'attacher à un point d'accès du réseau sans pour autant bénéficier d'un quelconque service.

Ces mesures, quoique s'apparentant à une faille de sécurité s'inscrivent dans un schéma de sécurité globale retenu pour ce projet qui est le portail captif.

### b - Réseau de Distribution

Le nom du réseau (ESSID) n'est pas diffusé et est différent de celui du réseau d'accès.

Chaque point d'accès du réseau de distribution à une adresse fixe unique sur toute la couverture du réseau.

Le mode de fonctionnement adopté est l'AD hoc, empêchant ainsi tout usager de se connecter à un point d'accès du réseau de distribution.

Une clé de sécurité de type WPA-2 PSK doit être définie sur l'ensemble des points d'accès.

Comme décrit précédemment l'implémentation du protocole OLSR sur les points d'accès de la distribution afin de créer un maillage complet du réseau de transport ; les communications autorisées seront celles venant des points d'accès exécutant ce protocole.

### c - Le Réseau cœur

Le choix pour la sécurisation ; l'administration et la gestion réseau a été porté sur la configuration d'un portail captif. Les avantages de cette solution sont :

- L'accès aux services réseau géré par un serveur d'authentification (Radius).
- L'interruption de la connexion d'un usager après un long moment d'inactivité
- L'historisation des activités des usagers
- La gestion des crédits temps de connexion par usager etc
- Le filtrage par les listes de contrôle d'accès de l'ensemble du trafic

Plusieurs portails existent et un seul a été retenu suite à une comparative dont le résumé dans le tableau récapitulatif ci-dessous.

Le portail captif retenu est : chillispot couplé à une application de gestion de temps.

Sa configuration nécessite la présence dans le réseau de quelques serveurs qui seront commentés dans la suite de ce document.

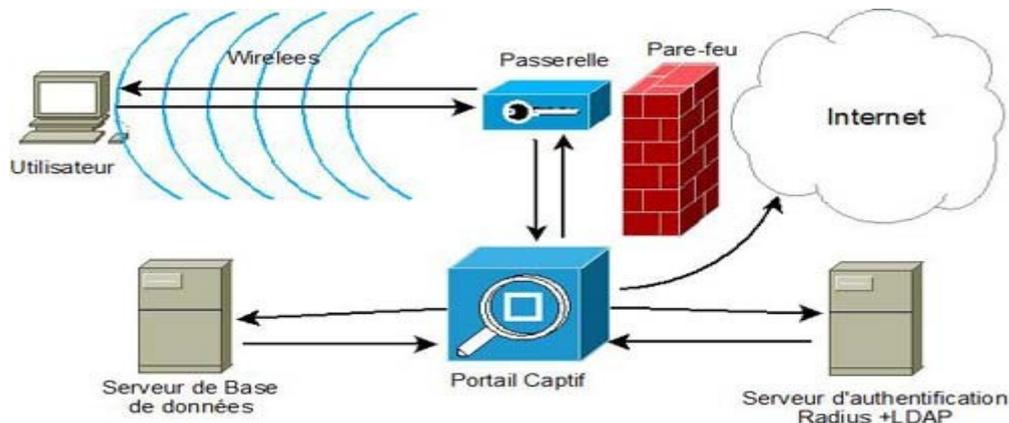
### Tableau comparatif de quelques portails captifs

	NoCatSplash	Talweg	Wifidog	Chillispot
<b>Simplicité d'installation</b>	🟢	🟡	🟡	🔴
<b>Infrastructure nécessaire</b>	🟢	🔴	🟡	🟡
<b>Performances &amp; consommation réseau</b>	🟢	🟢	🟢	🟡
<b>Gestion utilisateurs</b>	🔴	🟢	🟡	🟢
<b>Sécurité authentification</b>	🔴	🟢	🟢	🟢
<b>Sécurité communications</b>	🔴	🟢	🔴	🔴
<b>Protocoles supportés</b>	🟢	🔴	🟢	🟢
<b>Crédit temps</b>	🔴	🔴	🔴	🟢
<b>Interface d'administration / Statistiques</b>	🔴	🔴	🟢	🟢

Légende:

- 🔴 : Non Disponible.
- 🟢 🟡 🟠 : Plus ou moins.

Au regard de ces points forts ; le portail Chillispot a été retenu pour ce projet et sa configuration détaillée fera l'objet d'une étude dans la suite de ce document. Bien avant il est assez important de comprendre le principe de fonctionnement de cette solution



L'utilisateur commence par se connecter à un réseau cette connexion se fait sans problème. Une fois connecté, l'utilisateur se voit attribuer une adresse IP par le point d'accès qui fait office de DHCP.

Mais l'utilisateur n'a pas toujours accès à Internet (et autres services) pour le moment mais il est connecté au réseau. Il va donc lancer une page Internet. Cette page va envoyer une requête de type Web grâce au protocole HTTP, cette requête passe obligatoirement par la passerelle qui va rediriger la requête vers le portail captif ; il va renvoyer à l'utilisateur une page web d'authentification.

Si l'utilisateur dispose des paramètres nécessaires (Login/password) pour se connecter au réseau. Il va donc les saisir et transmettre ces informations sur le serveur. Il est important de noter que la page envoyée à l'utilisateur est cryptée grâce au protocole SSL qui permet de protéger les données qui sont transmises par l'utilisateur pour son authentification.

