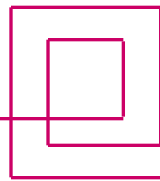




Bases, principes et théories de localisation Indoor

Elizabeth COLIN
Alain MORETTO

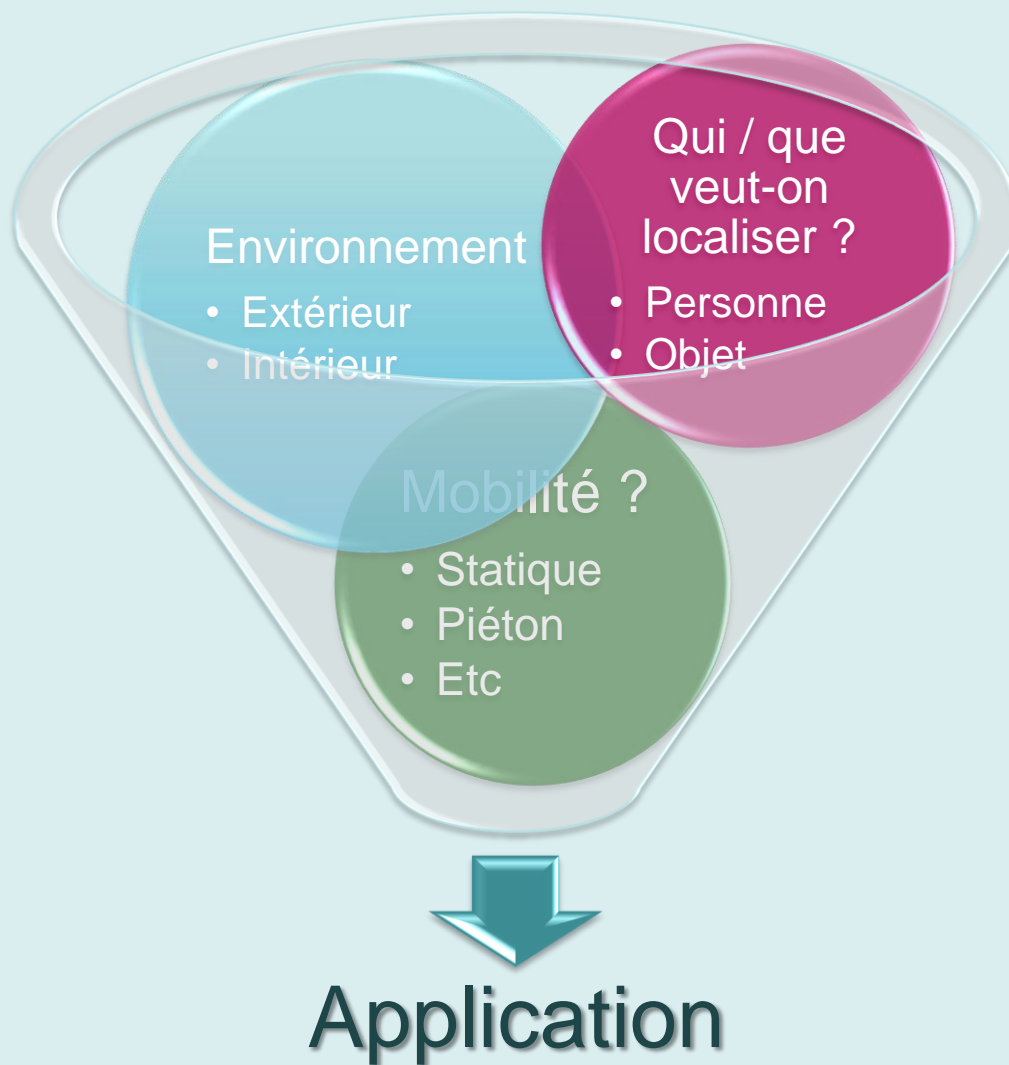
14/10/2010

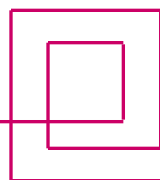


Plan

- I. Objectifs, critères de performance
- II. Les propriétés de l'indoor
- III. Le canal indoor et ses modèles
- IV. Méthodes de localisation indoor

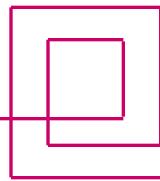
Objectifs





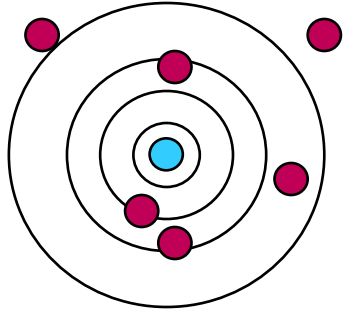
Application



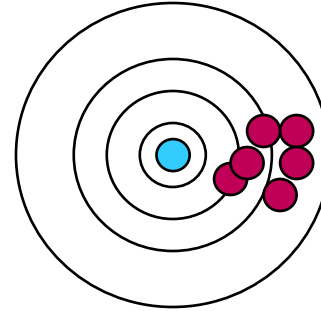


Précision et exactitude

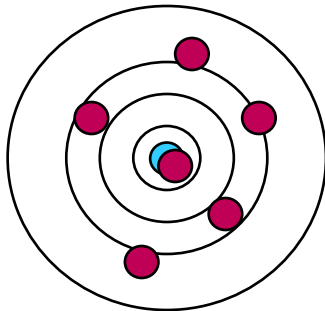
- Exactitude = justesse
- Précision = fidélité



