

Techniques et technologies de localisation avancées pour terminaux mobiles dans les environnements indoor

Frédéric EVENNOU
TECH/IDEA/iROC

22/01/2007



recherche & développement



Contexte de cette thèse (1)

- De nombreuses applications nécessitent des informations de localisation
 - Intelligence ambiante (objets à localiser les uns par rapport aux autres)
 - Applications de guidage de personnes (milieu hospitalier, musée, automobile, etc.)
 - Services d'urgence
 - Publicité géo-ciblée
 - Surveillance de personnes à risques (prisonniers, enfants en bas âge, etc.)



Contexte de cette thèse (2)



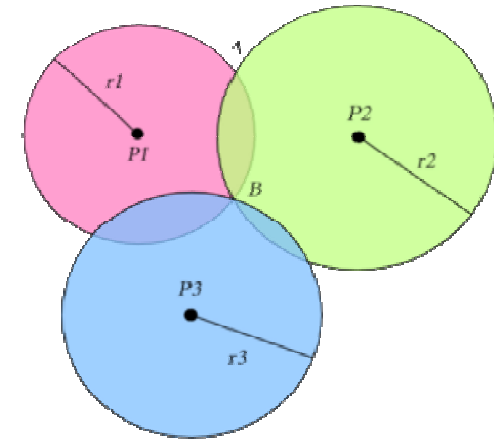
- Les solutions techniques existantes
 - Exploitation de systèmes satellitaires
 - GPS, GLONASS et bientôt Galileo
 - Exploitation de réseaux terrestres de communications
 - GSM / UMTS, LORAN, TNT
 - Exploitation de réseaux locaux
 - WiFi, Bluetooth, Zigbee, Infra rouge, ultra son, ULB, vidéo

- Les techniques de localisation
 - Exploitations de méthodes basées sur des mesures temporelles
 - TOA, TDOA
 - Exploitation de méthodes basées sur la direction d'arrivée des ondes (AOA)
 - Exploitation de la puissance du signal
 - Exploitation du déphasage entre les ondes ou entre le champ E et H
 - Identification de la cellule (Cell ID)

Problématiques et enjeux de cette thèse

■ Le GPS s'est imposé en outdoor

- Limitations dans les environnements où les satellites et le récepteur ne sont pas en visibilité directe
- Précision de 5 à 10m



■ Pas de "GPS en indoor"

- Limitations due aux multi-trajets
 - Cloisons / environnement NLOS
- De nombreuses technologies existantes
 - Limitations dues à la techniques de localisation (TOA / fingerprinting / Vidéo)
Aeroscout, Pango, Ekahau, Aruba, Cisco

■ Etude des capacités des réseaux locaux de type WiFi

■ Etude des capacités d'une technologie émergente (ULB – IEEE 802.15.4a)

Sommaire

- 1 ■ Des technologies**
 - L'exploitation de la technologie ULB (IEEE 802.15.4a)
 - Les réseaux WiFi

- 2 ■ Des outils pour la prédiction**
 - Le filtre de Kalman
 - Le filtrage particulaire

- 3 ■ La coopération entre technologies et améliorations**
 - Fusion d'information provenant de technologies radio
 - Exploitation de la navigation inertielle
 - Localisation 3D

- 4 ■ Conclusion et perspectives**

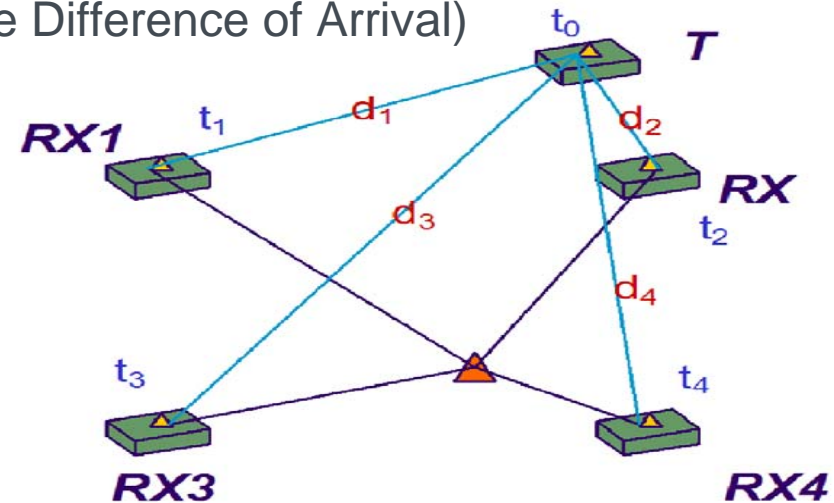
1

Des technologies pour se localiser

La technologie ULB (IEEE 802.15.4a)

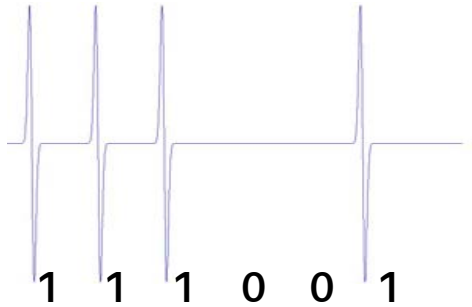
- Technologie radio avec émission d'impulsions large bande
 - Durée de l'ordre de quelques centaines de picosecondes
 - Emission à faible densité spectrale de puissance (-41.3 dBm/MHz) dans la bande allant de 3 GHz à 10 GHz
 - Fort pouvoir séparateur des multi-trajets
- Mise en place d'un système permettant d'accéder à la couche PHY
 - Récupération de la réponse impulsionnelle du canal radio
- Mise en place d'algorithmes pour remonter à l'information de trajet direct
- Exploitation d'un algorithme TDOA (Time Difference of Arrival)
 - 4 récepteurs pour une localisation 2D
 - Synchronisation nécessaire entre les récepteurs

$$\left[(t_i - t_0) - (t_{ref} - t_0) \right] \cdot c = (t_i - t_{ref}) \cdot c$$

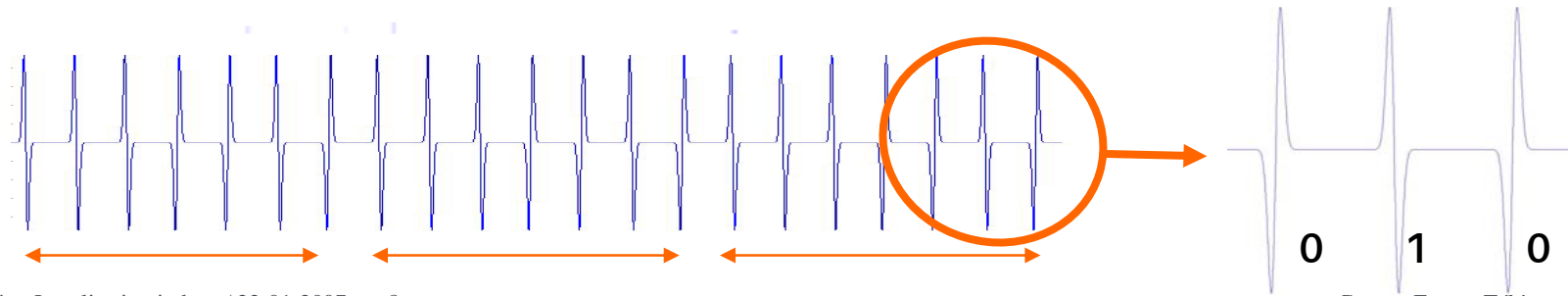


Fonctionnement d'un système de localisation par séquence PN

- Les séquences PN (Pseudo Noise) sont utilisées :
 - Pour mesurer des distances
 - Pour augmenter le rapport signal à bruit (en détection)
- Emission de séquences PN en OOK
- Réception : corrélation avec une séquence PN en NRZ
 - Utilisation d'un template similaire à celui émis par l'émetteur
 - Utilisation de toute l'énergie du signal disponible en réception



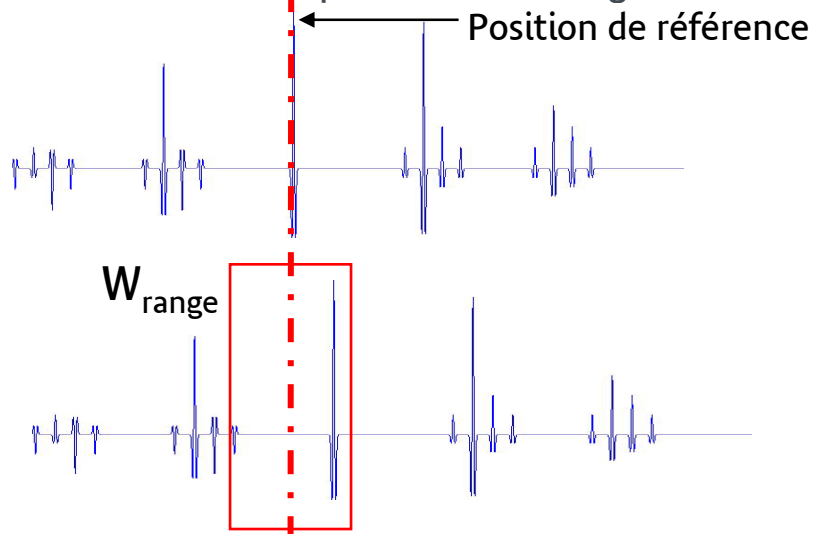
Séquence PN (OOK)



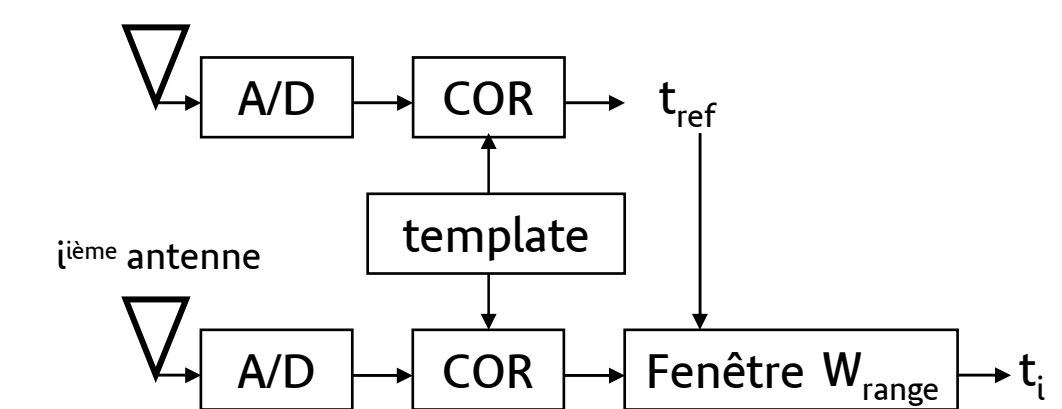
Mesure des différences de temps

- La mesure des différences de temps est effectuée par corrélation

- Comparaison des signaux



Antenne de référence



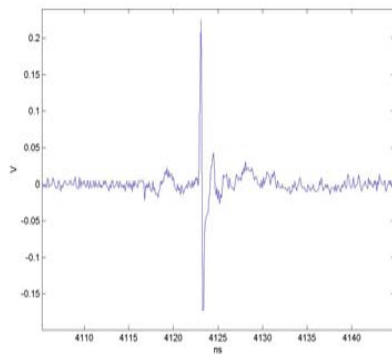
- Choix à faire sur la séquence PN

- minimisation des lobes secondaires \Rightarrow séquence à longueur maximale
- Compromis à trouver avec la durée d'acquisition autorisée par l'oscilloscope
 - Réception de plusieurs séquences dans une acquisition

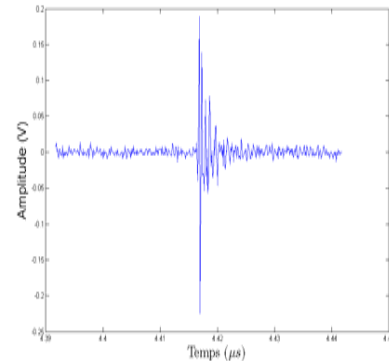
Les dégradations des signaux

■ Emetteur

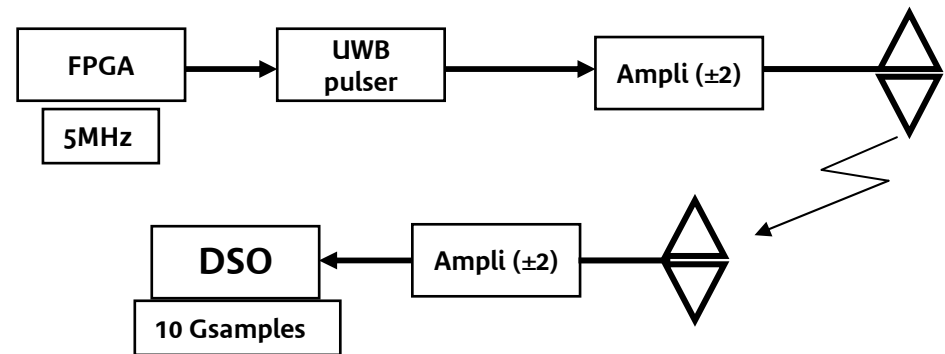
- SNR=15 dB en LOS
- DSP du signal : génération de raies à cause de la répétition des pulses (séquence PN) \Rightarrow utilisation d'une séquence de time hopping
- Elargissement de l'impulsion lors du passage dans l'étage d'amplification



