

Robust pedestrian navigation for challenging applications



***Workshop LCPC: Localisation précise
pour les transports terrestres***

Paris, 16 juin 2009

Valérie Renaudin

Pierre-Yves Gilliéron

Ecole Polytechnique
Fédérale de Lausanne

Laboratoire de Topométrie

Problématique

- Un statut ambigu

- Dimension essentielle dans la mobilité des personnes, mais enjeu secondaire dans l'organisation des déplacements
- Le piéton est vulnérable et l'accès aux espaces publics reste problématique pour les personnes handicapées

Les choses changent...lentement

- Les initiatives de mobilité durable se multiplie et la notion de mobilité douce devient une réalité

Problématique

- **Caractéristiques de la marche**
 - Elle n'a rien de technique
 - C'est un moyen de déplacement simple
 - Elle permet une grande souplesse de déplacement
 - Elle est associée à de multiples activités
 - Elle est liée à une expérience multisensorielle
 - Elle résulte de l'influence des forces physiques
- **Questions**
 - Place de la technologie vs simplicité ?
 - Rôle de la technologie vs capacité du piéton ?

Problématique

- Performances critiques des systèmes
 - Radio navigation
 - Environnements urbain et intérieur: hostiles à la propagation des signaux
 - Faible disponibilité du signal
 - Le corps humain eut faire écran à la propagation
 - Risque élevé d'interférences
 - Infrastructure
 - Les bâtiments et infrastructures: utopie de prévoir un équipement spécifique à la navigation
 - Selon les applications, il est nécessaire d'être indépendant d'une infrastructure (ex. urgences, pompiers)
 - Précision
 - Exigences élevées compte tenu de l'environnement construit
 - Disponibilité de données cartographiques

Exigences de Navigation

- **Pompiers**

- Environnement

- Zone (urbaine) restreinte
- Construit, intérieur
- Plusieurs niveaux
- Perturbé et dégradé

- Situation

- Urgence
- Terrain/bâtiment pas connus a priori
- Déplacement en équipe et liaison avec un chef
- Déplacements relativement courts (50-200m)
- Orientation par rapport au bâtiment
- Localisation relative des membres de l'équipe



Exigences de Navigation

Pompiers: fonctions principales « Fil d'Ariane »

- Localiser une équipe dans un bâtiment/pièce
- Déterminer la posture d'une personne
- Guider la personne vers une sortie
- Se déplacer dans un environnement sans visibilité

Performances attendues

- Précision
 - Horizontal: 1 à 3m (largeur d'un couloir) , fréquence 1Hz
 - Vertical: Identification de l'étage
- Intégrité
 - Haute: typique des applications d'urgence et secours
 - Une posture immobile après 30s déclenche une alarme
 - Système autonome de navigation, indépendant d'une infrastructure

Exigences de Navigation

- Personnes malvoyantes

- Environnement

- Urbain, grands complexes (bâtiments, transports)
- Multimodal (transports publics)
- Sensoriel (bruit, odeurs, température)
- Sécurisé ou dangereux

- Situation

- Parcours connus, effectués quotidiennement
- Exploration de nouvelles zones
- Apprentissage, ergothérapie
- Degré de handicap et capacité de locomotion très variables



Exigences de Navigation

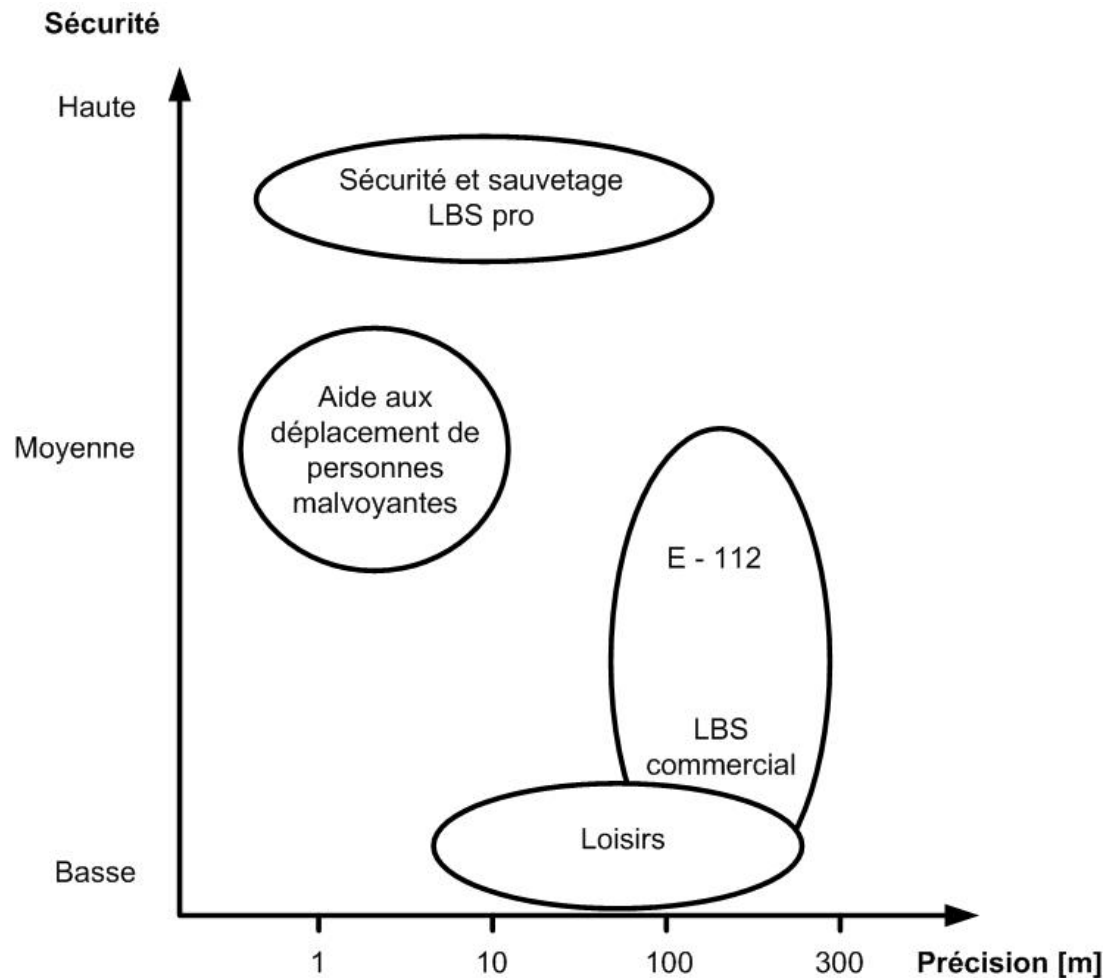
Personnes malvoyantes: fonctions principales « Guide virtuel »

- Se localiser par rapport à des points d'intérêt ou de décision
- Découvrir/apprendre un nouvel itinéraire
- S'orienter dans un grand espace (hall de gare)
- Localiser et être averti des dangers principaux

Performances attendues

- Précision
 - Horizontal: variable suivant les situations
 - 1 à 3m (largeur d'un trottoir), fréquence: variable
 - Orientation:
 - Guidage durant le trajet: qq degrés
 - Personne à l'arrêt: 20 degrés (localiser un POI dans une certaine direction)
- Intégrité
 - **Moyenne**: typique des applications d'aide à la navigation
 - Le système de navigation vient en **appuis aux méthodes classiques** d'aide à la locomotion (canne, bande rugueuse, écholocation,...)

Exigences de Navigation



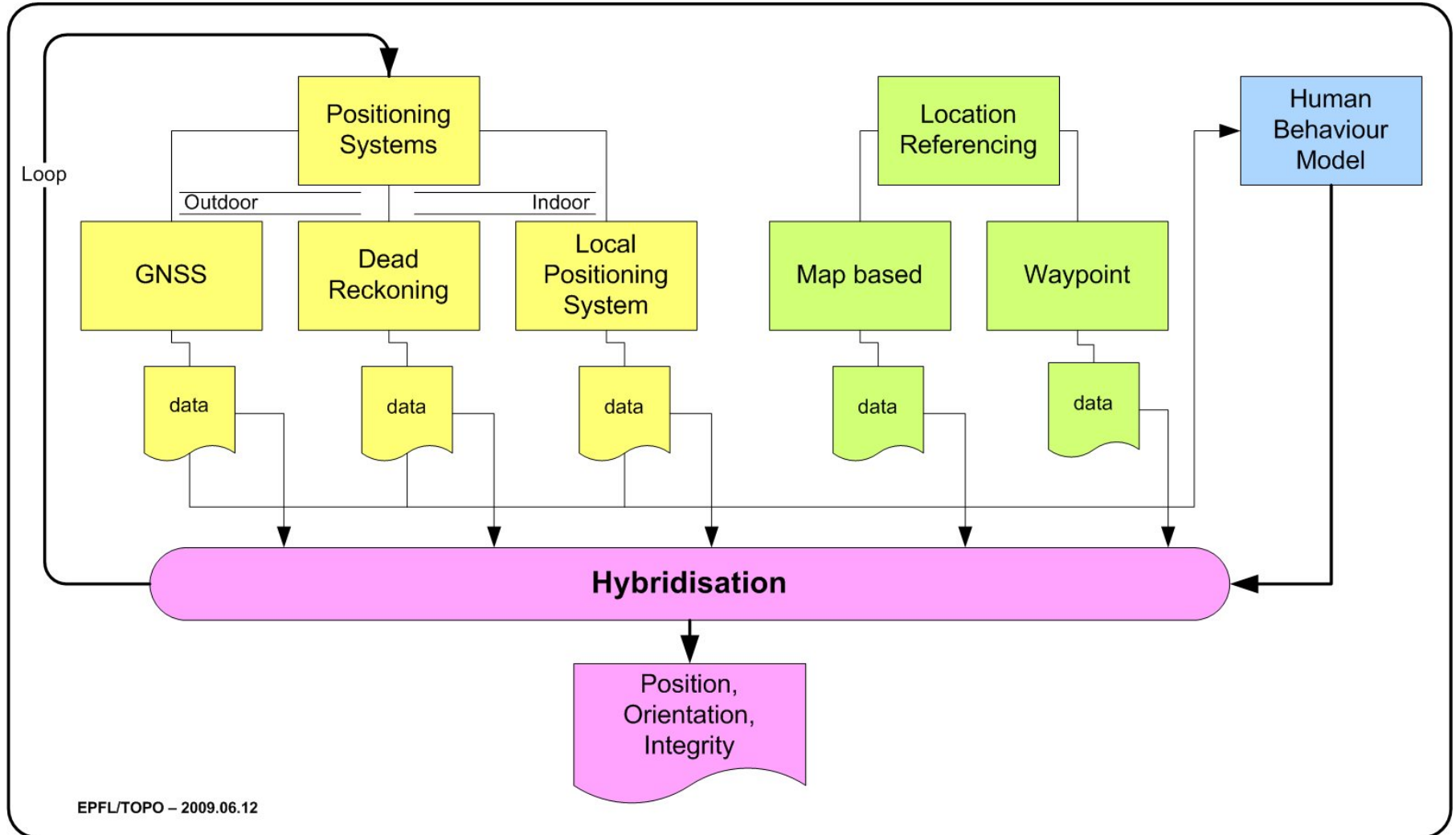
Concept de navigation

- Réponse technologique adaptée face aux exigences du domaine d'applications

- **Éléments clés**

- Recours à une référence spatiale absolue
- Hybridation de technologies complémentaires afin d'augmenter la disponibilité
- Association à des modèles de mouvements spécifiques à la marche du piéton