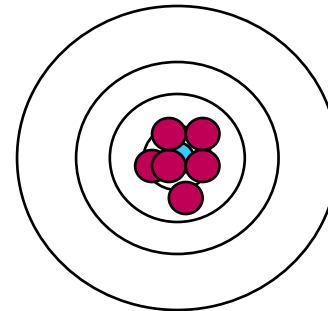
Ni exact, ni précis



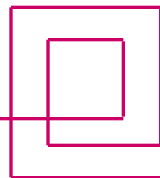
Pas exact mais précis



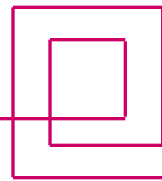
Exact mais pas précis



Exact et précis



- En fonction de l'application
- Compatibilité avec les êtres humains
 - Porteur des cibles
 - Travaillant ou vivant dans la zone couverte
- Précision et exactitude :
 - Localisation à ± 5 cm (infra-rouge) ou à ± 1 m près
 - Résultat obtenu dans 95 % des mesures
- Consommation
 - Critique pour systèmes embarqués

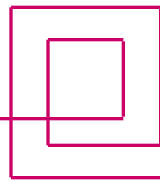


- **Facteur d'échelle :**

- Dimensionnement du système de localisation
 - Étendue de la zone à couvrir
 - Nombre de cibles à détecter
 - Nombre de stations à déployer
- Capacité d'étendre le système
 - Surface
 - Nombre de cibles

- **Rapidité de réponse**

- Temps entre 2 mises à jour
- Temps de latence peut augmenter ou diminuer la précision



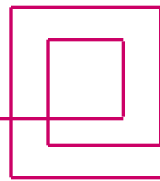
- **Robustesse**

- Immunité face à des interférences
- Faible sensibilité aux variations environnementales

- **Taille**

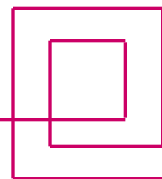
- **Prix**

- Infrastructure (matérielle / logicielle)
- Cibles
- Maintenance



Plan

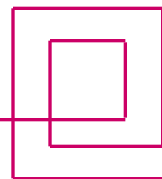
- I. Objectifs, critères de performance
- II. Les propriétés de l'indoor**
- III. Le canal indoor et ses modèles
- IV. Méthodes de localisation indoor



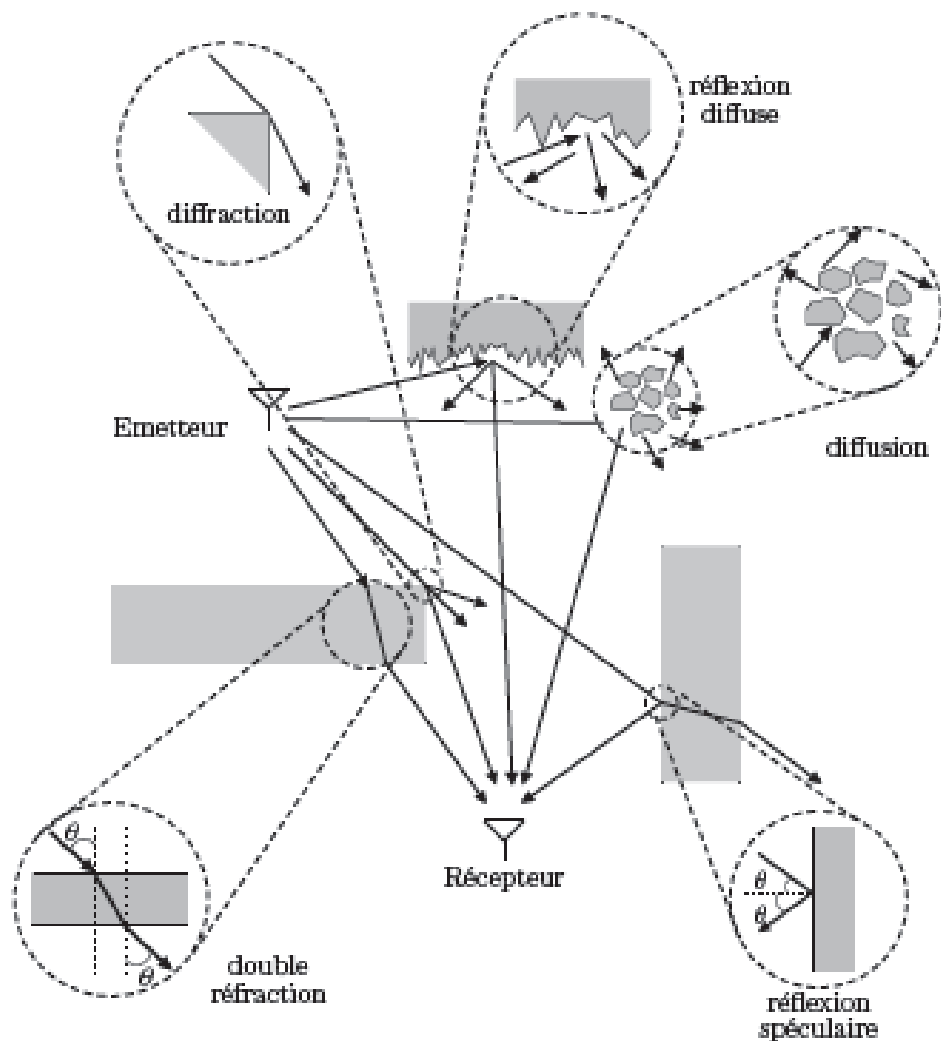
- **Affaiblissement :**
 - Distance et fréquence
 - En espace libre (Friis)

$$P(f, d) = \frac{P_t(f) G_r(f) G_t(f) c^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2 \cdot f^2}$$

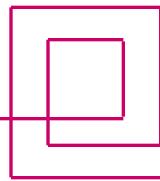
- **Shadowing (slow fading):**
 - Obstacles



- **Affaiblissement multi-trajets (fast fading) :**
 - Distances courtes
 - Présence de multi-trajets forts
 - Influence des murs, plafonds, toit
 - Présence de fenêtres
 - Matériaux réagissant différemment suivant la fréquence
 - Influence des variations du canal avec le temps
 - Prédictions uniquement statistiques