Impulsion avant amplification

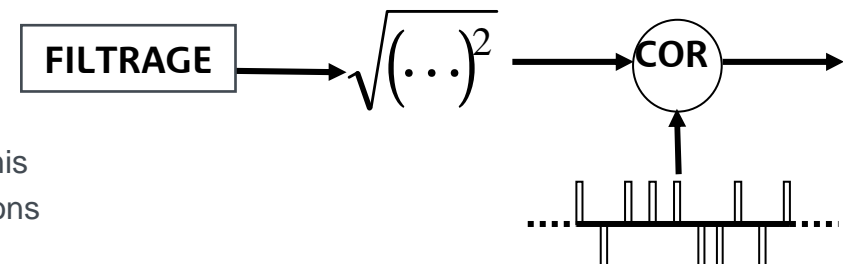


Impulsion après amplification



■ Réception

- Idéalement
 - Corrélation avec un template sosie de celui émis
 - Forme émise inconnue à cause des dégradations
- Détection d'énergie
 - Indépendante de la forme du signal \Rightarrow corrélation avec un template créneaux NRZ
 - Perte d'informations \Rightarrow nécessité d'avoir un SNR > 0 dB



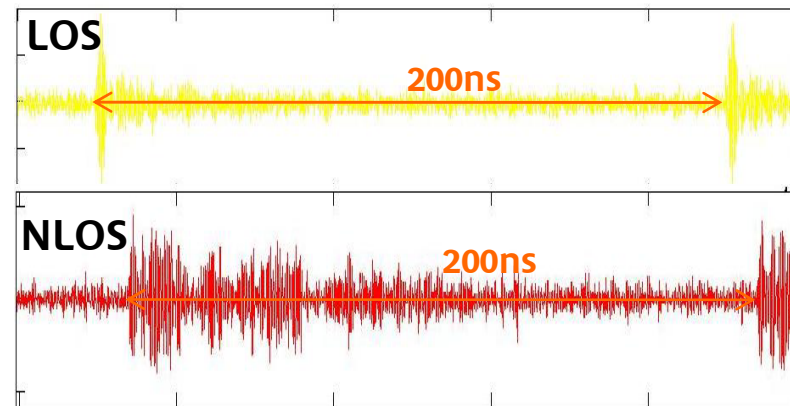
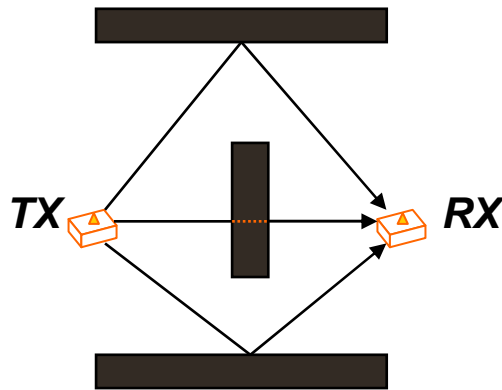
L'influence du canal radio

■ Propagation complexe en indoor

- Présence de multi-trajets
- Statistiques extraites de mesures
 - Étalement des retards supérieur à 100 ns
 - IES \Rightarrow chip rate supérieur à 200 ns (5 MHz)

■ Si le trajet direct existe, il n'est pas nécessairement le trajet le plus fort

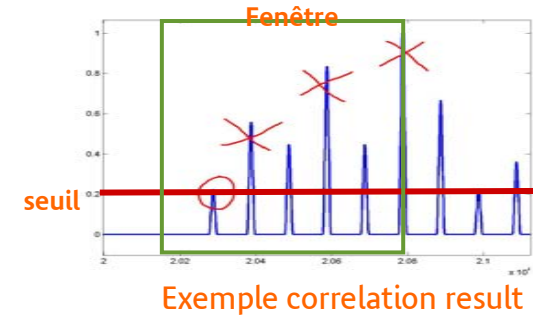
- Imprécisions de la position si une erreur est commise lors de l'estimation de l'instant d'arrivée du premier trajet
 - Challenge : mettre en place un algorithme de détection du premier trajet



Corrélation du signal

Groupe France Télécom

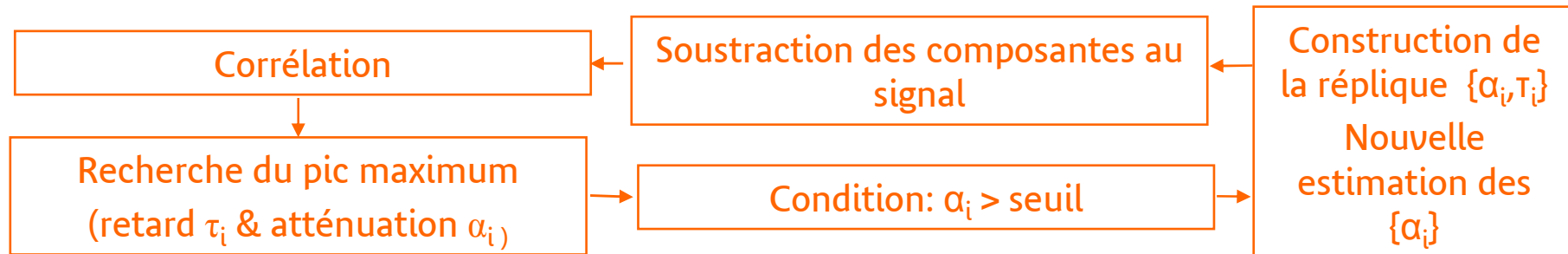
Stratégie pour la détection



- Utilisation des algorithmes de type CLEAN
 - Recherche du trajet le plus fort dans une fenêtre définie
 - Recherche des trajets dont l'amplitude est supérieure à un seuil donné
- Recherche des paramètres optimaux de l'algorithme
 - Profondeur de la fenêtre de recherche (probabilité de non détection)
 - Seuil de détection (probabilité de fausse alarme)
 - Minimisation des probabilités de fausse alarme et de non détection

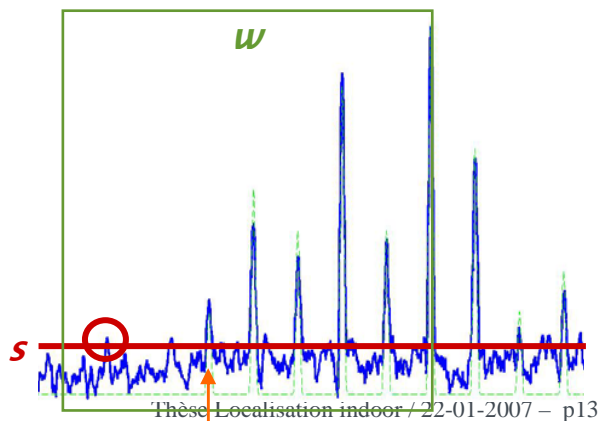
Hypothèse : $r(t) = \sum_i c_i w(t - \tau_i)$

Critère : $\operatorname{argmin} \left[\|r(t) - \hat{r}(t)\|^2 \right]$

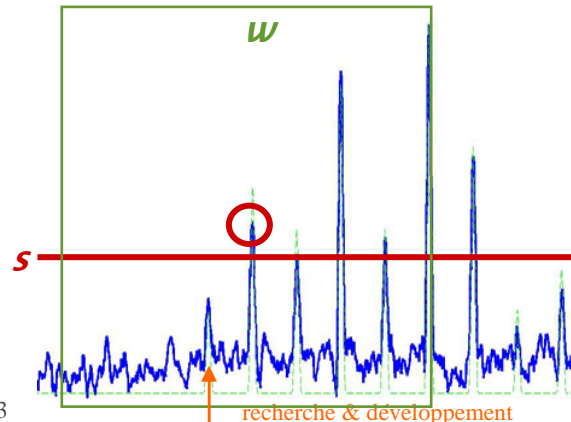


Paramètres optimaux pour l'algorithme

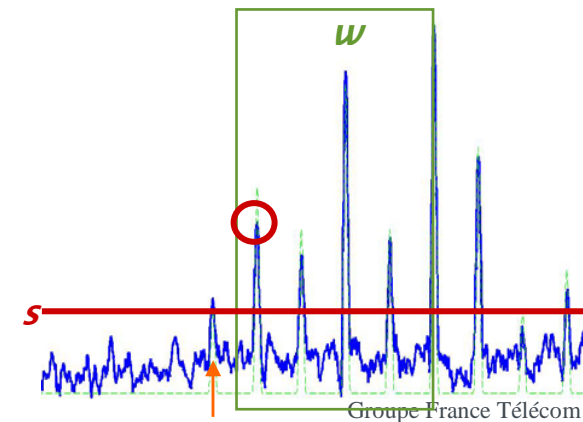
- La forme du signal reçu est inconnue
 - Détection du premier trajet qui est supérieur au seuil et qui est contenu dans la fenêtre de recherche dont la limite haute est le trajet le plus fort
- Les erreurs possibles
 - Fausse alarme (P_{FA})
 - Non détection (P_{ND})
 - Le seuil (s) et la largeur de la fenêtre (w) dépendent de l'amplitude du trajet le plus fort
 - Trouver $\{s, w\}$ minimisant les probabilité d'erreur



Seuil trop bas



Seuil trop haut



Fenêtre de recherche trop courte

Paramètres optimaux

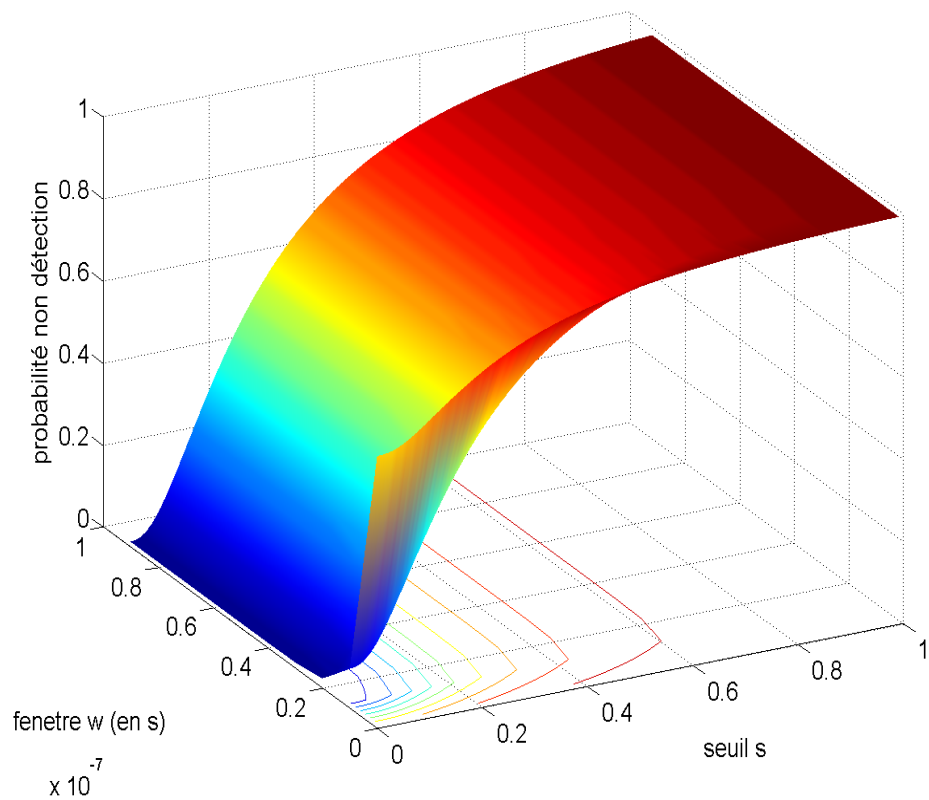
- La probabilité de non détection P_{ND} dépend des statistiques du canal

$$\tau_{direct} - \tau_{max} \quad \& \quad \frac{\alpha_{direct}}{\alpha_{max}}$$

- La probabilité de fausse alarme P_{FA} : probabilité que la puissance du bruit soit supérieure au seuil s dans la fenêtre
 - Dépend du traitement du signal en réception
 - Dépend du temps d'acquisition
- Simulations :
 - Utilisation des modèles de canaux 802.15.4a
 - 1000 réalisations de canaux
 - Code 1110010 , $T_{chip} = 200ns$
 - 3 séquences transmises
- Limitations
 - P_{FA} : besoin de connaître la plus forte amplitude de la corrélation pour l'étape de normalisation
 - P_{ND} : besoin de connaître les paramètres des statistiques du canal (utilisation d'une campagne de mesure)