Il va ensuite se produire un ensemble d'opérations au sein de différents serveurs. Dans un premier temps les données cryptées sont envoyées dans le serveur de base de données qui vérifie que cet utilisateur existe bel et bien. Si le serveur de bases de données constate que l'utilisateur existe, selon le portail captif en œuvre, il envoie les informations vers le serveur d'authentification. Il s'agit du serveur radius.

Toutefois, après vérification sur le serveur d'authentification, des informations liées à l'adresse IP et l'adresse physique (adresse MAC) de l'utilisateur sont envoyées vers la passerelle afin d'ouvrir l'accès à l'utilisateur qui pourra par la suite se connecter au réseau Internet.

La configuration du portail captif impose la présence de certains services dans l'infrastructure réseau. Pour ce projet la configuration détaillée de chacun de ces services ne sera mentionnée dans ce document ; seuls les objectifs assignés et les configurations à faire seront listés.

- un serveur web Apache + mod\_ssl

Gestion de page de connexion et cryptage des données par le protocole SSL

- un serveur RADIUS

Authentification des usagers à partir du login et du mot de passe fourni

- un serveur DHCP

Dans cette architecture l'implémentation de ce serveur n'est pas importante car sa fonction essentielle a été décentralisée au niveau des points d'accès du réseau d'accès.

- un serveur DNS

Un des principaux services est l'accès à Internet ; ce serveur se chargera de la résolution des noms de domaines

- Un serveur de Base de données (mysql)

Il permettra de créer les comptes des usagers autorisés à se connecter au réseau wifi.

- Un serveur de gestion de temps

Ce serveur gère les crédits temps de chaque usager connecté avec un compte ou un code temps aléatoire. Il déconnecte l'utilisateur à l'épuisement du crédit temps.

- un pare-feu

Ici sera utilisé un pare feu matériel dont le rôle sera de filtrer le trafic sortant ou entrant des usagers.

### 6-3 La surveillance du réseau

La surveillance du réseau doit être envisagée sous deux angles différents :

- *la surveillance des équipements qui composent le réseau cœur*

La surveillance des équipements du réseau cœur peut être faite en activant le protocole SNMP (Simple Network Management Protocole) sur chacun équipement. A cela il faut ajouter l'installation d'un outil de monitoring comme MRTG ou PRTG téléchargeable à partir d'internet.

Les avantages de configurer ce type de surveillance sont les suivants :

- La simplification du dépannage
- La détection et l'élimination précoce des virus.
- La détection et l'élimination des intrusions
- Le redimensionnement du matériel et des ressources réseau sur base des statistiques réelles.

Les éléments à surveiller dans cette partie du réseau sont :

Utilisation de la bande passante Internet par protocole et hôte.

Les meilleurs 100 sites accédés.

Les requêtes DNS.

Le Nombre d'e-mails entrants / e-mails spam / email rebondissant.

La taille de la file d'attente des e-mails sortants.

Disponibilité des services critiques (serveurs Web, serveurs de courriels, etc.).

Les temps de Ping et taux de perte de paquets vers votre fournisseur de Services Internet.

Etat des sauvegardes.

Usage mémoire.

Usage de fichiers d'échange.

Compte de processus / processus zombie.

Charge système et CPU.

- *la surveillance des équipements du réseau de distribution et d'accès*

Le principe consiste aussi à activer SNMP sur les différents points d'accès de ces deux réseaux. A partir d'un outil comme MRTG ; surveiller les activités sur ces équipement.

Les éléments à surveiller dans cette partie du réseau sont :

Le signal reçu et le bruit de tous les nœuds de la dorsale.

Nombre de stations associées.

Réseaux adjacents détectés et canaux.

Retransmissions excessives.

Débit de données radio

L'usage de la bande passante par port.

L'usage de la bande passante ventilée par protocole.

L'usage de la bande passante ventilée par adresse MAC.

Les diffusions en tant que pourcentage du nombre total de paquets.

La perte de paquets et taux d'erreur.

### III – PROPOSITION ENERGETIQUE

Les équipements utilisés dans ce réseau fonctionnent tous avec de l'énergie électrique. Laquelle énergie constituera une charge récurrente pour une phase de production. Il est donc nécessaire d'évaluer et d'envisager des solutions alternatives en vue de minimiser ces charges financières liées à la consommation énergétique des équipements.

Plusieurs sources d'énergie peuvent être utilisées dont :

- l'énergie solaire
- l'énergie éolienne
- le courant alternatif

L'analyse de chacune de ces sources d'énergie et les contraintes liées à son utilisation nous permettra d'opérer un choix optimal adapté à ce projet.

#### 1 - L'énergie solaire

Ce principe consiste à utiliser des panneaux solaires afin de transformer l'énergie du soleil en énergie électrique. Cette source d'énergie est utilisée dans différents milieux (domiciles ; bureau ; ...) et présente l'avantage d'exploiter une ressource inépuisable pour générer de l'énergie.

Les pays tropicaux comme la cote d'Ivoire ont l'avantage d'avoir un temps ensoleillé presque toute l'année ; cette source d'énergie est assez adaptée.

