



Ecole Doctorale  
Electronique, Electrotechnique et Automatique



Centre d'Innovation  
en Télécommunications & Intégration de services

## **MEMOIRE DE MASTER**

Master Réseaux, Télécommunications et Services

*Présenté par*

**Perevozov Maksym**

# **LOCALISATION DE STATIONS MOBILES**

## **DANS LES RESEAUX SANS FIL**

*Soutenu à l'INSA de Lyon, le 9 Septembre 2005*

*Président du jury :*

**Eric FLEURY**

Professeur à l'INSA de Lyon

*Responsables de stage :*

**Jean Marie GORCE**  
**Katia RUNSER**

Maître de conférence à l'INSA de Lyon  
Doctorante à l'INSA de Lyon

# REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord M. Stéphane UBEDA et tous les membres du laboratoire CITI - INSA de Lyon qui m'ont donné la chance de pouvoir effectuer mon projet de fin d'études dans de bonnes conditions.

Je tiens à remercier tout particulièrement M. Jean Marie GORCE, et Mlle Katia RUNSER, mes encadrants de stage, pour leurs précieux conseils et indications, ainsi que pour la disponibilité et patience dont ils ont fait preuve à mon égard tout au long de mon projet.

Je remercie également sincèrement toutes les personnes qui m'ont aidé dans l'avancement de mon projet et dans mes recherches. Elles ont contribué à rendre ce projet agréable et riche en enseignements.

# Résumé

De plus en plus de méthodes de localisation sont mises en place pour permettre à un utilisateur d'interagir avec son environnement physique ou pour jouer un rôle prépondérant dans les situations d'urgence où il est nécessaire de localiser rapidement des éléments actifs d'un réseau.

Le travail décrit ici a pour objet la conception d'un système de localisation pour les environnements indoor, basé sur la mesure de puissance de signaux reçus.

La plupart des travaux actuels est orientée à l'amélioration des méthodes de triangulation, prenant en compte le rapport de signal à bruit local, intégrant la notion de confiance sur les mesures.

Nous proposons de regarder l'amélioration de la localisation sous un autre aspect. Le but est de montrer que le déploiement des points d'accès joue un rôle important dans cette problématique. Nous allons définir des critères de qualité de la configuration des points d'accès du réseau sans fil de façon à garantir un niveau de qualité de services (QoS) aux utilisateurs.

Nous intégrerons alors ces critères dans un processus d'optimisation, c'est-à-dire un processus de sélection d'une bonne solution.

# Resume

More and more methods of localisation are installed to allow a user to interact with his physical environment or to play a dominating role in the emerging services where it is necessary to quickly locate active elements of a network.

The work described below aims to develop a localisation system for indoor environments which is based on the measurement of the received power signals.

Major actual works are focusing on improvement of the methods of triangulation, taking into account the ratio of signal to local noise integrating the notion of confidence to the measurements.

We propose to look at the improvement of localization under another aspect. The goal is to show that the deployment of the access points plays an important role in these problems. We will define the quality criteria of the configuration of the access points of the wireless network in order to guarantee a level of quality of services (QoS) to the users.

We will then integrate these criteria in the optimization process, i.e. a process of choice of a good solution.

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>PRESENTATION GENERALE DU PROJET .....</b>	<b>5</b>
1.1	Introduction .....	5
1.2	Contexte.....	5
<b>2</b>	<b>ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>7</b>
2.1	Introduction sur les techniques de localisation .....	7
2.1.1	Principe des techniques de localisation par RF .....	7
2.1.2	Méthodes déterministes .....	8
2.2	L'optimisation et le problème de planification d'un réseau sans fil.....	10
2.2.1	La difficulté du problème de planification .....	10
2.2.2	L'optimisation combinatoire.....	11
2.2.3	Les meta-heuristiques .....	12
2.2.4	La recherche Tabou .....	12
<b>3</b>	<b>MISE EN OEUVRE.....</b>	<b>14</b>
3.1	Modèle de propagation.....	14
3.1.1	Le modèle de prédiction de couverture radio .....	14
3.1.2	Découpage d'environnement .....	15
3.2	Critères de localisation.....	17
3.2.1	Critère basé sur la « distance ».....	18
3.2.2	Critère basé sur « distance et position » .....	18
3.2.3	Critère de « zone ».....	18
3.2.4	Heuristique d'optimisation .....	18
3.2.5	Système d'évaluation.....	18
3.3	Analyse des résultats .....	25
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>31</b>
4.1	Conclusions.....	31
4.2	Perspectives .....	31
	<b>BIBLIOGRAPHY .....</b>	<b>32</b>

# 1 PRESENTATION GENERALE DU PROJET

## 1.1 Introduction

Le travail présenté ici est effectuée au sein du Centre d'Innovation en Télécommunications et Intégration de services (CITI) de l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, dans le cadre de mon stage de MASTER « Spécialité Réseaux, Télécommunications et Services » (INSA de Lyon). Ce travail est basé sur le domaine des Télécommunications et plus particulièrement celui du traitement du signal. Il s'inscrit dans le cadre d'un projet de conception et de développement d'un système de localisation géographique Indoor basé sur la technologie WiFi. Le but de mon stage était d'étudier la problématique de positionnement des points d'accès pour assurer la fiabilité du dispositif. Il s'agissait en particulier de définir des critères de positionnement, permettant d'évaluer la qualité d'une configuration des points d'accès et de l'intégrer dans un processus d'optimisation.

## 1.2 Contexte

Le développement de nouvelles technologies dans le domaine de communication radio a favorisé l'émergence de nouveaux services. En particulier, les réseaux sans fils (WLANs) sont devenus populaires avec la disponibilité de l'équipement du standard IEEE 802.11 et à prix réduit. L'intégration des réseaux sans fil de nouvelle génération permet aux utilisateurs de rester toujours connectés, ce qui a suscité l'intérêt potentiel de services localisés, c'est-à-dire qui s'adaptent à la position de l'utilisateur. Cela peut permettre, par exemple, de fournir des services comme l'impression d'un document sur l'imprimante la plus proche ou encore le guidage d'un utilisateur à l'intérieur d'un bâtiment.

Pour répondre à la question "Où suis-je ?" il faut mettre en place des méthodes de localisation d'un utilisateur mobile pour lui permettre d'interagir avec son environnement physique. Ces méthodes de localisation peuvent également jouer un rôle prépondérant dans des situations d'urgence où il est nécessaire de localiser rapidement des éléments actifs du réseau.

La localisation d'une station mobile ne peut se faire qu'avec la connaissance a priori de l'environnement radio dans lequel l'opération est effectuée. Cette connaissance passe par l'acquisition d'une carte de couverture radio. Cette acquisition peut se faire soit par mesure radio, soit par simulation. Si le modèle de couverture radio utilisé pour la simulation est fiable, il permettra de gagner du temps et rendra les systèmes de localisation aisément configurables et portables, contrairement à l'acquisition par mesure.

La plupart des procédés employés pour déterminer une position sont basés sur des calculs géométriques comme la triangulation (en mesurant des distances par rapport à des points dans la base de données qui a été construit soit par mesure radio, soit par calcul de couverture par simulation). D'autres approches, basées sur les caractéristiques du signal radio (puissance, délai, étalement temporel, angulaire, ...) reçu et l'angle de l'arrivée peuvent être appliquées pour le calcul de position.

La plupart des travaux actuels concernant ce domaine exploitent l'information de puissance, qui est bien souvent la seule disponible. Ces travaux se concentrent sur l'amélioration des méthodes de triangulation, prenant en compte le rapport signal à bruit local, en intégrant la notion de confiance sur les mesures. Ce travail de MASTER présenté dans ce mémoire propose de regarder l'amélioration de la localisation sous un autre aspect. Le but est de montrer que le déploiement des points d'accès joue un rôle important dans cette problématique. Nous allons définir des critères de qualité de la configuration des points d'accès du réseau sans fils de façon à garantir un niveau de qualité de services (QoS) aux utilisateurs.

Nous intégrerons alors ces critères dans un processus d'optimisation, c'est-à-dire un processus de sélection d'une bonne solution.

Le travail de ce Master présenté dans ce mémoire se divise en 4 parties :

- choix d'une méthode de localisation, basé sur de la triangulation
- définition des critères permettant d'évaluer la qualité de planification d'un réseau sans-fil.
- intégration de ces critères dans une heuristique d'optimisation de type Tabou.
- Validation par simulations

L'application développée au CITI est basée sur un simulateur de réseaux sans fil, WILDE [Gor05]. Ce moteur de calcul fourni des cartes de couverture, qui seront utilisées pour localiser des mobiles dont le signal reçu est simulés à l'aide du même moteur.

Le simulateur de couverture WILDE est basé sur le modèle de prédiction de couverture Multi Resolution Fourier Domain ParFlow (MR-FDPF) [Gor01]. Il a été développé au laboratoire CITI et permet de prédire le niveau de puissance reçu en tout point du plan 2D d'un bâtiment.

Dans ce mémoire, je présente d'abord mon étude bibliographique sur les méthodes de localisation utilisées dans les environnements indoor ainsi que les techniques d'optimisation (partie 2). La mise en œuvre du projet et les résultats obtenus seront présentés dans la partie 3. Le mémoire se terminera par des conclusions et des perspectives visant à améliorer le système (partie 4).

## 2 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

### 2.1 Introduction sur les techniques de localisation

Plusieurs systèmes de détection de position ont été proposés et mis en application dans la littérature pour une variété d'applications. Pour des applications dans les environnements « outdoor », le système de positionnement global (GPS), basé sur satellites, est généralement utilisé. Le GPS se fonde sur la « trilatération » de la position et du temps parmi quatre satellites, et peut déterminer l'endroit avec la précision jusqu'à quelques mètres. Cependant, les occlusions, les réflexions, et les effets par trajets multiples limitent l'utilité du GPS dans les environnements indoor ou denses. Des systèmes de localisation indoor ont été développés pour des cas où l'usage du système GPS est limité. Ces systèmes peuvent être classifiés dans trois grandes catégories: Infrarouge (IR), Ultrason (US), et Radio (RF).

Les recherches dans ce rapport sont effectuées dans le domaine de localisation par RF.

#### 2.1.1 Principe des techniques de localisation par RF

- Les technologies de localisation basées sur les ondes radios jouent un rôle très important dans le développement des systèmes de positionnement dans les environnements indoor. Plusieurs groupes de chercheurs des laboratoires de différents pays ont participé à cette direction de recherche. Non seulement des algorithmes, des formulaires, ont été proposés sur papier mais beaucoup d'expériences ont été également réalisées dans le but de validation des résultats théoriques.

Afin d'estimer la position de l'utilisateur, un système doit mesurer une quantité qui est une fonction de la distance. D'ailleurs, le système a besoin d'un ou plusieurs points de référence pour mesurer la distance. Pour le GPS, les points de référence sont les satellites et la quantité mesurée est l'heure d'arrivée du signal de satellite au récepteur de GPS. Le retard est directement proportionnel à la distance entre le satellite et le récepteur. Pour les systèmes de localisation de WLAN, les points de référence sont les points d'accès et la quantité mesurée est la puissance de signal, qui s'atténue logarithmiquement avec la distance dans l'espace libre. Malheureusement, dans les environnements indoor, le canal sans fil est très altéré par les réflexions, la diffraction, et les trajets multiples qui en découlent. La puissance du signal n'est alors plus fonction de la distance uniquement. Pour surmonter ce problème, les systèmes de détermination de position de WLAN, tabulent cette fonction en l'échantillonnant aux endroits choisis pour les mesures de référence. C'est ce qu'on appelle dans la littérature la carte de couverture radio, qui donne la signature (puissance) de chaque point d'accès à certains points de référence.

Les systèmes de localisation de WLAN fonctionnent habituellement en deux phases: phase non connecté (offline phase) et phase de détermination de localisation (location détermination phase). Pendant la phase non connectée, le système construit la carte radio.