Les probabilités P_{ND} et P_{FA}

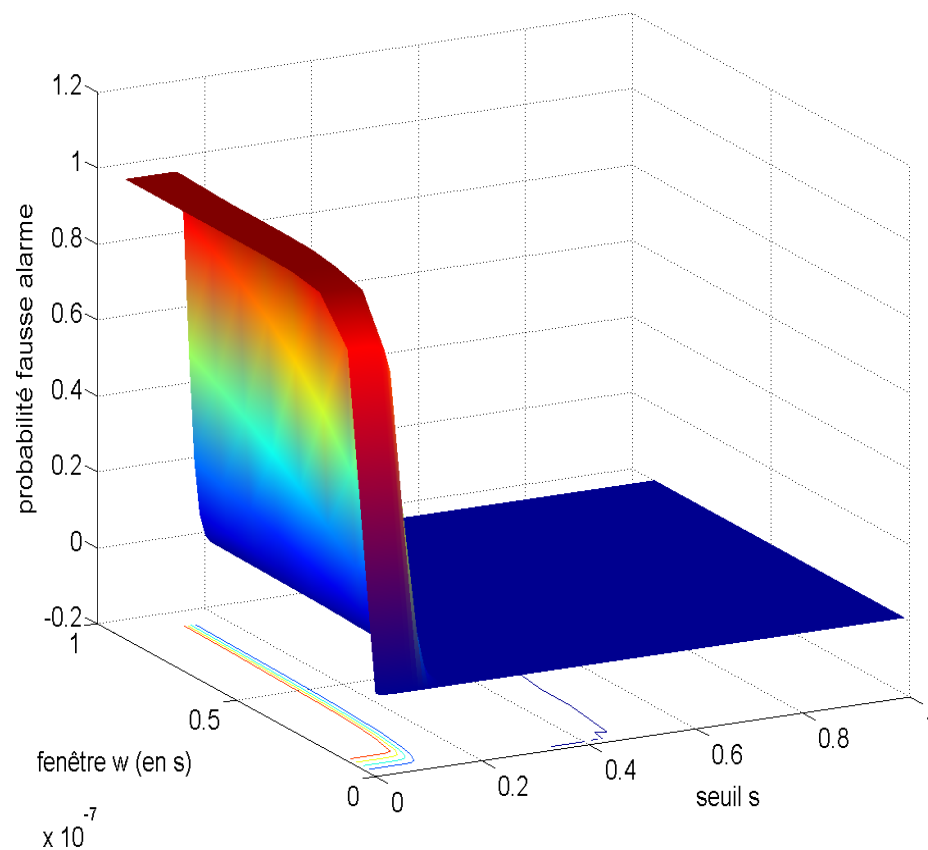
Probabilité de non détection P_{ND}



■ Simulations effectuées sur 1000 canaux simulés

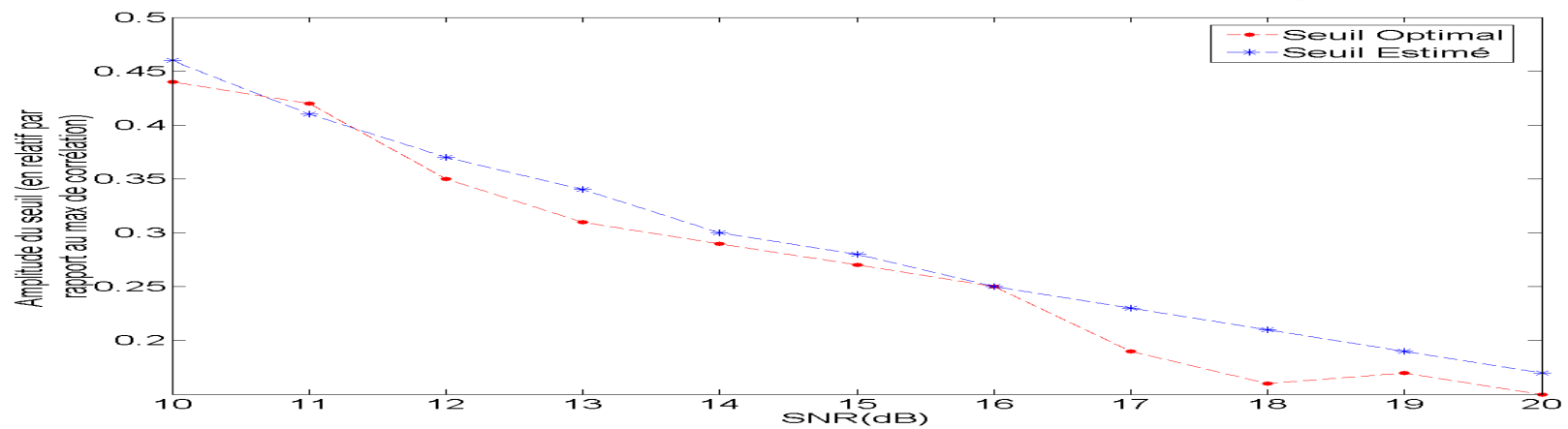
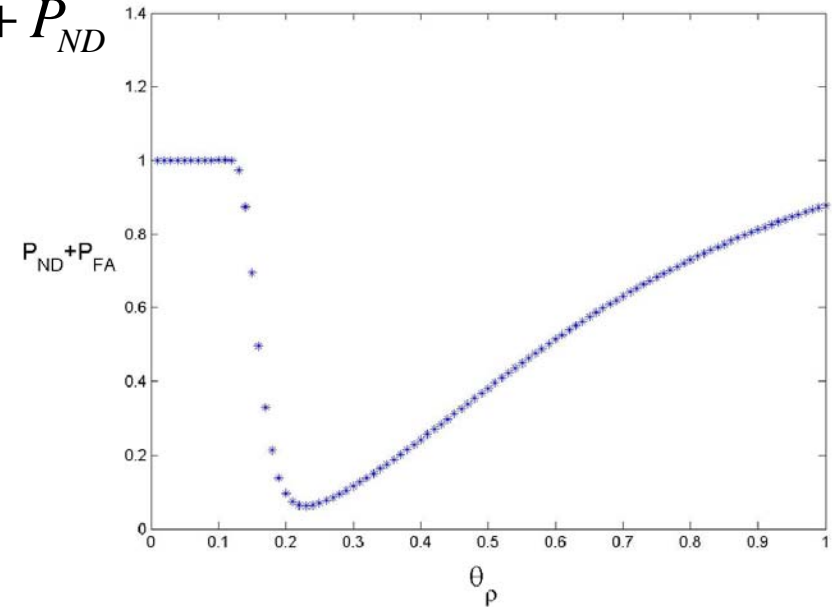
Probabilité de Fausse alarme P_{FA}

pour SNR = 20 dB



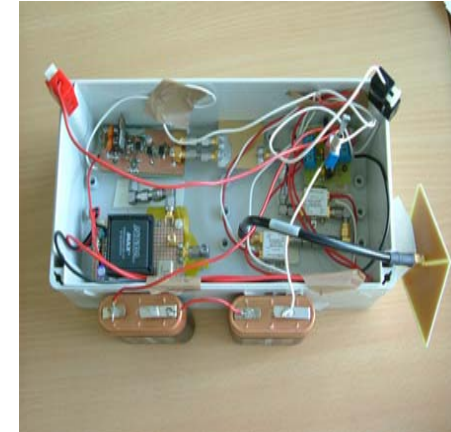
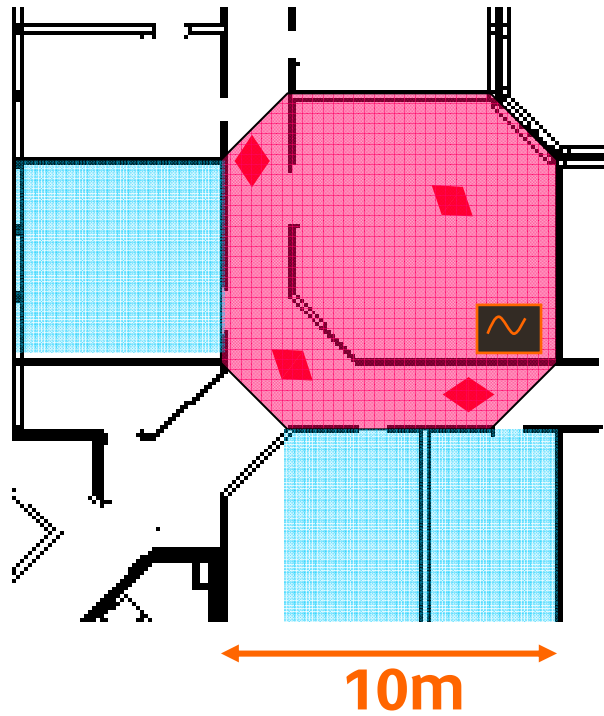
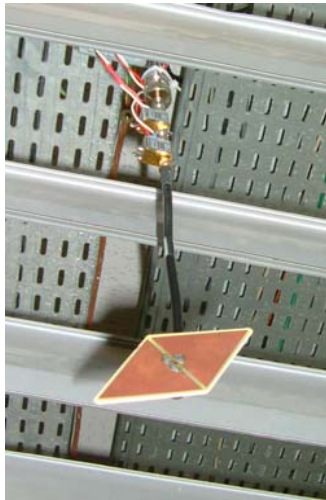
Détermination du seuil optimal

- Choix : minimisation de la somme $P_{FA} + P_{ND}$
 - Pour un SNR de 20 dB
 - Réalisation pour d'autres SNR
- Obtention de la largeur de la fenêtre :
 - $W=33.7$ ns
- Obtention d'une loi pour le seuil en fonction du SNR
 - Simulations

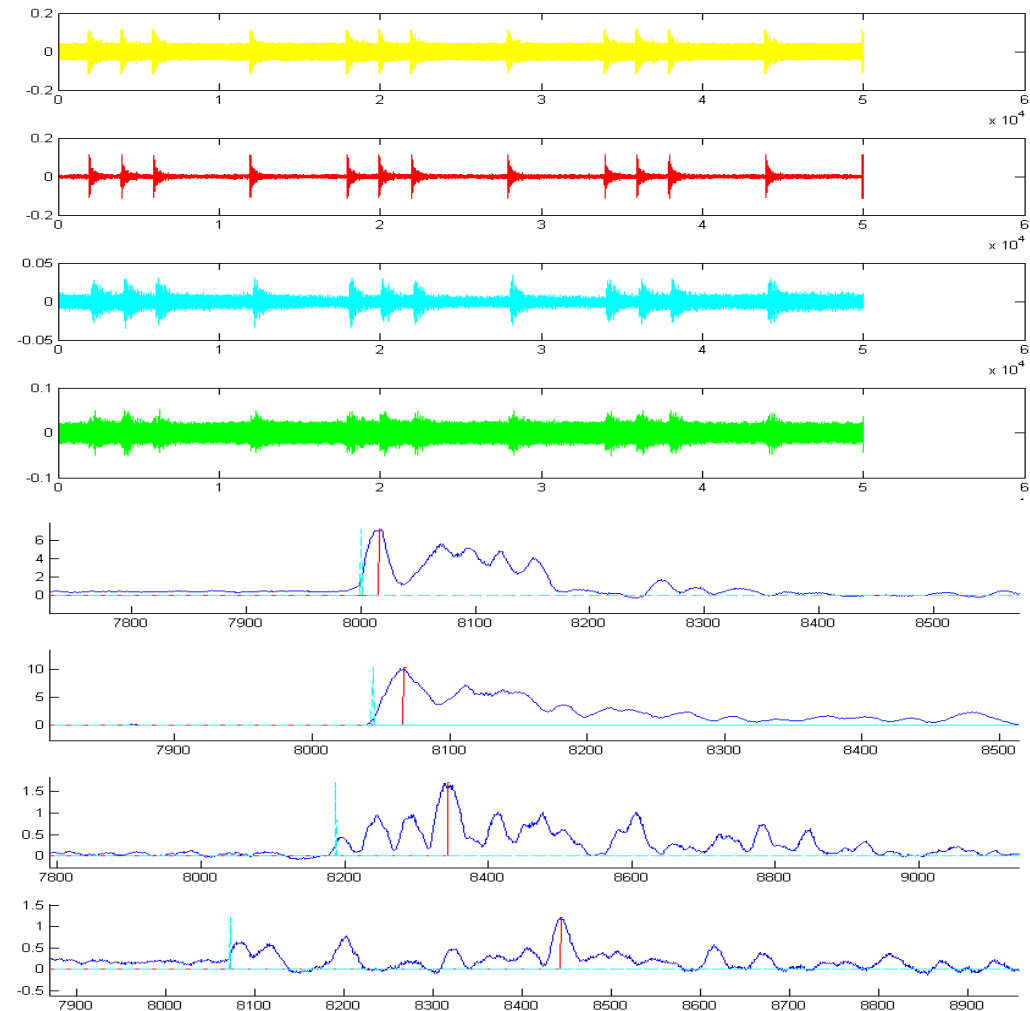
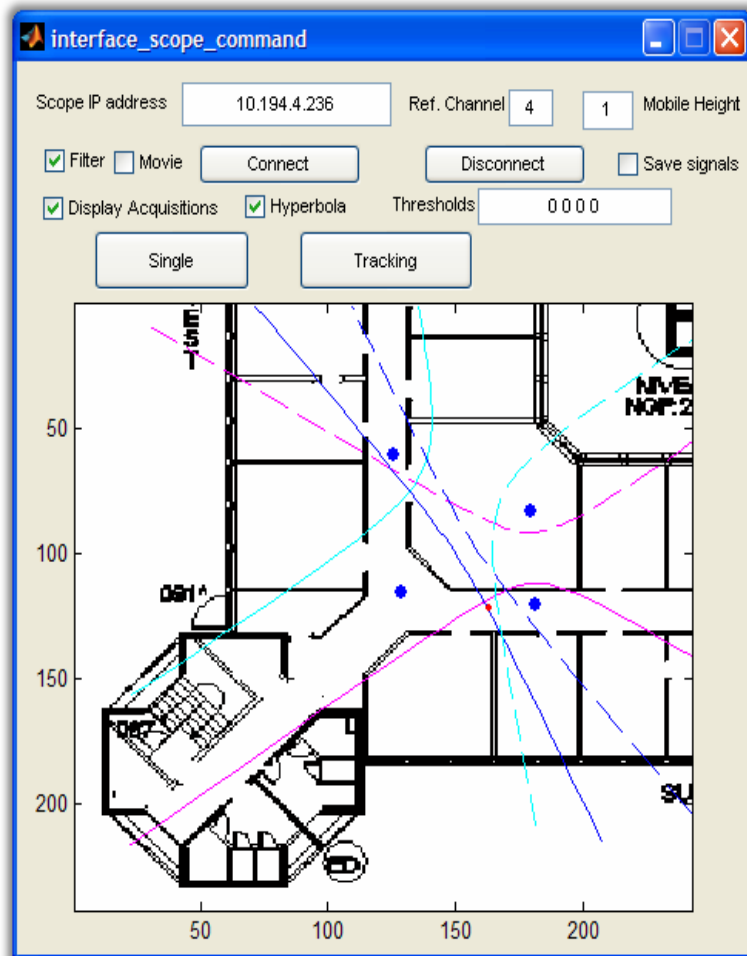


Banc de mesures

- Localisation en environnement NLOS
- Une zone favorable et une zone plus difficile