L'utilisation de l'énergie solaire peut être envisagée pour les cellules de distribution et d'accès qui sont des entités élémentaires de l'ensemble du réseau. Son utilisation dans ce cas précis implique :

- Le dimensionnement des panneaux en fonction des besoins de chaque cellule
- La considération des données de l'historique solaire de chaque zone à couvrir.
- La garantie de sécurité des panneaux pour les vols.
- Un local ou une antenne plus solide pouvant soutenir tous les équipements liés aux panneaux solaires. (régulateur, batterie, panneaux, le convertisseur,..)
- L'évaluation précise des besoins énergétiques de l'ensemble des équipements de chaque cellule.

Au regard de toutes contraintes; l'utilisation de ce type d'énergie n'est pas envisagé pour ce projet. Toutefois son intégration pour faire l'objet d'une étude particulière pour d'amélioration du projet en phase de production.

#### 2 - L'énergie éolienne

Cette source d'énergie peut être utilisée dans certains projets ; mais il faudra des conditions particulières pour espérer obtenir suffisamment d'énergie capable de répondre aux besoins.

Les plus indispensables de ces conditions sont :

- la vitesse moyenne du vent qui doit être d'au moins 3 à 4 mètres par seconde au cours de l'année.
- L'emplacement de l'éolienne à une hauteur de 6 mètres par rapport aux objets situés dans un rayon de 100 mètres...

De telles condition ne pouvant être remplies pour projet en milieu urbain ; une telle solution n'est recommandée pour ce projet.

#### 3 - le courant alternatif

La commune de Marcory à l'avantage d'être couvert par le réseau électrique presque dans sa totalité ; cette d'énergie est abondante pour la couverture des besoins énergétiques de ce projets. Même si cette source d'énergie présente les inconvénients suivants :

- Les charges récurrentes liées à la facturation de la consommation

- Les interruptions imprévisibles liées au prestataire entraînant ainsi un dysfonctionnement partiel ou total de l'infrastructure réseau.

Elle a été retenue pour la totalité du projet.

En vue de corriger la dépendance trop rigide entre le réseau sans fil et celui de l'électricité ; il est recommandé d'utiliser des onduleurs (UPS) sur chaque site.

Les caractéristiques de ces équipements pourront faire l'objet d'étude à part entière ; dans ce document seulement des recommandations ont été faites.

#### IV – ETUDE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET DE LA VIABILITE ECONOMIQUE

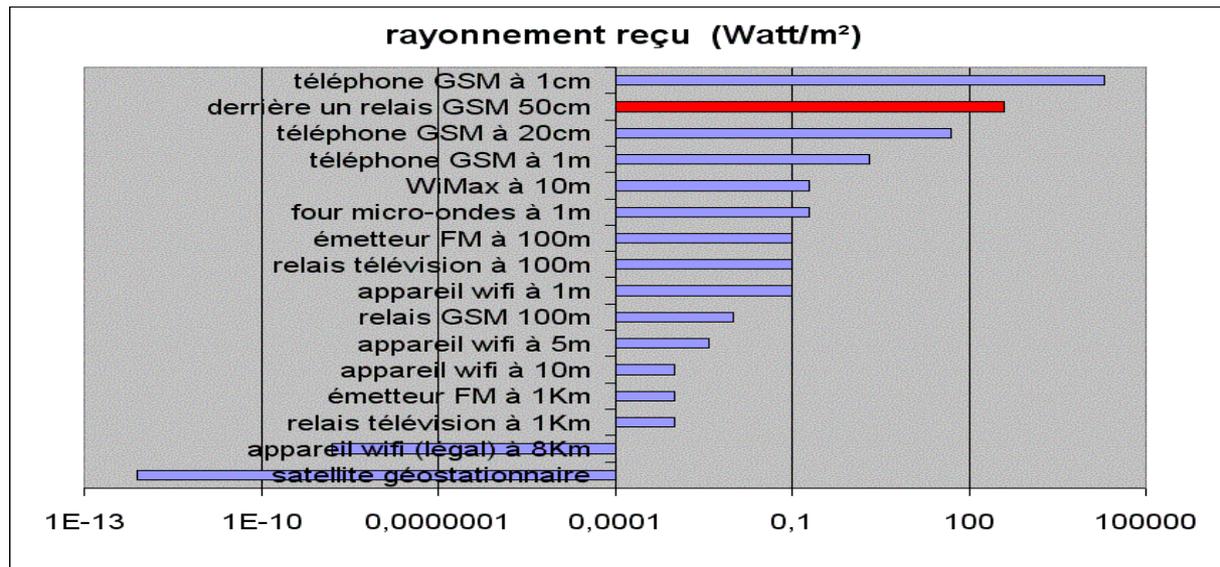
L'objectif visé à travers cette étude est la couverture du territoire communal de Marcory par un réseau utilisant la norme 802.11; en d'autre terme l'exécution de ce projet signifie l'installation des équipements émettant des ondes électromagnétiques à proximité de la population et cela pour une longue durée. Envisager un tel un projet sans porter un regard sur l'incidence l'environnementale sur la commune de Marcory ; ne ferait pas preuve d'une démarche scientifique. Ainsi des pistes de réflexion suivantes ont été menées :

##### **1 - Rayonnement et santé de la population**

Plusieurs investigations ont été menées en vue d'élucider cette interrogation. Il nous été donné de constater que cette même préoccupation a fait l'objet de plusieurs étude sans jamais donner de chiffre et de résultat palpable. La seule certitude qui demeure est que les antennes utilisées par la norme 802.11 ont une puissance limitée par la législation à 100 mW, là où les GSM ont une puissance de 2 watts en 900Mhz et de 1watt en 1800Mhz.