Concept de navigation



Concept de Navigation

Utilisation d'une référence spatiale

- Environnements urbains et intérieurs
- Développement croissant de la cartographie
 - Modèles spécifiques au déplacement des piétons
- Emplacements caractéristiques pour le recalage du système de navigation
- Association de la position à des contenus
 - Location Based Services (LBS)

Concept de Navigation

Hybridation de technologies complémentaires

- Combinaison de sources de données non corrélées
 - Positions, orientation
 - Accélération, Vitesse, distance parcourue
- Typologie de systèmes
 - Dépendant d'une infrastructure (radio)
 - Autonomes ou embarqués (capteurs MEMS)

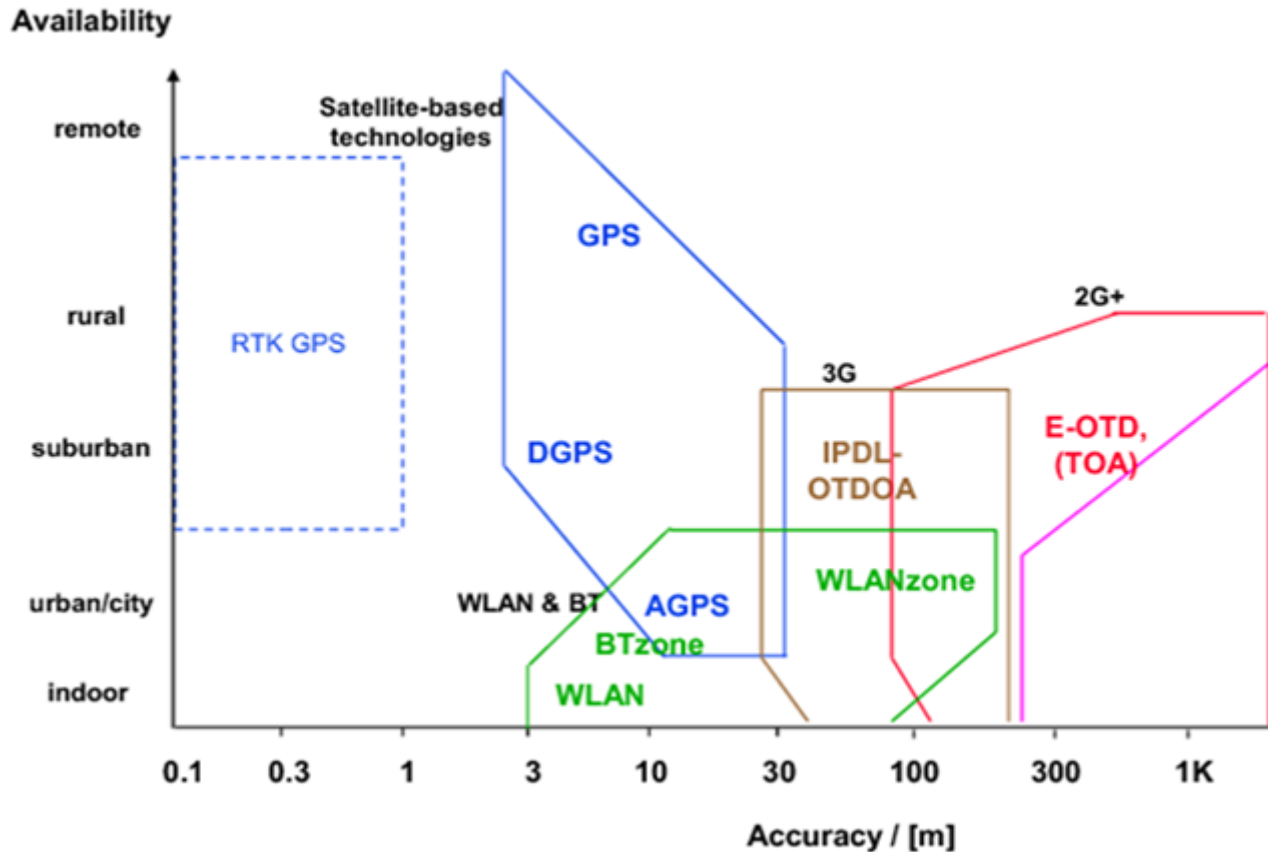
Comparaison des méthodes de localisation utilisée en indoor

- Technologie
- Méthode
- Précision
- Avantages
- Limites

| Technology | Processing | Accuracy | Advantages | Limitations | Network based | Independent |
|----------------|--------------------------|---|--|--|---------------|-------------|
| RFID Bluetooth | Cell identity | Relative to the cell size (10 - 20 m) | Simple and compatible with existing handset | Number and size of the cells | ✓ | |
| WiFi | AOA | up to 100 m | 2 AP provide a position | <ul style="list-style-type: none"> - Multipath - Range to the AP - AP antenna quality | ✓ | |
| | TOA | 1 - 50 m | High accuracy | <ul style="list-style-type: none"> - Multipath - Clock offset between handset and AP | ✓ | |
| | TDOA | 1 - 50 m | <ul style="list-style-type: none"> - High accuracy - No clock offset | <ul style="list-style-type: none"> - Multipath - Network synchronisation | ✓ | |
| | RSS | Propagation modelling: ~ 10m Fingerprinting: 1-5 m | <ul style="list-style-type: none"> - High accuracy - Compatible with existing hardware | Creation of RSS database or propagation models | ✓ | |
| UWB | AOA | Few decimetres | Only 2 AP provide already a position | <ul style="list-style-type: none"> - Range to the AP - AP antenna quality | ✓ | |
| | TDOA | Few decimetres | High accuracy | <ul style="list-style-type: none"> - Low emission power - High AP density | ✓ | |
| A-GNSS | Network assisted ranging | up 5 m | Improved time to first fix (TTFF) and signal tracking sensitivity. | <ul style="list-style-type: none"> - Multipath - Not working in deep indoor | ✓ | ✓ |
| MEMS | Dead reckoning | 5% of travelled distance | <ul style="list-style-type: none"> - Autonomous system - Position always available | Large errors (drift and bias) typical of these sensors affect the accuracy | | ✓ |

Source: EPFL, Renaudin V., Indoor Navigation of Emergency Agents, European Journal of Navigation, 2007

Concept de Navigation



Réponses technologiques

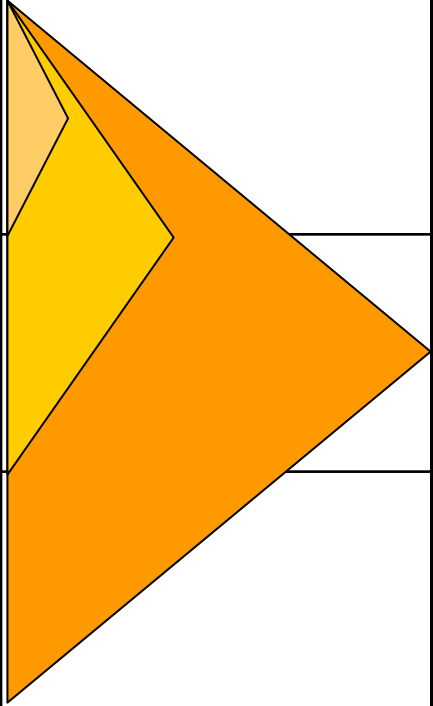
- Systèmes de radiolocalisation: précision vs environnement et disponibilité
- **Systèmes dépendants d'une infrastructure**