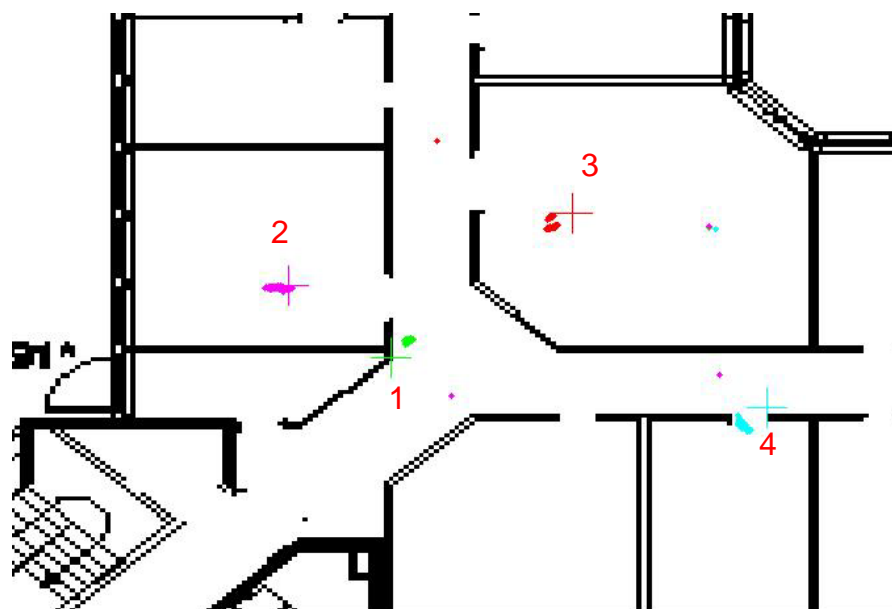


Détection du premier trajet et localisation

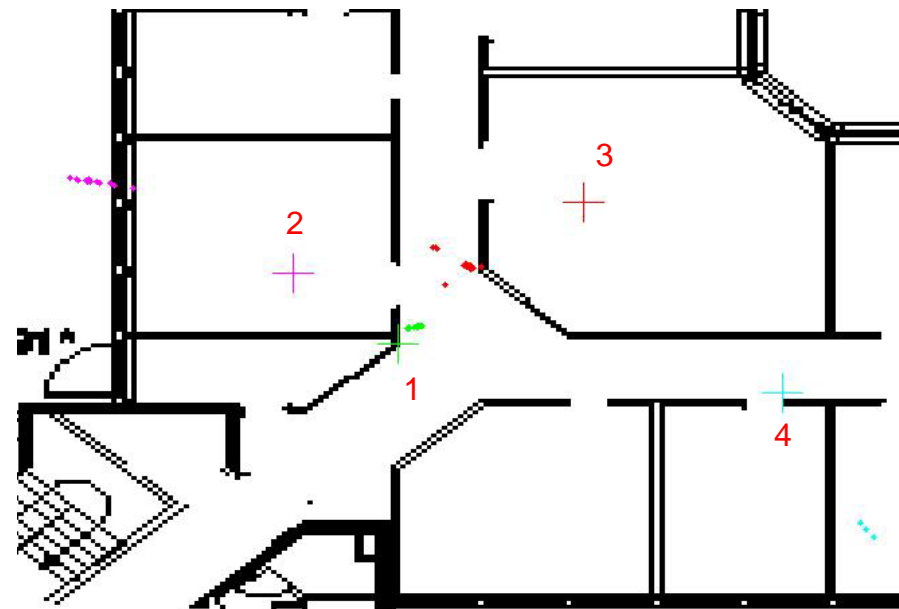


Les performances de la localisation ULB

Seuil Adaptatif

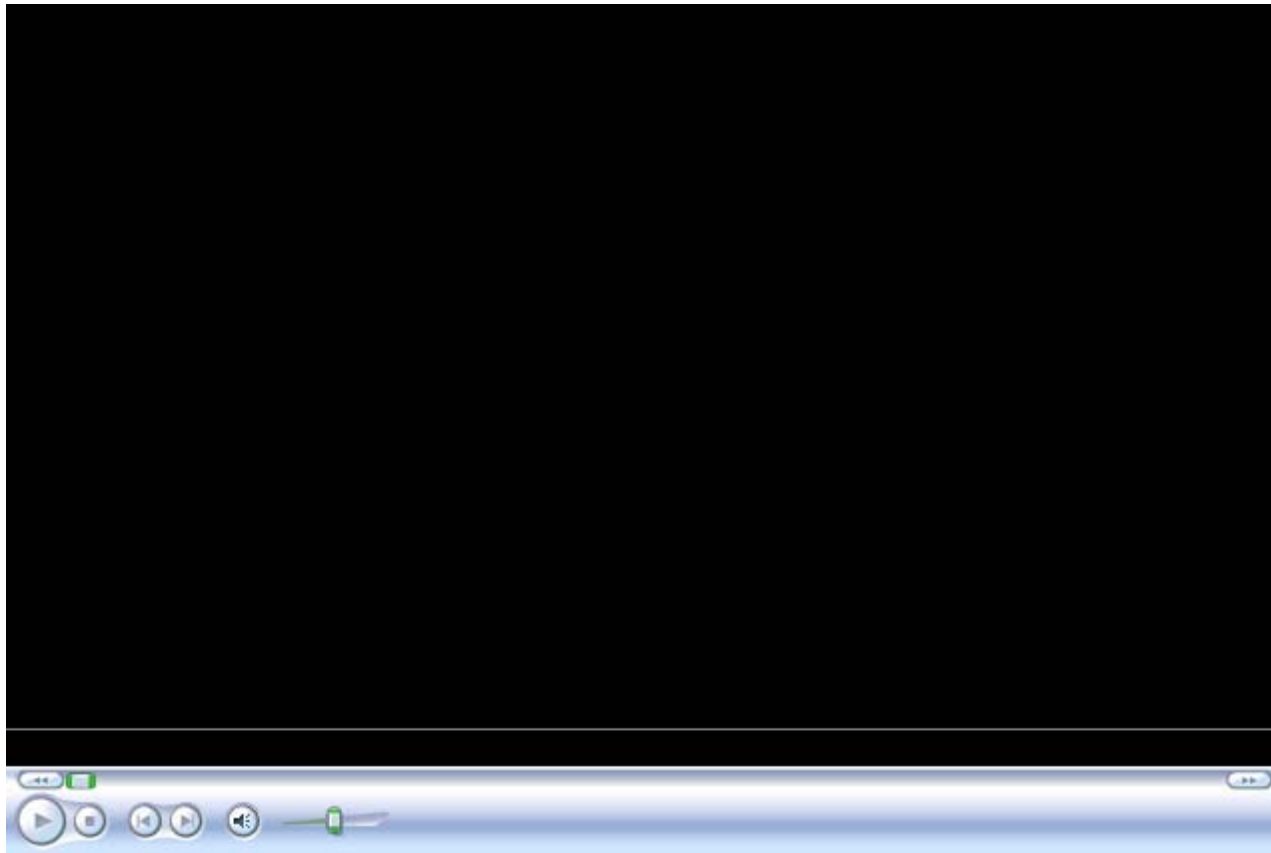


Détection du maximum



Indice de la position	Algorithme avec seuil adaptatif (cm)	Algorithme basé sur la détection du maximum de corrélation (cm)
1	51	428
2	53	355
3	27	214
4	117	237

Suivi du déplacement d'un mobile



Synthèse de la localisation par ULB

- Technologie prometteuse en terme de précision de la localisation

- Inconvénients

- Nécessité d'avoir une infrastructure lourde
 - Couverture intégrale d'un bâtiment ?
- Limitation de la portée
 - limitation due à la répétition du signal et à la densité spectrale de puissance en émission

⇒ Exploitation de technologies ayant une portée plus importante

Les réseaux WiFi

- Technologie radio
 - Transmission à travers les murs

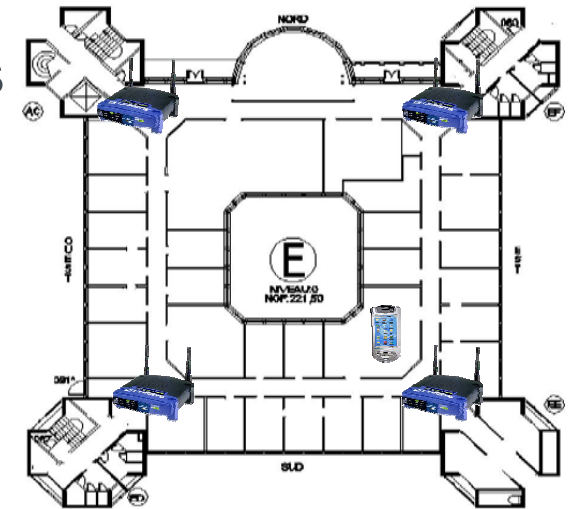
- Portée d'une quarantaine de mètres en indoor

- Technologie mature et largement déployée
 - Réseaux de communication
 - Faible coût des équipements

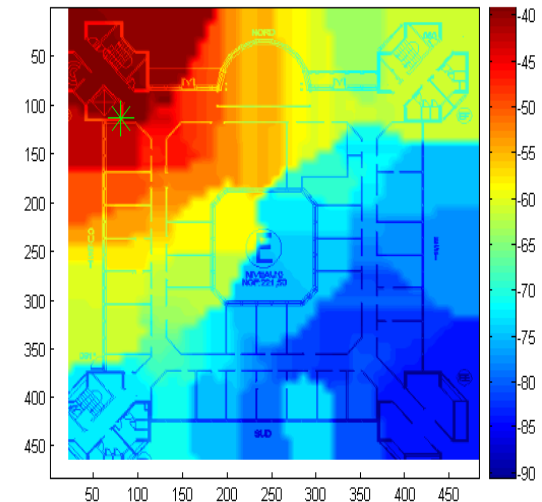
- Informations utiles à la localisation disponibles dans les équipements grand public
 - Pas de modification du matériel
 - Réutilisation du matériel déjà en usage

Comment se localiser en WiFi ?

- Informations temporelles indisponibles dans les produits commerciaux
- Emissions de balises à partir desquelles on mesure la puissance
 - Mesure effectuée par le terminal
 - Mesure effectuée par le réseau
- Techniques d'exploitation de la puissance du signal
 - Utilisation d'un modèle de propagation
 - Triangulation
 - Utilisation de la méthode de fingerprinting
- Le modèle de propagation simple ne rend pas bien compte de la complexité de la propagation des ondes dans ce type de milieu



Access point coverage



Couverture radio
d'un AP

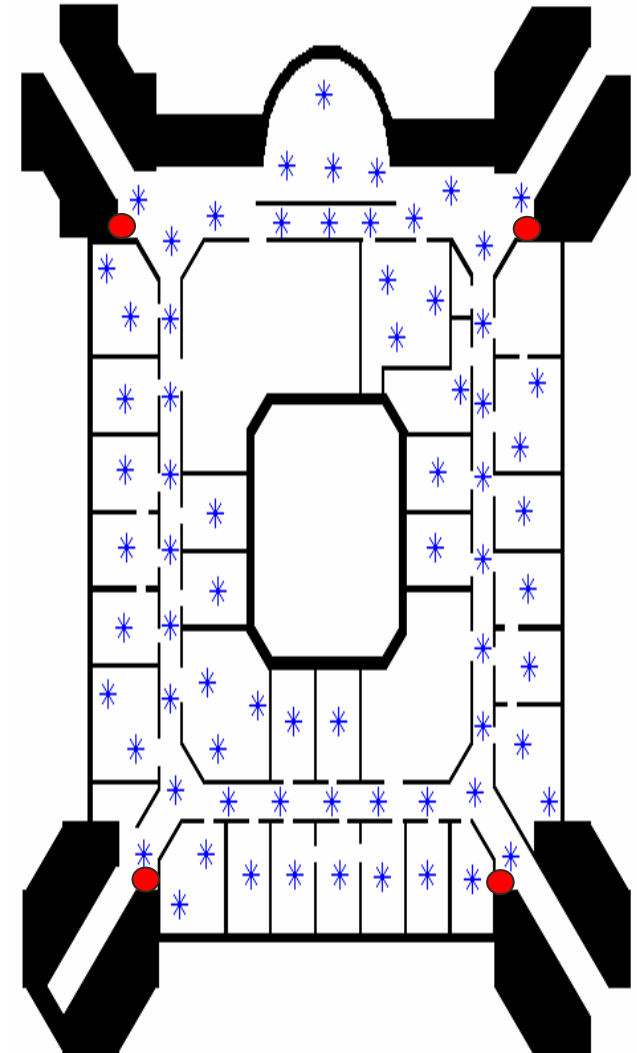
$$P_{received}(d) = P_{received}(d_0) - 10 \cdot \alpha \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

La technique du fingerprinting

- Utilisation d'une base de données qui à certaines positions de l'espace associe un n-uplet de puissances captées
- Contrainte :
 - Réalisation d'une base de donnée la plus représentative possible de l'environnement radio.
- Extraction de la position du mobile