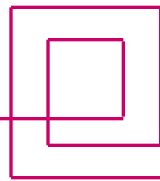


- Réflexion et réfraction
- Diffusion
- Diffraction

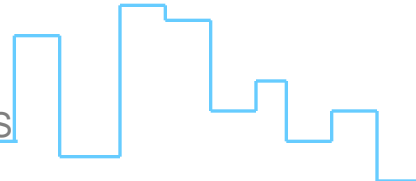


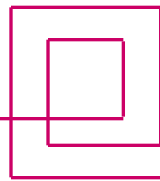
Plan

- I. Objectifs, critères de performance
- II. Les propriétés de l'indoor
- III. Le canal indoor et ses modèles
- IV. Méthodes de localisation indoor



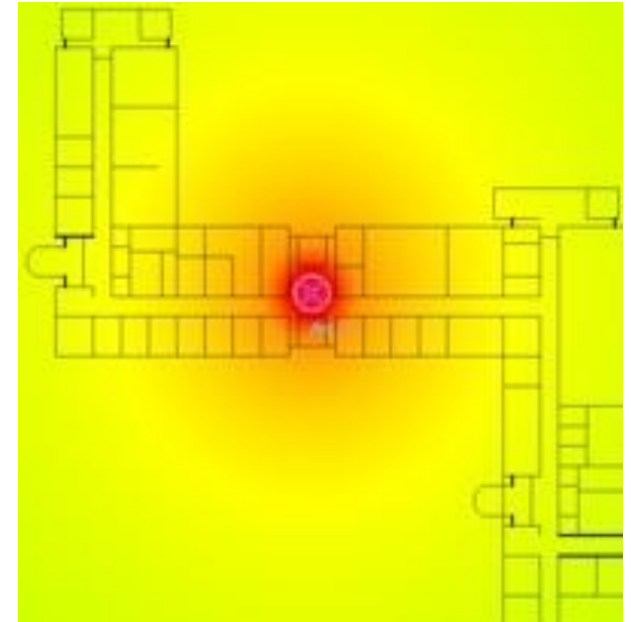
- **Modèles déterministes:**
 - Basés sur la propagation d'ondes EM + lancer de rayon
 - Coûteux en ressources de calcul et en temps de simulation
 - Très précis, très lent
- **Modèles empiriques:**
 - Basés sur des mesures sur le terrain
 - Manquent de précision et d'évolutivité
- **Modèles semi-déterministes:**
 - Nécessitent un ajustement des paramètres de simulation via une campagne de mesure de champ in-situ
 - Résultats très fiables

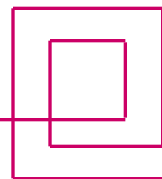




Écrantage Log-normal One slope (bande ISM – étroite)

- $$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \sigma$$
 - PL : pertes
 - n : indice de décroissance
 - d : distance T – R
 - d_0 : distance de référence
 - Transposable dans aux scénarii LOS ou NLOS en ajustant les paramètres de canal

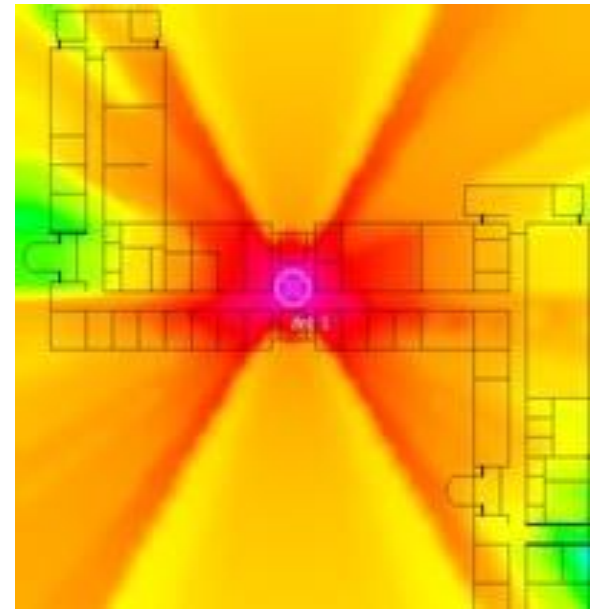




• modèle de propagation dans un immeuble

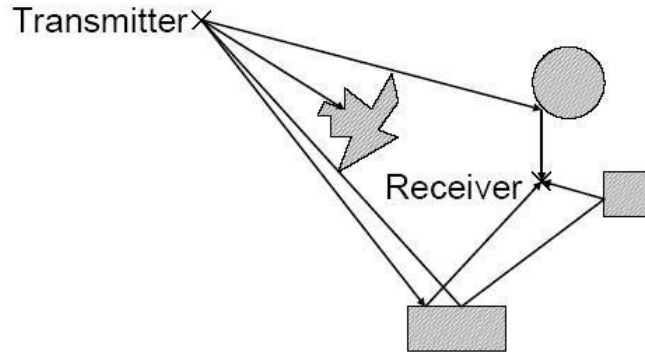
- L'atténuation croît linéairement avec le nombre de murs traversés
- Effets de sol non linéaires
- Dans la bande 800-1900 MHz , l'atténuation est estimée par:

$$L(d) = 37 + 20\log(d_m) + \sum_i K_{wi} L_{wi} + 18.3n^{\frac{n+2}{n+1}-0.46}$$