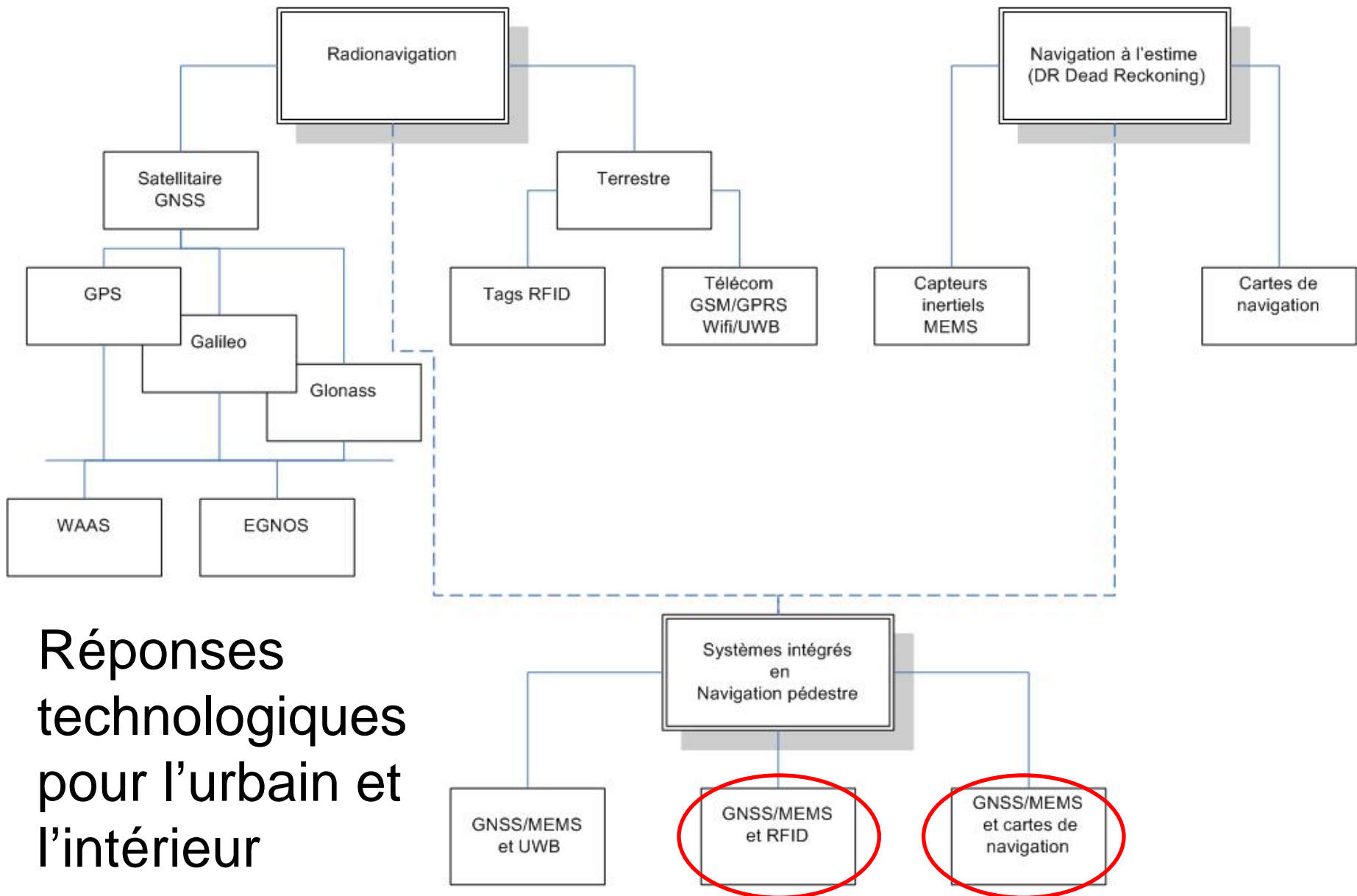
Concept de Navigation

Modèles de mouvements spécifiques

- Description des cycles de marche du piéton (biomécanique)
- Identification de paramètres: vitesse max, accélération, force centripète,...
- Recherche de **conditions limites**
 - Le piéton ne peut pas changer rapidement de position ou de vitesse
 - L'accélération est nulle sur un court laps de temps
- Equations de conditions permettant le filtrage d'observations

Concept de Navigation

| Hybridation | Référence spatiale | Mouvements spécifiques | Autonomie |
|---------------|--------------------|------------------------|--|
| MEMS (estime) | ✗ | ✓ |  |
| RFID | ✓ | ✗ | |
| Carte | ✓ | ✗ | |

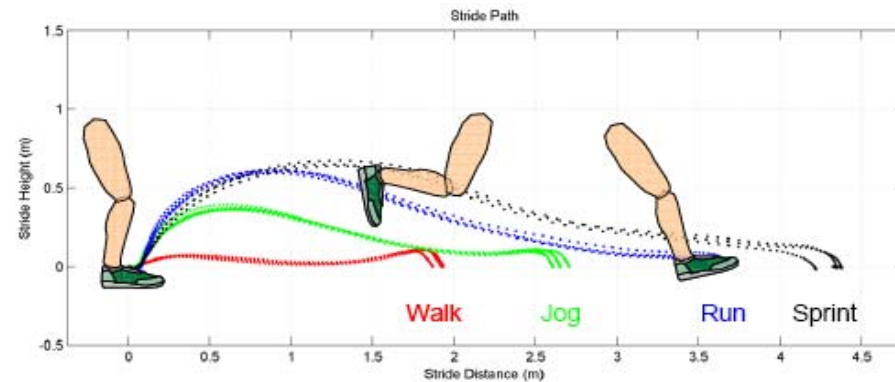
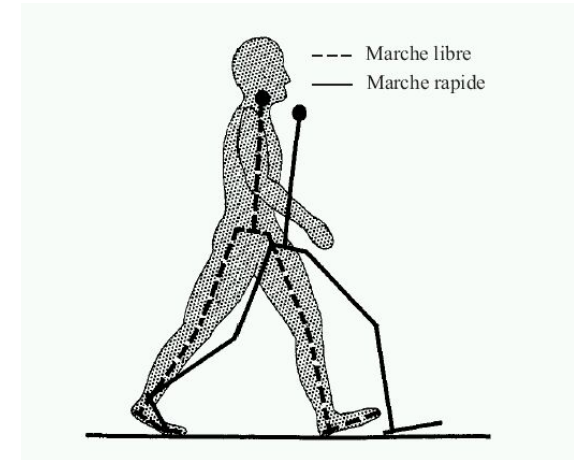


Réponses technologiques pour l'urbain et l'intérieur

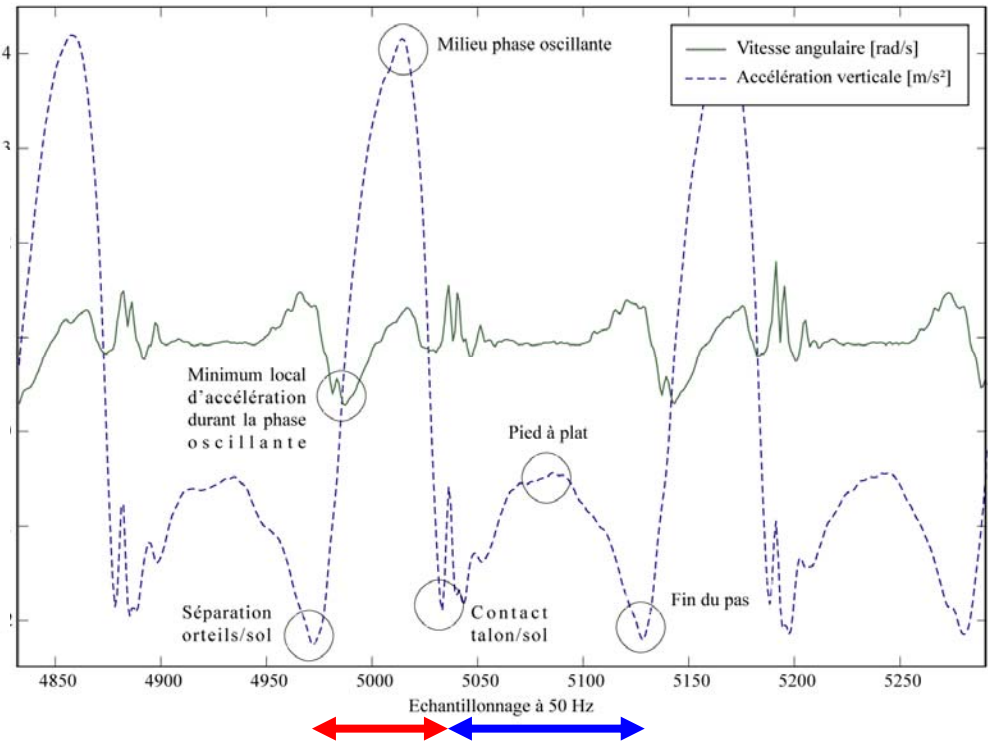
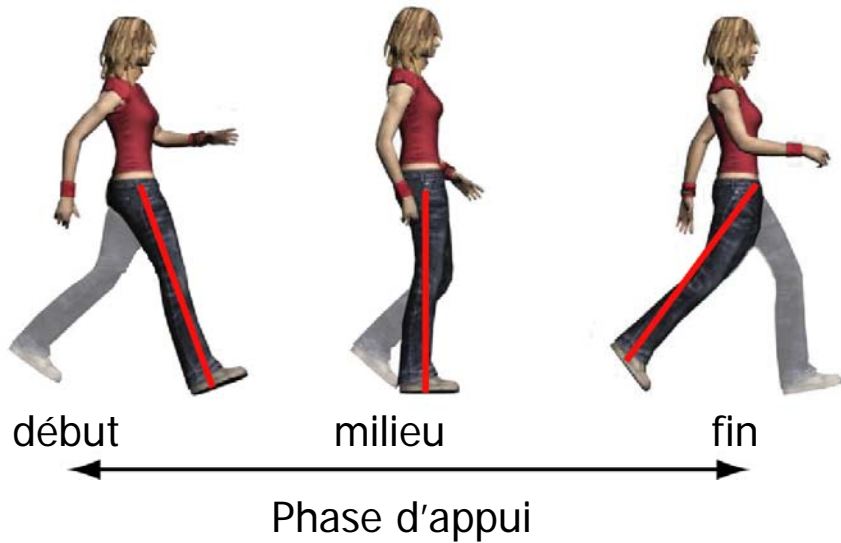
MEMS: Principe

Principe

- Typologie de la marche
- La gravité induit des mouvements spécifiques
- Identification des forces principales
- Architecture matérielle: MEMS
 - Mono capteur ou distribuée
 - Accéléromètres
 - Capteurs magnétiques
 - Gyromètres
- Approche
 - Détection des pas
 - Distance parcourue
 - Orientation du trajet
 - Détection de postures particulières