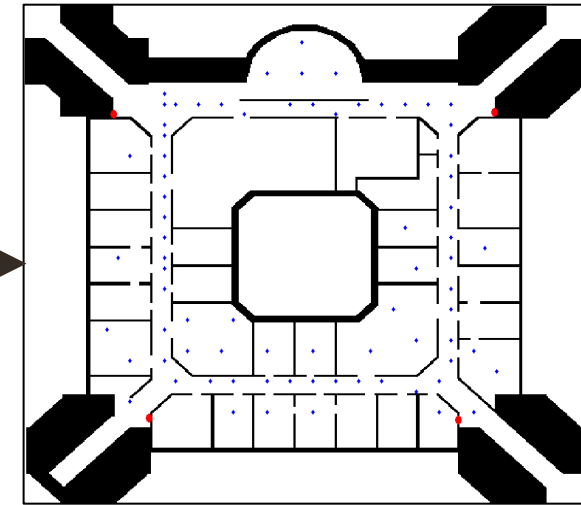
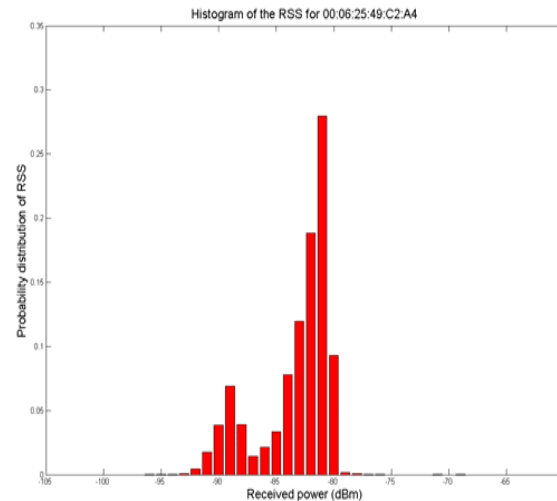
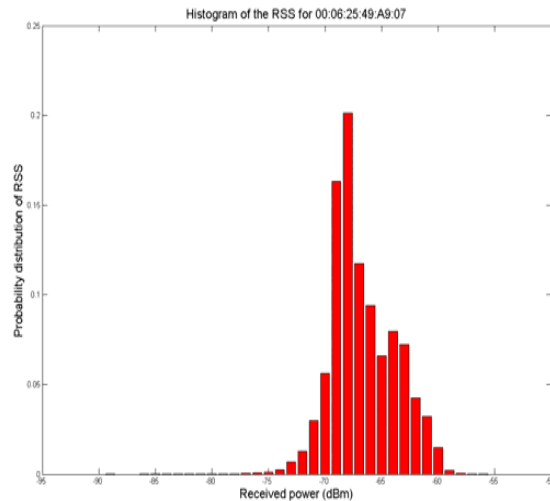
$$(x_{\text{opt}}, y_{\text{opt}}) = \arg \min_{x_k, y_k} \left(\sum_{l=1}^N (P_{r_l}(x, y) - P_{r_l}(x_k, y_k))^2 \right)$$

- Problème :
 - Fluctuations des mesures de puissance au cours du temps
 - Fluctuations sur la position extraite de la base de données



Les limites du fingerprinting

- Les mesures WiFi sont assez fortement bruitées



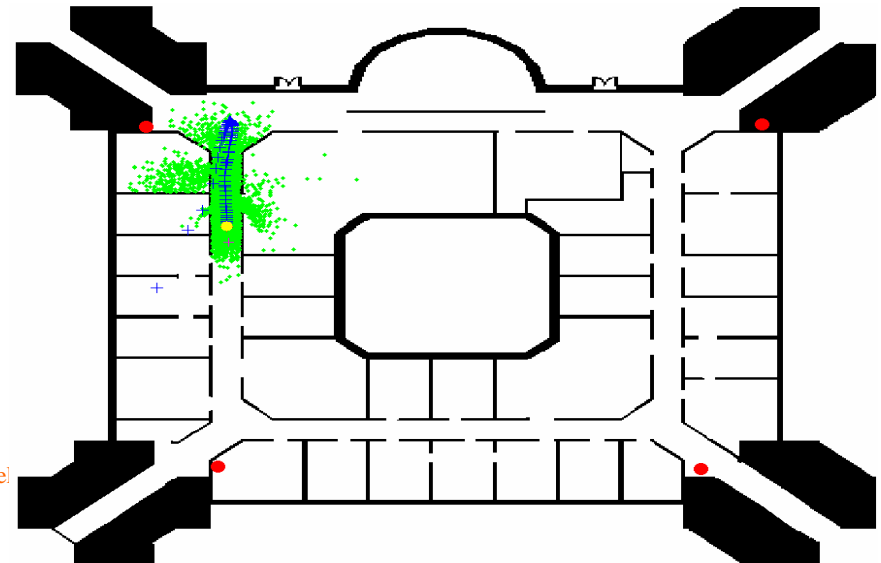
- Précision dépendante du maillage de couverture / de l'amplitude des fluctuations instantanées
 - Saut sur les positions extraites de la base de données
 - Variations de $\pm 5dBm$
 - Tous les points de la base de données sont extraits au cours d'un trajet à travers le bâtiment
 - Précision moyenne autour de 3.5m
- Influence du nombre de points d'accès captés

2

Des outils pour la prédiction

Comment lutter contre le bruit ?

- Des erreurs instantanées importantes à cause du bruit
- Trajectoire incohérente au cours du temps
 - Phénomène de saut d'une position de la base de données à une autre
- Comment limiter l'impact de ce bruit ?
 - Utilisation d'un filtre moyennneur sur les mesures
 - Utilisation d'un filtre de Kalman
 - Utilisation d'un filtre particulaire



Les estimateurs

- Filtres permettant d'estimer l'état optimal d'un système en fonction de mesures réelles

- Filtres se déroulant en deux étapes

- Etape de prédiction de l'état suivant du vecteur d'état

$$\tilde{X}_k = A \cdot X_k + \omega_k$$

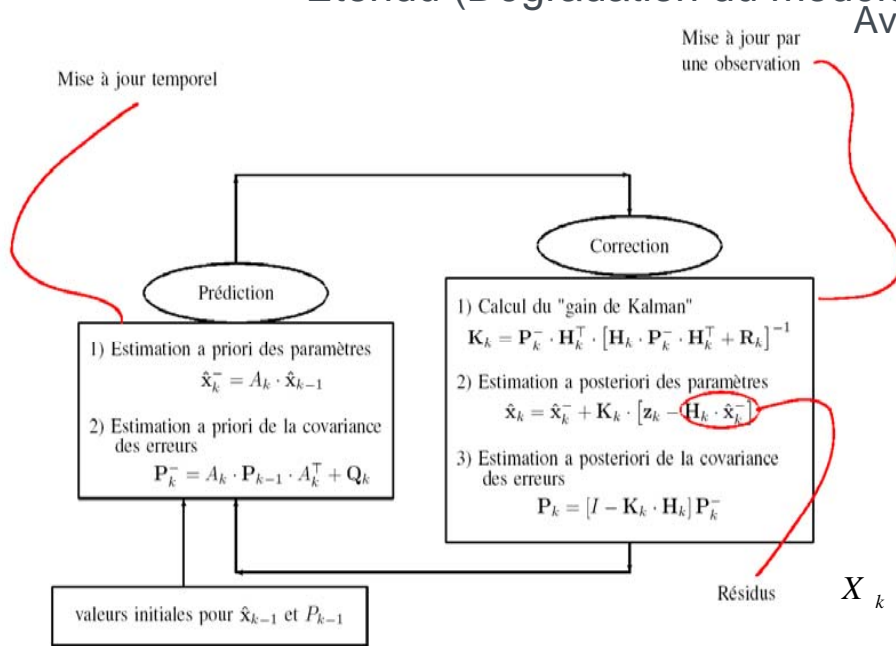
- Etape de mise à jour par une observation

$$Z_k = H \cdot \tilde{X}_k + v_k$$

- Le filtre de Kalman estime un processus gaussien
 - Déroulement séquentiel, déterministe, opérations matricielles simples
- Le filtre particulaire estime un processus à pdf quelconque
 - Non déterministe, chaînes de Markov et simulations de Monte-Carlo

Le filtrage de Kalman

- Filtre cherchant à minimiser la covariance de l'erreur a posteriori
 - Déroulement séquentiel
 - Opérations matricielles simples sur l'état du système
 - Contraintes linéarités sur les lois d'évolution
 - Linéarisation possible (développement de Taylor) \Rightarrow filtre de Kalman Etendu (Dégradation du modèle)



Avec

- P_k^- l'estimation a priori de la covariance de l'erreur
- P_k l'estimation a posteriori de la covariance de l'erreur
- K_k le gain minimisant l'équation de la covariance de l'erreur a posteriori
- Q_k la matrice de covariance du bruit du process (matrice 4*4)
- R_k la matrice de covariance de la mesure (matrice 2*2)

$$X_k = \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \\ v_{x_k} \\ v_{y_k} \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} I_{2 \times 2} & T_s \cdot I_{2 \times 2} \\ 0 & I_{2 \times 2} \end{pmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} I_{1 \times 1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_{1 \times 1} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Le filtrage particulaire (1)

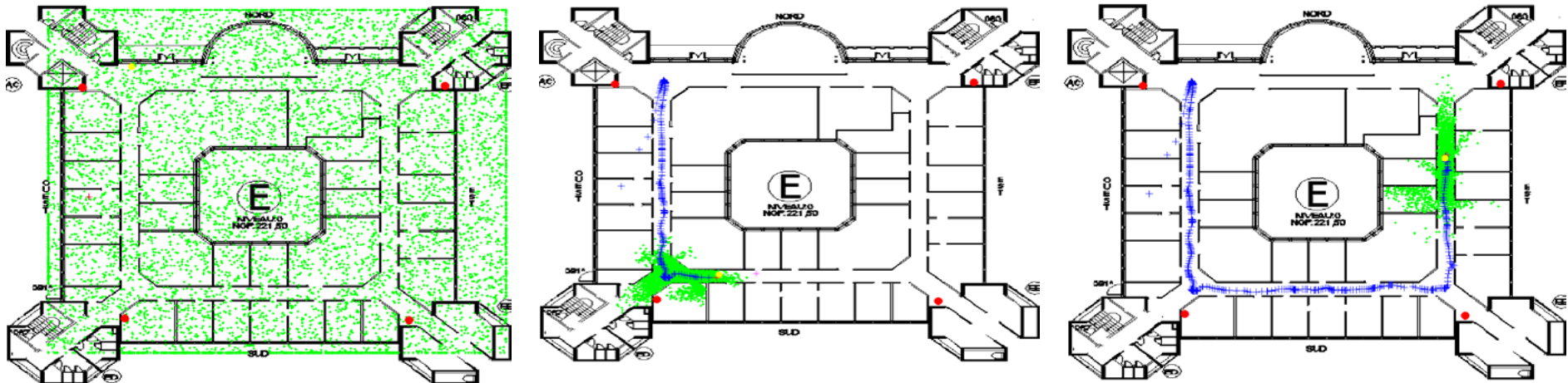
- Filtre plus générique que le filtre de Kalman
 - Modélisation de processus ayant une densité de probabilité non gaussienne
 - Modélisation de phénomènes non linéaires
 - Agrégation aisée de différentes informations de natures homogènes/hétérogènes
- Filtre cherchant à obtenir la meilleure approximation de la densité de probabilité suivante :

$$\Pr \left[x_k \mid x_{0:k-1}, z_{0:k} \right]$$

- Densité de probabilité quelconque
 - Calcul complexe
 - Discrétisation de cette densité par des masses de Dirac
 - Relation de récurrence nécessaire (chaînes de Markov d'ordre 1)

Le filtrage particulaire (2)

- Filtre composé d'un ensemble de particules qui vont explorer l'espace dans lequel évolue le mobile
- Affectation d'une probabilité (ou poids w_k^i) de présence pour que le mobile se trouve à la position occupée par la particule dans l'espace des possibles
- Poids des particules tenant compte :
 - L'historique des positions de la particule
 - L'architecture du bâtiment (les murs)
 - La mesure des puissances captées par le mobile
 - Autres données : accéléromètres, compas, ...



L'étape de prédiction

■ Prédiction de la position suivante de chacune des particules

■ Utilisation de la loi du mouvement

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ V_{x_k} \\ V_{y_k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_s & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T_s \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \\ V_{x_{k-1}} \\ V_{y_{k-1}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{T_s^2}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{T_s^2}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T_s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & T_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_{x_k} \\ \mu_{y_k} \\ \mu_{x_k} \\ \mu_{y_k} \end{bmatrix}$$

■ où (μ_{x_k}, μ_{y_k}) sont des bruits sur l'accélération des particules

- Partie aléatoire du filtre
- Ici, choix d'un bruit gaussien $N(0,d)$ avec d une accélération moyenne

■ Vérification du mouvement des particules (traversée des murs – mouvements impossibles pour une personne)

- $\Pr[x_k | x_{k-1}] = P_m$ si une particule a traversé un mur
- $\Pr[x_k | x_{k-1}] = 1 - P_m$ si une particule n'a pas traversé de mur
 - Ici, nous avons retenu $P_m=0$

L'étape de mise à jour par une observation

■ Mise à jour à la réception d'une mesure

- Réception d'une mesure
- Recherche dans la base de données de la position correspondant à la mesure (fingerprinting)
- Mise à jour de la vraisemblance de la position de la particule par rapport à la mesure

$$\Pr[z_k | x_k] = N(z_k, d_c)$$

- Choix d'une loi gaussienne
- z_k : position retournée par le fingerprinting
- d_c : variance de la loi gaussienne (confiance faite à la mesure)