Dans la phase de détermination de localisation, le vecteur des échantillons reçus de chaque point d'accès (chaque entrée est un échantillon provenant d'un point d'accès) est comparé avec la carte de radio et le plus proche résultat est retournée comme la position estimée de l'utilisateur.

Les différentes techniques de détermination de position de WLAN diffèrent essentiellement par la manière dont elles construisent la carte radio et par l'algorithme qu'elles emploient pour comparer un vecteur de puissance de signal reçu et ceux de la carte de radio.

Ces techniques peuvent être classées dans deux larges catégories: techniques déterministes et techniques probabilistes. Les techniques déterministes représentent la puissance de signal d'un point d'accès à une position par une valeur scalaire, par exemple, la valeur moyenne, et emploient des approches non probabilistes pour estimer la localisation de l'utilisateur (plus proche voisin, interpolation). Par exemple, dans le système Radar [Par00], les auteurs emploient la technique du plus proche voisin. Au contraire, les techniques probabilistes stockent dans la carte radio des informations concernant la distribution de la puissance du signal venant de chaque point d'accès. Cela revient à associer une loi de probabilité à chaque couple AP-mobile. Ils utilisent ensuite des algorithmes probabilistes pour estimer la localisation de l'utilisateur. Par exemple, le système Horus [You02] de l'Université du Maryland sélectionne l'endroit où la probabilité d'un vecteur de puissance de signal donné est maximale.

Dans le contexte de la localisation des réseaux sans fils WLAN, il y a 2 approches logicielles différentes: « client centré » et « serveur centré ». Pour les applications serveur centré, il existe un cœur qui exécute toutes les opérations de localisation. La vie privée des clients quand à leur position est alors inexistante. Ces applications ne sont pas scalables car pour augmenter le nombre d'objets à localiser, il faut rapidement prendre un serveur plus puissant. Pour les applications client centré, les opérations de localisation sont effectuées directement par le mobile qui doit se localiser. Il est donc indispensable que les algorithmes ne soient pas trop gourmands. Ces applications sont facilement scalables.

### **2.1.2 Méthodes déterministes**

Caractéristiques générales

La première famille est celle des techniques déterministes. Lors de la phase d'initialisation, un vecteur de scalaires, représentant le vecteur des niveaux de signal reçus, est stocké en chaque point de la carte radio. Par exemple, Radar [Par00][Ven00][Ana00], une technique déterministe développée par Microsoft, stocke la valeur moyenne du signal reçu pour chacun des points d'accès.

Pendant la phase de localisation, le vecteur de mesure est comparé avec les vecteurs de référence de la carte radio et la position estimée est celle pour laquelle ces 2 vecteurs sont les plus proches.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement de ces techniques, nous nous sommes focalisés sur l'étude d'un exemple pour chacune des 2 familles. Pour les techniques déterministes, on a choisi d'étudier le système Radar [Par00][Ven00][Ana00]. Celui-ci repose sur un principe simple mais semble être reconnu comme un système de référence par la bibliographie. Pour représenter la famille probabiliste, nous nous sommes penchés sur le système Horus [You02][Agr03][You03][Mou05], qui ne sera pas présenté ici.

#### **Radar : utilisation de la puissance moyenne du signal**

Radar [Par00][Ven00][Ana00] est un système qui a été développé par Microsoft en 2000.

Le processus de localisation comprend 2 phases :

#### **Phase offline :**

Pendant la phase d'initialisation, le système détermine la puissance moyenne issue de chaque point d'accès pour chaque point de la carte radio. La détermination de cette puissance peut se faire de deux façons : de manière expérimentale ou par modélisation. Dans le premier

cas, il faut effectuer des mesures du signal en chaque point de la carte radio. Dans le deuxième, il faut disposer d'un modèle théorique (un modèle de propagation radio) capable d'estimer la puissance moyenne en chaque point. Dans [Par00], l'auteur utilise un modèle MWM (multi wall model) qui ne tient compte que du trajet principal entre émission et réception.

$$P(d)[dBm] = P(d_0)[dBm] - 10n \log(d/d_0) - nW * WAF \text{ si } nW < C$$

$$C * WAF \text{ si } nW \geq C$$

- n : la vitesse à laquelle le "path loss" varie en fonction de la distance
- P(d<sub>0</sub>) : puissance à la distance de référence d<sub>0</sub>
- d : distance entre l'émetteur et le récepteur
- C : nombre maximal d'obstacles jusqu'à lequel le facteur d'atténuation fait une différence
- nW : nombre d'obstacles entre le transmetteur et le récepteur
- WAF : facteur d'atténuation d'un mur (dépend de disposition de l'étage et le matériau)

### Phase online :

Lors de la phase de localisation, le système compare le vecteur signal mesuré à chaque vecteur de puissance moyenne de la carte radio. La comparaison s'effectue au sens de l'erreur quadratique moyenne entre les deux vecteurs :

$$d(P, P') = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - S'_i)^2}$$

où :

- P et P' sont deux points de l'espace physique, q'on étant issue de la base de données
- d(P, P') est la distance dans l'espace signal entre ces deux points,
- N est le nombre de points d'accès déployés.
- S<sub>i</sub> et S'<sub>i</sub> sont les niveaux de puissance du signal de l'APides, respectivement aux 2 positions mobiles P et P'

La position estimée est celle pour laquelle cette distance est minimale.

Dans cet algorithme simple, on recherche le NNSS – Nearest Neighbor in Signal Space – c'est à dire le voisin le plus proche dans l'espace signal sans interpolation. base doit donc être très précisée

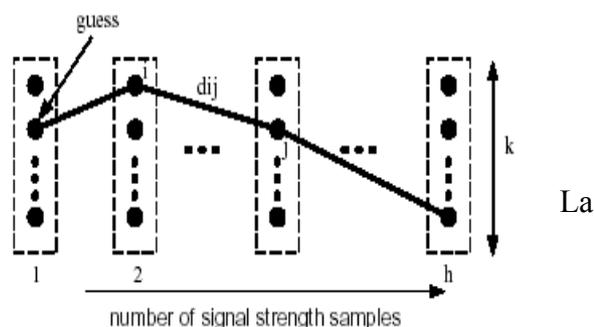


Figure 1. k-NNSS

### Perfectionnements du système Radar

L'algorithme de NNSS utilisé dans le premier concept du système Radar ne considère pas l'information de position du passé. L'idée d'amélioration repose sur prise en compte du cheminement continu de l'utilisateur, il s'agit de proposer une meilleure estimation localisation en employant des données du passé. L'idée de cette technique est que la position de l'utilisateur à un instant donné ne peut pas être loin de celle à l'instant précédent.

Le système Radar utilise l'algorithme de Viterbi pour résoudre ce problème.

Chaque fois qu'un vecteur de puissance du signal est obtenu par le mobile, une recherche de NNSS est déclenchée pour déterminer les k voisins les plus proches de l'espace de signal (k NNSS). Une histoire de profondeur h des ensembles de k-NNSS est maintenue.

La collection de ces ensembles de longueur  $h$  de  $k$ -NNSS peut être représentée sur le schéma précédent.

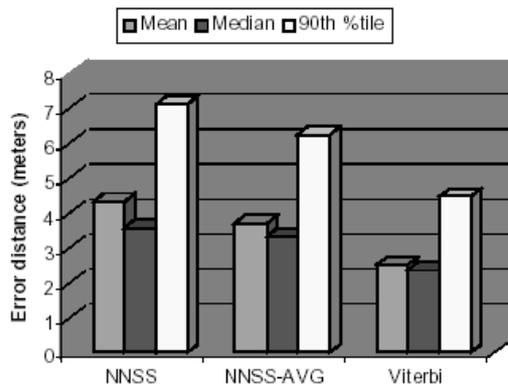


Figure 2. Comparaison d'algorithmes: NNSS, NNSS-AVG et Viterbi [Sha02]

Trois algorithmes différents: NNSS, NNSSAVG (où les endroits physiques des 3 voisins les plus proches dans l'espace de signal sont ramenés à une moyenne), et Viterbi (avec  $k = 3$  et  $h = 6$ ) ont été évalués. Le moyen, la médiane, et le quatre-vingt-dixième percentile de la distance d'erreur sont montrés sur le schéma.

## 2.2 L'optimisation et le problème de planification d'un réseau sans fil.

Un nombre important de problèmes relatifs à l'ingénierie, à la biologie ou issus de la vie quotidienne sont en fait des problèmes d'optimisation. Cet ensemble de problèmes cherche à identifier une ou plusieurs solutions qui répondent le mieux à un ou plusieurs critères donnés.

Dans cette partie, la difficulté du problème de planification de réseau sans-fil est introduite dans la section 2.2.1. Les parties suivantes présentent des algorithmes qui ont été exploités dans mon projet.

### 2.2.1 La difficulté du problème de planification

Quand on cherche à résoudre un problème d'optimisation, il est nécessaire de prendre en compte le contexte dans lequel va se faire la résolution. Pour cela, il faut respecter les contraintes qui s'appliquent au problème en terme de moyens de calcul et de temps en répondant aux deux questions suivantes :

1. En combien de temps devra-t-on résoudre le problème ?
2. De quelle puissance de calcul dispose-t-on ?

Ces deux questions permettent de quantifier le nombre d'opérations moyennes ou maximales que l'on peut exécuter pour trouver la solution du problème d'optimisation. En effet, la première réponse donne un temps moyen de résolution et la seconde le nombre d'opérations à la seconde que l'on peut effectuer. Typiquement, pour le problème de planification d'un réseau WiFi, il est souhaitable de trouver une solution au bout d'une demi-heure, voire une heure de recherche avec un ordinateur standard.

Le problème de planification a pour objectif de déterminer la configuration des points d'accès du réseau de façon à garantir un niveau de qualité de services (QoS) aux utilisateurs.

Ce problème est un problème d'optimisation difficile. D'une part, les contraintes de temps de traitement et de puissance de calcul sont fortes vis-à-vis de la combinatoire du problème. Il est nécessaire de produire une solution en un temps de calcul faible (1 heure) et

avec une puissance de traitement restreinte. Si l'on cherche à planifier un environnement comprenant  $M$  positions candidates et  $N$  AP à positionner, le nombre de solutions possibles est de  $C_M^N$ .

De plus, le calcul d'une seule fonction de coût fait intervenir l'estimation de la couverture radio des  $N$  points d'accès de la solution. Si l'approche du problème est combinatoire, il est possible d'estimer la couverture des points d'accès candidats au début du processus d'optimisation et ainsi de minimiser le temps de calcul des prédictions de couverture radio.

Le problème de planification WLAN est également difficile car la fonction d'évaluation n'est ni convexe, ni mono-modale. En effet, les critères sont basés sur les estimations de la propagation d'ondes radio, conduisent à une fonction de coût non convexe, par exemple, un point d'accès déplacé d'une pièce à l'autre d'un bâtiment crée une discontinuité dans la fonction d'évaluation.

Différentes heuristiques de résolution ont été présentées dans la littérature. La suite de ce chapitre présente la technique utilisée dans mon travail.

### 2.2.2 L'optimisation combinatoire

Le problème de planification WLAN peut être modélisé par une approche discrète. Cette partie a pour objectif de présenter l'algorithme combinatoire qui a été utilisé pour résoudre le problème de planification.

Les approches combinatoires permettent de modéliser des problèmes complexes qui présentent un nombre important de variables qu'il est souvent difficile de résoudre de façon exacte. Pour cela, des algorithmes d'approximation ont été développés.

Une représentation schématique des méthodes décrites dans cette partie est donnée à la figure 4.