MEMS: Biomécanique de la marche

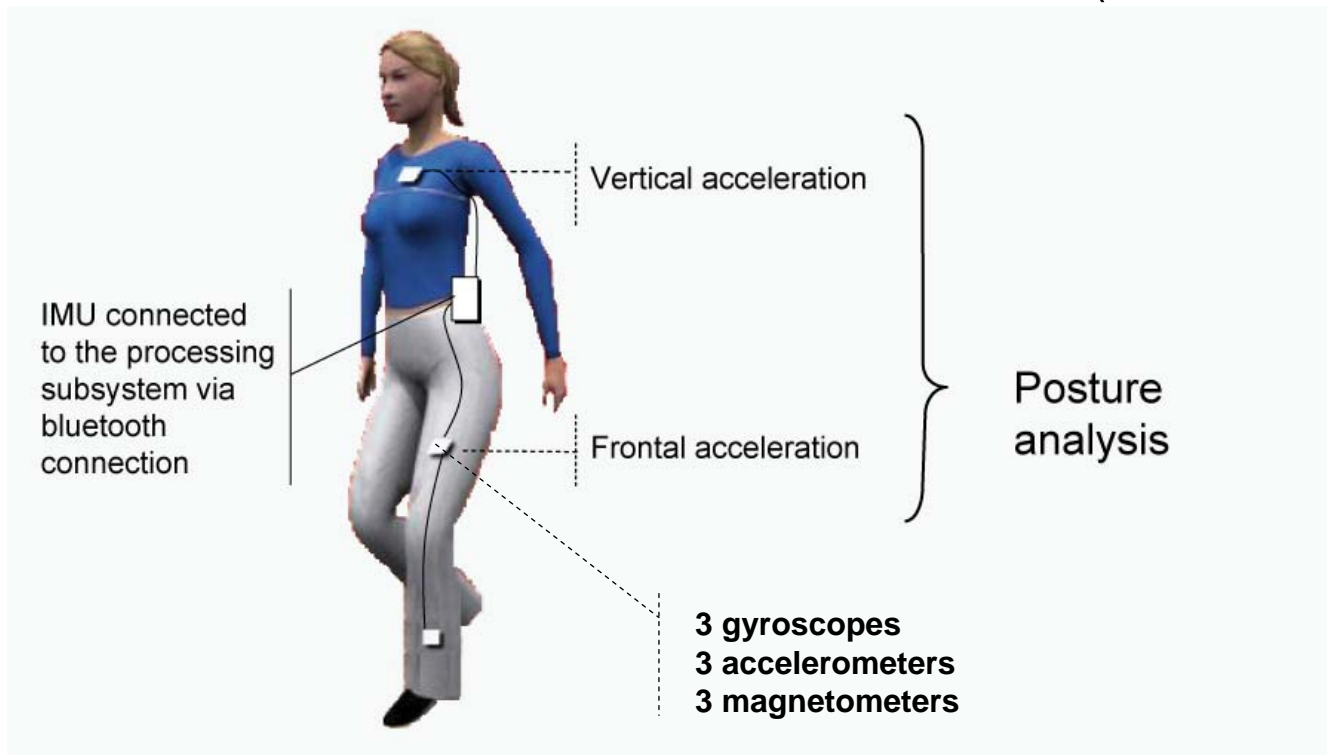


Phase oscillante Phase d'appui

- Analyse des signaux accélérométriques
- Variation de la vitesse angulaire

MEMS: Architecture distribuée

- Analyse de la posture
 - Approche distribuée
 - Debout, assis, couché
- Aspects sécuritaire pour le pompier
 - Déclenchement d'une alarme en cas de posture immobile (couché, assis)



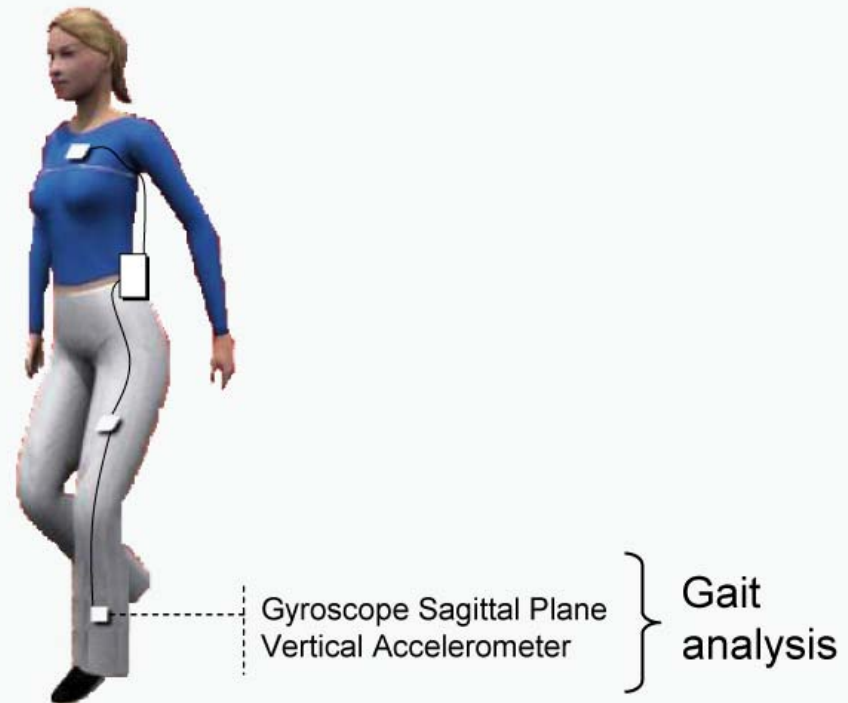
MEMS: Architecture distribuée

- **Analyse de l'allure**

- Classification par logique floue
- Marche en avant, montée d'escaliers, descente d'escaliers (en avant ou à reculons)

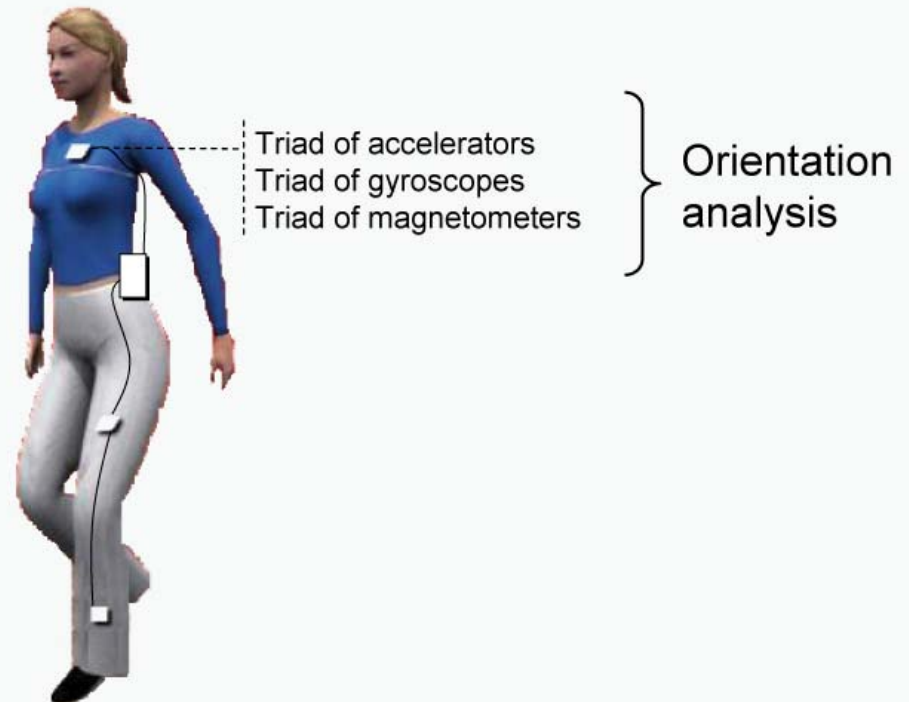
- **Déplacements**

- Estimation indirecte des déplacements horizontaux et verticaux provenant des capteurs inertiels
- Relation entre variance/fréquence des accélérations et la longueur des pas



MEMS: Architecture distribuée

- Analyse de l'orientation
 - Filtre de Kalman adaptif étendu
 - Signaux accélérométriques et des magnétomètres complétés de l'orientation dérivée des gyroscopes
 - Réponse adaptive sous différentes conditions dynamiques et selon les perturbations magnétiques



MEMS: Bilan

- ✓ Système indépendant de toute infrastructure
- ✓ Plusieurs possibilités de montage des capteurs
- ✓ Très bonne estimation de la distance parcourue
- ✓ Possibilité de détection de postures/activités

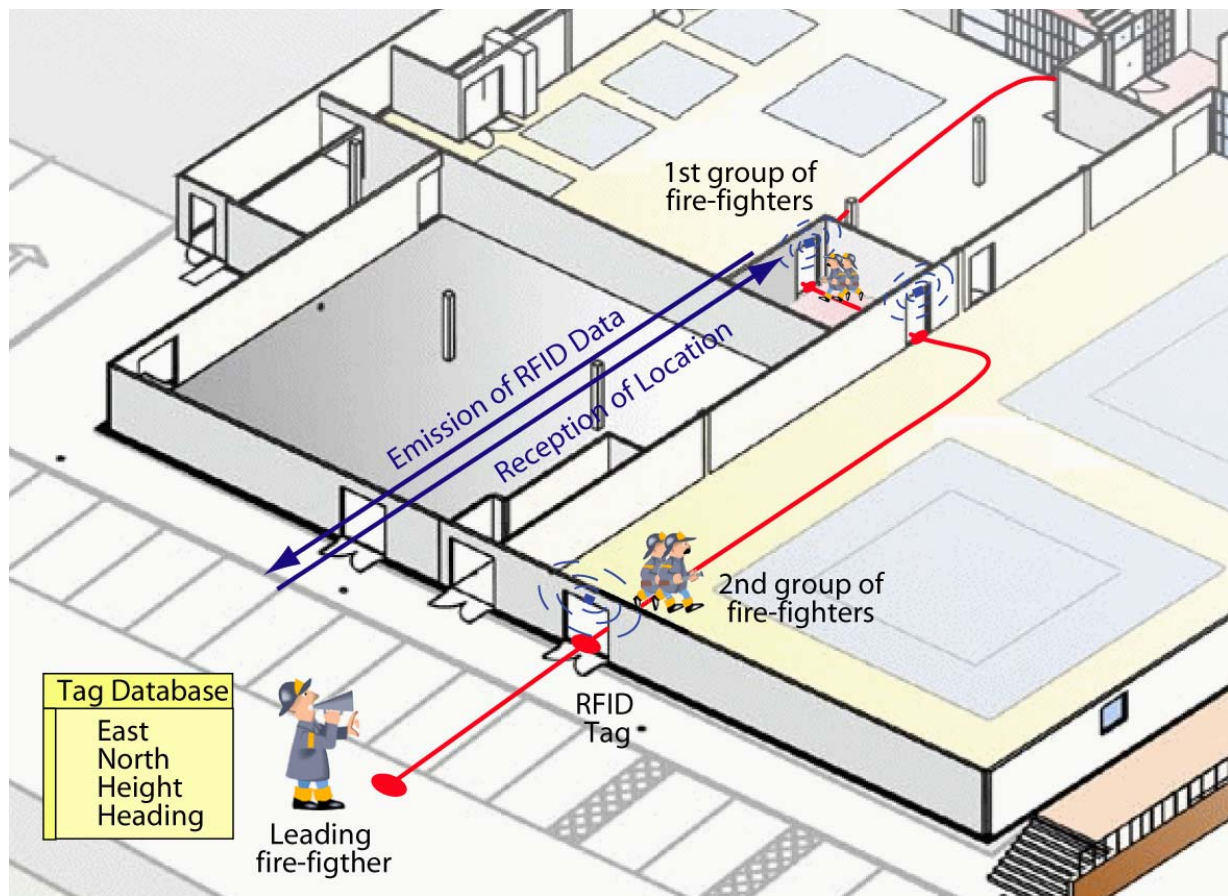
- ✗ Erreurs grossières typiques des MEMS
drift, bias, scale factor
- ✗ L'erreur de position croît à chaque pas
- ✗ Nécessité de recalibrer périodiquement les capteurs