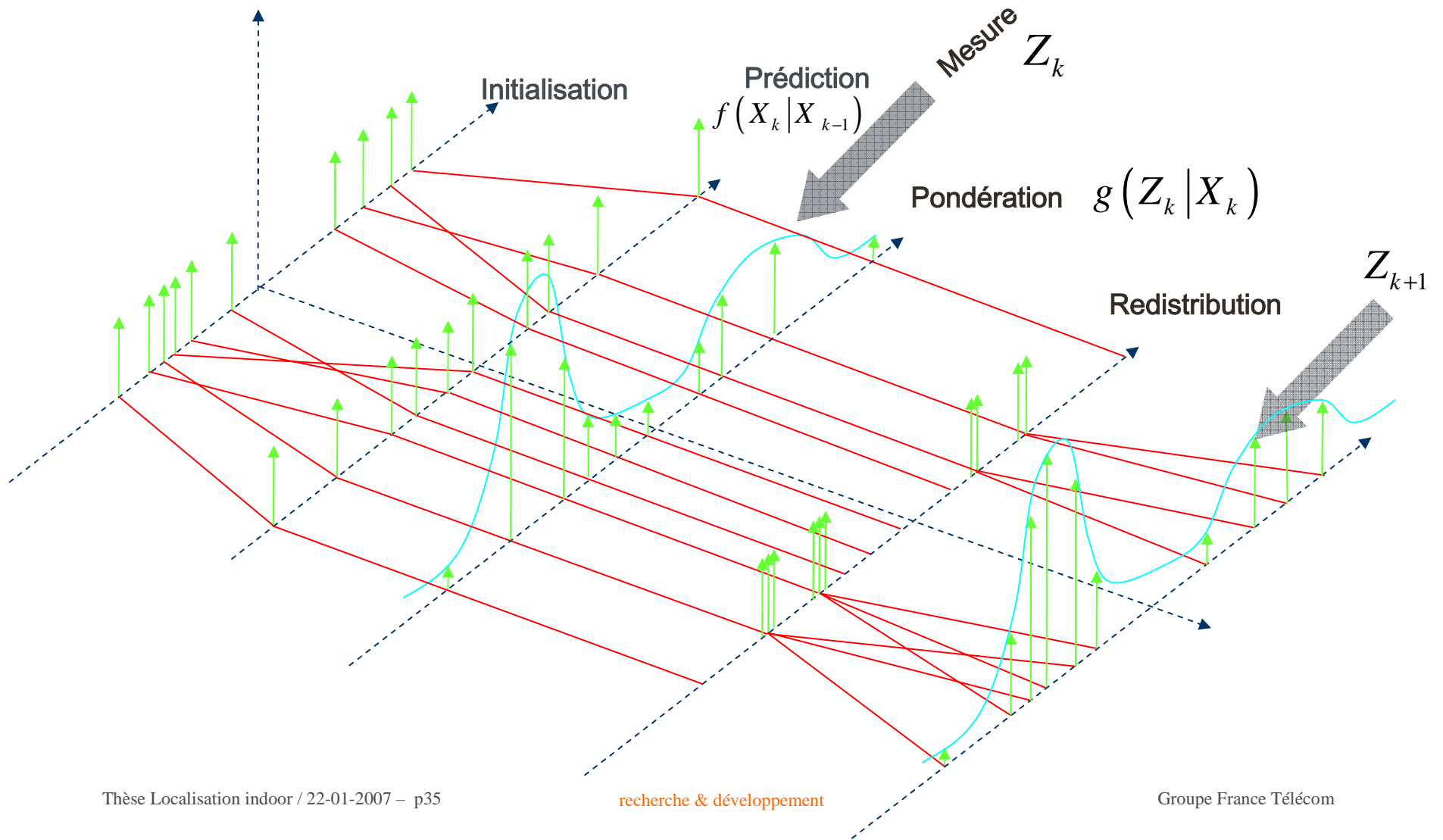
■ Mise à jour du poids de chacune des particules

$$w_k^i = w_{k-1}^i \cdot \Pr[x_k^i | x_{k-1}^i] \Pr[z_k | x_k^i]$$

Le rééchantillonnage

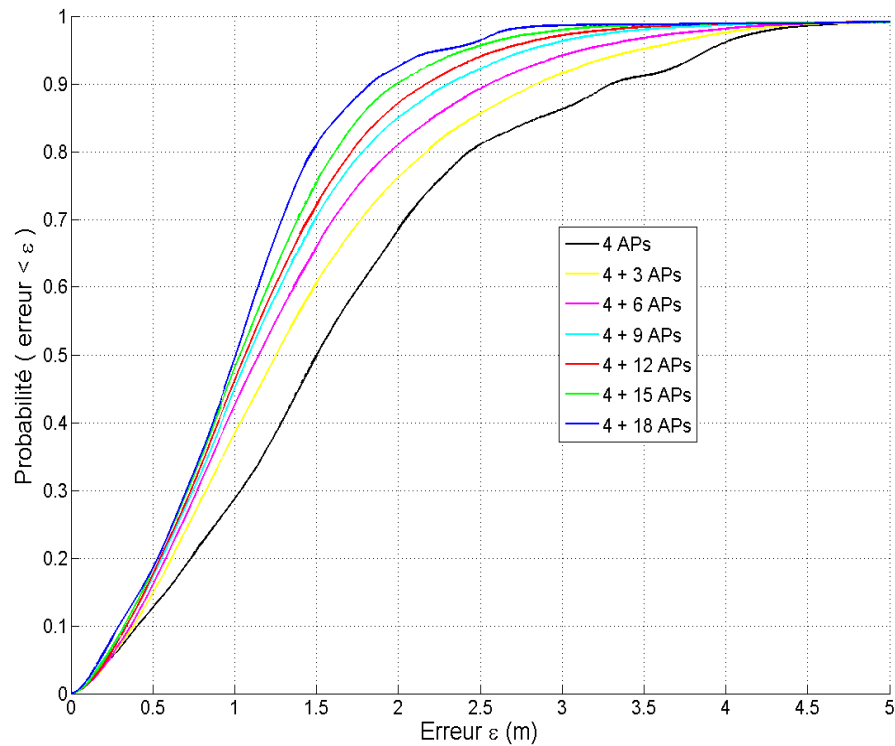
- Disparition de particules à chaque itération
- Certaines particules explorent de mauvaises pistes
 - Diminution de leur poids \Rightarrow évanouissement
- Problème :
 - dégénérescence du filtre
 - Certaines particules excentrées par rapport à la zone d'intérêt, vont avoir un poids très faible, voire nul
 - Emergence d'un petit groupe de particules avec un poids élevé
- Solution :
 - rééchantillonner
 - Ramène les particules dans la zone où se trouve probablement le mobile
- Conséquence
 - Perte de diversité

Fonctionnement du filtrage particulaire



Performances de la localisation

- Influence du nombre de particules
 - Plus de possibilités d'exploration
- Influence du nombre d'APs captés
 - Plus grande stabilité des mesures de fingerprinting



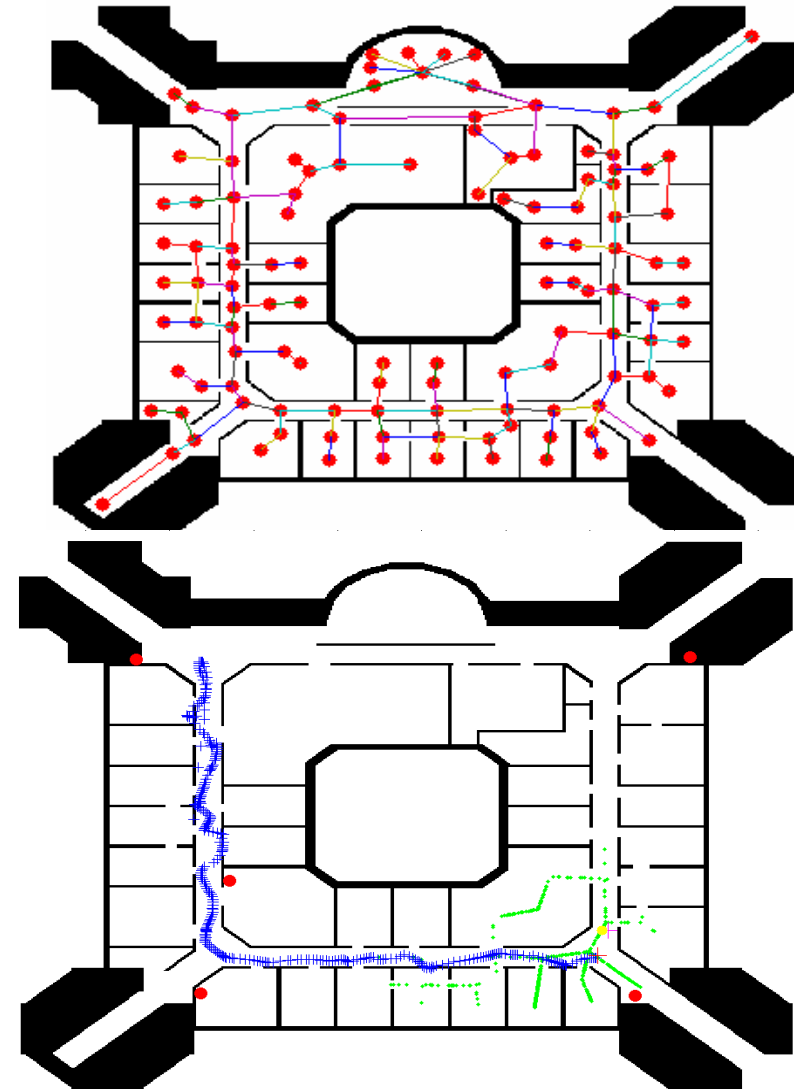
Application aux terminaux mobiles

- Grand nombre de particules nécessaire
 - On cherche à réduire ce nombre de particules
- Réduction des traitements à effectuer
 - Supprimer la vérification de traversée des murs
- Recherche d'une nouvelle représentation pour le bâtiment
 - Représentation sous forme de graphe (arcs et nœuds)
 - Utilisation du diagramme de Voronoï : ensemble des arcs se trouvant à équidistance des objets

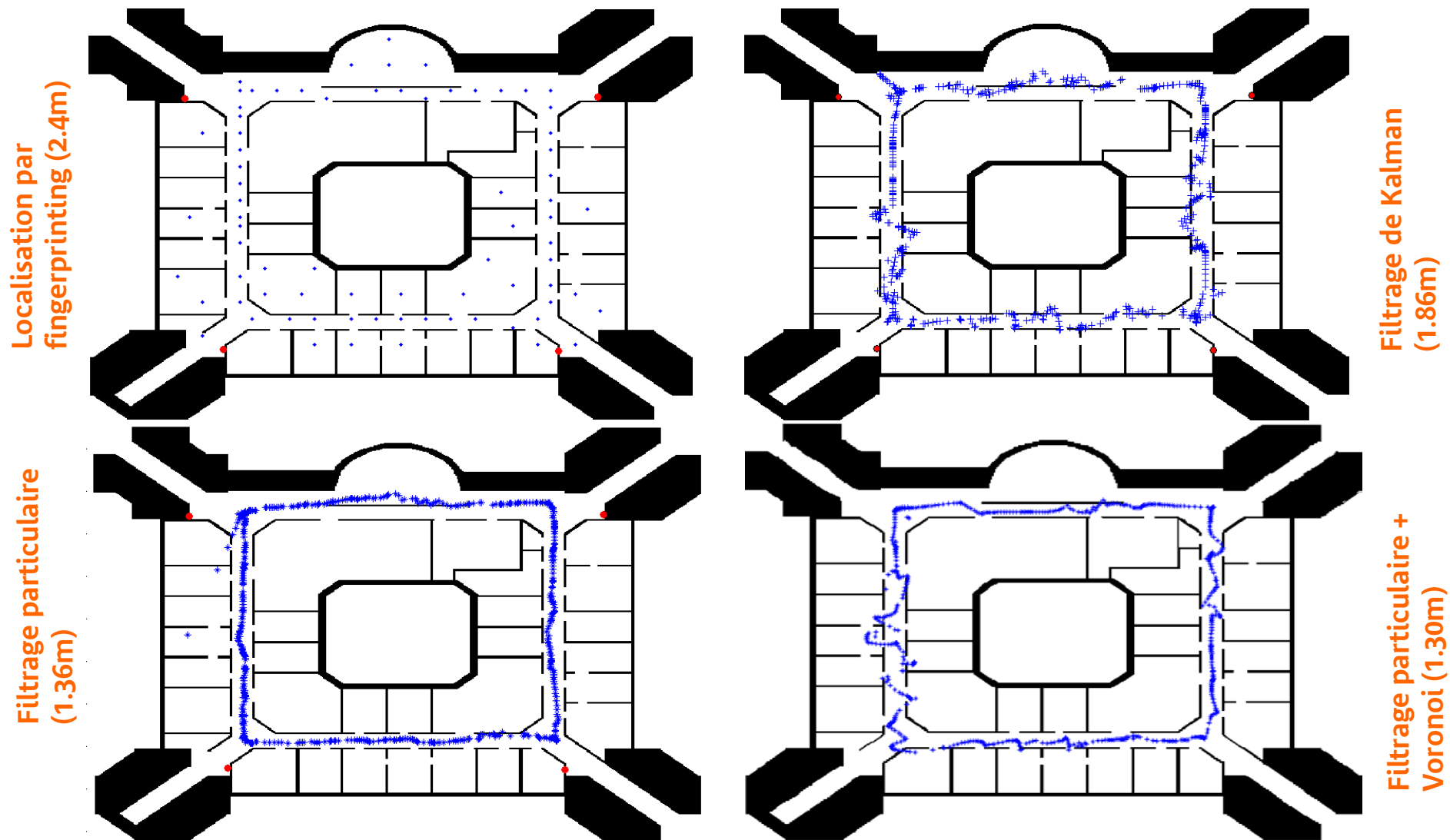
$$V = \{x \in W / (C_i \cup C_j) : \forall h \quad d_h(x) \geq d_i(x) = d_j(x) \geq 0\}$$