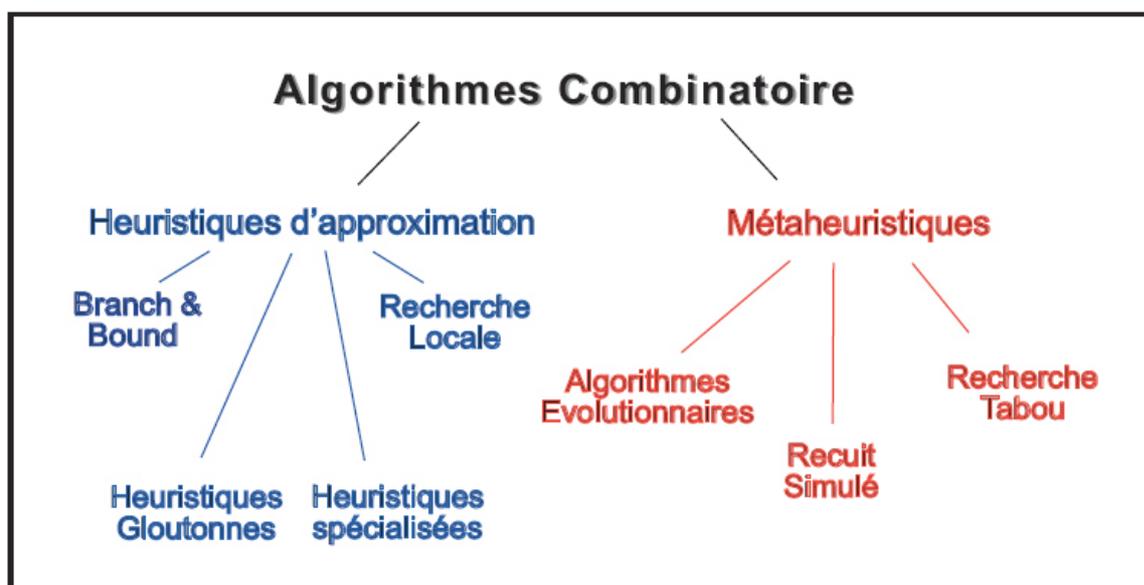


Figure 4. Algorithmes combinatoires appliqués au problème de planification.

### 2.2.3 Les meta-heuristiques

Les meta-heuristiques sont souvent employées pour des problèmes complexes car elles permettent de faire face à des problèmes difficiles. Pourtant, en vu du nombre de techniques et de concepts compris sous le terme de meta-heuristiques, il n'existe toujours pas de définition communément admise de ces méthodes. La définition proposée par le Metaheuristics Network est la suivante :

Une meta-heuristique est un ensemble de concepts qui peuvent être utilisés pour définir une heuristique applicable à un large ensemble de problèmes. En d'autres mots, une meta-heuristique peut être vue comme un algorithme générique applicable à différents problèmes d'optimisation avec relativement peu de modifications

Ces techniques s'inspirent souvent d'un processus d'optimisation qui intervient spontanément dans la nature. C'est pourquoi les décisions ne sont plus déterministes : une partie de choix est faite avec une probabilité donnée. Ces méthodes sont des méthodes d'optimisation stochastiques. Les exemples de meta-heuristiques sont nombreux : le recuit simulé (simulated annealing (SA)), la recherche tabou (tabu search (TS)), les algorithmes évolutionnaires (evolutionary algorithms (EC)), la recherche locale itérative (Iterative Local Search (ITS)) ou encore l'optimisation par colonie de fourmies (ant colony optimization (ACO)). Les méthodes en italique ont été utilisées pour résoudre le problème de planification wLAN et sont présentées dans la suite du document.

### 2.2.4 La recherche Tabou

La recherche Tabou a été présentée par Fred Glover en 1986 dans [Glo86]. Tous les principes de cette recherche sont décrits dans [Glo97]. La recherche locale de la famille heuristique d'approximation est une heuristique qui n'accepte pas de solution plus mauvaise que l'optimum actuel. Pour palier à cela, il est possible dans la recherche tabou d'accepter à l'issue d'une itération une solution qui ne soit pas meilleure que l'optimum. Ainsi, comme pour la méthode de recuit simulé, la recherche peut franchir des cols de la fonction d'évaluation pour explorer d'autres zones de l'espace de recherche.

Pourtant, l'inconvénient majeur de cet algorithme réside en l'apparition très rapide de boucles dans la recherche.

L'idée de l'approche tabou, est de rajouter un peu d'intelligence dans cette recherche pour éviter de passer deux fois au même endroit. Ainsi, Fred Glover a proposé d'introduire une mémoire qui stocke les solutions déjà testées ou des caractéristiques de celles-ci pendant une certaine durée. Cette mémoire, dénommée liste Tabou, permet d'interdire le mouvement vers une solution voisine qui appartient à une partie de l'espace des solutions déjà visitée.

On peut représenter une liste tabou par une file d'attente de type FIFO de taille  $T$ . Bien entendu, la taille de la liste tabou doit être bien inférieure au nombre de variables  $n$  du problème pour ne pas rendre l'espace de recherche vide de solutions à tester après  $k$  itérations  $\{k, k > T\}$ . Pour améliorer les propriétés de convergence de cet algorithme, [Run05] il est bon d'après d'introduire une taille variable de la liste tabou dont la valeur est choisie dans un intervalle fixe  $[T_{min}, T_{max}]$ . Plus la taille minimale de l'intervalle  $T_{min}$  est élevée, plus le risque de bouclage est faible. De même, plus la largeur de l'intervalle est grande, plus les risques de bouclage sont faibles. Il existe une valeur optimale est la plus part du temps empirique d'intervalle ou la convergence est atteinte en un minimum d'itérations sans phénomène de bouclage. Cette valeur optimale est bien entendue fortement dépendante de la nature du problème traité et le choix de ces paramètres.

La recherche tabou a été traditionnellement utilisée pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire, or, elle est de plus en plus souvent appliquée à des problèmes continus. La méthode est efficace pour des problèmes présentant beaucoup de variables.

Mais comme la plupart des meta-heuristiques, cette technique implique un nombre important d'évaluations de fonctions. De ce fait, il devient difficile de traiter des problèmes avec une fonction d'évaluation coûteuse en temps de calcul.

Le tableau suivant présente les références des articles avec des algorithmes combinatoires implantés pour résoudre le problème de planification.

	Algorithmes d'approximation				Metaheuristiques				
	Glouton	Recherche locale	Branch & Bounds	Heuristiques spécialisées	Recuit Simulé	Tabou	Genétique	Autres	
Amaldi et Al. [43]	×	×							
Unbehaun et Kamenetsky [26]	×	×			×				
Frühwirth et Brisset [33]			×						
Wertz et Al. [41]				×					
Anderson et McGeehan [32]					×				
Bahri et Chamberland [40]						×			
Adickes et Al. [36]							×		
Ji et Al. [30]							×		
Aguado et Al. [29]							×		
Stamatelos et Ephremides [23]									×

Figure 5. Les algorithmes implantés pour du WLAN planners [Run05].

# 3 MISE EN OEUVRE

## 3.1 Modèle de propagation

### Contexte

Il est également possible de planifier un réseau pour une application spécialisée qui nécessite une répartition des niveaux de puissance qui réponde à certaines contraintes.

C'est en analysant les performances d'algorithmes de localisation WLAN que nous nous sommes rendus compte de l'importance du placement des APs pour ce genre d'application.

Les algorithmes de localisation travaillent à partir d'une base de connaissance qui décrit l'environnement radio d'un bâtiment. A chaque tentative de localisation, la puissance des signaux reçus par les AP's au point courant est recherchée dans cette base de connaissance pour en déduire la position du récepteur. S'il existe des zones du bâtiment qui présentent une répartition des puissances reçues par tous les points d'accès qui sont similaires, il existe une indétermination dans la recherche puisque, pour un même vecteur signal, il existe plusieurs positions possibles dans le plan. De ce fait, les erreurs de localisation sont d'autant plus fréquentes.

Les seuls travaux à notre connaissance qui cherchent à positionner les AP's pour améliorer la qualité d'un algorithme de localisation sont proposés par Jan et al [Jan05].

### 3.1.1 Le modèle de prédiction de couverture radio

Nous avons choisi dans ce Master de travailler avec un moteur de prédiction de couverture radio issu d'une méthode de prédiction de couverture radio discrète. Cette méthode, dénommé MR-FDPF ou WILDE et présenté pour la première fois par Gorce et Ubeda en 2001. Le modèle de prédiction choisi a pour principal avantage de calculer rapidement des cartes de couvertures en deux dimensions pour un environnement donné.

L'environnement se découpe en blocs de taille identique ou différente. En discrétisant l'environnement de test en blocs, ce moteur de couverture permet de propager une source vers tous les points de l'environnement à une résolution (taille) de blocs donnée.

Trois cartes de couverture à différente résolution sont présentées dans la figure 6. Pour obtenir ces cartes, la phase de descente de la pyramide a été arrêtée :

- (a) au niveau pixel.
- (b) au niveau des MR-blocs de taille  $6 \times 6$  pixels.
- (c) au niveau des blocs homogènes. Les blocs homogènes sont les blocs de taille maximale présents dans la pyramide uniquement composés d'air.

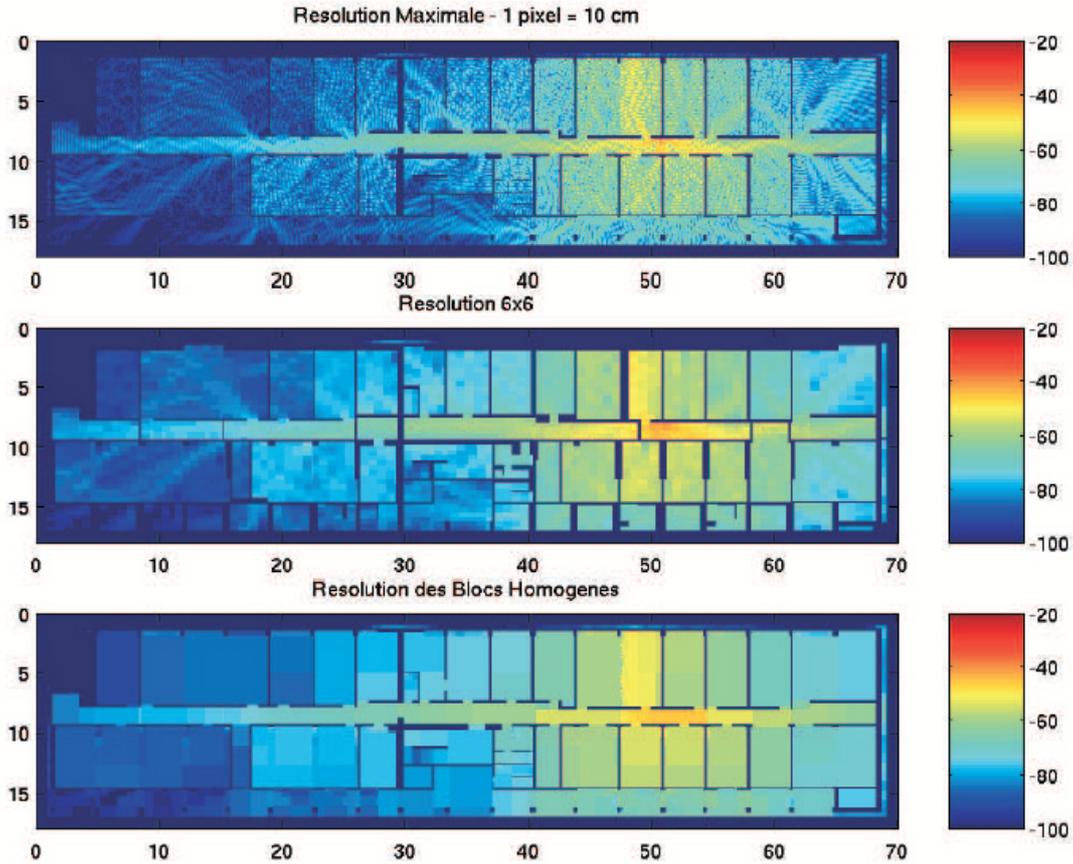


Figure 6. – Carte de couverture (a) à la résolution des pixels, (b) à la résolution de  $6 \times 6$  pixels et (c) à la résolution des blocs homogènes.