MEMS + tags RFID

- **Concept de localisation**

- Placement de tags RFID le long du parcours à des endroits stratégiques (porte)
- Les coordonnées de tags RFID sont connues (BD bâtiment) et l'orientation du trajet au droit du tag
- Les capteurs MEMS estime le parcours qui est périodiquement recalé aux passages des tags RFID



MEMS + tags RFID

Extended Kalman Filter

Process

MEMS

 s, θ

$$\begin{aligned}\dot{E} &= \lambda \cdot s \cdot \sin(\theta + \delta\theta) \\ \dot{N} &= \lambda \cdot s \cdot \cos(\theta + \delta\theta) \\ \dot{Z} &= \Delta Z \\ \dot{\lambda} &= w_\lambda \\ \dot{\delta\theta} &= -\beta_{\delta\theta} \delta\theta + w_{\delta\theta}\end{aligned}$$

 $\mathbf{x} =$

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ Z \\ \lambda \\ \delta\theta \end{bmatrix}$$

Measurements

RFID

$$\theta_{\text{MEMS}} + \delta\theta$$

$$[E \quad N \quad Z]$$

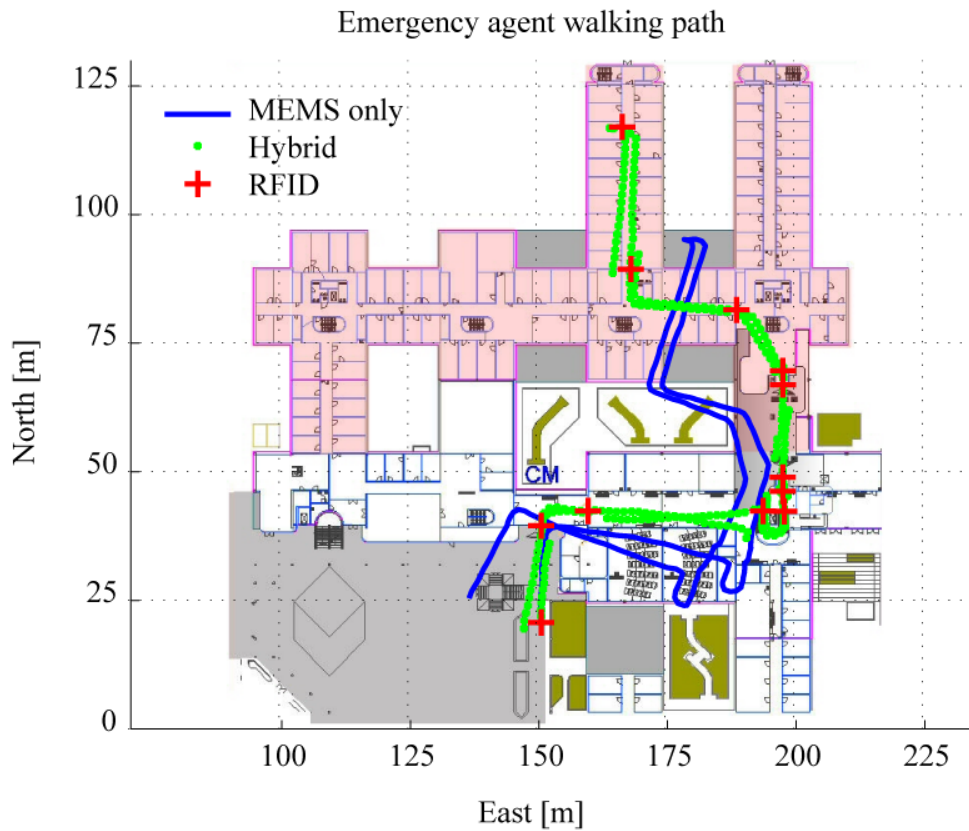
$$\theta \pm 180^\circ$$

$$\delta\theta = \theta_{\text{RFID}} - \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^{n_s} \theta_{\text{MEMS},i}$$