- Génération automatique de ce graphe
- Particules contraintes à se déplacer sur les arcs
- Suppression des vérifications de traversées de murs
 - Contraintes sur le mouvement des particules

$$\Pr[V_k] = \frac{1 + \cos \theta_{j,k}}{\sum_m (1 + \cos \theta_{j,m})}$$



Synthèse sur la localisation par WiFi

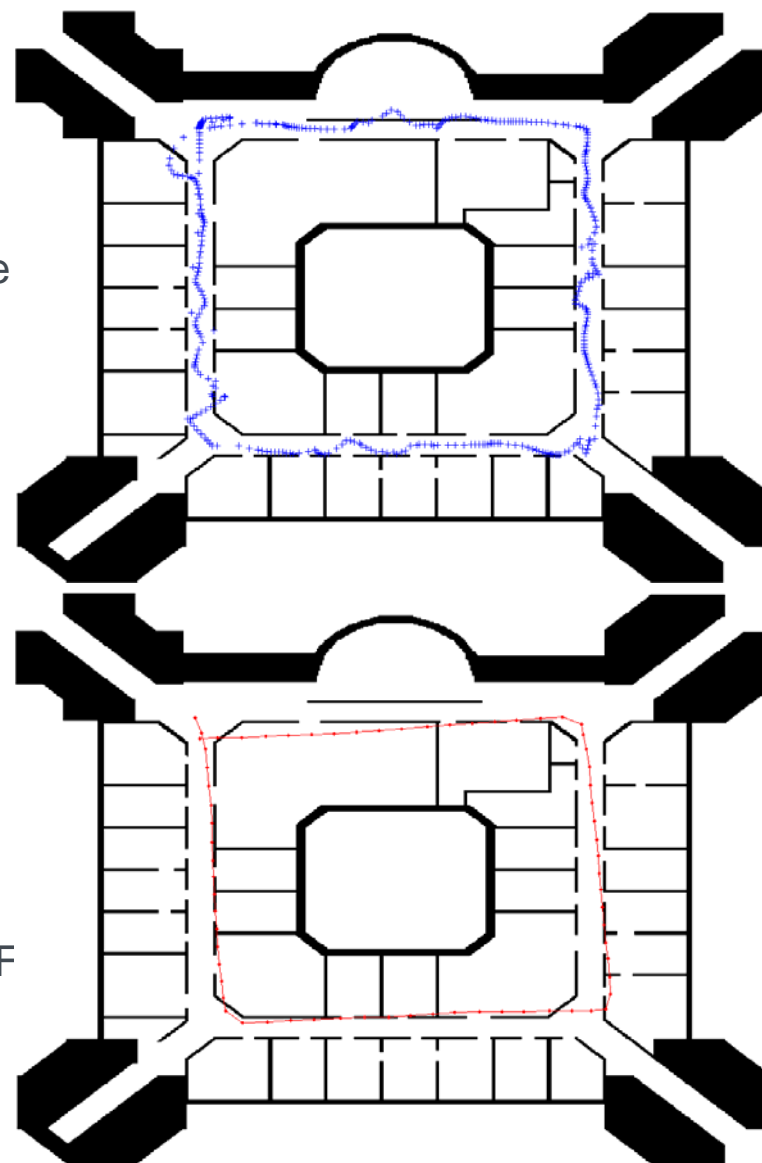


3

La coopération entre technologies

Amélioration par la fusion multi-capteurs

- Amélioration de la couverture du service de localisation
 - Cas d'indisponibilité d'un ou plusieurs systèmes de localisation
 - Ex : INS/GPS – WiFi/INS, etc.
- Amélioration de la précision si plusieurs systèmes sont disponibles
 - La navigation permet d'avoir une meilleure connaissance du comportement d'un utilisateur (attitudes)
 - Amélioration de la précision lors des changements de direction
 - Réduction du temps de latence lors de ces changements
 - Limitation de l'impact du bruit des mesures WiFi (arrêt dans une pièce)



La coopération intelligente

■ La navigation inertielle

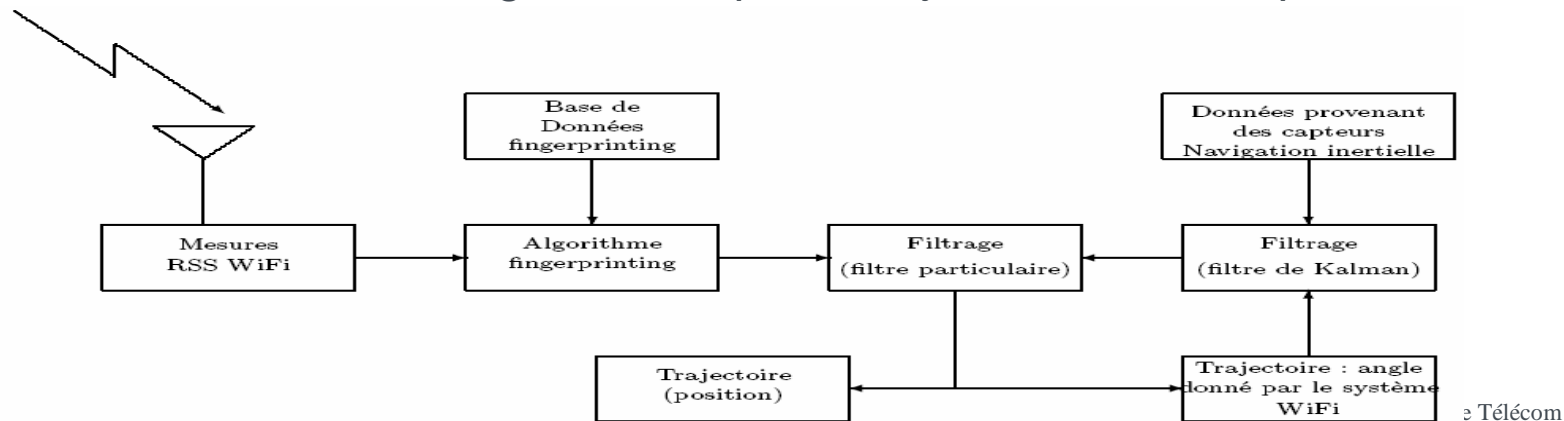
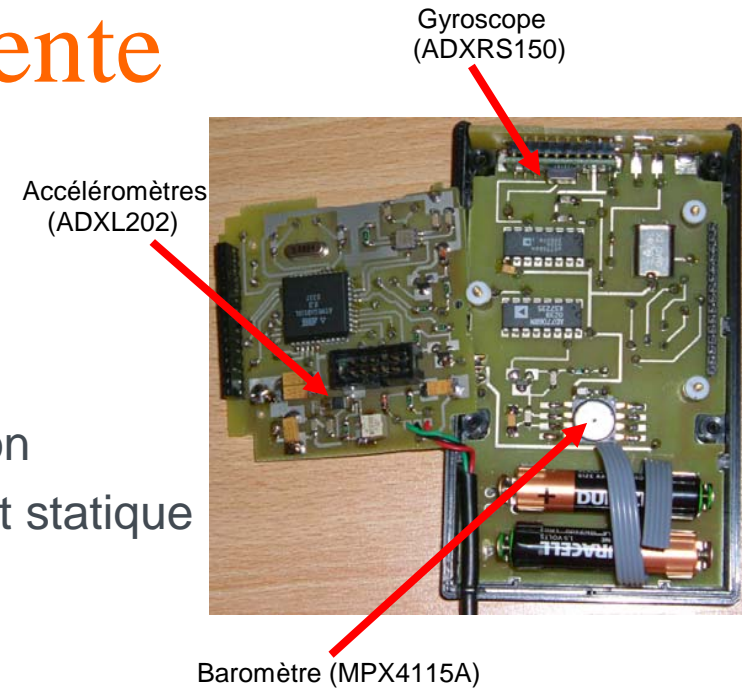
- Dégradations au cours du temps
 - Intégration des mesures et donc du bruit

■ La localisation par WiFi

- Retard lors des changements de direction
- Pas de position fixe lorsque le mobile est statique

■ Utilisation du filtre particulaire

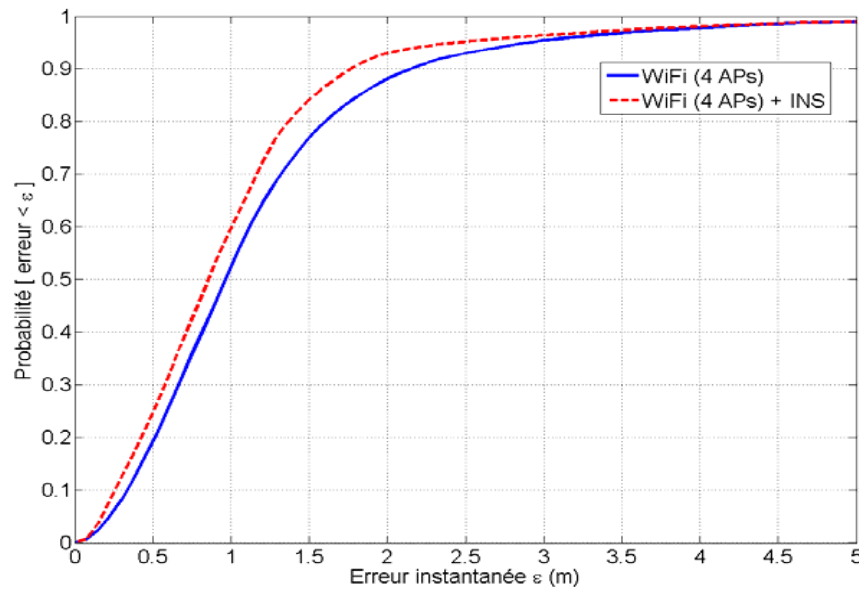
- Guidage du comportement des particules par la navigation INS
- Correction de la navigation INS par la trajectoire obtenue par le WiFi



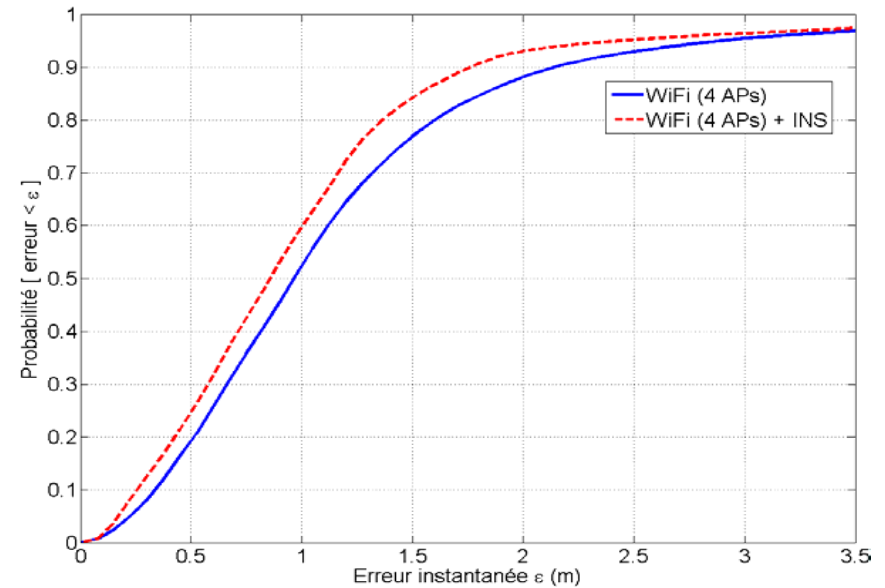
Les performances de ce système

- Amélioration lorsque le mobile s'immobilise
 - Meilleure détermination du sous ensemble de l'espace où se trouve le mobile
- Meilleur guidage des particules lorsque le mobile change de direction
 - Suppression de la latence qui était représentée avant par un retour en arrière
 - Limitation des écarts de trajectoire sur une ligne droite