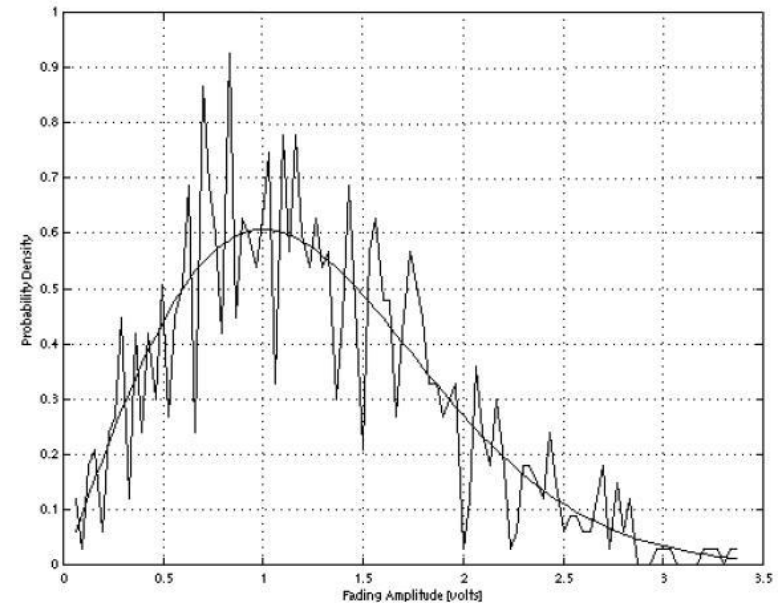
- L_{wi} = pertes dues au mur de type i
- K_{wi} = nombre de planchers traversés (béton renforcé < 30 cm) de type i

Canal de Rayleigh

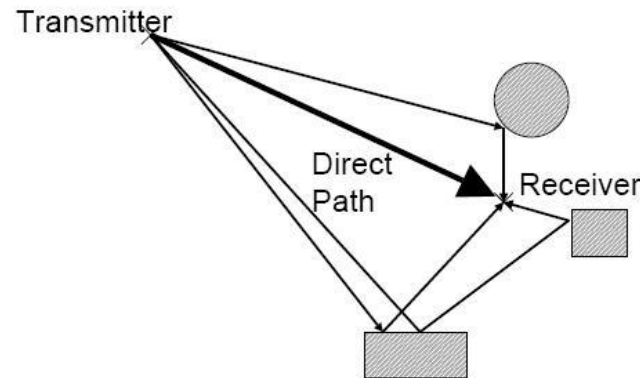


- Multi-trajets NLOS
- Les parties réelles et imaginaires du champ électrique reçu suivent des distributions de Rayleigh

$$P(r) = \left(\frac{r}{\sigma^2} \right) \exp \left(-\frac{r^2}{2\sigma^2} \right)$$

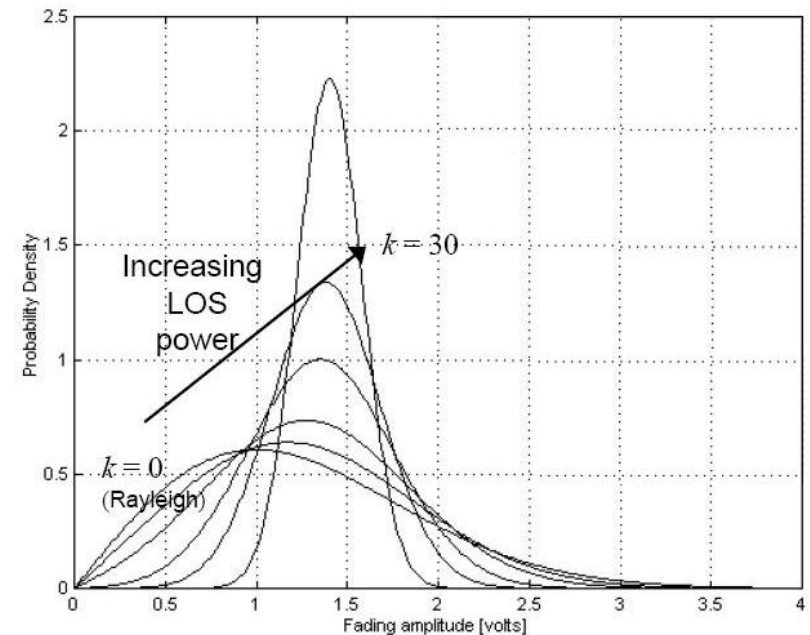


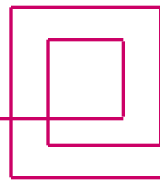
Canal de Longley–Rice



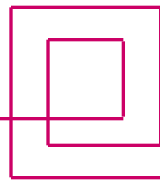
- Multi-trajets + LOS (ou trajet dominant)

$$P(r) = \left(\frac{r}{\sigma^2} \right) \exp\left(-\frac{r^2 + k^2}{2\sigma^2} \right) I_0\left(\frac{ks}{\sigma^2} \right)$$

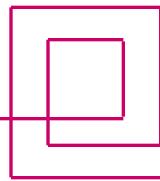




- Sélection d'un modèle de propagation
- Placement automatique Rx / Tx
- Couverture réseau et remontée du RSSI
- ...

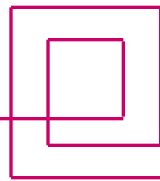


- **MeshPlanner, LANPlanner, EnterPrisePlanner** ([MOTOROLA](#)) :
 - Simulation indoor et outdoor
- **Hydra Studio** ([Motorola](#))
 - Modèles de Okumura and Cost 231.
- **Signal Pro** ([EDX](#)) :
 - Lancer de rayons + 20 modèles semi-empiriques et déterministes
- **WinProp** ([AWE](#)) :
 - Prédiction niveau de champ, puissance reçue, étalement temporel, évanouissements rapides.
- **Volcano** ([Siradel](#)):
 - Lancer de rayons , multirésolution, simulation de propagation en macro/mini/micro/pico cellules
- **RPS - Radiowave Propagation Simulator** ([RPS](#)):
 - Interface MATLAB(TM) + AoA/DoA simulation en élévation et azimuth
- **WiSE** ([Lucent Technologies](#)):
 - Exclusivement indoor

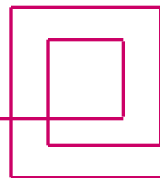


Plan

- I. Objectifs, critères de performance
- II. Les propriétés de l'indoor
- III. Le canal indoor et ses modèles
- IV. Méthodes de localisation indoor**