Il apparait de façon assez claire que l'exposition provoquée par les points d'accès du réseau de la norme 802.11 est égale à 1/10 ou 1/20 du celle du GSM.

Aussi la norme 802.11 fait-elle partie des "**Rayonnements non ionisants**" ce terme général désigne la partie du spectre électromagnétique où l'énergie des photons est trop faible pour provoquer la rupture des liaisons atomiques. Ils comprennent **le rayonnement ultraviolet (UV), la lumière visible, le rayonnement infrarouge, les radiofréquences et les ondes, les champs à fréquence extrêmement faible (ELF). Même à forte intensité les rayonnements non ionisants ne peuvent provoquer d'ionisation dans un système biologique.** Toutefois, on a montré qu'ils pouvaient avoir d'autres effets biologiques, par exemple en provoquant un échauffement, en modifiant des réactions chimiques ou en induisant des courants électriques dans les tissus et les cellules.



La couverture de la commune de Marcory par le réseau wifi peut être envisagée car jusqu'à ce jour aucune preuve scientifique attestant la nocivité des ondes émises par équipements n'a été fournie. Toute fois à titre préventif ; quelques recommandations ont été faites et doivent être respectées pour le déploiement :

- Les antennes doivent être fixées de sorte à être hors de portée de main.
- Le respect strict de la puissance autorisée de rayonnement autorisée.

## 2 - Incidence du réseau sur l'environnement sans fils existant

A l'instar des autres communes ; la commune de Marcory est couverte par les réseaux des opérateurs GSM ; utilisant des fréquences différentes de celle utilisée par la norme 802.11. Il n'existe aucun risque d'interférence ; par conséquent aucune perturbation quelconque sur les communications GSM.

Par contre ; quelques réseaux wifi appartenant à des particuliers ou des entreprises ont été identifiés. Ces réseaux sont très souvent déployés pour des hôtels ; des établissements scolaire ou des particuliers.

La plupart du temps ces déploiements se font avec les paramètres par défaut des équipements, il est prudent de répertorier toutes ces zones et d'identifier les canaux utilisés.

Cette mesure vise à modifier non pas l'architecture proposée plus haut mais les canaux utilisés pour les cellules qui couvriront ces zones. Ainsi tout risque de perturbation pourra être évité sans exigence de modification quelconque des réseaux existants.

## 3 - Evaluation de la demande pour les offres potentielles.

La desserte de la commune de Marcory par la norme 802.11 nécessite l'acquisition d'équipements pour le déploiement du réseau. Ce déploiement peut être fait soit :

- pour le compte de l'autorité municipale ou d'une organisation non gouvernementale pour le bien-être des populations.
- Par une entité privée dans un but commercial.

Dans le dernier cas cité il est nécessaire d'évaluer la demande et d'identifier les offres potentielles. Une ébauche de cette démarche a été consignée dans le tableau suivant :

Utilisateurs potentiels	Besoins Services	
Les associations	Constituer et publier une base de données documentaire Coordonner les actions des membres sur le terrain en temps réel	Accès Internet VoIP
Les stations de radio.	Accéder à internet Communiquer	Internet
Les agences locales et gouvernementales nationales.	Interconnecter les agences	VPN
Les organisations internationales et locales non gouvernementales (ONGs).	Echanger avec les donateurs	Internet VoIP
Les groupes religieux.	Echanger avec les donateurs	Internet VoIP
Les cliniques de soins de santé et les hôpitaux.	Recevoir des assistances des spécialistes étrangers Accéder à des ressources documentaires en permanence	Internet Visio conférence
Les entreprises et les entrepreneurs locaux.	Echanger avec des partenaires externes Créer des accès distants pour les utilisateurs	Internet Extranet VPN
Les écoles et les universités.	Recevoir des cours en direct à partir d'internet	Internet VoIP Visio conférence Extranet streaming
Les groupes des femmes.	Echanger des informations en temps réel	Internet VoIP Extranet
coopératives.	Entretenir et partager des bases de données des produits	Internet VoIP Interconnexion
Particuliers Accéder	à Internet Internet	VoIP ToIP Streaming

Ce tableau illustratif n'est pas figé ; il est fonction de l'environnement dans lequel le réseau doit être déployé.