L'environnement de test a une taille de  $92.7 \times 23.4$  mètres et est calculé pour une fréquence de simulation de 480 MHz avec un pas de discrétisation  $dr = 10$  centimètres.

### 3.1.2 Découpage d'environnement

Le modèle de prédiction de couverture radio MR-FDPF présenté dans la partie 3.1.1 a pour principal avantage de calculer la puissance moyenne reçue sur des zones rectangulaires de tailles différentes ou identiques, dénommées MR-nodes. Un MR-node peut être représenté par un bloc  $B(p, s)$  caractérisé géographiquement dans le plan par les coordonnées de son coin supérieur gauche  $p = (px, py)$  et  $s = (nx, ny)$ , sa largeur et sa hauteur respectivement.

Connaissant la structure pyramidale qui recense tous les MR-nodes et matrices de diffusion nécessaires, il est possible de calculer la puissance vers un ou plusieurs MR-node dans la phase de propagation. La structure multi-resolutions du modèle MR-FDPF permet de définir l'espace  $B$  qui est l'ensemble des blocs réalisant une couverture pour une résolution fixée.

$$B = \{b_k, k \in [1; N_b]\}$$

Dans le moteur de prédiction WILDE, une carte de couverture calculé à la résolution de  $R_{\text{couv}}$  pixels et constituée de plus grands blocs qui vérifient la condition suivante :

$$nx \leq R_{\text{couv}} \text{ and } ny \leq R_{\text{couv}}$$

Le pavage de l'environnement est alors réalisé à l'aide d'un ensemble de blocs de surface  $n_x \times n_y$  bornée.

L'utilisation d'une carte de couverture qui modélise le comportement moyen du canal permet de générer des solutions robustes qui seront moins sensibles aux faibles variations de l'environnement (présence de personnes, meubles...). Les cartes de couvertures calculées à la résolution des blocs homogènes sont calculées rapidement et sont donc facilement exploitables dans un processus de planification du réseau. C'est pourquoi nous avons choisi d'exploiter les prédictions MR-FDPF à la résolution des blocs homogènes dans nos méthodes de planification. Cela correspond d'autre part à une recherche de précision de l'ordre de quelques mètres

### **Définition de blocs homogène**

Un bloc homogène  $b_H \in B$  est défini par le MR-bloc le plus grand appartenant à une branche de l'arbre MR-FDPF uniquement constitué d'un même matériau.

On désignera dans la suite de ce manuscrit par le terme de bloc homogène les blocs homogènes constitués d'air car c'est la puissance prédite en espace libre qui nous intéresse.

Il n'existe qu'un seul bloc homogène par branche de l'arbre. De ce fait, il est possible de définir un pavage irrégulier de l'environnement à l'aide des seuls blocs homogènes.

### **Placement des points d'accès candidats**

Nous avons choisi d'exploiter le découpage en blocs homogènes à la fois pour calculer les cartes de couverture des AP's candidats et pour les positionner dans le plan. Ainsi, nous positionnons les  $M$  points d'accès candidats du processus de planification au centre des blocs homogènes définis dans la pyramide MR-FDPF.

### **Contraintes sur la taille des blocs homogènes :**

Le choix important est de définir la taille d'un bloc. Ce choix est connecté avec des problèmes suivants:

- Si la taille des blocs est petite la précision de retrouver un utilisateur mobile est grande mais le temps de calcul est aussi long.

- Si la taille des blocs est grande l'utilisateur peut être localisé plus facilement mais la précision est moins bonne que dans le cas précédent.

Aussi, le fait qu'on place des AP's candidats au centre des blocs homogènes la taille du bloc doit être bornée à la seuil maximale et minimale pour éviter les situations présentées dans la thèse de Runser K. [Run05] :

- L'algorithme de découpage de l'environnement MR-FDPF a créé beaucoup de blocs homogènes de petite surface à cause de la présence d'obstacles plus fréquente.

- Il y a des AP's placés dans les zones extérieures au bâtiment. En ces zones, il y a peu d'obstacles et l'algorithme de construction de la pyramide MR-FDPF crée de très grands blocs homogènes.

### **Liste des blocs candidats :**

Nous désignons l'ensemble des blocs homogènes sélectionnés pour contenir un AP candidat par : la liste des blocs candidats. Cette liste est déterminée par un parcours récursif de l'arbre de MR-blocs. Les blocs homogènes de surface supérieure à  $A_{min}$  et de surface inférieure à  $A_{max}$  sont rajoutés dans la liste :

- Si lors de la recherche un bloc homogène  $b_{HI}$  présente une surface supérieure à  $A_{max}$ , la recherche est poursuivie dans l'arbre pour sélectionner les plus grands blocs issus de  $b_{HI}$  qui présentent une surface inférieure à  $A_{max}$ .

– Si sur une branche de l’arbre on trouve des blocs homogènes ayant une surface supérieure a  $A_{min}$ , on recherche parmi ses fils le plus grand bloc homogène et on le rajoute à la liste. Cette condition permet de toujours trouver un candidat dans une zone de surface  $A_{min}$ .

### Répartitions des APs candidats obtenus:

La figure 7 présente la répartition des APs obtenue pour l’environnement du CITI avec prise en compte d’une borne minimale  $A_{min} = 1200 \text{ pixels}^2$  et une borne maximale  $A_{max} = 8000 \text{ pixels}^2$ . Le pas de discrétisation  $dR$  est de 10 cm, ce qui revient à placer des APs candidats dans des zones dont la surface est comprise entre  $3 \times 3$  mètres et  $9 \times 9$  mètres.

L’environnement du CITI, de taille  $92.7 \times 23.4$  mètres et constitue de 171 blocs homogènes initialement, est ici découpé en une liste de 126 blocs candidats. Le positionnement des APs candidats au centre des blocs sélectionnés présente une répartition homogène.

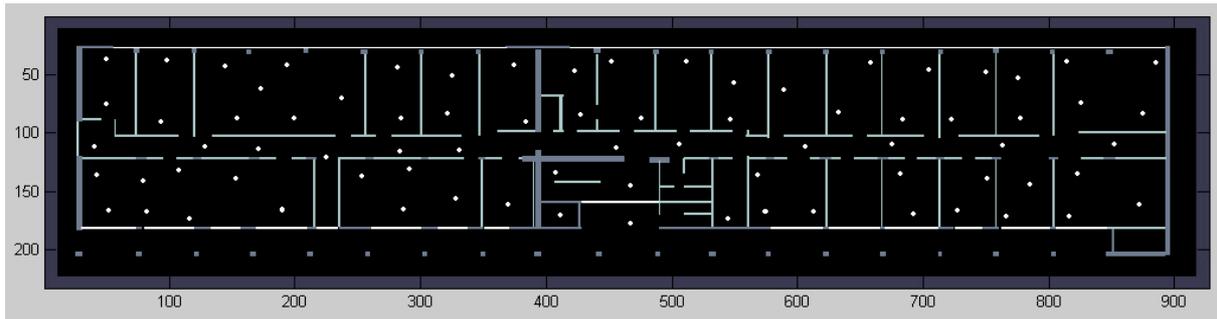


Figure 7. Répartition des positions candidates avec prise en compte de  $A_{min}$  et  $A_{max}$ .

## 3.2 Critères de localisation

Dans nos critères on utilise les puissances des signaux reçus des émetteurs. Cet ensemble de puissances mesurées est représenté par un vecteur signal  $\vec{S}_M$  de taille  $N$  :

$$\vec{S}_M = (F_M^1, \dots, F_M^l, \dots, F_M^N)$$

$F_M^l$  est la puissance provenant du point d’accès  $l$ . Si le signal  $F_M^l$  n’est pas mesuré, on a soit  $F_M^l = -inf$  si on raisonne en décibels, soit  $F_M^l = 0$  si on raisonne en milliwatts.

En pratique, on travaillera en dBm avec une valeur seuil (cf ci-après)

La localisation se fait à partir d’une base de donnée  $Db$  de taille  $N_{Db}$  qui répertorie les vecteurs signaux pour un ensemble  $T$  de blocs  $b \in B$  du plan.

Ces vecteurs sont obtenus par simulation dans une phase dite phase offline. Comme les simulations sont effectuées avec le moteur de prédiction de couverture WILDE, les vecteurs signaux peuvent être déterminés à partir des puissances reçues sur des blocs homogènes  $b \in B$ .

Chaque vecteur signal  $\vec{S}(b_k)$  de la base de données  $Db$  possède  $N$  éléments et représente l’ensemble des puissances moyennes des signaux mesurés dans le bloc  $b_k$  :

$$\vec{S}(b_k) = (\vec{S}^1(b_k), \dots, \vec{S}^l(b_k), \dots, \vec{S}^N(b_k))$$

Où  $N$  = quantité des points d'accès.

Un algorithme de localisation échoue quand il existe des vecteurs puissance similaires dans la même base de données  $Db$ . Dans ce cas, il n'existe plus de bijection entre l'espace des signaux et l'espace des positions, ce qui crée une indétermination dans la recherche. Ce phénomène est d'autant plus important que le canal est bruité. Pour que la localisation soit réalisable, il faut que les signaux enregistrés dans la base soient les plus distincts possibles.

### 3.2.1 Critère basé sur la distance signal

Pour obtenir les vecteurs signaux de la base de données les plus différents possibles, on peut définir un premier critère de planification qui pénalise les solutions qui présentent de faibles distances entre les signaux  $\vec{S}(b_k)$  de la base  $Db$ .

Pour un couple de signaux  $(\vec{S}(b_k), \vec{S}(b_l))$ , on définit le critère suivant :

$$f_{mes} = \frac{1}{N^2} \sum_{b_k \in B} \sum_{b_l \in B(k \neq l)} \frac{1}{d(\vec{S}(b_k), \vec{S}(b_l))}$$

Dans l'algorithme d'optimisation on cherche à minimiser cette somme. Le résultat de cette recherche est une solution de positionnement des points d'accès qui respecte le critère décrit.

### 3.2.2 : Critère pondéré par la distance euclidienne

Dans ce critère par rapport au précédent on prend en compte les positions physiques des blocs homogène. En pratique, on pondère le coût de chaque couple par un coefficient proportionnel à la distance euclidienne entre les deux points.

On cherche à obtenir ainsi les solutions qui présentent de faibles distances entre les signaux  $\vec{S}(b_k)$  de la base  $Db$  pour des blocs  $b_k$  qui sont éloignés.

Pour un couple des positions physique de blocs homogènes  $(b_k(x_k, y_k), b_l(x_l, y_l))$  et de signaux  $(\vec{S}(b_k), \vec{S}(b_l))$ , on définit le critère suivant :

$$f_{mes} = \frac{1}{N^2} \sum_{b_k \in B} \sum_{b_l \in B(k \neq l)} \frac{d(b_k(x_k, y_k), b_l(x_l, y_l))}{d(\vec{S}(b_k), \vec{S}(b_l))}$$

L'utilisation de cette fonction doit limiter les grandes erreurs de localisation. En effet erreurs de localisation les plus importantes surviennent quand les points qui sont proches dans l'espace signal sont géographiquement éloignés.

### 3.2.3 Critère de « zone »

Le signal reçu par le récepteur peut être exprimé comme :

$$\vec{S}(b_k) = \vec{S}(b_k)_{réel} + \vec{\eta}$$

où  $\vec{S}(b_k)_{réel}$  est le vecteur théorique des puissances moyennes des signaux reçus au point  $b_k$ , et  $\vec{\eta}$  est un bruit gaussien de moyenne nulle et d'écart type  $\sigma$  lié à l'environnement.