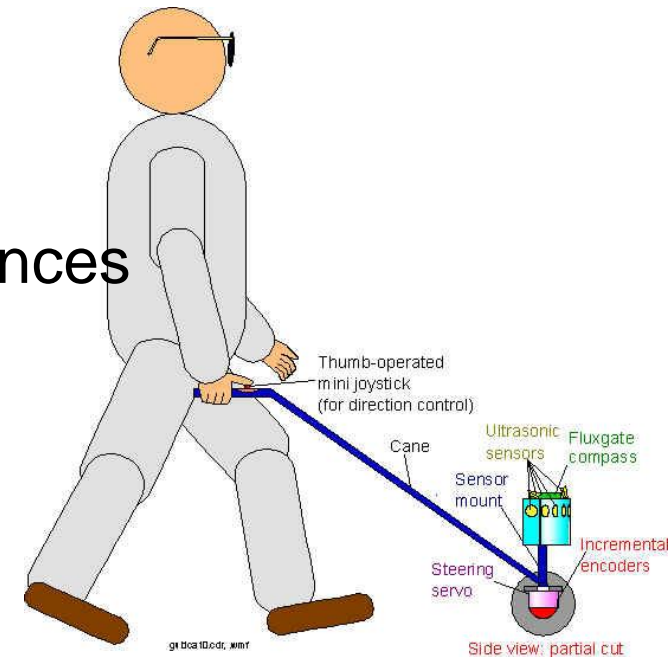


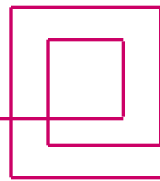
- Échelle du système
 - Système de positionnement local (LPS)
 - Centaine de mètres
- Environnement \Rightarrow air
- Modèles 2D ou 3D
 - Coordonnées cartésiennes ou polaires
 - En fonction du contexte
 - Étiquettes pour identifier différentes pièces
- Temps réel (RTLS) ou non
- Positionnement relatif ou absolu



- La navigation à l'estime (*dead reckoning*)
 - Déduction de la position
 - trajet de la cible
 - distance parcourue (depuis sa dernière position connue)
 - Mesure
 - Cap
 - Vitesse
 - Temps
 - Incertitude liée à la précision de la mesure de ces paramètres
- 2 techniques
 - Odométrie
 - Navigation inertielle (*Inertial navigation systems - INS*)

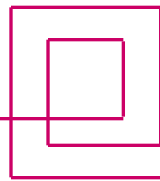
- **Principe:**
 - intégration incrémentale de l'information de mouvement dans le temps
- **Intérêt:**
 - Solution peu chère
 - Bonne précision sur de courtes distances
- **Inconvénients:**
 - Glissement des roues
 - Sauts de marches
 - Accumulation des erreurs



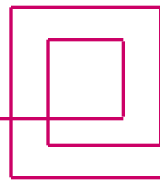


- **Principe :**
 - Navigation à l'aide d'une centrale inertielle
 - Mesure l'accélération (accéléromètre) et la rotation (gyroscope)
 - Intégration de ces mesures au cours du temps
- **Inconvénients :**
 - Dérives dans le temps \Rightarrow accumulation erreurs

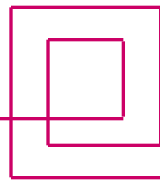
Systèmes combinant capteurs odométriques et inertiels \Rightarrow gyrodométrie



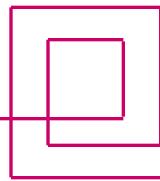
- **Principe**
 - Points fixes de référence
 - Emplacements connus à priori
 - Référence « active » ou « passive »
- **3 approches**
 - Balises actives
 - Reconnaissance de repères
 - *Model matching*
- **Balises actives**
 - Composants statiques, position connue
 - Émission d'une signature périodiquement
 - Réflexion de la signature émise par le cible
 - selon application \Rightarrow estimation de la distance ou de l'angle



- Reconnaissance de repères (*landmark recognition*)
 - Caractéristiques statiques de l'environnement
 - Formes géométriques
 - Objets « artificiels » ou « naturels » dans le contexte
 - Position relative cible – repère
 - Inconvénients :
 - Fiabilité
 - Ressources pour le traitement
 - Effets de masquage



- *Model matching*
 - Établissement d'une carte ou « modèle du monde »
 - Localisation dans cette carte
 - Exploration du monde
 - Comparaison du modèle de référence au modèle local issu des capteurs
 - Capteurs hétérogènes (odométrie, signaux radio)
 - Assez gourmand en ressources de calcul, mémoire



- **Comparaison**

- Positionnement relatif \Rightarrow dérives d'erreur non bornées
- Reconnaissance de repères et *model matching* \Rightarrow systèmes coûteux en ressources
- Systèmes hybrides

Identification de cellule (Cell-ID)

• Principe:

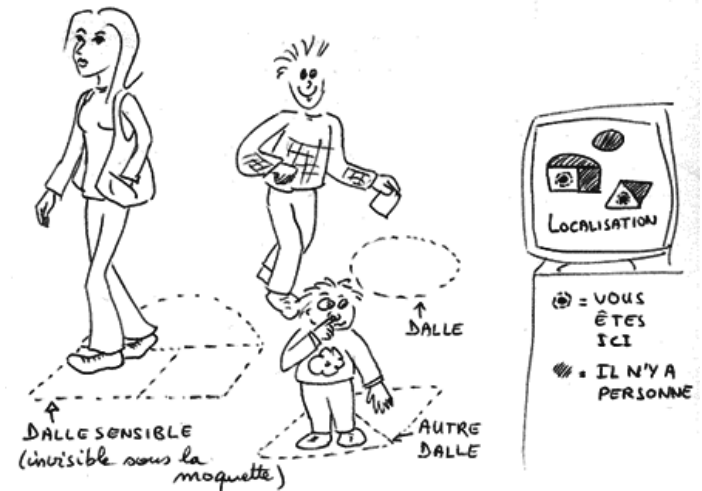
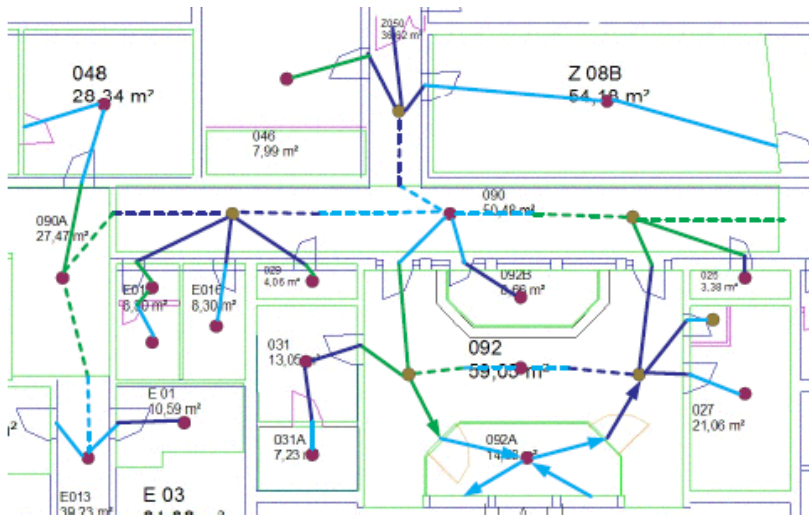
- Le réseau mobile effectue un pavage de l'espace. Le dispositif mobile est repéré en fonction de la cellule sollicitée.

• Intérêt:

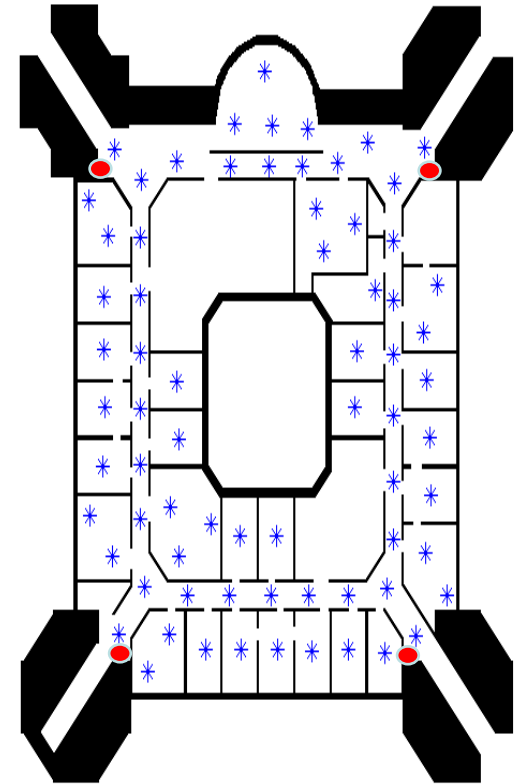
- L'opérateur connaît en temps réel quelle cellule est sollicitée
- Utilisation pour du zonage ou du suivi à distance

• Précaution:

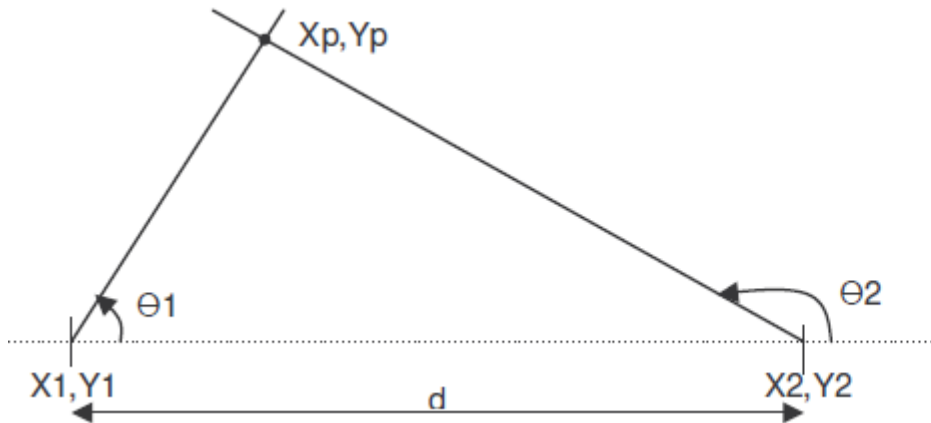
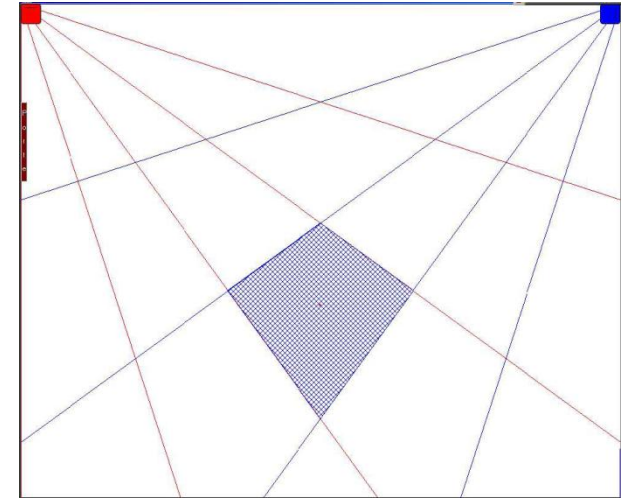
- La densité des cellules impose la précision



- **Principe:**
 - La pièce est reconnue par comparaison de la mesure actuelle avec les mesures stockées dans une base de données préalablement établie
- **Intérêt:**
 - simplicité
- **Précautions:**
 - Campagne de mesure préalable
 - Le canal peut évoluer au cours du temps

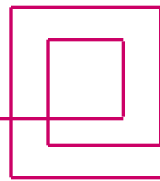


- **Principe:**
 - basée sur la mesure d'angles
- **Intérêt:**
 - simplicité de la mise en œuvre
- **Précaution:**
 - Techniques de DoA (multi-capteurs)