**PARTIE III :**  
**PROPOSITION D'EQUIPEMENTS**  
**ET**  
**OUTILS D'ADMINISTRATION**

## I – TABLEAU RECAPITULATIF DES EQUIPEMENTS DE BASE

La norme 802.11 connaît des améliorations permanentes qui contraignent les constructeurs à offrir une panoplie d'équipements respectant la dernière variante de cette norme. Tous ces équipements obéissent certes à la norme 802.11 mais diffèrent sur certaines fonctionnalités. Si le choix de l'équipement ne pose très souvent pas de problème pour un usage à domicile ; il est très déterminant pour un réseau d'une couverture communale. Aussi faut-il noter que les équipements proposés ici peuvent être modifiés selon l'époque et l'environnement de déploiement.

référence			Spécifications techniques	photo
Réseau Cœur	Antenne sectorielle	Interline INT-SEC-17/24-V	Hoz. 90° Ver. 6° Verticale Con. type N Hauteur : 420 mm Poids : 0,33 kg Gain 17 dBi	
	Point d'Accès	WRT160NL	<b>Normes :</b> 802.3, 802.3u, 802.11b, 802.11g <b>Type connec:</b> R-SMA <b>Puiss. RF en dBm</b> 11n : HT20 : 17 +/- 1,5 dBm <b>Sens de récep:</b> 802.11n HT40/MCS15 270 Mbit/s : -67 dBm	
	Commutateur d'agrégation	ME-3400G-12CS-A	12 dual-purpose ports (10/100/1000 and Small Form-Factor Pluggable [SFP]) and 4 SFP uplinks 2 fixed redundant AC	
	Commutateur Ferme de serveur	Cisco ME 4924-10GE Ethernet Aggregation Switch	Gigabit Ethernet 10 Gigabit Ethernet X2 uplinks Policers: 512 ingress and 512 egress • ACL or QoS entries: 32,000	

référence			Spécifications techniques	photo
	Routeur	Cisco 3845 Integrated Services Router	Up to two 10/100/1000 Mbps built-in routed ports Up to 112 10/100 Mbps switch ports optional Power over Ethernet (PoE) Support for wireless LAN standards 802.11a/b/	
	Routeur frontal	Cisco 3945 Integrated Services Router	3 integrated 10/100/1000 Ethernet ports 4 Enhanced High-Speed WAN Interface Card slots Dual integrated power supplies	
	Firewall	ASA5550-BUN-K9	8 Gigabit Ethernet interfaces + 1 Fast Ethernet interface, 4 Gigabit SFP interfaces, 5000 IPsec VPN peers, 2 SSL VPN peers, 3DES/AES license 1.2 Gbps Firewall • 425 Mbps IPsec VPN	
	Serveur de production	HP MediaSmart Server EX475	Processeur AMD 1.8 GHZ 64-bit Sempron Windows Home Server, nouvelle solution logicielle de Microsoft pour le stockage, l'accès, le partage et la protection automatique de fichiers numériques. Module de mémoire : 512 Mo DDR2 DRAM  Disques durs : 2 disques durs de 500 Go SATA 7200 RPM	

référence			Spécifications techniques	photo
			Interfaces : 1 port Gigabit Ethernet pour une connexion au routeur, 4 ports USB 2.0	
	Pylône	STA - ST 15 ST11	Haubané Trépieds	
Réseau de distribution	Antenne omnidirectionnelle			
	Point d'accès	WRT54GL	chiffrement Wep 128bits Filtrage par adresse IP ou MAC Serveur et client DHCP Firewall avec NAT, IPSEC, VPN, DMZ Configuration par serveur Web interne	
	Coffret étanche	ORION PLUS FL 124A* 067054	dim800 x 600 x 300mm  un onduleur en plus des quatre points d'accès  léger pour pose sur un pylône.	
Réseau d'Accès	Antenne sectorielle	Hyperlink HG2417P-120	Ray Hor : 120° Ray Ver : 13° Pol Verticale Conn type N Haut : 740 mm Poids : 1,8 kg Gain 17 dBi	

référence			Spécifications techniques	photo
	Point d'accès	Point d'accès / Routeur Buffalo WHR- HP-G54	4 ports RJ-45 LAN et port RJ-45 WAN (MDI/MDIX) Débit jusqu'à 125 Mbits Turbo G (Compatible avec Linksys Speed Booster) Sécurité WPA (AES et TKIP) et aussi WEP 64/128 Pare-feu SPI et détection d'intrusion Connec type RP- SMA	

## II – COUT DES EQUIPEMENTS

L'évaluation des coûts d'acquisition des équipements peut faire l'objet d'une autre étude. Pour cet objectif ; l'inventaire exhaustif des équipements qui seront utilisés pour ce projet doit être fait. A partir d'outils spéciaux le cout total du projet sera déterminé. Cette étude complémentaire pourra être menée pour des soucis de déploiement.

## III – OUTILS D'ADMINISTRATION COMPLEMENTAIRES

### 1 - le Survey (nagios ou ntop)

Le déploiement de ce réseau sur la commune de Marcory implique non seulement l'utilisation de puissants outils de supervision mais gratuit. Il est donc souhaitable pour un tel besoin, d'utiliser l'un des outils suivants pour la supervision de l'ensemble des équipements du réseau.

#### 1-1 Nagios

Nagios présente plusieurs avantages à savoir :

- Logiciel libre
- Information constante et en temps réel sur l'état du parc
- informatique
- Richesse des plugins (nagios.org et nagiosexchange.org)
- Possibilité d'analyse grâce à l'édition de rapports

#### 2-2 Ntop

Simple d'utilisation et d'installation, cet un outil qui peut être très intéressant. Cette application libre offre plusieurs avantages

- Multi-plateformes (Win32, Unix)
- Compatible sur plusieurs médias (Fibre Optique, Token ring, Ethernet, PPPoE.....)
- Reconnaissance de tous les protocoles grâce à un fichier de configuration, que vous pouvez modifier pour ajouter des ports et y définir un service
- Support de la VoIP
- Identification des sessions en cours (session SSH par exemple) sur certains serveurs.