Cela correspond au modèle conventionnel de canal radio en présence de shadowing (masquage par de nombreux obstacles). La base de donnée est constituée d'un certain nombre des points de référence (cf figure 13) définissant les positions théoriquement possibles dans l'espace signal.

La position dans l'espace signal d'un point de test est égale à la somme du vecteur signal de référence et du vecteur bruit lié à la mesure.

On peut remarquer que si tous les points de référence sont distants 2 à 2 d'au moins une distance  $d_{ref}$  dans l'espace signal, on sait que tous les points de test inclus dans une boule de rayon  $R = d_{ref}/2$  autour de chaque point de référence, sera assimilée à ce point, car le critère de localisation est basé sur la distance.

Pour évaluer une borne max de la probabilité d'erreur, il suffit de calculer la probabilité qu'une mesure d'un point de test tombe à l'extérieur de cette boule (Figure 13). C'est seulement une borne max car certains points extérieurs à la zone peuvent néanmoins être correctement estimés, suivant la densité des points de référence.

Le rayon de cette zone est directement proportionnel au niveau de bruit.

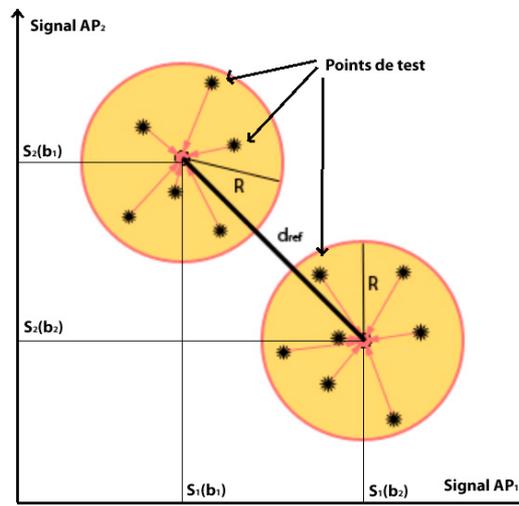


Figure 13. Représentation de l'espace signal pour deux AP, avec 2 positions de référence et quelques points de test.

Le rayon R minimal de cette zone peut être calculé à l'aide de la distribution du bruit. En effet, la répartition des points de test autour d'un point de référence suit une loi normale multi-variée, le bruit associé à chaque AP étant supposé indépendant. On a donc :

$$F(\vec{\eta}) = \frac{1}{\sigma^N \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{|\eta|^2}{2\sigma^2}} \text{ (figure 14).}$$

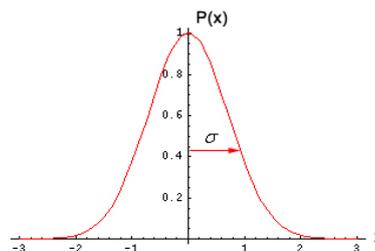


Figure 14. Distribution Gaussienne du bruit dans l'environnement

La probabilité d'erreur dans l'espace signal nécessite l'intégration de cette gaussienne multi-variée. Elle peut être approchée en considérant plus simplement la probabilité qu'un point se situe dans l'hyper-cube minimal contenant la boule.

La probabilité d'erreur, pour un rayon donné, est approchée par :

$$P(\vec{S}_{test} \neq \vec{S}_{ref}) = 1 - \left( \int_0^R \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx \right)^N .$$

N étant le nombre de points d'accès (donc la taille de l'espace signal).

On cherchera en fait à déterminer la valeur de R permettant de garantir un taux d'erreur défini à l'avance. Pour cela on va utiliser la fonction  $Erf(x_0) = \int_0^{x_0} e^{-x^2} dx$  (figure 15) qui est une fonction d'erreur d'intégration de distribution normale.

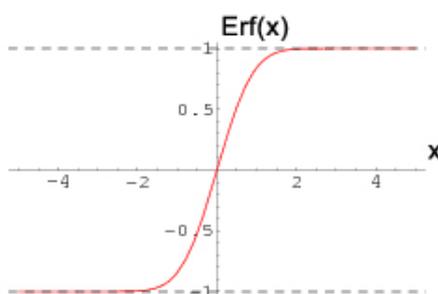


Figure 15. Fonction d'erreur Erf

On a alors :

$$P_{err}(R) = 1 - Erf\left(\frac{R}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right)^N$$

où  $\sigma$  est l'écart type du bruit. Cette probabilité représente la probabilité qu'un point de mesure se situe à une distance du point de référence, supérieure à R pour un bruit  $N(o, \sigma)$  La fonction  $Erf^{-1}(P(R))$  est présentée à la figure 16.

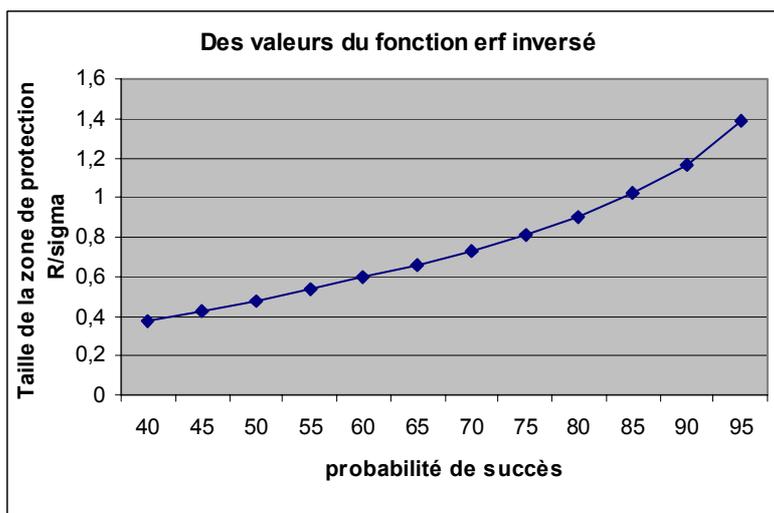


Figure 16. Erf<sup>-1</sup>

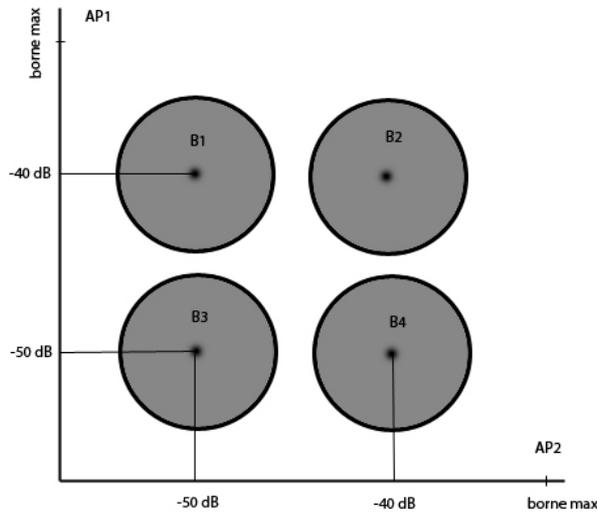
On définit un troisième critère de planification pour une pénalisation des solutions qui présentent des distances entre les signaux  $\vec{S}(b_k)_{k \neq l}$  inférieures à la distance limite R.

Pour un couple de signaux  $(\vec{S}(b_k), \vec{S}(b_l))$ , on définit le critère suivant :

$$f_{mes} = \frac{1}{N^2} \sum_{b_k \in B} \sum_{b_l \in B(k \neq l)} \max(2R - d_{ref}(\vec{S}(b_k), \vec{S}(b_l)), 0)^2$$

Dans l'algorithme d'optimisation on cherche à minimiser cette somme.

Ce critère apporte un aspect important. Supposons qu'il n'y ait pas de contraintes physiques de déploiement et qu'il soit possible de positionner les AP n'importe où dans l'espace signal (ce qui est faux bien sûr, car certaines configurations n'ont pas de sens physique). Alors, on peut les positionner de façon régulière comme indiquée (figure 20).



**Figure 20. Quadrillage d'environnement.**

Si les boules sont réparties selon un quadrillage régulier rectangulaire (ce qui n'est pas tout à fait le meilleur), le nombre maximale de points de référence non recouvrant est donné par :

$$N_m = n_m^k$$

où

$n_m$  est le nombre de points de tests que l'on peut discriminer avec un seul AP.

$k$  est le nombre d'APs.

$n_m$  peut être estimé à partir de la dynamique de réception :

$$n_m = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2R} + 1$$

où

$P_{\max}$  et  $P_{\min}$  sont les limites de réception

On peut en déduire le nombre maximal de points qui peuvent être discriminés, avec une erreur contrôlée par R, et en fonction du nombre d'AP N.

$$N_m = \left( \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2R} + 1 \right)^N,$$

Au contraire, si on connaît le nombre de points de test à localiser et le nombre d'APs, on peut calculer la taille maximale des boules et en déduire une estimation du taux d'erreur théorique.

$$R = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{2 \cdot \sqrt[N_m]{N_m - 2}}$$

On pourra alors choisir le nombre d'AP en fonction du taux d'erreur souhaité, et en fonction du bruit.

On remarque que si on augmente le nombre d'APs le rayon maximal de protection augmente (figure 21), permettant de diminuer les erreurs de localisation et augmenter la probabilité de réussite de la localisation.

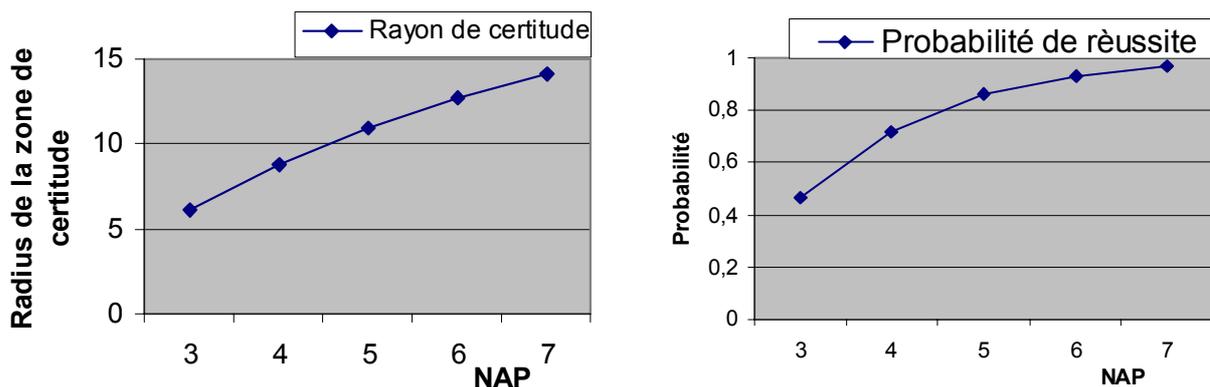


Figure 21. La taille maximale de la zone de protection et la probabilité de localisation pour  $M = 60$  position de localisation et pour un bruit de  $\tau = 3$  dB sont représentés en fonction du nombre d'AP.

### 3.2.4 Heuristique d'optimisation

L'heuristique choisie se base sur un travail déjà effectué dans [Run05] qui présente un algorithme de recherche tabou présenté dans la partie 2.2.4. Il optimise une unique fonction de coût. Cet algorithme ne recherche qu'une seule solution au problème et ne permet d'optimiser que la couverture radio à l'aide du critère de localisation.

Cette heuristique recherche une solution qui est un nombre  $N$  fixé de points d'accès sélectionnés parmi la liste des points d'accès candidats.

Ce nombre de points d'accès à positionner,  $N$ , est fixé à l'avance. De même, la carte de couverture est calculée pour chaque point d'accès. L'espace des solutions est de taille  $C_M^N$ .

Ainsi, pour que la recherche soit réalisable en un temps de traitement réaliste, il faut limiter la taille  $M$  de l'ensemble des positions candidates. Or, pour réduire la taille de l'ensemble des solutions il faut augmenter la valeur de  $A_{\min}$ .

