

# Physique des télécommunications

## Réalisation d'un logiciel de ray-tracing

### 1. Les réseaux locaux sans fil

Les réseaux locaux sans fil sont actuellement largement utilisés pour offrir un accès Internet à l'intérieur des bâtiments. Ils permettent de réduire significativement le coût de l'infrastructure de communication en comparaison avec les réseaux câblés classiques. Ils supportent de très larges débits d'information grâce aux techniques avancées de communications mises en œuvre.

Des comités de standardisation, principalement composés d'industriels, sont chargés de spécifier les normes de communication de manière à assurer la compatibilité entre les différents produits commerciaux. Les principaux groupes de standardisation sont américains, sous l'égide de l'association IEEE<sup>1</sup> (même si des initiatives ont aussi vu le jour au niveau européen). Historiquement, les standards suivants sont progressivement apparus :

- La norme IEEE 802.11a supporte 54 Mbps à 5 GHz,
- La norme IEEE 802.11b supporte 10 Mbps à 2,45 GHz,
- La norme IEEE 802.11g est une combinaison des normes IEEE 802.11a et .11b,
- La norme IEEE 802.11n supporte des débits jusqu'à 100 Mbps.
- La norme IEEE 802.11ac travaille à 5 GHz pour un débit allant jusque 400Mbps

Ces normes sont communément regroupées sous l'appellation commerciale *WiFi*.

Le standard actuel le plus rapide, le IEEE 802.11ac, est suffisant pour les nouvelles applications multimédias, comme le *home entertainment*. Le *home entertainment* regroupe l'ensemble des applications multimédias à domicile, comme internet, la TV numérique ou les jeux vidéo. Dans les prochaines années, toutes les transmissions relatives à ces applications se feront sans fil: transmissions du modem vers un ou plusieurs PC, du décodeur TV haute définition vers le(s) écran(s), de la console de jeux vers le(s) écran(s)... A titre d'exemple la transmission sans fil d'un film Blu-ray exige un débit de 50 Mbps, tandis que 150 Mbps sont nécessaires pour un jeu vidéo.

### 2. Objectif du projet

Une communication numérique ne peut être établie que si la puissance reçue dépasse un certain seuil (par rapport au bruit thermique et/ou aux interférences causées par d'autres émetteurs).

L'objectif de ce projet est le développement d'un simulateur de type ray-tracing permettant de prédire la puissance captée par un récepteur connecté à une station de base pour des communications IEEE 802.11g. Ce simulateur permettra également de déterminer quelle est la *zone de couverture* d'une station de base 802.11g à l'intérieur d'un bâtiment, ainsi que le débit binaire en fonction de la position du récepteur.

---

<sup>1</sup> Institute of Electrical and Electronics Engineers, la plus importante association professionnelle mondiale, [www.ieee.org](http://www.ieee.org)

### 3. Le ray-tracing

Les logiciels de *ray-tracing* permettent de simuler la propagation des ondes électromagnétiques dans les hypothèses de champ lointain. Les ondes sont alors supposées localement planes et chacune de leurs interactions avec les obstacles de l'environnement peut être calculée grâce aux modèles vus au cours (réflexion, transmission, diffraction). Afin d'accélérer les calculs, le mobilier, les portes, et les personnes ne sont pas prises en compte dans les simulations de ray-tracing et les seules interactions possibles sont:

- Réflexion sur un mur
- Transmission à travers un mur
- Diffraction par une arête (ouverture de porte,...)

Chaque onde peut subir successivement plusieurs interactions au cours de sa propagation. La première étape d'un calcul de ray-tracing consiste à définir un plan de l'étage du bâtiment dans lequel le réseau sera déployé, et y positionner la station de base et le récepteur. L'épaisseur des murs n'est pas prise en compte pour la définition du plan (mais bien pour le calcul des coefficients de réflexion,...).

La deuxième étape est la détermination des chemins de propagation possibles entre la station de base et le récepteur. Nous ne prendrons en considération (au minimum, vous pouvez aller plus loin !) que les ondes suivantes:

- L'onde directe
- Les ondes ayant subi une, deux réflexions (ou trois, c'est un plus pour votre projet !)
- Les ondes ayant subi une seule diffraction.

Chaque onde peut avoir subi en outre des transmissions au cours de son trajet. La détermination des chemins de propagation se fait de façon purement géométrique par la méthode des images.

### 4. Hypothèses

Les réseaux 802.11g fonctionnent à la fréquence de 2,45 GHz. Nous supposerons que le problème est purement bidimensionnel: la station de base et le récepteur se trouvent à une même hauteur du sol, et seules les ondes se propageant dans le plan horizontal sont prises en compte. Nous supposerons que les antennes sont équivalentes à des dipôles  $\lambda / 2$  verticaux, sans pertes.

Les murs peuvent être constitués des matériaux suivants :

	Permittivité relative $\epsilon_r$	Conductivité $\sigma$
<b>Brique</b>	4.6	0.02
<b>Béton</b>	5	0.014
<b>Cloison</b>	2.25	0.04

### 5. Couverture de la station de base

La zone dans laquelle le signal de la station de base peut être capté est appelée la zone de couverture de cette station de base. Pour pouvoir établir une communication numérique, la puissance reçue doit dépasser un certain seuil. Ce seuil dépend du débit binaire recherché: plus ce débit est important, plus

la puissance reçue doit être forte. Il dépend également de la qualité de l'électronique de réception. Ce seuil est appelé la *sensibilité* du récepteur.

Conventionnellement, les puissances en télécom sont exprimées dans une échelle logarithmique appelée dBm:

$$P[dBm] = 10 \log \frac{P[W]}{1mW}$$

Nous supposons dans ce projet que la sensibilité du récepteur varie linéairement avec le débit binaire, lorsque ces deux grandeurs sont exprimées en échelle logarithmique. Les valeurs extrêmes de variation attendues sont:

Sensibilité	Débit binaire
-93 dBm	6 Mb/s
-73 dBm	54 Mb/s

Notez l'ordre de grandeur des sensibilités! En-dessous de -93 dBm la communication est impossible. Au niveau de la station de base nous supposons que la puissance à l'antenne vaut 20 dBm, valeur typique des points d'accès WiFi.

Votre logiciel de ray-tracing permet donc de déterminer la zone de couverture d'une station de base, mais aussi en chaque point de cette zone quel est le débit binaire maximal.

## 6. Résultats

Votre rapport **doit** contenir :

- Une description des fonctionnalités de votre code de calcul ainsi que des interactions ondes-obstacles que vous avez prises en compte.
- Votre code de calcul documenté.
- Une validation de votre code sur des cas élémentaires par comparaison à des résultats analytiques.
- Une représentation graphique de la zone de couverture d'une station de base 802.11g située dans un bâtiment, à un étage donné. Le débit binaire maximal en tout point de cette zone sera également calculé et représenté.
- Vous choisirez librement des exemples d'application de votre logiciel, par exemple pour prédire le positionnement optimal des plusieurs stations de base afin d'assurer la couverture d'un étage de bâtiment.

**Attention !** les temps de calcul par ray-tracing peuvent être extrêmement longs, ne soyez pas surpris! Il convient donc de choisir durant la phase de développement de votre logiciel des cas de test dont la géométrie n'est pas trop complexe.

**Dépasser les objectifs minimaux énoncés ci-dessus est incontestablement un plus!  
Soyez créatifs !**