- Surveillance d'un cluster

## **2 - le Billing (PHPmyPrepaid)**

L'utilisation de cette application confère les avantages suivants :

- Administration des utilisateurs du réseau
- Gestion des emplacements multiples comme le réseau de cette étude
- Temps de début de connexion et temps restant des utilisateurs
- Génération des codes prépayés
- Des options de comptabilité...

## CONCLUSION

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, nous nous sommes intéressés à l'étude de la desserte d'une commune par la norme 802.11 (wifi) avec en perspective, d'abord de concevoir une solution concrète de conception de l'architecture du réseau; ensuite d'identifier les contraintes à considérer pour le déploiement d'un réseau basé sur la norme 802.11 et enfin les recommandations des outils d'administration à envisager dans un déploiement à titre commercial.

A l'issue de ce travail, nous voulons insister sur l'importance qu'il y a pour les pays africains en général et la cote d'ivoire en particulier à s'orienter vers les solutions comme la norme 802.11 pour favoriser l'accès équitables aux nouvelles technologies d'information.

Les apports de cette étude à la nouvelle approche des réseaux basés sur la norme 802.11 sont : le déploiement du réseau wifi sur une couverture de plusieurs kilomètres, l'implémentation d'outils d'administration libre mais performant adaptés aux besoins des pays en voie de développement, une solution reposant sur la fusion des technologies des réseaux GSM et des réseaux IP.

Contrairement aux autres réseaux sans fils ; la couverture d'une commune par la norme 802.11 peut être faite avec un budget très insignifiant pour les collectivités territoriales. En outre ce type de réseau offre des services identiques au ceux des réseaux IP et sont également ouverts aux nouveaux services.

A travers les résultats déjà obtenus dans d'autres pays africains, nous recommandons fortement l'adaptation de cette étude et le déploiement soit à des faims communautaires par les collectivités territoriales ou à des faims commerciales par des entités privées.

Au delà de ce projet de fin d'études, ce genre de projet est capable d'offrir plusieurs services :

- La Télévision à la demande (TvOD)
- Le streaming ou la vidéo à la demande (VoD)
- La vidéo surveillance
- La voix sur IP (VoIP)

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Rapport du projet de fin de cycle de Abdesslem MRIBAH, Etude et Dimensionnement d'un Réseau de Nouvelle Génération (NGN) Cas d'étude : Tunisie Télécom de 2005/2006
- [2] Limehouse Book Sprint Team ‘ Réseaux sans fil dans les pays en développement’ deuxième édition de Janvier 2009.
- [3]Thèse professionnel A5 de Brunelot Romain, “Le WIFI a t il une influence sur notre santé ? Impact sur l’Entreprise” de 2007/2008.
- [4] Thèse de Samuel Dubouloz, “ Développement d’Architectures Avancées pour Communications Ultra Large Bande (UWB) dans des Applications Bas Débit”, du 2008.
- [5] Artur HECKER “ Architecture flexible de réseau sans fil WiFi sécurisé” 8 AD 2004
- [6] Kévin Denis “Le roaming dans le WiFi” début 2007
- [7] Simon Mian “ WiMAX ou l’évolution des réseaux sans fil” de Printemps / Spring 2006
- [8] Patrick Vincent “ Comprendre le WiFi” deuxième édition de Janvier 2009
- [9] Projet de semestre de Jérémie ANZEVUI ‘ Les réseaux sans fil’ Université de Genève • 2006-2007
- [10] Tom Evslin “ WiMAX vs. WiFi” du 20 février 2008
- [11] Tom Evslin “ Le Wi-Fi”, du 8 juillet 2005
- [12] Véronique Alvaro -Sylvie Dupuy “ Recommandations d’utilisation des réseaux sans fil”, du 08 octobre 2008
- [13] Olivier FONTÈS “ OpenWRT”, du 12 juillet 2005
- [14] Tanenbaum. Andrew “ Un classique sur les réseaux d’ordinateurs” Computer Networks. ISBN 0130661023.
- [15] Flickenger. Rob. “ Building Wireless Community Networks ”, S. Computer Networks. ISBN 0130661023. 2e édition Juin 2003. O'Reilly.
- [16] Gast. Matthew “ Introduction élémentaire à tous les aspects du réseautage de communautés sans fil” 1<sup>ère</sup> Edition Avril 2002. 802.11 O'Reilly. ISBN: 0596001835