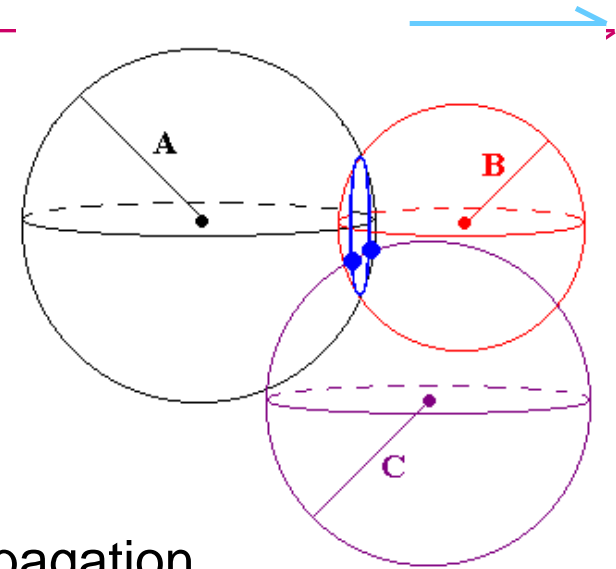
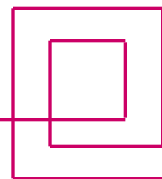


Les équations de triangulation Eq (1) sont les suivantes :

$$\begin{cases} X_p = X_1 + \frac{d \cdot \tan(\theta_2)}{\tan(\theta_2) - \tan(\theta_1)} \\ Y_p = Y_1 + \frac{d \cdot \tan(\theta_2) \cdot \tan(\theta_1)}{\tan(\theta_2) - \tan(\theta_1)} \end{cases} \quad \text{Eq (1)}$$



- **Principe:**
 - Orientation d'un réseau d'antennes dans la direction d'un maximum de rayonnement
 - L'orientation peut être mécanique ou électrique
- **Intérêt:**
 - Mise en oeuvre de techniques de diversité spatiale
- **Précaution:**
 - Une très grande précision est requise dans le cas d'ondes électromagnétiques



• Principe:

- Basée sur la mesure de distance
- Distances can be measured through:
 - Temps de vol (TOF)
 - Mesure de déphasage
 - Puissance du signal reçu + modèle de propagation

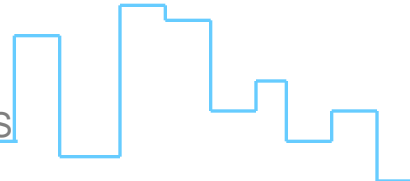
• Intérêt:

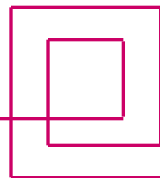
- Positionnement absolu

$$\begin{aligned}(x_m - x_a)^2 + (y_m - y_a)^2 &= l_{am}^2 \\(x_m - x_b)^2 + (y_m - y_b)^2 &= l_{bm}^2 \\(x_m - x_c)^2 + (y_m - y_c)^2 &= l_{cm}^2\end{aligned}$$

• Précautions:

- Attention à la polarisation en cas d'onde électromagnétique
- Sensibilité du récepteur aux multitrajets \Rightarrow récepteurs Rake





Temps de vol / d'arrivée (ToF / ToA)

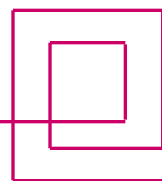
- **Principe:**

- Connaissant la vitesse de propagation, il suffit de connaître le temps le départ du signal et le temps d'arrivée au récepteur
- On mesure l'aller-retour si les horloges ne sont pas synchronisées



- **Précautions:**

- Émetteur et récepteur doivent être parfaitement synchronisés
- Nécessité d'une électronique très rapide dans le cas de la propagation d'ondes électromagnétiques (1 cm/33 ps in air).
- Nécessité d'une ligne de vue directe



Temps d'arrivée différentiel (TDOA)

- **Principe:**

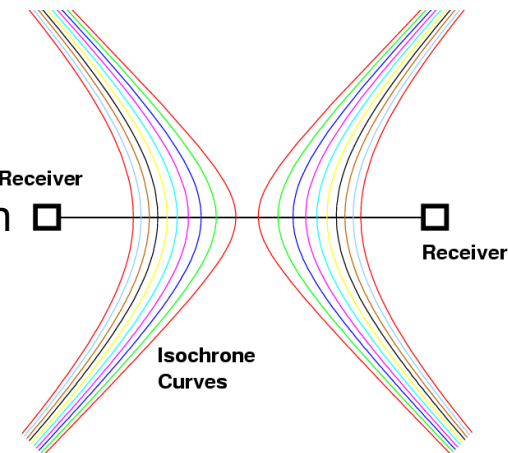
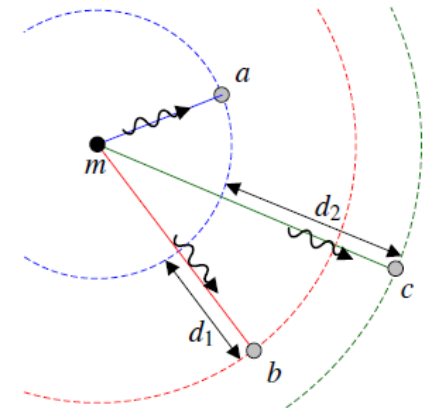
- Connue sous le terme de localisation hyperbolique
- *Plusieurs émetteurs synchronisés émettent. Le récepteur mesure toutes les différences de temps d'arrivée*
- Les courbes isochrones sont des hyperboles ($\Delta d = v / \Delta t$)
- L'intersection de ces hyperboles fournit la position