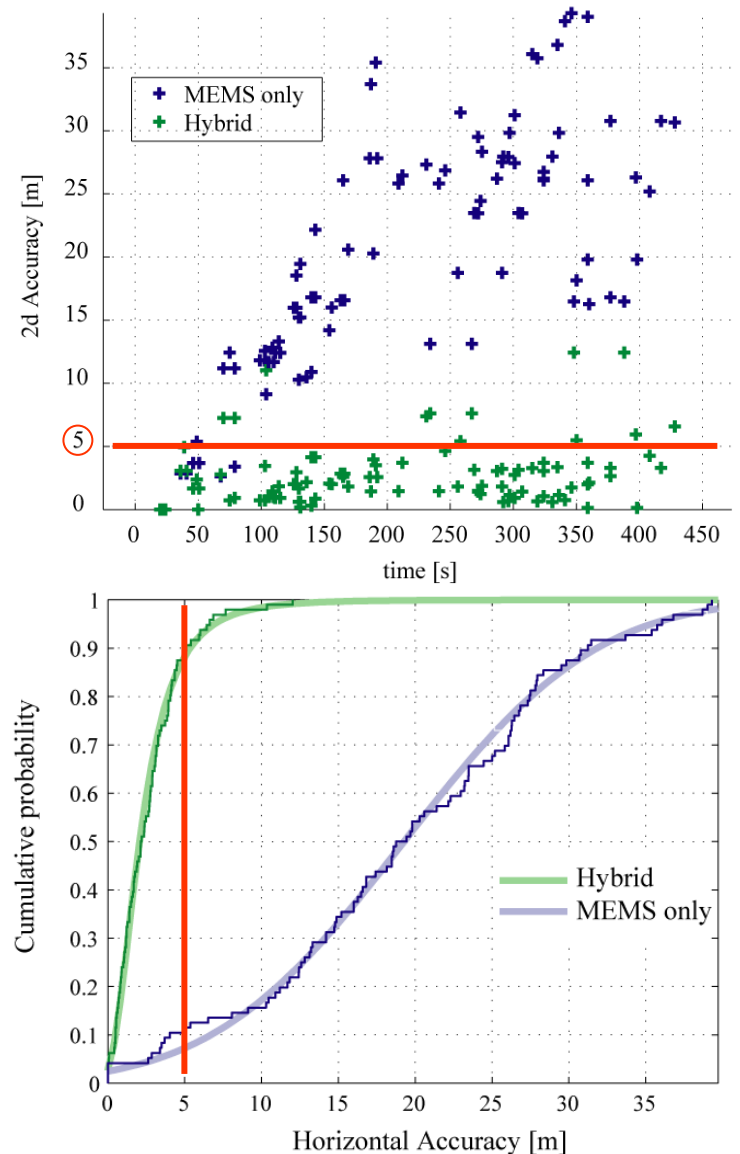
Schéma du principe de couplage

MEMS + tags RFID

Analyse de performance

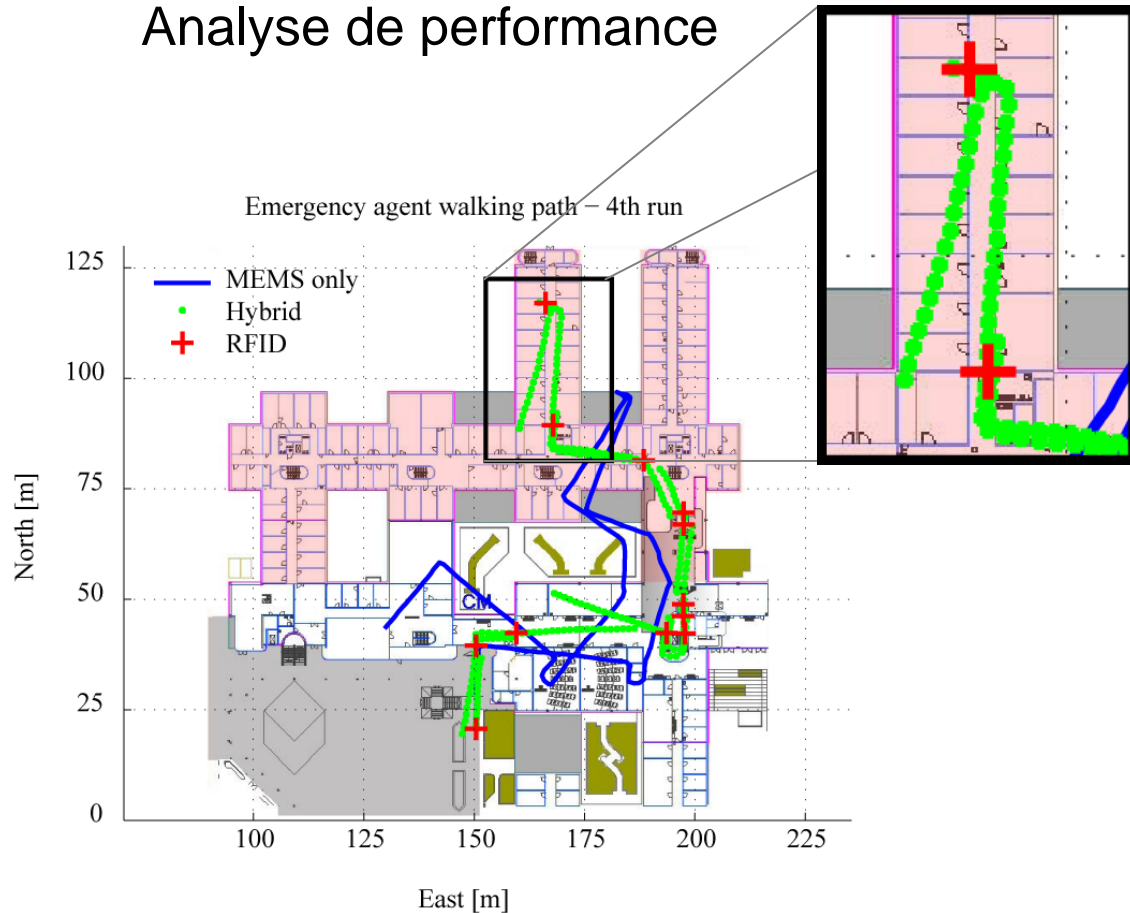


350 m, 7 min 30 sec, 2 étages



MEMS + tags RFID

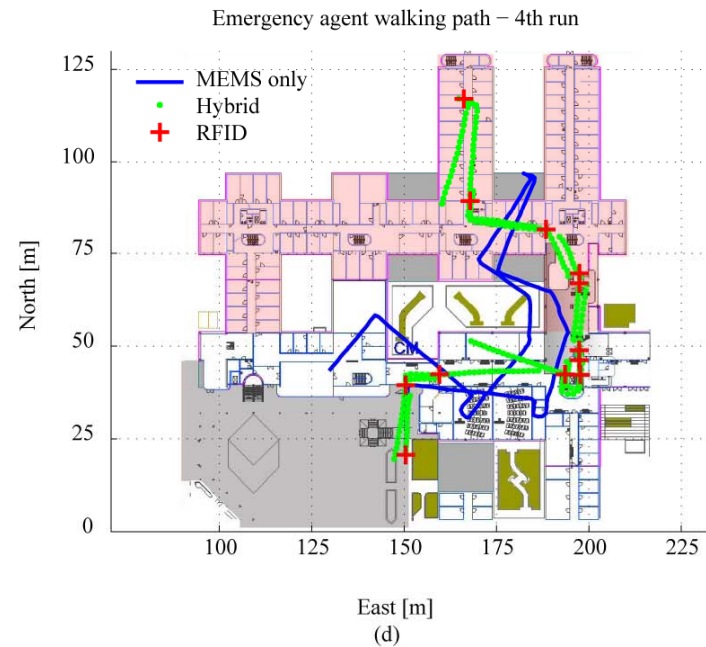
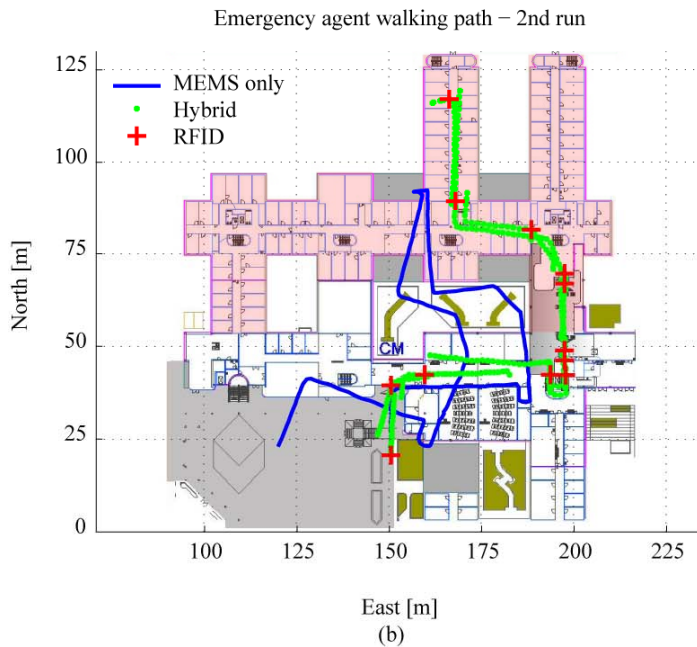
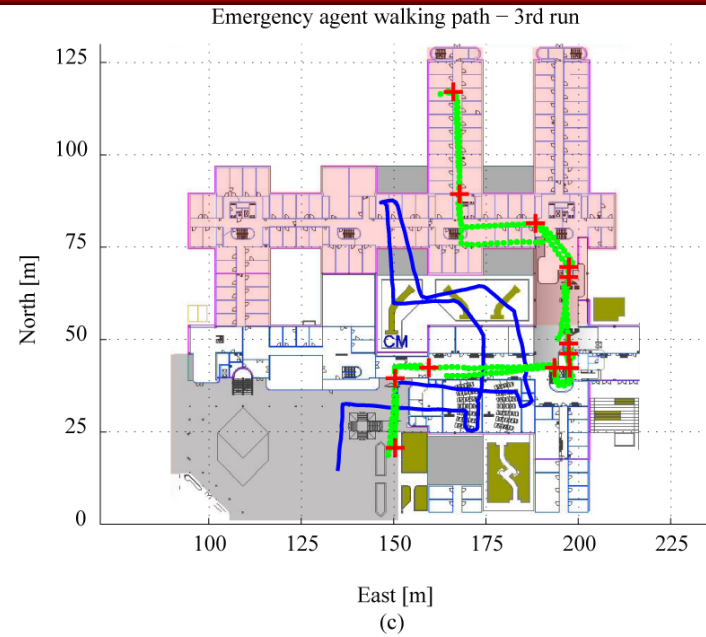
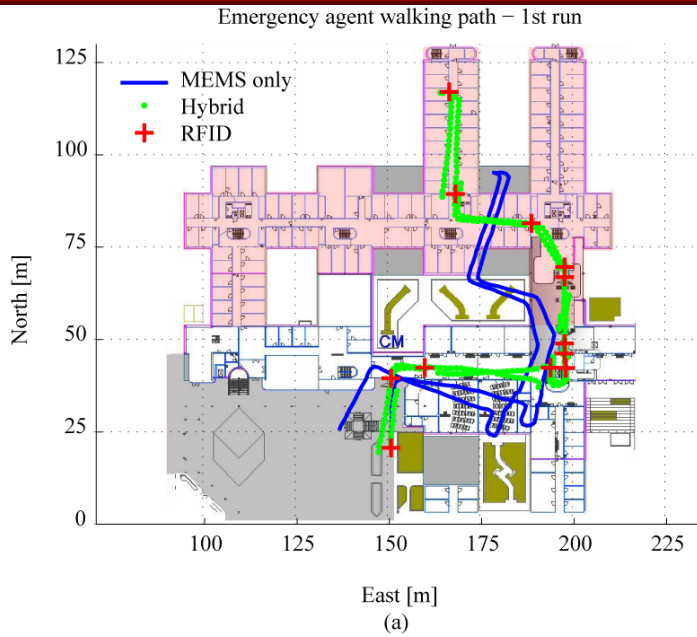
Analyse de performance



- Découplage des mises à jour des informations de position et de cap
- Problème rencontré: lorsque la personne tourne au droit d'un tag RFID
 - L'information d'orientation (cap) au droit du tag peut biaiser le calcul du trajet hybride

Précision inférieure à 5m

Placement de tags RFID chaque 20 à 40 m



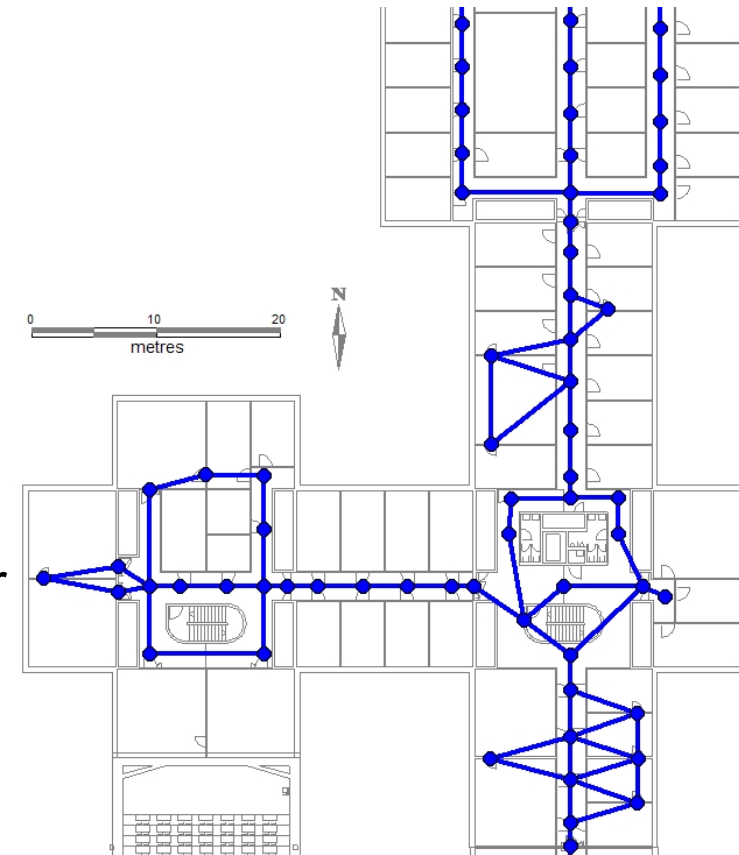
MEMS + tags RFID : Bilan



- ✓ Système simple et facile à déployer
- ✓ Ne dépend pas d'une installation pré-existante liée à l'infrastructure
- ✓ Robustesse (Points fixes)
- ✗ Nécessité de connaître les positions des tags
 - ✗ En principe, on peut s'appuyer sur les plans d'évacuation des bâtiments pour positionner les tags
- ✗ Difficile à déployer suivant la typologie des espaces construits (grande halle)

MEMS + Carte

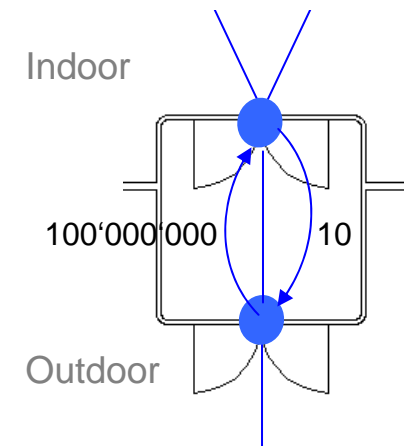
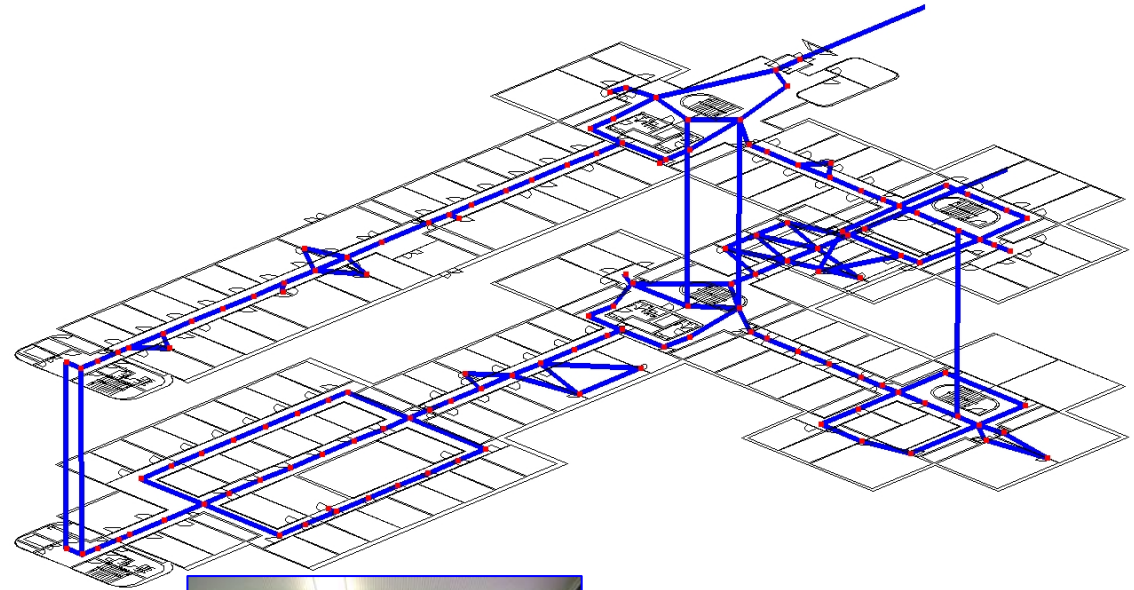
- La base de données cartographiques est nécessaire pour associer une position estimée à un contenu thématique (hall, local, escaliers,...)
- Construction d'un modèle de type **Nœud - Arête**
 - Avantage pour les applications de navigation
 - Principaux axes de circulation à l'intérieur des bâtiments
 - Portes représentées par leur projection ponctuelle sur l'axe central
 - Connexions extérieures entre les bâtiments