## **WEBOGRAPHIE**

[http://www.wimo.de/cgi-bin/verteiler.pl?url=wifi-connecteurs\\_f.html](http://www.wimo.de/cgi-bin/verteiler.pl?url=wifi-connecteurs_f.html)  
[http://www.wimo.de/cgi-bin/verteiler.pl?url=coaxial-cable\\_f.html](http://www.wimo.de/cgi-bin/verteiler.pl?url=coaxial-cable_f.html)  
[http://www.sta-ci.com/produits/pylones\\_haub.htm](http://www.sta-ci.com/produits/pylones_haub.htm)  
<http://www.lex-electronica.org/articles/v11-1/mian.htm>  
<http://www.lex-electronica.org/articles/v11-1/mian.pdf>  
[http://www.antenne-wifi.com/antenne\\_wifi\\_specificite.html#type\\_antenne\\_wifi](http://www.antenne-wifi.com/antenne_wifi_specificite.html#type_antenne_wifi)  
[http://www.toulouse-sans-fil.net/wiki/TheorieOndes#Perte\\_engendr.E9e\\_par\\_la\\_propagation\\_en\\_espace\\_libre](http://www.toulouse-sans-fil.net/wiki/TheorieOndes#Perte_engendr.E9e_par_la_propagation_en_espace_libre)  
<http://www.cameroun-sansfil.org/pratique/16.php>  
[http://2005.jres.org/tutoriel/Reseaux\\_sans\\_fil.livre.pdf](http://2005.jres.org/tutoriel/Reseaux_sans_fil.livre.pdf)  
<http://www.frameip.com/tcpip/>  
[http://www.rouen-wireless.net/wiki/mesh\\_network](http://www.rouen-wireless.net/wiki/mesh_network)  
<http://www.bestofmicro.com/guide/base-Wi-Fi,4-aWRHdWlkZT0xNCZpZENsYXNzZXVvPTIzJmlkUnVicmlxdWU9MTEy.html>  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Propagation\\_des\\_ondes\\_radio](http://fr.wikipedia.org/wiki/Propagation_des_ondes_radio)  
<http://pagesperso-orange.fr/f5zv/RADIO/RM/RM08/RM08a/RM08a05.html>  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation\\_des\\_t%C3%A9%C3%A9communications](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_des_t%C3%A9%C3%A9communications)  
<http://tim069.free.fr/wireless/bridgeapclient.png>  
[http://reseau.erasme.org/IMG/resume\\_802.11/resume\\_802.11.html#TAB](http://reseau.erasme.org/IMG/resume_802.11/resume_802.11.html#TAB)  
[http://www.wifixpert.com/liaison\\_donnee.htm](http://www.wifixpert.com/liaison_donnee.htm)  
<http://www.telcite.fr/nwireless.htm#WLAN>  
<http://www.commentcamarche.net/wimax/wimax-intro.php3>  
<http://craiefiti.free.fr/>  
<http://www.artemis.jussieu.fr/iup3/>  
<http://www.gralon.net/articles/internet-et-webmaster/logiciel/article-le-protocole-tcp-ip---presentation-et-fonctionnement-1597.htm>  
<http://sid.rstack.org/pres/>  
[http://pagesperso-orange.fr/f6crp/dwn/biblio/dbm\\_conv.pdf](http://pagesperso-orange.fr/f6crp/dwn/biblio/dbm_conv.pdf)  
<http://www.crium.univ-metz.fr/reseau/talweg/> portail captif  
<http://wapiti.telecom-lille1.eu/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2005/sert-deprey/pres.htm>  
<http://yanko.chez-alice.fr/ci/climat.html>  
[http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_fr/04\\_Infrastructure\\_Topology/04\\_fr\\_mmtk\\_wireless\\_basic-infrastructure-topology\\_additionalresources.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_fr/04_Infrastructure_Topology/04_fr_mmtk_wireless_basic-infrastructure-topology_additionalresources.pdf)  
<http://www.mhzshop.com/shop/index~sid~x~shp~oxbaseshop~cl~details~cnid~f80435c041680b116.53071358~anid~8ef45767fb4819299.69450531.htm>  
[http://boutique.infracom-france.com/cables-connectique-connecteurs-c-44\\_46.html?osCsid=add23d5f7200c8abae60acf1fea4d6a7](http://boutique.infracom-france.com/cables-connectique-connecteurs-c-44_46.html?osCsid=add23d5f7200c8abae60acf1fea4d6a7)  
<http://www.wardrive.net/firmware/asus>

## TABLE DES MATIERES

<b>DEDICACE</b>	1
<b>REMERCIEMENTS</b>	2
<b>AVANT-PROPOS</b>	3
<b>INTRODUCTION</b>	4
<b><u>PARTIE I : ETUDE PRELIMINAIRE</u></b>	5
<b>I – THEORIE DE LA PROPAGATION DES ONDES</b>	6
<b>1 - La théorie des ondes</b>	6
<b>2 - Définition et représentation des ondes</b>	7
<b>3 - Vitesse de propagation des ondes</b>	7
<b>4 - Le spectre électromagnétique</b>	8
<b>5 - Les phénomènes</b>	9
5-1 <i>Le Free Space Loss et l'atténuation</i>	9
<b>a - Free Space Loss</b>	9
<b>b - L'atténuation</b>	9
5-2 <i>L'Absorption</i>	9
5-3 <i>La réflexion</i>	10
5-4 <i>La réfraction</i>	10
5-5 <i>La diffraction</i>	11
5-6 <i>L'interférence</i>	12
<b>6 - Quelques concepts clés</b>	13
6-1 <i>Gain et directivité</i>	13
<b>a -La directivité</b>	13
<b>b - Le Gain</b>	13
6-2 <i>La Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE)</i>	13
6-3 <i>Ligne de vue directe ou Line of sight (LoS)</i>	14
<b>Zone de Fresnel</b>	14
6-4 <i>Bilan de liaison</i>	15
<b>II – LA NORME 802.11 OU WIFI</b>	16
<b>1 - L'IEEE 802.11 et ses canaux</b>	16
<b>2 - Les variantes du 802.11</b>	17
<b>3 - Les types de réseau (Indoor ou Outdoor)</b>	19
<b>a - Indoor</b>	19
<b>b - Outdoor</b>	19
<b>4 - La méthode d'Accès CSMA/CA</b>	19
<b>5 - Les modes de fonctionnement</b>	20
<b>III – LA MATERIEL WIFI</b>	21
<b>1 - Les adaptateurs Wifi</b>	21
1-1 <i>Les clés USB wifi dongle</i>	21
1-2 <i>Les cartes wifi PCI</i>	22
1-3 <i>Les cartes PCMCIA</i>	22
<b>2 - Les points d'accès</b>	22
2-1 <i>Professionnels</i>	22
2-2 <i>Implémentés</i>	24
<b>3 - Les antennes</b>	24