- **Intérêt:**

- Les mesures TDOA ne dépendent pas de l'origine des temps

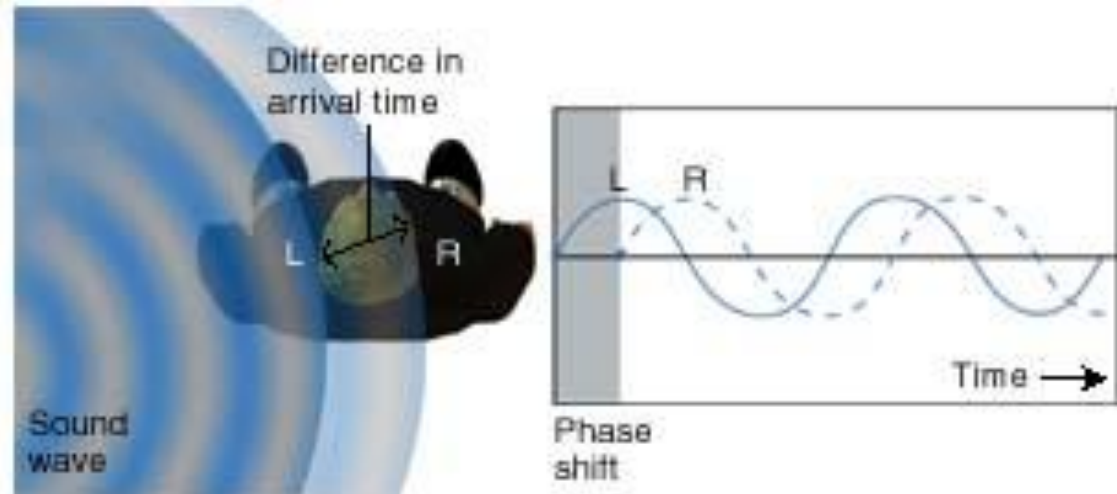
- **Précautions:**

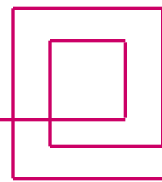
- Synchronisation de toutes les unités de référence
- La solution n'est pas unique
- Information supplémentaire requise pour lever l'indétermination
- Le système peut être linéarisé (séries de Taylor)



Time Difference of Arrival Emitter Location
MÉTHODES

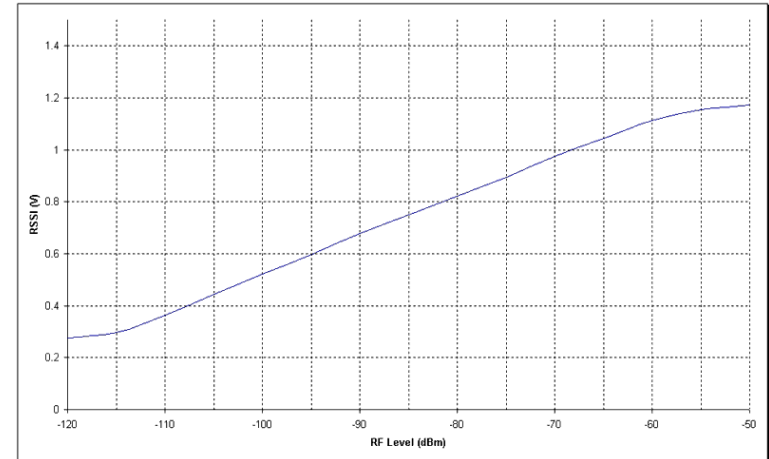
- **Principe:**
 - Le milieu est supposé homogène (vitesse de propagation constante)
 - Les signaux émis et reçus sont auto-corrélés
- **Intérêt:**
 - La différence de phase est proportionnelle à la distance : $d = v.T.\Phi/2\pi$
- **Précaution:**
 - $d < v.T$





Received Signal Strength Information RSSI

- **Principe:**
 - Plus l'émetteur est éloigné, plus la puissance du signal reçu est faible
- **Intérêt:**
 - Aucun besoin de synchronisation
- **Précaution:**
 - La distance n'est pas linéaire avec la puissance du signal reçu
 - Effets des multi-trajets
 - Nécessité de bons modèles de propagation
 - L'effet de charge d'un tag RFID passif est incompatible avec la mesure de distance



- Réseaux de neurones (ANNs) :

- Permet de prédire la localisation d'un objet
- Permet de minimiser l'erreur quadratique moyenne durant la période d'apprentissage

- Filtrage particulaire

- Le lecteur est embarqué sur le robot
- 28 à 80 transponders sont fixés sur les murs et des cibles
- 1000-3000 acquisitions
- Trouver une fonction coût qui maximise la probabilité de trouver le robot à un endroit donné

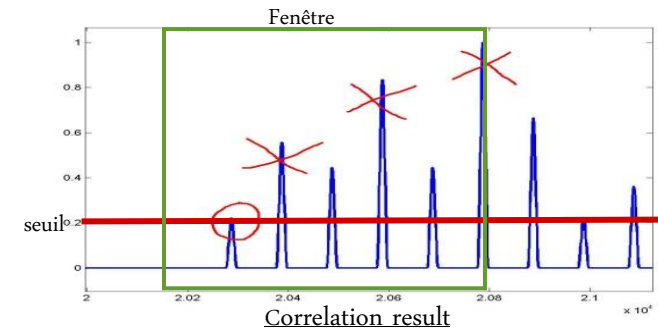


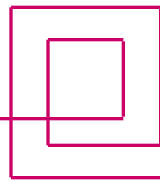
- Pré-filtrage

- Recherche de pics significatifs pour éliminer le bruit

- Prédiction et limitation du bruit:

- Filtrage de Kalman
- Filtrage Particulaire





- **Milieu indoor complexe**
 - Canal dépendant
 - de la géométrie du lieu
 - De la nature des matériaux
 - Canal évoluant dans le temps
- **Diversité de techniques de localisation**
 - Pertinence pour des scénarii spécifiques
 - Limite des techniques imposées
 - Technologie
 - Réglementations
 - Aspects sanitaires et éthiques (vie privée)

⇒ Fusion des méthodes / technologies

⇒ Algorithmes augmentant la robustesse