Trajectoire dans le couloir

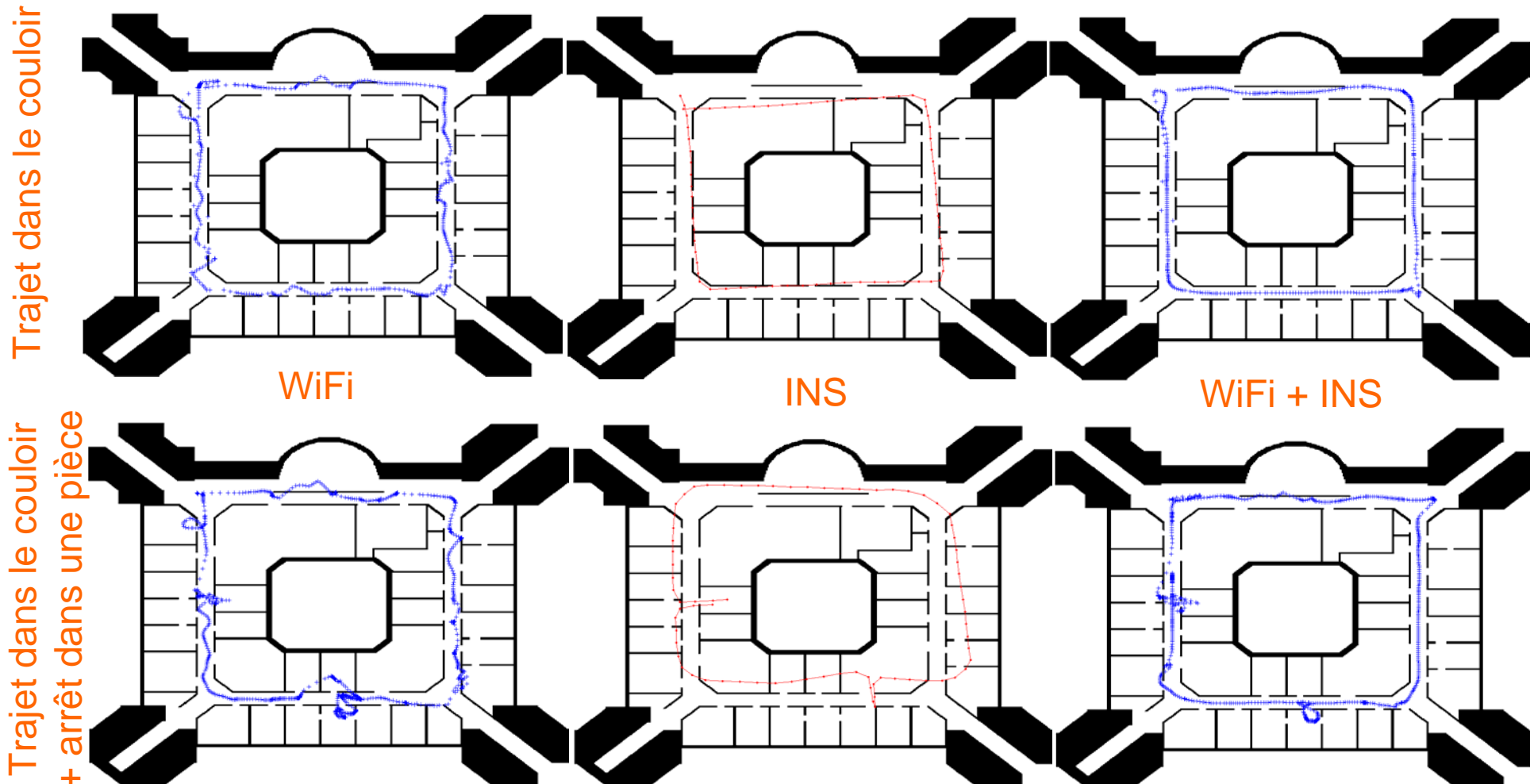


Trajectoire dans le couloir avec arrêt dans une pièce



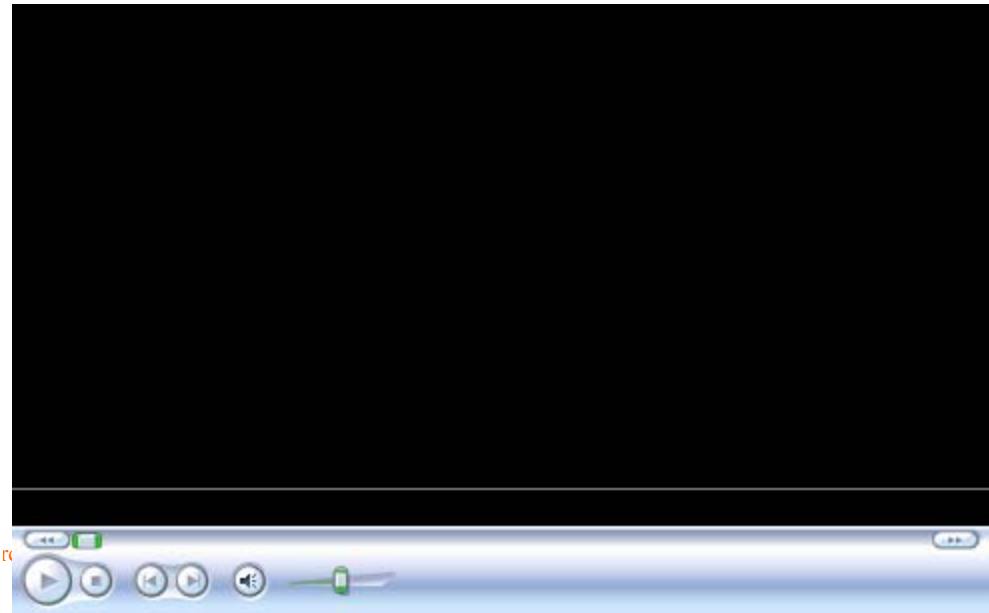
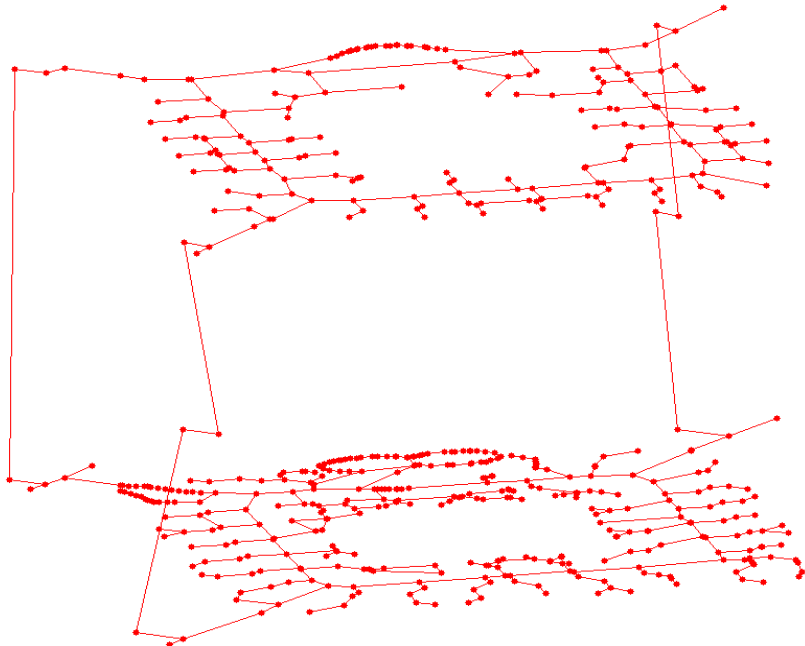
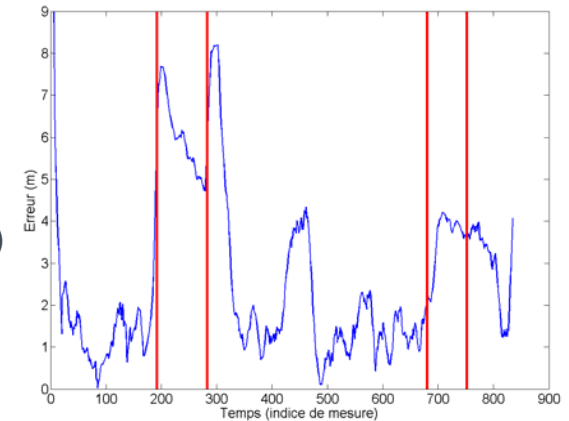
Quelques trajectoires type

- Utilisation de 4 APs
- Filtrage particulière sur un diagramme de Voronoi (200 particules)



Extension du système au multi-étages

- Les environnements sont sur plusieurs étages
 - Gestion douce de la transition entre étages
 - Limitation des sauts transitoires d'un étage à l'autre
 - Mauvaise gestion dans les systèmes actuels (ex : EKAHAU)
- Utilisation des outils de filtrage
 - Génération d'un diagramme de Voronoi 3D
 - Exploitation du filtrage particulière pour gérer les transitions
 - Gestion de la procédure d'initialisation



Réalisations et publications

- Mise en place d'un système de localisation par WiFi
 - Briques logicielles collectant les puissances WiFi
 - Développements des algorithmes de filtrage

- Mise en place du système de localisation par ULB
 - Réalisation de l'émetteur à partir d'un générateur d'impulsions ULB
 - Mise en place de l'infrastructure de localisation

- Des publications
 - Conférences : EUSAI 2003, ISART 2005, WCNC 2005, IST Summit 2005, VTC Fall 2005
 - Journal : EURASIP Journal en 2006
 - 3 brevets :
 - Localisation par WiFi
 - Localisation par WiFi + INS
 - Localisation par ULB

4

Conclusion et perspectives

Conclusions

- Les performances des systèmes de localisation
 - Environ 50 cm en ULB
 - Entre 1.5 m et 2 m en WiFi (avec des outils de filtrage)
 - Entre 1 m et 1.5 m en WiFi + INS \Rightarrow amélioration de la justesse

- La localisation par WiFi
 - Infrastructure peu coûteuse et souvent déjà disponible
 - Mise en place du système contraignante à cause de la base de données
 - Grande portée : couverture d'un bâtiment avec 4 à 6 points d'accès

- La localisation par UWB
 - Fortes contraintes matérielles
 - Faible portée des équipements prévus pour la norme 802.15.4a
 - Très bonne précision

- L'hybridation
 - Amélioration de la couverture du service de localisation
 - Amélioration de la précision de la localisation
 - Collaboration entre technologies pour qu'elles se corrigent mutuellement

Les perspectives

- Diminution de l'effort nécessaire pour réaliser la base de données
 - Utilisation de données non labelisées
 - Utilisation d'un ensemble réduit de données labelisées
 - Utilisation d'un modèle de propagation et d'une représentation de l'environnement

- Etudes sur une borne d'erreur
 - Filtrage particulière sous contrainte
 - Détermination d'un indice de confiance comme en GPS

- Réduction de la complexité du système de localisation par UWB
 - Réseaux de capteurs : localisation de proche en proche

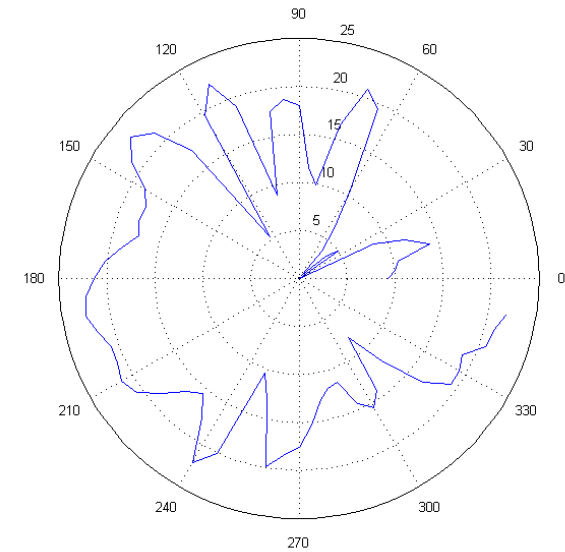
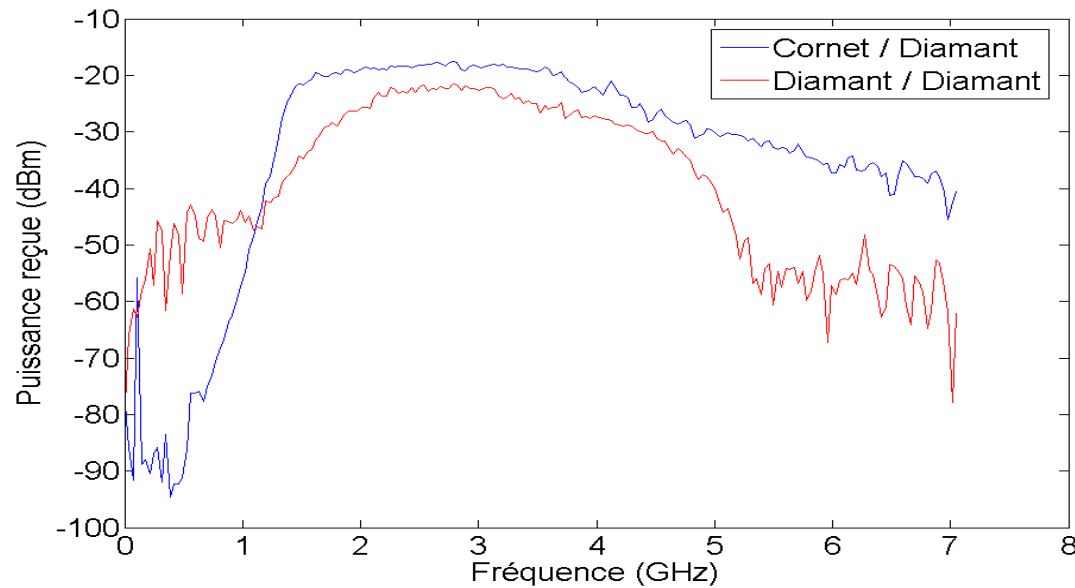
- Pourquoi pas bientôt l'IPS (Indoor positioning System) ?
 - Système dédié à la localisation à l'intérieur des bâtiments
 - Infrastructure dimensionnée exclusivement pour cette application

Questions ?

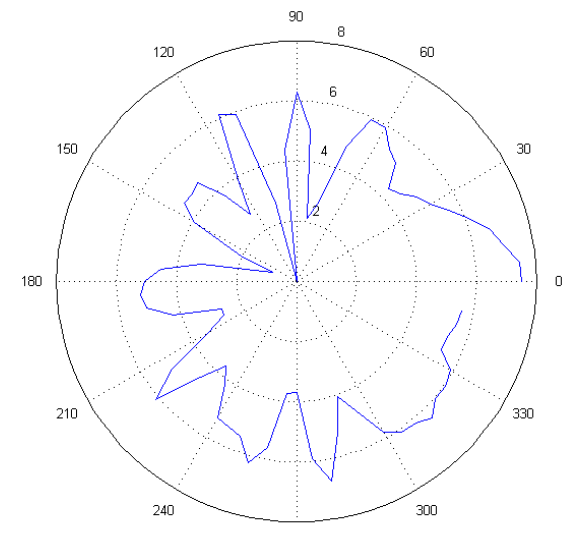
Les antennes ULB

- Diagramme de rayonnement
 - Omnidirectionnalité
- Large bande avec la bande plate la plus large
 - Dimensionnement en fonction de la bande dans laquelle se trouve l'énergie des impulsions ULB

⇒ Antennes diamant



Polarisation VH



Polarisation VV

F=3GHz nce 1e1ecom

Adéquation algorithme /plate-forme

- PC sous windows XP
 - processeur AMD à 2.8 GHz
 - 1024 Mo de mémoire RAM
- Pocket PC de type HP4700 sous Windows Pocket PC 2003
 - Processeur cadencé à 647 MHz
 - 62.28 Mo de Ram.

		50%	67%	75%	90%	95%
PC	Fingerprinting	3	3	3	4	4
	Filtre de Kalman	3	3	3	4	4
	Filtre particulaire	10	13	13	16	17
	Filtre particulaire + Voronoï	3	4	4	5	6
PPC	Fingerprinting	5	5	5	6	6
	Filtre de Kalman	5	5	5	7	7
	Filtre particulaire	372	567	600	673	714
	Filtre particulaire + Voronoï	8	8	8	9	12

Temps de traitement d'une mesure WiFi (en ms)

Architecture à mettre en place

- Architecture modulaire
 - Besoins spécifiques pour chaque application