### 3.2.5 Système d'évaluation

Le système d'évaluation permet de tester l'efficacité d'une solution qui a été obtenue par heuristique d'optimisation. Les coordonnées et les puissances d'émission de chaque AP sont utilisées par le simulateur Wilde pour les calculs des cartes des couvertures. Après avoir calculé ces cartes une méthode de localisation est appliquée. Cette méthode localise les points du test qui sont réparties dans l'environnement.

### Choix d'une méthode de localisation

Comme nous l'avons vu dans le 2.1.2 avec l'exemple de la technique Horus, la phase d'initialisation de ces techniques n'est pas simple. En effet, pour obtenir la carte radio, il faut stocker la distribution de la puissance reçue pour chaque point de référence. Ceci qui peut se faire par des mesures en chaque point de référence, est très contraignant et exclu pour l'utilisateur final.

Pour bien choisir la méthode de localisation déterministe décrite donc à la bibliographie on a défini 4 (Tableau 3) configurations des positions des point d'accès et comparé les résultats d'application de chacun en localisent des points de test réparties dans l'environnement.

	Configuration de points d'accès 1	Configuration de points d'accès 2	Configuration de points d'accès 3	Configuration de points d'accès 4
Erreur moyenne de la méthode NNSS	<b>6,9556</b>	<b>3,0451</b>	<b>1,4190</b>	<b>2,6388</b>
Erreur moyenne de la méthode kNNSS	<b>9,68236281</b>	<b>4,90007752</b>	<b>3,13462441</b>	<b>3,53140039</b>

Tableau 3. Comparaison les méthodes NNSS et k-NNSS respectivement.

L'initialisation de système Radar est beaucoup moins contraignante que celle avec un outil de simulation, il suffit de simuler la couverture de chaque AP.

Les tests ont montrée que NNSS donne les meilleurs résultats par apport à kNNSS. Même si la position estimée par kNNSS est une référence moyenne de k voisins les plus proche, erreur moyenne quadratique de localisation dans ce cas est plus grand. Ce phénomène peut être expliquée par le fait que NNSS localise déjà bien a partir de 1<sup>er</sup> voisin trouvé et comme on travaille avec des bloc homogène de certaine taille, les 2 autres voisins les plus proches peuvent être très éloignes de la position réelle ce qui faire une grande erreur de localisation. (figure 22)

Plus généralement la méthode k-NNSS est intéressante sous certaines conditions expérimentales. Il faut que la vitesse de déplacement reste faible. Dans nos simulations, le déplacement est simulé de bloc en bloc et on n'a pas réellement de vitesse de déplacement.

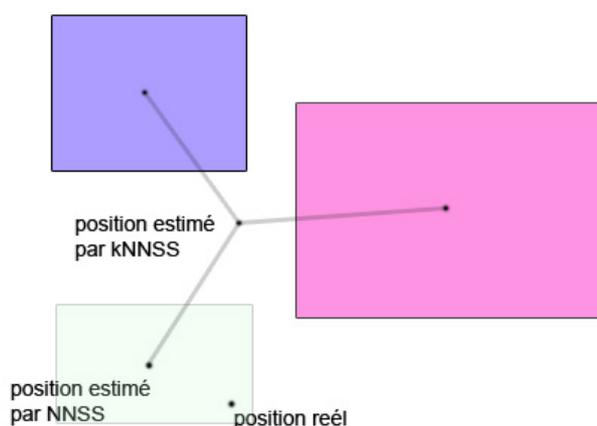


Figure 22. Localisation avec kNNSS

On évaluera les solutions relativement à NNSS pour éviter tous les artéfacts liés à la reconstruction du chemin ou à une interpolation. On a donc une triangulation de base et on ne peut que jouer sur la position des AP pour améliorer la localisation.

### Seuil de détection

Quand un signal de la base de données est inférieur à la limite de détection du système de transmission, on considère que ce signal n'a pas été mesuré et on lui affecte la valeur du seuil de détection de bruit = -89dBm.

### Simulations des mesures

Dans le cas réel, la puissance du signal reçu en un point de l'espace est souvent différente de celle attendue. La valeur mesurée est égale à la valeur réelle attendu déterministe à laquelle s'ajoute un bruit aléatoire:

$$X_{recue} = X_{réel} + N(o, \tau^2)$$

Pour évaluer l'impact de positionnement des AP's pour être influencé par la qualité des prédictions simule des valeurs mesurées.

La simulation de la réception d'un signal  $\vec{S}_M$  qui vient d'un utilisateur mobile se fait à partir de la base de données Db qui a été décrite dans l'étape précédente mais à laquelle un bruit normal AWGN est ajouté.

Les mesures simulées se composent des points de test  $A = \{A_k, k \in [1, n]\}$  (figure 23) qui sont réparties dans l'environnement. Chaque point est une référence  $\vec{S}(b_k)_{bruité}$  de la base de données bruité  $Db_{bruité}$ .

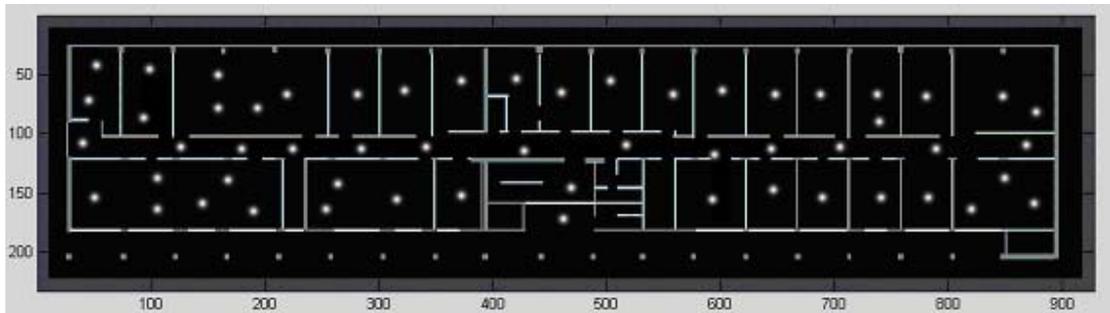


Figure 23. Définition des points de test.

La validation du système d'évaluation d'un critère se fait en comparant les erreurs de localisation en chaque point du test défini, et pour différents niveaux de bruit.

### Localisation

Connaissant  $\vec{S}_M$  simulé et l'ensemble des vecteurs  $\vec{S}(b_k)$  de la base de données, il faut déterminer le bloc  $b_k$  qui possède une répartition des niveaux de puissance  $\vec{S}(b_k)$  similaire à celle de  $\vec{S}_M$ .

### 3.3 Analyse des résultats

L'obtention d'une solution optimale est gérée par l'algorithme d'optimisation « Tabou ». Il a été lancé avec des paramètres de nombre d'itérations total = 500 et nombre d'itérations sans améliorations = 100 pour 3, 4, 5, 6, 7 points d'accès. Les 3 critères de localisation ont été testés.

Le fait que l'algorithme s'effectue à partir d'une solution initiale à chaque lancement différent nous oblige à lancer plusieurs fois pour comparer les solutions optimales obtenues.

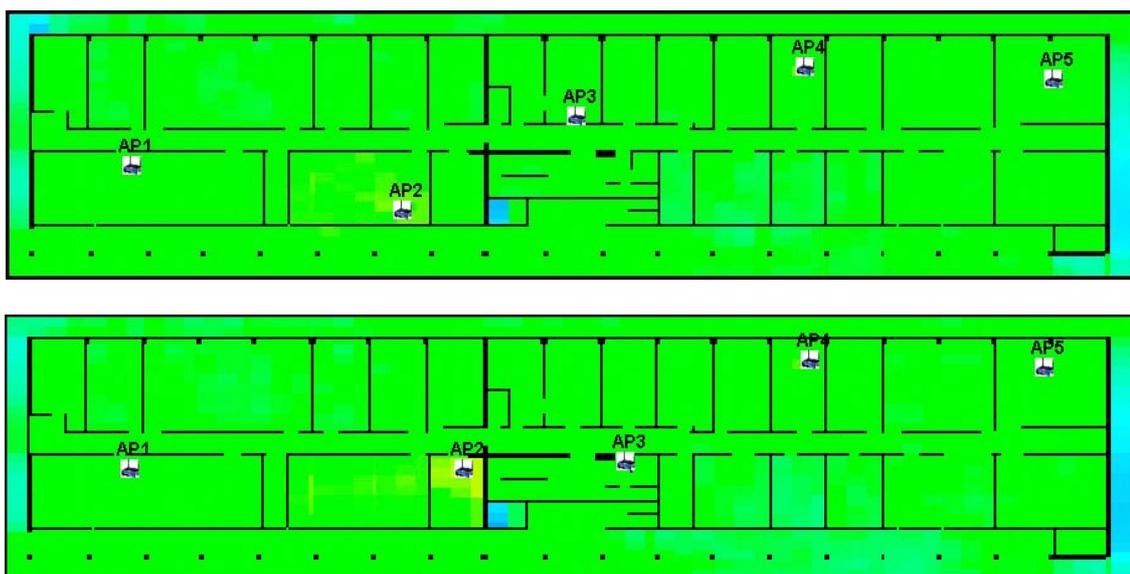


Figure 24. Les différences entre les solutions obtenues.

Les résultats ont montré que les solutions obtenues ne sont pas tout à fait les mêmes, mais néanmoins très proches. L'algorithme s'arrête au bout d'un certain nombre d'itérations sans amélioration mais sans garantir que l'optimum global d'un certain nombre n'ait été trouvé. (Figure 24)

Le principe de lancer l'algorithme d'optimisation plusieurs fois et de prendre la meilleure solution induit une forte augmentation du temps de calcul.

Donc, on a décidé de ne lancer l'optimisation qu'une seule fois pour différents nombres de points d'accès et de critères de localisation et considérer qu'on a la solution optimale.

Ensuite toutes les solutions obtenues pendant la phase d'optimisation ont été évaluées. Le processus d'évaluation d'une solution se compose de la localisation des 60 points de test qui sont réparties dans l'environnement. Les erreurs en mètres pour chaque point de test et le nombre de bloc bien localisé nous permet d'évaluer la qualité de chaque solution.

Comme la réception d'un signal réel est simulée à l'aide d'une base de données bruitée avec un niveau de bruit aléatoire de 3 puis 5 dB on lance la phase de localisation 5 fois. Les erreurs de localisation obtenues sont des valeurs moyennes sur ces répétitions. Pour l'analyse des résultats on a calculé une valeur d'erreur moyenne de tous les points de test. Ensuite le facteur de réussite de localisation est calculé en divisant le nombre de blocs qui sont bien localisés par le nombre total de blocs. Tous ces résultats sont montrés dans le tableau 4 avec les paramètres suivant:

Niveau du bruit = 3 dB  
 Nombre de blocs totales = 83  
 Blocs utilisée = 56  
 Surface totale = 85554  
 Surface utilisée = 81231

	C1	C2	C3-P20	C3-P30	C3-P40	C3-P50	C3-P60	C3-P70	C3-P80
AP 3	3,37670343 0,677	3,22749005 0,698	1,73457362 0,421	1,95742559 0,407	2,99840917 0,708	3,16837868 0,694	2,89865514 <b>0,726</b>	<b>2,80116813</b> 0,712	3,2543015 0,663
AP 4	2,0077227 0,852	2,79649714 0,74	1,73238923 0,561	1,95742559 0,617	2,86869014 0,782	2,212187 0,817	2,45621637 0,768	<b>2,11945853</b> <b>0,852</b>	2,14869469 0,842
AP 5	<b>1,88492177</b> 0,856	1,97568297 0,838	1,83242893 0,583	2,44108948 0,624	2,10830319 0,828	2,04026355 0,838	2,17991895 0,821	1,97407021 <b>0,87</b>	1,94242877 0,852
AP 6	1,88594919 0,88	1,95334021 0,859	1,87345362 0,694	1,1287128 0,68	1,95324029 0,88	2,06284391 0,842	1,88723017 0,859	1,93563344 0,866	<b>1,77607931</b> <b>0,894</b>
AP 7	2,03748601 0,842	1,94619031 0,859	1,76013878 0,687	1,76013878 0,694	1,83825007 0,88	1,80271135 0,887	1,77158838 0,891	1,78124618 0,891	<b>1,75257457</b> <b>0,905</b>

Tableau 4. Erreurs en m et le facteur de réussite de la localisation (niveau du bruit = 3dB)

Les colonnes dans ce tableau correspondent au critère appliqué. A chaque ligne correspond un nombre de points d'accès. Le 3<sup>me</sup> critère C3 qui a été décrit dans le chapitre précédent est donné ici avec différent taux de localisation recherchés (20 à 80 %)- ce qui représente 20% - 80% réussite. Les cellules présentent l'erreurs en mètres et les facteurs de réussite respectivement.