MEMS + Carte

Modèle de base

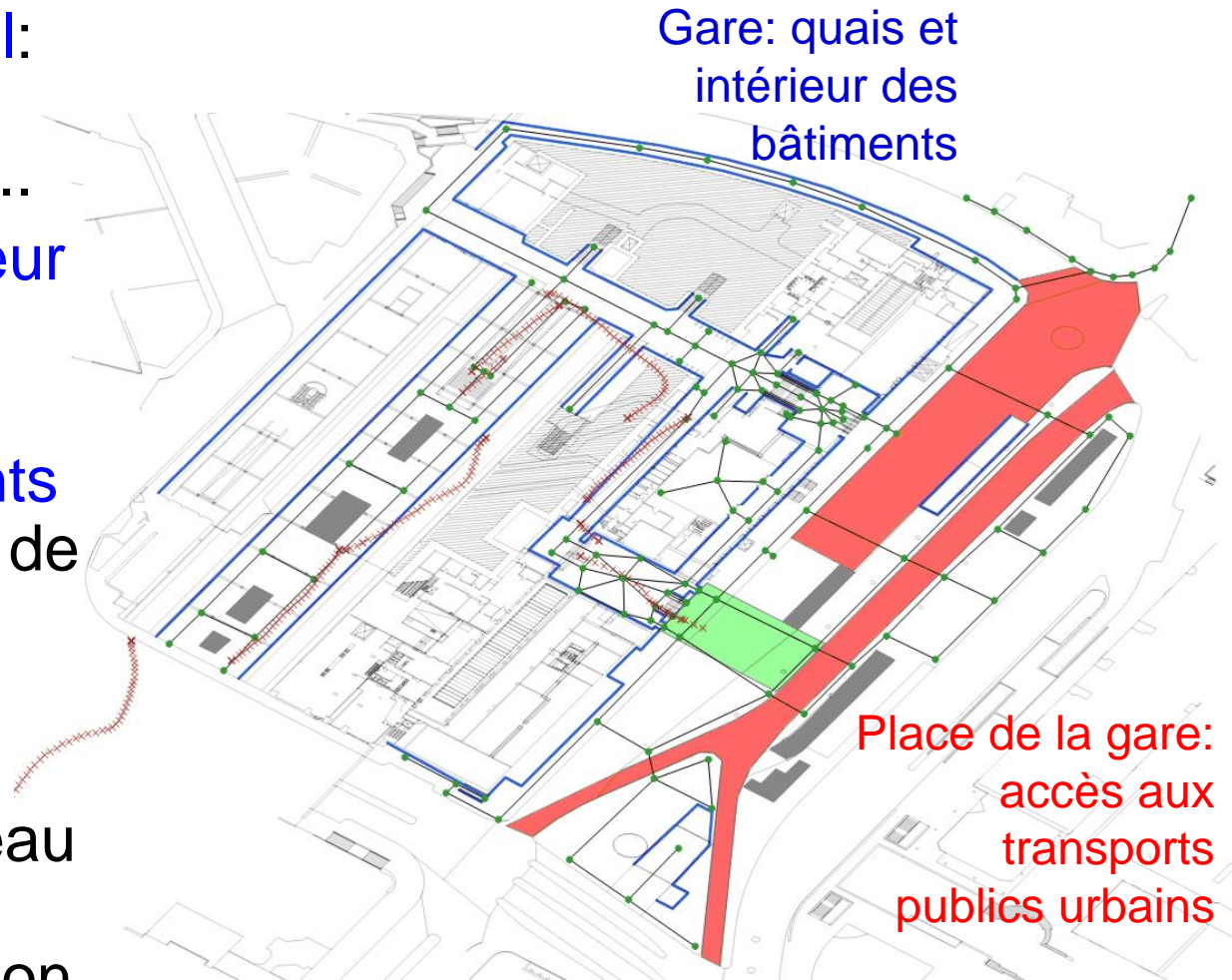
- Modèle 2D + liens verticaux
- Modélisation des escaliers et des ascenseurs
- Informations spécifiques sur l'accès à certains locaux
- Modèle développé pour le campus EPFL (aide à l'orientation, calculs d'itinéraires)



MEMS + Carte

Modèle spécifique

- Modèle **multimodal**: réseaux piéton, transports publics,...
- Connexions **intérieur et extérieur** des bâtiments
- Intégration de **points de repères**, zones de dangers,...
- Organisation en couches d'information: réseau de navigation, contexte, localisation