3-1	Les différents types d'antenne	24
	<b>a - Antenne directionnelle</b>	24
	<b>b - Antenne sectorielle</b>	24
	<b>c - Antenne omnidirectionnelle</b>	24
	3-2 <i>Caractéristiques des antennes (Gain, directivité, polarisation)</i>	24
<b>a</b>	<b>- Gain</b>	24
<b>b</b>	<b>- Directivité</b>	24
<b>c</b>	<b>- Polarisation</b>	24
	<b>5 - Les câbles et connecteurs</b>	24
5-1	<i>Tableau comparatif des câbles</i>	24
	5-2 <i>Tableau comparatif des connecteurs N</i>	26
	<b>6 - Les Pylônes</b>	27
6-1	<i>Haubané</i>	27
6-2	<i>Autoportant</i>	27
6-2	<i>Matsoutrépieds</i>	27
	<b><u>PARTIE II</u> : CONCEPTION DE LA SOLUTION</b>	28
	I – ETUDE TECHNIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DE DEPLOIEMENT	29
	<b>1 - Géologie de la commune de Marcory</b>	29
	<b>2 - Démographie et densité de la population</b>	30
	<b>3 - Hydrographie et météorologie</b>	31
	<b>4 - Contraintes liées à la forte urbanisation</b>	31
	<b>5 - Bruits (ondes existantes)</b>	32
	II – ELABORATION DE LA SOLUTION RESEAU	32
	<b>1 - Evaluation de la capacité des liens</b>	34
	<b>a - Réseau d'accès</b>	34
	<b>b - Réseau de distribution :</b>	35
	<b>c - Réseau cœur</b>	36
	<b>2 - Planification des liens et optimisation du trafic</b>	36
	<b>a - Réseau d'accès</b>	36
	<b>b - Réseau de Distribution</b>	37
	<b>3 - Architecture</b>	38
	<b>a - Un hotspot d'accès</b>	39
	<b>b - Un hotspot de distribution</b>	40
	<b>c - La cellule du réseau</b>	41
	<b>d - Le réseau cœur</b>	42
	<b>4 - Plan d'adressage</b>	46
	<b>a - Réseau d'accès</b>	46
	<b>b - Le réseau de distribution</b>	47
	<b>c - Cas particulier de la cellule centrale du réseau cœur.</b>	47
	<b>5 - Maillage avec Optimized Link State Routing Daemon (OLSRD)</b>	47
	<b>6 - Sécurité et surveillance</b>	49
	6-1 <i>La sécurité Physique</i>	50
	6-2 <i>La sécurité Logique</i>	51
	<b>a - Réseau d'accès</b>	51
	<b>b - Réseau de Distribution</b>	51
	<b>c - Le Réseau cœur</b>	51
	6-3 <i>La surveillance du réseau</i>	54
	III – PROPOSITION ENERGETIQUE	55
	<b>1 - L'énergie solaire</b>	55
	<b>2 - L'énergie éolienne</b>	55

<b>3 - le courant alternatif</b>	55
IV – ETUDE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET DE LA VIABILITE ECONOMIQUE	56
<b>1 - Rayonnement et santé de la population</b>	56
<b>2 - Incidence du réseau sur l'environnement sans fils existant</b>	57
<b>3 - Evaluation de la demande pour les offres potentielles</b>	57
<b><u>PARTIE 3: PROPOSITION D'EQUIPEMENTS ET OUTILS D'ADMINISTRATION</u></b>	<b>59</b>
I – TABLEAU RECAPITULATIF DES EQUIPEMENTS DE BASE	60
II – COUT DES EQUIPEMENTS	63
III – OUTILS D'ADMINISTRATION COMPLEMENTAIRES	63
<b>1 - le survey (nagios ou ntop)</b>	63
1-1 <i>Nagios</i>	63
2-2 <i>Ntop</i>	63
<b>2 - le Billing (PHPmyPrepaid)</b>	64
<b>CONCLUSION</b>	65
<b><u>BIBLIOGRAPHIE</u></b>	66
<b><u>WEBOGRAPHIE</u></b>	67