En analysant les résultats on peut voir que le troisième critère donne les meilleurs résultats que les deux autres – les erreurs de localisation sont plus petites et le pourcentage de réussite est plus grand. Dans le cas d'utilisation du 3<sup>me</sup> critère avec un taux d'erreur égale à 80% et 7 points d'accès on obtient l'erreur moyenne 1,7 m et le facteur de réussite 90%. C'est peut être expliqué par le fait que ce critère correspond mieux à l'objectif de localisation.

Donc en utilisant ces résultats on peut choisir le critère de localisation en fonction du nombre de point d'accès pour l'environnement donné.

Il est intéressant de comparer ces résultats à la courbe théorique qui peut être obtenue à partir du modèle à bruit gaussien. Il apparaît qu'en théorie quatre AP sont suffisants pour localiser les 56 blocs voulus.

Pourtant en pratique, les erreurs de localisation restent très supérieures. La courbe théorique n'est pas atteinte, car on n'arrive pas en pratique à une bonne répartition régulière des points du test.(Figure 25)

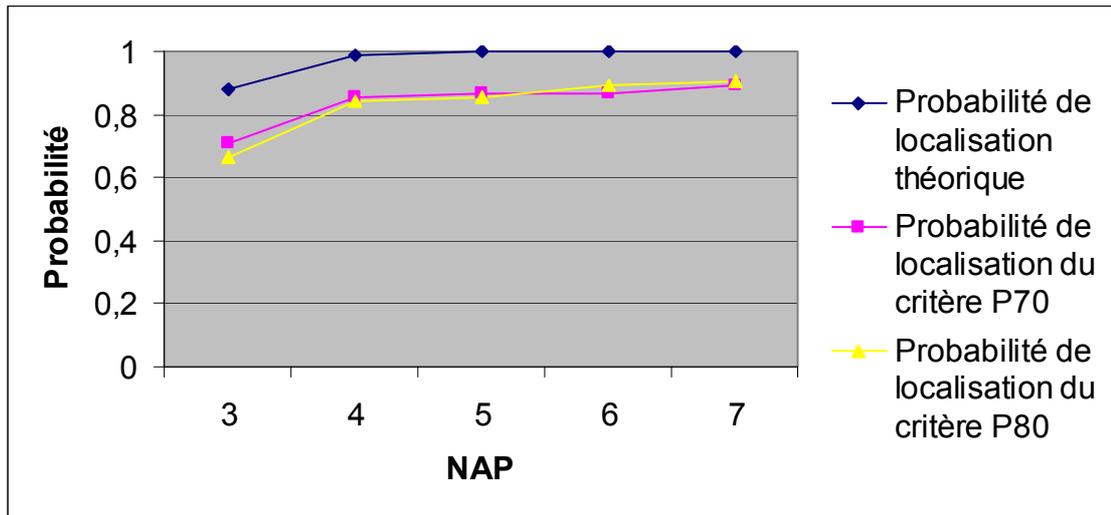


Figure 25. La comparaison des résultats pratiques et théoriques.

Donc on peut dire que pour certain nombre de point d'accès on a certaine probabilité d'être bien localisé. Dans la théorie il suffit déjà 5 points d'accès pour avoir la chance de 99% d'être bien localisé.

Si on augmente le niveau de bruit, on peut voir augmenter le besoin en nombre d'AP.

Paramètres :

Niveau du bruit = 5 dB

Nombre de blocs total = 83

Blocs utilisée = 56

Surface totale = 85554

Surface utilisée = 81231

	C1	C2	C3-P20	C3-P30	C3-P40	C3-P50	C3-P60	C3-P70	C3-P80
AP 3	5,2490754 0,329	6,16180052 0,371	5,87946211 0,3789	7,39623871 0,3684	10,4596455 0,333	<b>4,95270614</b> <b>0,407</b>	5,22118906 0,354	5,16210783 0,378	5,42390769 0,3228
AP 4	5,80034795 0,375	6,87615383 0,3403	4,46415767 0,4631	4,88972381 0,403	4,44005942 0,4175	4,42975455 0,442	<b>4,38072359</b> 0,463	4,39932268 <b>0,449</b>	4,86869511 0,396
AP 5	4,26368157 0,491	<b>3,97056162</b> <b>0,5543</b>	4,39290772 0,466	4,05709381 0,501	4,91569141 0,442	4,44490976 0,463	4,25814597 0,508	4,23560874 0,4807	4,37913399 0,435
AP 6	3,55361866 0,575	3,69685528 0,4912	<b>3,3670598</b> <b>0,596</b>	3,99872637 0,5508	4,21418372 0,508	3,83519633 0,536	4,12435774 0,491	3,54595288 0,526	4,86267809 0,47
AP 7	3,58422111 0,5508	3,55117772 0,5789	3,44257539 0,58245	4,91228384 0,491	3,92159382 0,575	3,16025466 <b>0,656</b>	4,01435774 0,511	<b>2,86044611</b> 0,628	2,94770695 0,6
AP 8								2,84461535 <b>0,631</b>	<b>2,729896</b> 0,615
AP 9								<b>2,71866119</b> <b>0,642</b>	2,7274035 0,627

Tableau 5. Erreurs en m et le facteur de réussite de la localisation (niveau du bruit = 5dB)

Le nombre d'AP nécessaire fortement augmenté. A 9 AP, on a encore plus que 60% de taux de bonne localisation.(Tableau 5) De plus la progression est lente. Le niveau de bruit ou plus généralement la qualité de la base de données joue un rôle très important sur la qualité de la localisation. (Figure 26)

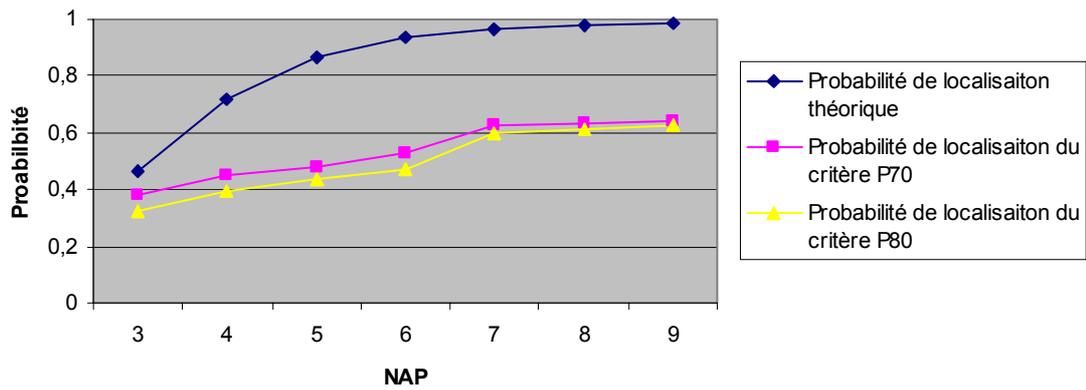


Figure 26. La comparaison des résultats pratiques et théoriques.

L'aspect du découpage de l'environnement en blocs qu'on a utilisé dans les tests précédents est aussi intéressant. Tous les blocs ont été découpés de la façon irrégulière. La taille minimale du bloc a été définie à 2m\*2m et la taille maximale à 7m\*7m. Les autres ont été supprimées de la base de donnée. Le problème est que si l'on a un bloc de taille très grande, la localisation donne un bon résultat, alors que la précision reste faible.

Pour pondérer le bloc au niveau de la taille, on a découpé l'environnement de façon à ce que la taille des blocs soit à peu près similaire.

Paramètres :

Niveau du bruit = 3 dB

Nombre de blocs total = 205

Blocs utilisés = 120

Surface totale = 134995

Surface utilisée = 124835

De ce fait, pour le même environnement donné, le nombre du blocs de la surface passant de 56 à 120, la surface de couverture est elle-même augmentée, cela nous rapproche du cas réel.(Figure 27)

C3-P80	
AP 3	3,38841419 0,55
AP 4	2,61746746 0,642
AP 5	2,25374506 0,736
AP 6	2,16300034 0,725
AP 7	2,04500145 0,754
AP 8	1,88018196 0,845
AP 9	1,89086609 0,858
AP 10	1,74180383 0,894

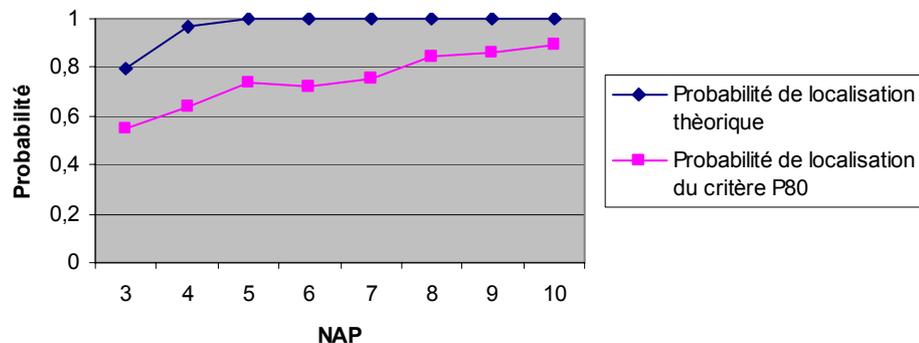


Figure 27. La comparaison des résultats pratiques et théoriques.

Les résultats donnent à comprendre que même si l'erreur de localisation est descendue d'1,75 m à 2,04 m avec la configuration de 7 AP - la précision est augmentée grâce à la bonne répartition de la taille des blocs. Comme l'algorithme d'optimisation prend en compte le nombre des blocs, il faut bien choisir le minimum et maximum des blocs pour arriver au temps réel.

Par exemple, le temps d'obtention d'une solution optimale qui consiste en 5 AP en utilisant le 3eme critère avec la probabilité 80 % pour un environnement de 56 blocs est égal à 9,2 minutes au lieu de 44, si la configuration est la même que dans le cas précédent. Ou alors, le nombre de blocs passe de 56 à 120. Il pourrait être intéressant à l'avenir de définir un critère qui permet d'obtenir un bon rapport entre le temps de calcul et la précision.

Pour montrer l'efficacité d'application des critères de localisation on a positionné « à la main » le point d'accès, numérotés de 3 à 10, indifféremment configurés d'une bonne et d'une mauvaise façon, dans notre environnement du test.[figure 28] Ensuite, la méthode NNSS a été appliquée pour les mêmes points du test. Les erreurs de localisation sont données dans le tableau suivant et comparées avec les résultats d'application du 3e critère.