Modèle conceptuel de données

Réseau de navigation

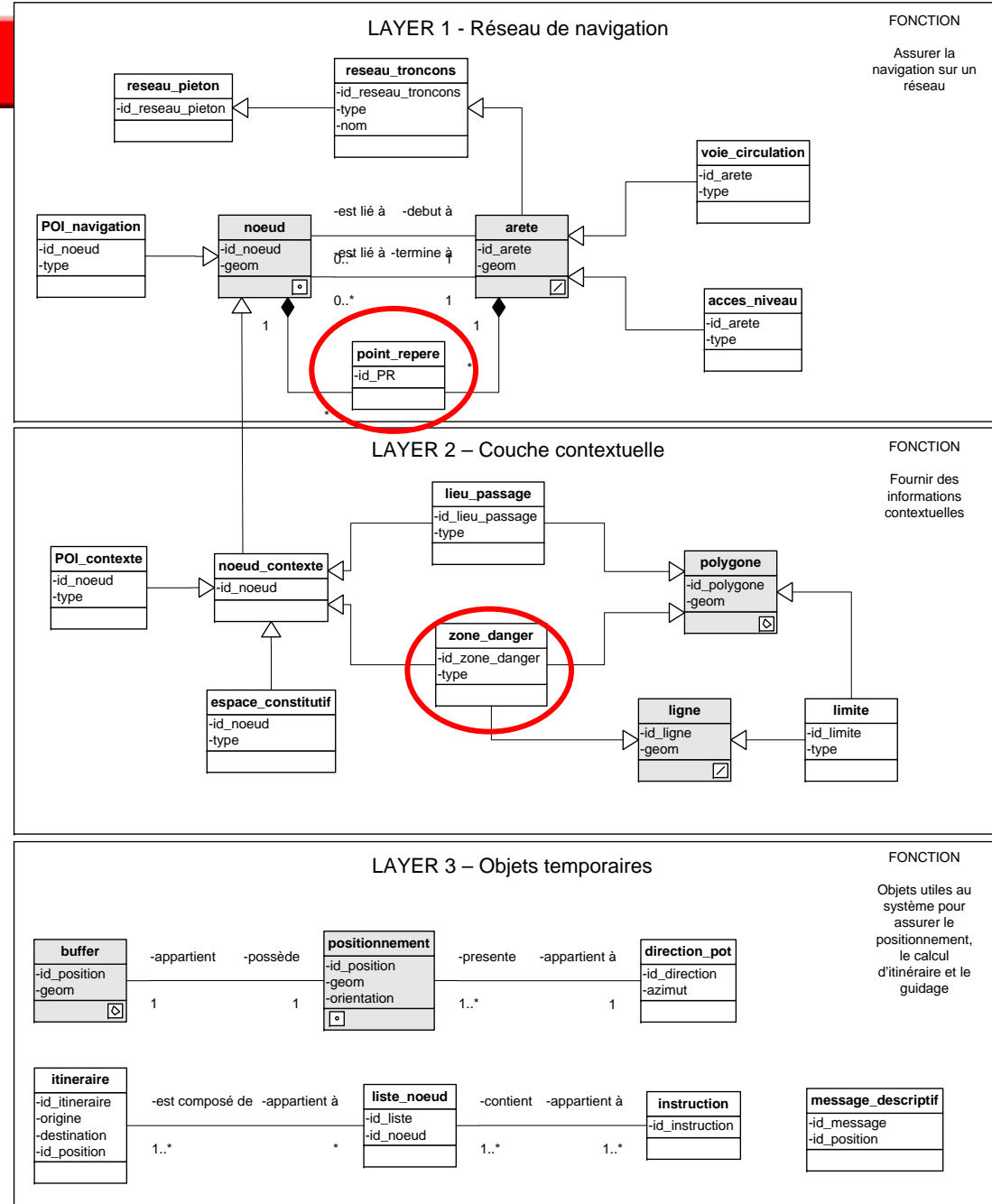
- Arête, nœuds
- POI
- Points de repère

Couche de contexte

- Passages fréquentés
- Zones de dangers

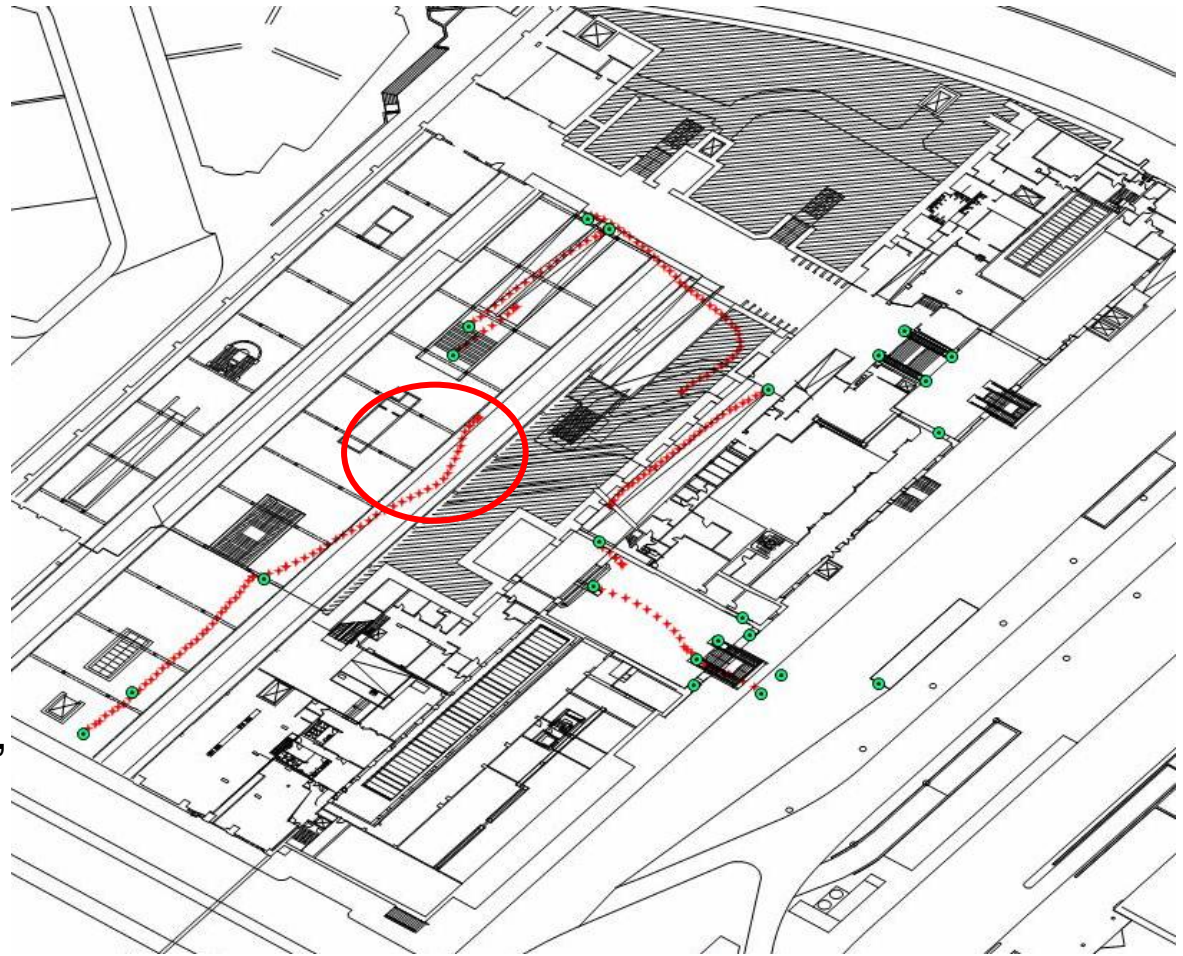
Objets temporaires

Travail de recherche EPFL de Thomas Delavy: modèle de données spécifiques pour les personnes malvoyantes (2008)



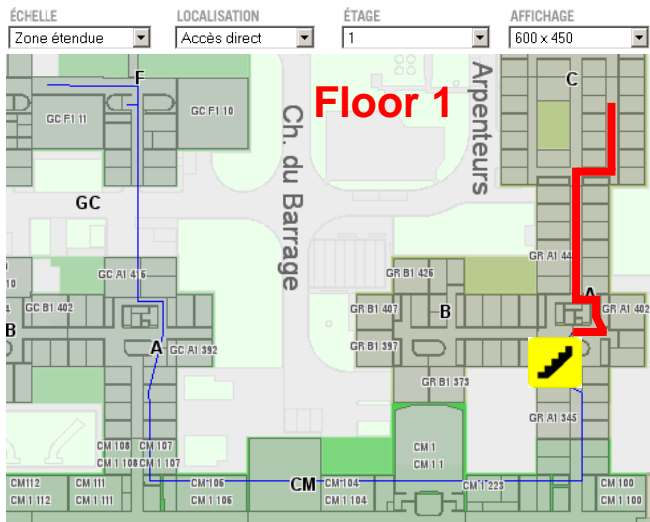
MEMS + Carte

- Superposition d'une trajectoire MEMS (brute) au contenu cartographique
 - Présence des éléments de contexte pour circonscrire la trajectoire
 - Usage de points de passage stratégiques (escaliers, escalators, portes principales)

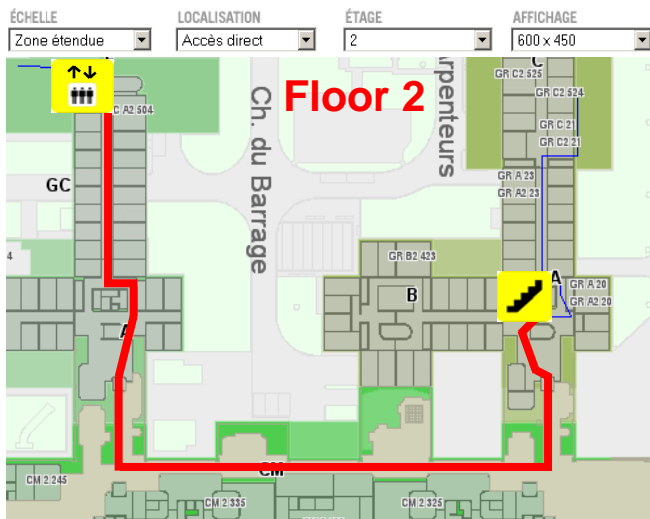


Zones de quai, fortes perturbations (magnétiques) sur les MEMS

MEMS + carte : Bilan



- ✓ Système indépendant de toute infrastructure
- ✓ Richesse du contenu cartographique: réseau, contexte, POI
- ✓ Référentiel précis et fiable

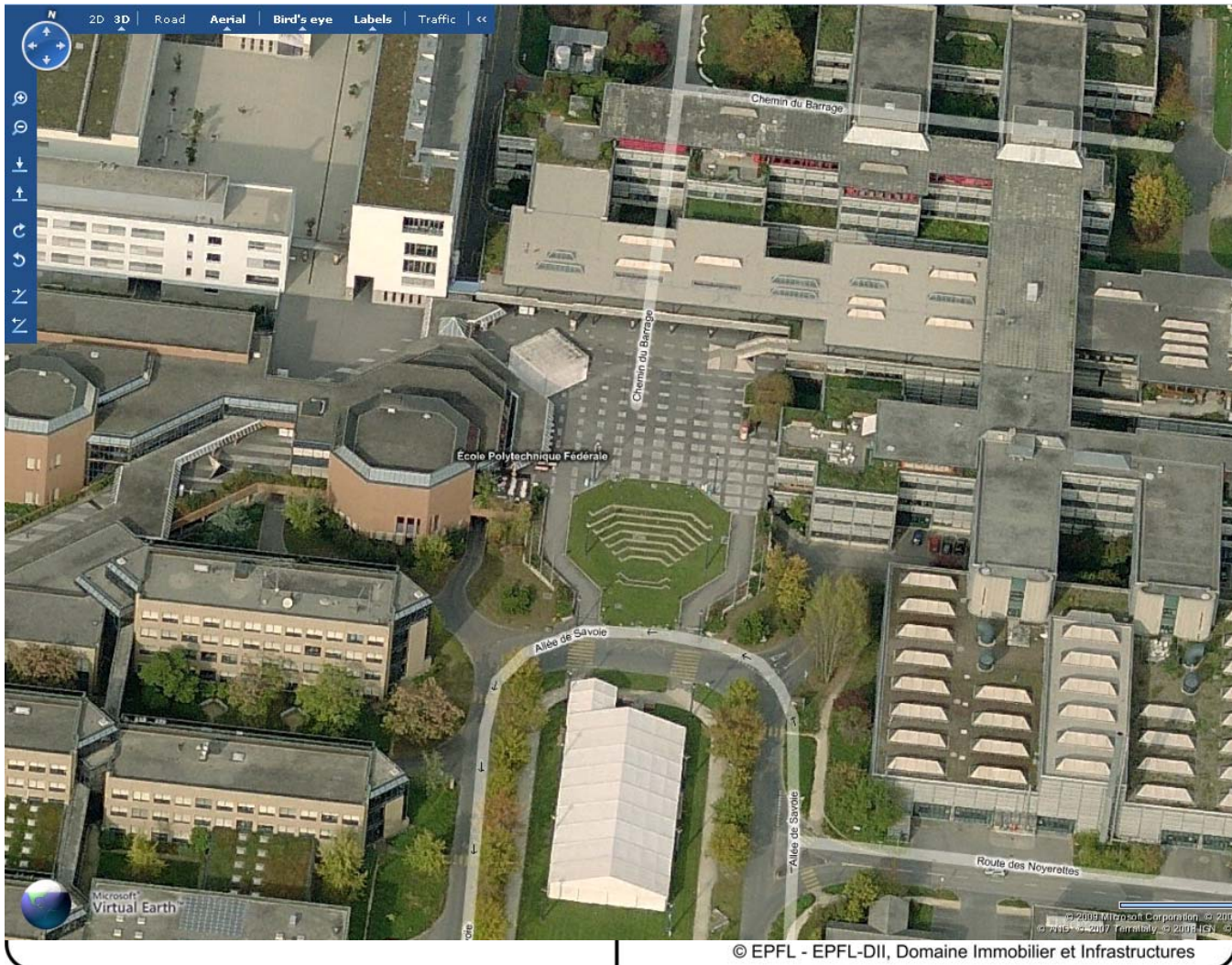


- ✗ Disponibilité des données
- ✗ Coût de saisie et de mise à jour
- ✗ Absence de formats et modèles standards

Bilan et perspectives

- **Mobilité piétonne sécurisée**
 - Besoins spécifiques et très variables: pas de système universel
 - La navigation vient en appuis aux usages « métiers »
 - La fiabilité du positionnement reste un défi majeur
- **Perspectives**
 - Accroissement de la présence de capteurs: téléphones, habits, infrastructure,...
 - Amélioration des modèles de mouvements grâce aux tissus intelligents
 - Développement des produits cartographiques spécifiques à la navigation pédestre
 - Avènement des systèmes coopératifs de cartographie

Merci de votre attention et bonne navigation



Contacts: <http://topo.epfl.ch> Pierre-yves.gillieron@epfl.ch