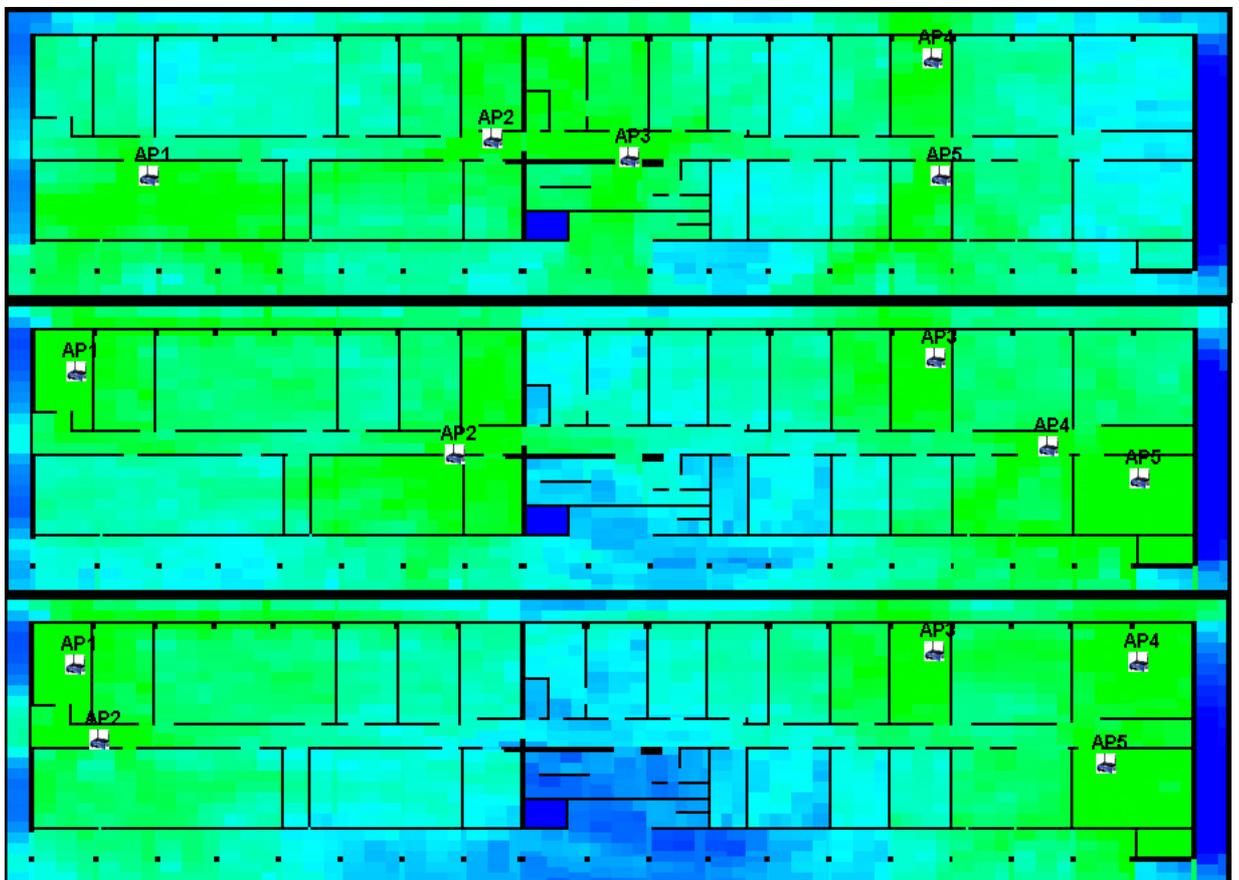


Figure 28. Configuration : position des points d'accès (AP) ; a) la configuration du 3<sup>e</sup> critère ; b)bonne configuration manuelle ; c) mauvaise configuration manuelle.

	Configuration manuelle « Bon »	Configuration manuelle « Mauvaise »
AP 3	6,45634237 0,28	5,2812412 0,41
AP 4	6,08429514 0,368	3,89954263 0,501
AP 5	3,57817716 0,564	3,36073799 0,61
AP 6	3,38356222 0,621	2,68942561 0,635
AP 7	3,61495669 0,61	2,53608699 0,708
AP 8	2,46974924 0,715	1,95513468 0,828
AP 9	2,07138724 0,789	2,17411562 0,789
AP 10	2,31670949 0,778	2,16155994 0,838

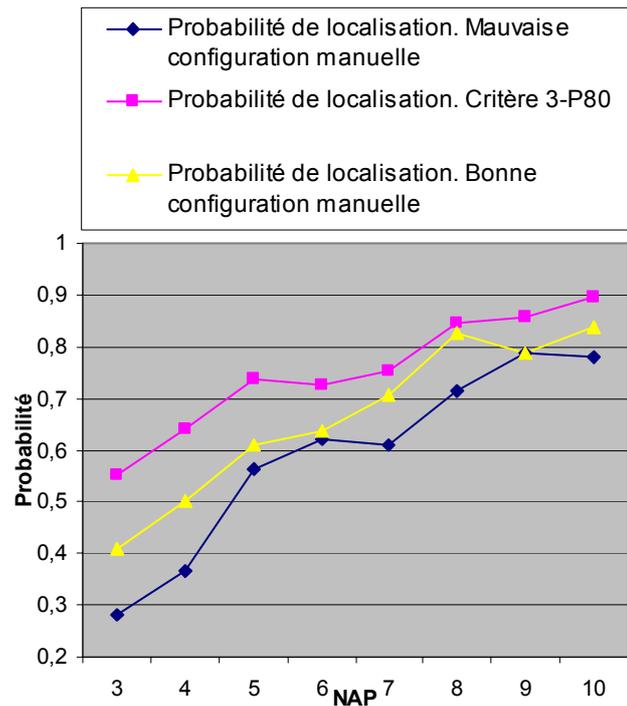


Figure 29. La comparaison des résultats des configurations automatiques et manuelles.

Les résultats obtenus sont logiques: les erreurs de localisation de la bonne configuration manuelle sont plus petites que celles de la mauvaise configuration. (Figure 29) La différence entre les résultats de la configuration manuelle et ceux de la configuration obtenue à l'aide du critère de localisation C3-P80 nous montre que le critère proposé est vraiment efficace.

En même temps, nous pouvons remarquer que les résultats au niveau des erreurs deviennent similaires à partir de 9 points d'accès, ce qui est logique, car 9 points d'accès permettent de couvrir entièrement l'environnement.

# 4 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

## 4.1 Conclusions

L'objectif de mon stage était de proposer une stratégie de planification automatique qui permette de définir une ou plusieurs configurations des points d'accès (APs) au réseau pour garantir une certaine précision de localisation d'un utilisateur mobile.

La première partie de ces travaux de Master présente l'analyse et le choix d'algorithmes de localisation. Après avoir étudié la bibliographie, j'ai tiré les conclusions suivantes :

La localisation des stations mobiles dans les environnements Indoor, basée sur le principe Offline/Online, dépend tout d'abord de la qualité de la base de données. Pour les bases de données construites par les mesures expérimentales, un grand nombre de points de mesures et un temps de mesure suffisant permet d'obtenir une carte de couverture de radio de bon niveau. Les bases de données de simulation, quand à elles, ne sont performantes que si les puissances des signaux obtenues par le moteur de calcul de couverture radio sont proches de la réalité.

Dans ce travail j'ai choisi la méthode déterministe de localisation NNSS.

La seconde partie de ces travaux de Master se concentre sur le problème de planification wLAN. On a montré que le positionnement des points d'accès joue un rôle important dans la problématique de la précision de localisation. On a défini des critères de qualité de la configuration des points d'accès du réseau sans fil de façon à garantir la localisation d'utilisateur efficace.

Les critères de « distance signal », de « distance signal pondéré par la distance euclidienne », de « zone » ont été définis. Ces critères ont été analysés pour observer leur impact sur la distribution des APs après planification. La validation du système a montré que les critères définis permettent de bien positionner les AP dans l'environnement, alors que l'erreur de localisation moyenne reste égale 1.7 m dans le meilleur cas. La comparaison, toutefois limitée que nous avons faite montre que le 3<sup>ème</sup> critère « des zones » est celui qui conduit à la meilleure solution. Nous avons également proposé une méthode pour estimer le nombre minimal de points d'accès nécessaires ainsi que la taille de la zone de certitude dans le 3<sup>ème</sup> critère pour avoir la meilleure localisation.

Dans la partie suivante, je propose quelques idées qui devraient permettre d'améliorer les critères de planification du réseau.

## 4.2 Perspectives

En raison de limite de temps, il nous est impossible d'améliorer le 3<sup>ème</sup> critère en le pondérant avec la position physique des signaux.

Il est possible de définir un critère en jouant avec la taille des blocs pendant la phase de découpage de l'environnement pour avoir un bon rapport entre la précision de localisation et le temps d'exécution réel.

Il est possible aussi de tester les critères avec les autres critères de recouvrement ou de débit implanté par Runser K. [Run05].

Il serait bon d'améliorer les performances des algorithmes de planification proposés car leurs temps de traitement n'ont pas été optimisés et parfois il n'est pas possible de trouver une solution de planification dans les délais normaux.

# BIBLIOGRAPHIE

- [**Tha04**] Thanh-Hà LÊ. Localisation des stations mobiles dans les réseaux sans fil. Rapport de Master, INSA de Lyon, 2004.
- [**Sha02**] M. YOUSSEF, A. AGRAWALA, A. U. SHANKAR, S. H. Noh. A probabilistic Clustering-Based Indoor Location Determination System. . Rapport technique, UMIACS-TR-2002-30 et CS-TR-444350. University de Maryland, College Park, Mars 2002.  
Disponible sur : < [http://www.cs.umd.edu/~moustafa/papers/locdet\\_tr.pdf](http://www.cs.umd.edu/~moustafa/papers/locdet_tr.pdf) >
- [**Agr03**] M. YOUSSEF, A. AGRAWALA, A. U. SHANKAR. WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions. IEEE Percom2003, Mars 2003.  
Disponible sur < <http://citeseer.nj.nec.com/youssef03wlan.html> >
- [**Gor05**] K. Runser and J.-M. Gorce. Rapport recherche inria rr-xxxx. Technical report, INRIA, France, 2005.
- [**Gor01**] J-M. Gorce and S. Ubeda. Propagation simulation with the parflow method : fast computation using a multi-resolution scheme. In IEEE 54th Vehicular Technology Conference, Atlantic City, October 2001.
- [**Par00**] Paramvir Bahl, Venkata N. Padmanabhan et Anand Balachandran. A Software System for Locating Mobile Users : Design, Evaluation, and Lessons. MSR-TR-2000-12, Microsoft, 2000.
- [**Ven00**] Paramvir Bahl, Venkata N. Padmanabhan et Anand Balachandran. RADAR : an in-building RF-based user location and tracking system. IEEE Infocom 2000, IEEE, 2000.
- [**Ana00**] Paramvir Bahl, Venkata N. Padmanabhan et Anand Balachandran. Enhancement to the RADAR User Location and Tracking System. MSR-TR- 2000-12, Microsoft, 2000.
- [**You02**] M. Youssef, A. Agrawala, A. U. Shankar, S. H. Noh. A probabilistic Clustering-Based Indoor Location. UMIACS-TR-2002-30 et CS-TR-444350, Université du Maryland, 2002.
- [**Agr03**] M. Youssef, A. Agrawala, A. U. Shankar. WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions. IEEE Percom2003, IEEE, 2003.
- [**You03**] M. Youssef, A. Agrawala. Small-Scale Compensation for WLAN Location Determination System. IEEE WCNC2003, IEEE, 2003.
- [**Mou05**] Moustafa Youssef, Ashok Agrawala. The Horus WLAN Location Determination System. Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services, ACM Press, 2005.
- [**Glo86**] F. Glover. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. Computers and Operations Research, 5 :533–549, 1986.
- [**Glo97**] F. Glover and M. Laguna. Tabu Search. Kluwer Academic Publisher, 1997.
- [**Jan05**] R.H. Jan, H.-C. Chu, and Y.-F. Lee. Improving the accuracy of cell-based positioning for wireless networks. Computer Networks, 46 :817–827, December 2004.
- [**Run05**] RUNSER Katia. Méthodologies pour la planification de réseaux locaux sans-fil. Rapport de thèse, INSA de Lyon, 2005.